



Guía de Metodologías de Análisis de Riesgos





Guía de Metodologías de Análisis de Riesgos

MP 01-2015

Marzo 2015

Autores

Este documento fue preparado a solicitud de ARPEL y su Comité de Refinación y Combustibles, por:

Albert Tasiás - TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, S.A.	Fernando Alderete - TEMA 2000
Alfons Tomás - TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, S.A.	Manuel Fernández - TEMA 2000
Jaime Traver - TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, S.A.	Ricardo Buyatti - ARPEL
Javier Niño - TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, S.A.	

Revisores

Los autores fueron asistidos en la redacción detallada y la revisión por:

EQUIPO DE PROYECTO DE ANÁLISIS DE RIESGO:	COMITÉ DE REFINACIÓN Y COMBUSTIBLES DE ARPEL:
Pablo Neerman – ANCAP	Mauro De Camilli – ANCAP
Fernando Crucianelli – AXION	Daniel Cebey – ANCAP
René Cuestas - ECOPETROL	Rosario Martino – ANCAP
Hernán Águila - ENAP	Nikolai Guchín – ANCAP
José Barriga - ENAP	Diana Morales Ardila – CENIT
José Luís Báez - EQUION	Luis Guillermo Aristizabal – ECOPETROL
Brian Case - PCJ	Jairo Buitrago – ECOPETROL
Walter Noé – REPSOL PERÚ	Patricio Estay - ENAP
Alfonso Tomas – TEMA	Patricio Farfán – ENAP
Alberto Tasiás – TEMA	Marco Calvopiña - EP-PETROECUADOR
Javier Niño – TEMA	Victor Mario Casalotti – IAPG
Jaime Traver – TEMA	Ernani Filgueiras – IBP
Fernando Alderete – TEMA 2000	Steve Fekete - IHS
Eduardo Veracierta – TEMA 2000	Artemis Kostareli – IPIECA
Luis Andrés Landa – YPF	Beatriz Eugenia Fromow Valdez – PEMEX
Alfredo Arancibia - YPFB	Othón Valverde Yáñez – PEMEX
	Rodrigo Abramof PETROBRAS
	Frederico Guilherme Da Costa Kremer - PETROBRAS
	Sergio Fontes - PETROBRAS
	Geraldo Marcio Diniz Santos - PETROBRAS
	Miguel Pérez Navarro - PETROPERÚ
	Gerardo León Castillo - PETROPERÚ
	Sergio Cavallín - PLUSPETROL
	Julio Cesar Ramirez Bizzotto - PLUSPETROL
	Henry Arias Jiménez - RECOPE
	Oscar Acuña Céspedes - RECOPE
	Carlos Jiménez López - REPSOL



	Arsedio Carbajal González - REPSOL Carlos Hughes - STAATSOLIE Aubrey Nai Chung Tong - STAATSOLIE Javier Niño - TEMA Alfonso Tomás - TEMA David Jalma - WPC Gabriel Grzona - YPF Guillermo Achá Morales - YPFB
OTROS COLABORADORES: Raúl Wong - REPSOL PERÚ Enrique Delgado – YPFB	

Derechos de autor

Los derechos de autor de este documento, ya sea en su versión impresa o digital son propiedad de la Asociación Regional de Empresas del Sector Petróleo, Gas y Biocombustibles en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL). Cualquier copia de este trabajo protegido deberá incluir esta nota sobre los derechos de autor.

Exoneración de responsabilidad:

A pesar de haberse realizado esfuerzos para garantizar la exactitud de la información contenida en este documento, ni ARPEL, ni ninguno de sus socios, autores o revisores, ni las empresas e instituciones que ellos representan, asumen responsabilidad alguna por cualquier uso que se haga del mismo. Ninguna referencia a nombres o marcas registradas de fabricantes de equipos y/o procesos representa un endoso de parte de los autores, ARPEL o cualesquier de sus socios.



TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETO	2
3.	ALCANCE	2
4.	DEFINICIONES.....	3
5.	GLOSARIO.....	5
6.	GESTIÓN DEL RIESGO DE PROCESOS.....	7
7.	METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE PELIGROS (PHA).....	11
	7.1 DESCRIPCIÓN ABREVIADA DE LAS METODOLOGÍAS PHA	11
	7.2 ESCENARIOS PELIGROSOS QUE SE IDENTIFICAN Y EVALÚAN	14
	7.3 LIMITACIONES COMUNES A TODAS LAS TÉCNICAS PHA.....	19
	7.4 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PHA.....	19
	7.5 PREPARACIÓN DE UN ESTUDIO PHA.....	20
	7.6 EQUIPO DE TRABAJO.....	21
	7.7 DOCUMENTACIÓN BÁSICA NECESARIA.....	24
	7.8 REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO PHA	25
	7.9 MATRIZ DE RIESGOS.....	26
	7.10 APLICACIÓN DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS	27
	7.11 CICLO DE VIDA DE UNA INSTALACIÓN	31
	7.12 GESTIÓN DEL CAMBIO	36
	7.13 REVALIDACIÓN DE ESTUDIOS PHA.....	37
	7.14 COMPLEMENTO DE LOS ESTUDIOS PHA.....	37
8.	METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.....	38
9.	ESTUDIO DE ALCANCE DE CONSECUENCIAS.....	40
	9.1 HIPÓTESIS ACCIDENTALES.....	40
	9.2 EVOLUCIÓN DE SUCESO INICIADOR.....	42
	9.3 ESCENARIOS ACCIDENTALES FINALES.....	45



9.4	ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS	46
9.5	ZONAS DE PLANIFICACIÓN.....	51
9.6	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD PARA LAS PERSONAS.....	54
9.7	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD PARA LA PROPIEDAD. ESTUDIO DEL EFECTO DOMINÓ....	60
9.8	CRITERIOS DE CÁLCULO	62
10.	SOFTWARES PARA ESTUDIOS PHA	68
11.	CAPACITACIÓN DEL PERSONAL	69
12.	BIBLIOGRAFÍA Y NORMATIVA LEGAL	69
	ANEXO I: DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE PELIGROS	74
	ANEXO II: BOWTIE	107
	ANEXO III: ESTUDIO SIL.....	115
	ANEXO IV: ANÁLISIS LOPA	133
	ANEXO V: ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGO	141
	ANEXO VI: ESTUDIO DE RIESGO.....	161

ÍNDICE DE FIGURAS

MEMORIA

FIGURA 6.1:	METODOLOGÍAS PARA UN ANÁLISIS DE RIESGOS DE UN PROCESO/ACTIVIDAD .9	
FIGURA 7.1:	ESCENARIOS ACCIDENTALES QUE DERIVAN EN RADIACIÓN TÉRMICA	14
FIGURA 7.2:	ESCENARIOS ACCIDENTALES QUE DERIVAN EN SOBREPRESIÓN.....	15
FIGURA 7.3:	ESCENARIOS ACCIDENTALES QUE DERIVAN EN CONCENTRACIONES DE GAS/VAPOR EN EL AMBIENTE	15
FIGURA 7.4:	CICLO DE VIDA DE UNA INSTALACIÓN.....	31
FIGURA 9.1:	ÁRBOL DE EVENTOS.....	43
FIGURA 9.2:	EJEMPLO 1 DE ÁRBOL DE EVENTOS.....	44
FIGURA 9.3:	EJEMPLO 2 DE ÁRBOL DE EVENTOS.....	45

ANEXOS

ANEXO II. FIGURA 1:	EJEMPLO DE DIAGRAMA BOWTIE	108
ANEXO II. FIGURA 2:	EJEMPLO DE DIAGRAMA BOWTIE (ESQUEMA GENERAL)	111
ANEXO II. FIGURA 3:	EJEMPLO DE DIAGRAMA BOWTIE (ESQUEMA GENERAL CON DETALLE DE CAUSAS Y CONSECUENCIAS).....	112



ANEXO II. FIGURA 4: EJEMPLO DE DIAGRAMA BOWTIE (DETALLE DE LAS CAUSAS CON SUS BARRERAS Y FACTORES DE ESCALAMIENTO)	113
ANEXO II. FIGURA 5: EJEMPLO DE DIAGRAMA BOWTIE (DETALLE DE LAS CONSECUENCIAS CON SUS BARRERAS Y FACTORES DE ESCALAMIENTO)	114
ANEXO III. FIGURA 1: NIVEL INTEGRADO DE SEGURIDAD (SIL) - MODO EN BAJA DEMANDA	115
ANEXO III. FIGURA 2: NIVEL INTEGRADO DE SEGURIDAD (SIL) - MODO EN ALTA DEMANDA.....	115
ANEXO III. FIGURA 3: EJEMPLO DE SISTEMA INSTRUMENTADO DE SEGURIDAD (SIS).....	116
ANEXO III. FIGURA 4: EJEMPLO DE FUNCIÓN INSTRUMENTADA DE SEGURIDAD (SIF)	117
ANEXO III. FIGURA 5: CICLO DE VIDA DE SEGURIDAD.....	118
ANEXO III. FIGURA.6: EJEMPLO DE GRÁFICO DEL RIESGO, PARA LAS PERSONAS.....	120
ANEXO III. FIGURA.7: EJEMPLO DE GRÁFICO DEL RIESGO, PARA EL MEDIO AMBIENTE.....	121
ANEXO III. FIGURA.8: EJEMPLO DE GRÁFICO DEL RIESGO, PARA ACTIVOS.....	122
ANEXO III. FIGURA 9: PARÁMETROS PARA GRAFICO DE RIESGO FINANCIERO.....	123
ANEXO V. FIGURA 1: PASOS PARA DESARROLLAR UN ACR.....	143
ANEXO V. FIGURA 2: ÁRBOL DE FALLAS	145
ANEXO V. FIGURA 3: SÍMBOLOS USADOS EN ÁRBOLES DE FALLAS.....	146
ANEXO V. FIGURA 4: ÁRBOL DE EVENTOS. CÁLCULO DE FRECUENCIA DE ESCENARIO ACCIDENTAL FINAL	148
ANEXO V. FIGURA 5: RIESGO SOCIAL PARA EL PÚBLICO	154
ANEXO V. FIGURA 6: RIESGO SOCIAL PARA TRABAJADORES	154
ANEXO V. FIGURA 7: EJEMPLO DE CURVAS DE ISORIESGO.....	155
ANEXO VI. FIGURA 1: PASOS PARA REALIZAR UN ER	162
ANEXO VI. FIGURA 2: MATRIZ DE RIESGOS	163

ÍNDICE DE TABLAS

MEMORIA

TABLA 7.1:	DOCUMENTACIÓN BÁSICA NECESARIA	25
TABLA 7.2:	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE PELIGROS.....	30



TABLA 7.3:	TÉCNICAS RECOMENDADAS SEGÚN LA ETAPA DEL CICLO DE VIDA.....	35
TABLA 7.4:	TÉCNICAS RECOMENDADAS SEGÚN EL TIPO DE ACTIVIDAD/ INSTALACIÓN.....	36
TABLA 7.5:	RELACIÓN ENTRE ESTUDIOS PHA Y ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS.....	38
TABLA 9.1:	MODELOS DE CÁLCULO DE CONSECUENCIAS.....	49
TABLA 9.2:	CÁLCULO DE ESCENARIOS TÍPICOS.....	50
TABLA 9.3:	VARIABLES ASOCIADAS A LOS EFECTOS FÍSICOS.....	51
TABLA 9.4:	VALORES UMBRAL PARA LOS EFECTOS DE TIPO TÉRMICO.....	52
TABLA 9.5:	VALORES UMBRAL PARA LOS EFECTOS DE SOBREPRESIÓN.....	53
TABLA 9.6:	VALORES UMBRAL PARA LOS EFECTOS DE IMPULSO MECÁNICO.....	53
TABLA 9.7:	VALORES UMBRAL PARA LOS EFECTOS DE TIPO QUÍMICO.....	54
TABLA 9.8:	RELACIÓN ENTRE PROBIT Y PORCENTAJE.....	55
TABLA 9.9:	RESULTADO PROBIT PARA RADIACIÓN TÉRMICA EN KW/M2.....	56
TABLA 9.10:	UMBRAL DE LETALIDAD POR RADIACIÓN TÉRMICA.....	57
TABLA 9.11:	RESULTADO PROBIT PARA SOBREPRESIÓN EN MBAR.....	57
TABLA 9.12:	UMBRALES DE LETALIDAD POR SOBREPRESIÓN.....	58
TABLA: 9.13:	UMBRALES DE LETALIDAD POR EXPOSICIÓN A LLAMARADAS.....	58
TABLA 9.14:	LISTADO DE ECUACIONES PROBIT.....	59
TABLA 9.15:	DOSIS TÓXICAS LETALES.....	60
TABLA 9.16:	VALORES UMBRAL PARA LA EVALUACIÓN DEL EFECTO DOMINÓ.....	61
TABLA 9.17:	VALORES DE VULNERABILIDAD DE MATERIALES POR RADIACIÓN TÉRMICA.....	62
TABLA 9.18:	VALORES DE VULNERABILIDAD DE MATERIALES POR SOBREPRESIÓN.....	62
TABLA 9.19:	TIEMPOS DE FUGA.....	64
TABLA 9.20:	RUGOSIDAD DEL TERRENO.....	66
ANEXOS		
ANEXO I. TABLA 1:	PELIGROS EXTERNOS Y MEDIO AMBIENTALES.....	83
ANEXO I. TABLA 2:	PELIGROS DE LA INSTALACIÓN.....	84
ANEXO I. TABLA 3:	PELIGROS PARA LA SALUD.....	85
ANEXO I. TABLA 4:	PELIGROS RELACIONADOS CON LA ESTRATEGIA DE CONTRATACIÓN.....	85



ANEXO I. TABLA 5:	SIGNIFICADO DE PALABRAS GUÍA BÁSICAS	92
ANEXO I. TABLA 6:	SIGNIFICADO DE PALABRAS GUÍA MENOS FRECUENTES	92
ANEXO I. TABLA 7:	PARÁMETROS TÍPICOS DE UN PROCESO	93
ANEXO I. TABLA 8:	DESVIACIONES DE LOS PARÁMETROS DE PROCESO.....	93
ANEXO I. TABLA 9:	ASPECTOS PRINCIPALES A CONSIDERAR EN UN HAZOP.....	95
ANEXO V. TABLA 1:	EJEMPLO DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS, FRECUENCIA DE LOS ACCIDENTES FINALES.....	151
ANEXO V. TABLA 2:	EJEMPLO DE TABLA PARA CURVAS FN	158
ANEXO VI. TABLA 1:	CLASE DE RIESGO.....	163
ANEXO VI. TABLA 2:	CONSECUENCIAS PARA LAS PERSONAS.....	165
ANEXO. VI. TABLA 3:	VALORACIÓN DE LA PELIGROSIDAD POTENCIAL DE LA FUENTE PELIGROSA ...	166
ANEXO. VI. TABLA 4:	COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LA FUENTE PELIGROSA	166
ANEXO. VI. TABLA 5:	CANTIDAD POTENCIAL INVOLUCRADA EN UNA FUGA.....	167
ANEXO. VI. TABLA 6:	VALORACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PREVENCIÓN/ MITIGACIÓN.....	167
ANEXO. VI. TABLA 7:	SISTEMA DE TRANSPORTE AIRE.....	168
ANEXO. VI. TABLA 8:	SISTEMA DE TRANSPORTE HIDROLÓGICO Y/O EDÁFICO.....	168
ANEXO. VI. TABLA 9:	VALORACIÓN DEL ENTORNO NATURAL.....	169
ANEXO. VI. TABLA 10:	VALORACIÓN DEL ENTORNO HUMANO	169
ANEXO. VI. TABLA 11:	VALORACIÓN DEL ENTORNO SOCIOECONÓMICO	170
ANEXO. VI. TABLA 12:	ESTIMACIÓN DE LA SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS.....	170
ANEXO VI. TABLA 13:	CONSECUENCIAS PARA EL MEDIO AMBIENTE.....	171
ANEXO. VI. TABLA 14:	CONSECUENCIAS PARA LA PROPIEDAD.....	172
ANEXO. VI. TABLA 15:	CCPS, NIVELES DE CONSECUENCIAS	173
ANEXO. VI. TABLA 16:	FRECUENCIAS EMPLEADAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD	174



1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de todo tipo que se engloban bajo el término de Downstream¹, por su misma esencia involucran el manejo de sustancias peligrosas que, en caso de ser liberadas al ambiente, pueden desencadenar accidentes con impactos significativos sobre la salud de las personas (trabajadores y público), el medio ambiente, los equipos e instalaciones y la reputación de las empresas/compañías.

El objeto principal de la Seguridad de Procesos es gestionar de forma adecuada los riesgos de accidentes relacionados con liberaciones de sustancias peligrosas y lograr una operación segura, eficiente y rentable. El desarrollo e implementación de un Sistema de Gestión de la Seguridad ayuda a la consecución de este objetivo. Uno de los pilares fundamentales de la Seguridad de Procesos es el análisis y gestión de los riesgos, el cual debe realizarse involucrando tanto a Operaciones y al resto de las Áreas Técnicas de la Compañía como a la Dirección. Este enfoque permite una gestión integral de los riesgos.

La selección de la metodología adecuada es uno de los factores que tienen mayor incidencia en el éxito o fracaso de un estudio de análisis de riesgos de Seguridad de Procesos. De igual forma las competencias del líder o Facilitador del estudio, el conocimiento del proceso por parte del grupo de trabajo y la calidad de la información disponible para el análisis (diagramas de tuberías, matrices causa - efecto, reportes de investigación de incidentes, etc.) impactan en la calidad de los resultados obtenidos. Los estudios de evaluación y/o análisis de riesgos no terminan con la emisión del reporte, asignación de responsabilidades y la divulgación de las recomendaciones, sino que es necesario que los riesgos relevantes sean comunicados al grupo directivo, de forma tal que se asegure la disponibilidad de los recursos humanos y financieros requeridos para cerrar las acciones. De igual manera es necesario que los directivos, conjuntamente con el área de Operaciones y el resto de Áreas Técnicas de la Compañía, verifiquen periódicamente la evolución de los riesgos evaluando la implementación de las recomendaciones y la reducción efectiva de niveles de riesgo.

El grupo de Operaciones, así como también el de Mantenimiento, tiene un papel preponderante en las evaluaciones o análisis de riesgos; su participación activa es fundamental para lograr los resultados esperados ya que cuentan con información valiosa de incidentes y/o problemas operacionales que son fundamentales para definir y evaluar los escenarios de riesgo. La comunicación de los resultados de los análisis de riesgos a toda la organización, es necesaria para lograr una adecuada gestión de los riesgos.

¹ Downstream: en el marco de esta Guía se entenderá como los procesos y/o instalaciones de Refino y Petroquímica. Es por ello que se utiliza de forma indistinta Proceso o Instalación.



En conclusión, los Análisis de Riesgos de Seguridad de Proceso no deben ser vistos como una actividad aislada dentro de los procesos de gestión de la Compañía, ya que son ejercicios de “generación de valor” que requieren el involucramiento y compromiso de los grupos directivos, técnicos y operativos de la organización. En particular se recomienda que el responsable del cumplimiento de la gestión del riesgo (desarrollo de estudios, implementación de las acciones de mejora, actualización) sea la máxima autoridad operativa del activo o del proyecto.

2. OBJETO

El objeto de la presente Guía es establecer una bases mínimas para orientar a las Compañías socias de ARPEL sobre cómo aplicar las metodologías más comúnmente utilizadas en los estudios de análisis de riesgos, indicando las ventajas y desventajas de cada una de ellas – en los distintos casos donde pueden aplicarse – agregando a la misma las lecciones ya adquiridas por las empresas socias de ARPEL.

3. ALCANCE

La Guía está focalizada en las Unidades de procesos y de servicios auxiliares del sector de Downstream. Por extensión, la Guía también es de aplicación a las instalaciones de Distribución de este sector y a todas las otras áreas de la Compañía en las que se gestiona la seguridad de procesos.

Como ya se ha comentado en la introducción, una de las actividades que hay que desarrollar en todos los Sistemas de Gestión de Seguridad de Procesos es la identificación de los peligros de los procesos y los riesgos que de ellos se derivan.

La manera más habitual de llevar a cabo esta actividad es mediante la elaboración de:

- Análisis de Peligros (Identificación y Estudio de los Peligros) y,
- Análisis de Riesgos (Valoración y Aceptabilidad del Riesgo)

mediante la aplicación de una o varias de las metodologías objeto de esta Guía.



4. DEFINICIONES

Accidente: Suceso eventual no deseado e inesperado que causa lesiones, daños a la salud o muerte de una o más personas, daños materiales, daños ambientales y/o pérdidas a la propiedad² (activos, producción imagen).

Accidente Grave: Suceso que involucra a los procesos y operaciones con sustancias químicas que origina la liberación incontrolada de las mismas o de energía, y cuyas consecuencias supera un umbral de daño a las personas, medio ambiente y la propiedad, definido por cada Compañía. Por ejemplo puede ser múltiples lesionados, fatalidad(es) o daño extenso de la Propiedad o al medio ambiente.

Aceptabilidad del riesgo: Es el proceso, dentro de un Análisis de Riesgos, para tomar decisiones a través de la comparación de los criterios previamente establecidos para la aceptabilidad o tolerancia del riesgo.

Análisis de Riesgos: Determinación cualitativa o cuantitativa del riesgo, para estimar la combinación de las frecuencias y consecuencias de un accidente y comparar los valores de riesgos con los criterios de aceptabilidad.

Cambio: Modificación que se lleva a cabo en los procesos y que están relacionadas con: la tecnología, la organización, los procedimientos y las instalaciones; éstas pueden ser temporales o permanentes.

Capa de Protección independiente: Sistema de seguridad que reduce el riesgo y que cumple con los criterios: de ser específica, independiente, fiable y auditable.

Ciclo de Vida: Secuencias de etapas sucesivas por las que pasa un activo industrial, desde su concepción como idea hasta su desmantelamiento y/o abandono.

Consecuencias: Son los daños que se producen como resultado de la materialización de un peligro.

Deductivo: Metodología que va de lo general a lo particular.

Emergencia: Toda situación generada por la ocurrencia de un evento / incidente, que requiere una movilización de recursos.

Escenario accidental: Evolución espacial y temporal de una hipótesis accidental desde el suceso iniciador hasta los escenarios finales.

² En el marco de esta Guía por daños a la Propiedad debe entenderse el lucro cesante, el daño o la pérdida de activos y el daño a la imagen de la Compañía.



Frecuencia de ocurrencia: Número de veces en las que un iniciador de accidente o un accidente final se repite dentro de un período de tiempo dado.

Hipótesis accidental: Suposición de escenario creíble para sacar de ello una consecuencia.

Incidente: Suceso eventual e inesperado que puede o no ocasionar lesión a las personas, al medio ambiente y a la propiedad.

Inductivo: Metodología que va de lo particular a lo general.

Instalación: Edificios, contenedores o equipamiento que contiene a los procesos necesarios para la transformación física o química de petróleo crudo o de sus derivados y subproductos.

Medidas de Mitigación: Salvaguardas destinadas a reducir las consecuencias una vez ocurrido el iniciador de accidente. Por ejemplo: válvulas de bloqueo, detectores de fuego y de gas, cubetos y diques, red e instalaciones fijas contra incendios, extintores y planes de emergencia.

Medidas de Prevención: Salvaguardas destinadas a reducir la frecuencia de ocurrencia de una paridad de contención. Como son, entre otros, los diseños intrínsecamente seguros, los sistemas de emergencia, los enclavamientos de seguridad, los sistemas de alivio de presión y las alarmas, éstas junto con la acción correctiva por el operario.

Peligro: Fuente, situación o acto con potencial de daño para las personas, medio ambiente o la Propiedad.

Probabilidad: En un proceso aleatorio, razón entre el número de casos favorables y el número de casos posibles.

Riesgo: Combinación de la frecuencia y las consecuencias (o conjunto de daños) de la materialización de un peligro.

Riesgo Aceptable: Es aquel que cumple con los criterios de aceptabilidad de la Compañía.

Riesgo Tolerable: Es aquel que se encuentra dentro de los valores comúnmente aceptados por la sociedad.

Riesgo inaceptable o intolerable: Los riesgos de este tipo exigen acciones inmediatas para implementar las recomendaciones generadas en el análisis de riesgos. Estos riesgos representan situaciones de emergencia y deben establecerse acciones de mejora inmediatas. Las acciones deben reducirlos a la región aceptable y, si ello no fuera posible, como mínimo hasta la zona de riesgo ALARP.

Riesgo ALARP: (*As Low As Reasonably Practicable* - Tan bajo como sea Razonablemente Practicable). Los riesgos que se ubiquen en esta región deben estudiarse contemplando análisis de costo-beneficio para que pueda tomarse una decisión en cuanto a que se acepte el riesgo o se implanten recomendaciones que permitan reducirlos a la región de riesgo aceptable.



Salvaguarda o Capa de Protección: Medida de seguridad (mecanismo, sistema o acción) cuyo objetivo es prevenir la liberación de un peligro, proveer protección o mitigar las consecuencias cuando el peligro ha sido liberado. Las salvaguardas pueden ser físicas (diseño, sistemas de protección activa y pasiva, etc.) y no físicas (procedimientos, formación, control operacional, etc.).

Unidades de Proceso: Instalaciones donde se realiza una secuencia integrada de operaciones físicas o químicas de separación, purificación o conversión de hidrocarburos o derivados, que forman una sección integrada de una refinería o planta de procesamiento de hidrocarburos. Por ejemplo, unidades de destilación, reformación, craqueo catalítico, alquilación, polimerización, etc.

5. GLOSARIO

ACR:	Análisis Cuantitativo de Riesgo.
AEGL:	Acute Exposure Guideline Levels (Nivel de referencia en caso de exposición aguda).
AICHE:	American Institute of Chemical Engineers (Instituto Americano de Ingenieros Químicos).
ALARP:	As Low As Reasonably Practicable (Tan bajo como sea razonablemente posible).
API:	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo).
BLEVE:	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (Explosión física del vapor de un líquido en ebullición).
CVCE:	Confined Vapour Cloud Explosion (Explosión de Vapor Confinada).
CCPS:	Center for Chemical Process Safety (Centro Para la Seguridad de Procesos Químicos).
ERPG:	Emergency Response Planning Guidelines (Guías para la preparación de respuestas a emergencias).
EAC:	Estudio de Alcance de Consecuencias.
EPA:	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de USA).
ER:	Estudio de Riesgo.
F&G:	Fire & Gas.
ETA:	Event Tree Analysis (Análisis de Árbol de Eventos).



FIRE BALL:	Bola de Fuego.
FMEA:	Failure Modes and Effect Analysis (Análisis del Modo y Efectos de los Fallos).
FLASH FIRE:	Llamarada.
FTA:	Fault Tree Analysis (Análisis de Árbol de Fallas).
HA:	Hazard Analysis (Análisis de Peligros).
HAZID:	Hazard Identification Analysis (Análisis de Identificación de Peligros).
HAZOP:	Hazard and Operability Analysis (Análisis de peligros y Operabilidad).
INDECI:	Instituto Nacional de Defensa Civil (Organismo de Perú).
IPL:	Independent Protection Layer (Capa de Protección Independiente).
IRP:	Individual Risk Public (Riesgo Individual Para Público).
JET FIRE:	Dardo de Fuego.
LAY OUT:	Plano de disposición de equipos.
LC1/LC50/LC100:	Concentración letal del 1/50/100 % de la población expuesta.
LEL:	Lower Explosive Limit (Límite inferior de inflamabilidad).
LOC:	Loss of Containment (Pérdida de Contención).
LOPA:	Layer of Protection Analysis (Análisis de Capas de Protección).
MAH:	Major Accident Hazard (Accidente Grave).
MOC:	Management Of Change.
OGP:	Association of Oil & Gas Producers (Asociación de productores de petróleo y gas).
OSHA:	Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional).
P&ID:	Piping and Instrumentation Diagram/Drawing (Diagrama de Cañerías e Instrumentación).
PFD:	Process Flow Diagram (Diagrama de Flujo de Procesos).
PHA:	Preliminar Hazard Analysis (Análisis preliminar de peligros).
QRA:	Quantitative Risk Analysis (Análisis Cuantitativo de Riesgo).
RD:	Rupture Disc (Disco de Ruptura).
POOL FIRE:	Incendio de Charco.



PSM:	Process Safety Management (Gestión de Seguridad de Procesos).
PSV:	Pressure Safety Valve (Válvula de Seguridad).
SIF:	Safety Instrumented Function (Función Instrumentada de Seguridad).
SIL:	Safety Integrity Level (Nivel de Integridad de Seguridad).
SIS:	Safety Instrumented System (Sistema Instrumentado de Seguridad).
TEEL:	Temporary Emergency Exposure Limits (Límite de exposición temporal de emergencia).
UEL:	Upper Explosive Limit (Límite superior de inflamabilidad).
UVCE:	Unconfined Vapour Cloud Explosion (Explosión de Vapor no Confinada).
ZA:	Zona de Alerta.
ZI:	Zona de Intervención.

6. GESTIÓN DEL RIESGO DE PROCESOS

La gestión de riesgos de los procesos es un requisito de las normas y buenas prácticas de la industria, reconocidas internacionalmente, (tales como OSHA 1910.119, API RP 750 o las Guías del CCPS), que forman parte del marco normativo en que se desarrollan los sistemas de gestión de seguridad de procesos de las compañías de ARPEL.

De manera específica, para la elaboración de la presente Guía se ha tenido la oportunidad de revisar los siguientes documentos, todos relacionados con la Gestión de Riesgo de Procesos:

- YPF - Gestión de Riesgos de Seguridad y Medio Ambiente en Activos Industriales y Gestión de Cambios - 0065-PR-370400-100M.
- REPSOL - Gestión del Riesgo de Seguridad y Medio Ambiente en Activos Industriales - 00-00353NO.
- ECOPETROL - Guía de Análisis de Riesgos en Procesos - ECP-VST-O-PRO-GT-001.
- EQUION - Práctica Corporativa de Gestión de Riesgos - PRA-0225.

En todos ellos, la base de la Gestión de Riesgo de Procesos es la identificación, prevención, mitigación y evaluación de accidentes que involucren sustancias peligrosas, ocurridas principalmente por fallas en los procesos, equipamiento o procedimientos, impactando sobre las personas, el medio ambiente y el valor del negocio. Estos conceptos son la base conceptual de los contenidos desarrollados en esta Guía.

En cualquiera de los documentos revisados, el término **Riesgo** es el que se obtiene a través de su definición clásica, esto es:



$$r=f \times c$$

Siendo:

- r: el riesgo de un accidente
- f: su frecuencia de ocurrencia, y
- c: sus consecuencias

Por lo que respecta al término **peligro**, éste está asociado con la capacidad de generar daño a las personas, al medio ambiente y a la Propiedad.

El riesgo de una actividad o instalación se determina en su conjunto, es decir como la suma del riesgo de cada uno de los accidentes que puede llegar a ocurrir en la misma.

Al final del proceso, cada Compañía debe definir sus criterios de aceptabilidad del riesgo, de acuerdo a la legislación que le sea de aplicación y sus propios criterios de nivel de riesgo que esté dispuesta a asumir.

En ocasiones es posible que no pueda reducirse un riesgo hasta el nivel de aceptabilidad de la Compañía, si bien es necesario disminuirlo hasta un valor menor al inicialmente calculado. A raíz de esta necesidad surgió el concepto ALARP: reducir el riesgo tan bajo como razonablemente sea posible, teniendo en cuenta cuestiones sociales y económicas, así como la viabilidad de poder implementar salvaguardas o capas de protección. En el Anexo V, correspondiente a la elaboración de Análisis Cuantitativos de Riesgo (ACR), se explican de manera más detallada estos conceptos.

Esta manera de contemplar y calcular el riesgo da lugar a la aplicación de diferentes tipos de estudios y de metodologías, las cuales se irán explicando a lo largo de la presente Guía.

Aún así, a modo conceptual y sintético, a continuación se incluye una figura con las principales metodologías aplicables en la elaboración de estudios relacionados con la Gestión de Riesgo de Procesos. En la propia figura se indica el Capítulo o el Anexo en el que se tratan con mayor profundidad cada una de las metodologías.

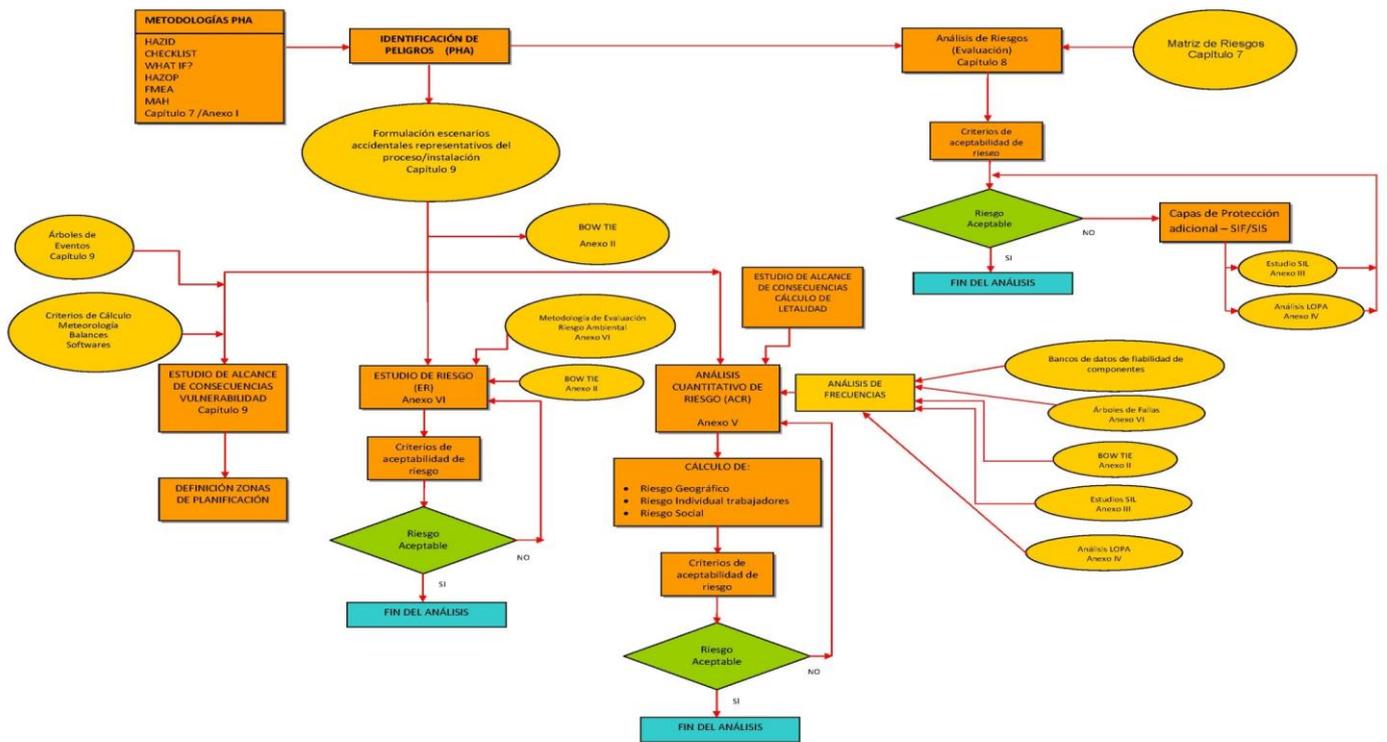


Figura 6.1: Metodologías para un Análisis de Riesgos de un Proceso/Actividad

Entrando en algunos detalles respecto a las diferentes metodologías introducidas en el esquema, hay que destacar que las metodologías de Análisis de Peligros (en adelante, PHA) han venido siendo utilizadas desde hace muchos años en diferentes ámbitos de la industria, ayudando en la identificación, evaluación y gestión de los peligros que pueden presentarse en la industria de procesos. En los últimos tiempos, han adquirido una gran relevancia en los análisis de riesgos que se elaboran en las compañías que, como las de ARPEL, desarrollan actividades en el sector de Downstream.

Técnicamente, un estudio PHA es un método estructurado y, generalmente, sistemático para identificar, analizar y, en ocasiones, evaluar los peligros de las instalaciones industriales y, en particular, las instalaciones de procesos y constituye la primera y fundamental tarea en todo Análisis de Riesgos que se elabore.

Son desarrollados por equipos multidisciplinarios de personas, con conocimientos de diferentes campos: operaciones, proyectos, ingeniería, procesos, seguridad, medio ambiente, mantenimiento, instrumentación, etc.

Este equipo realiza las siguientes actividades:



- Identifica peligros y valora cualitativamente y/o cuantitativamente los riesgos de los procesos que puedan afectar a las personas, el medio ambiente y a la Propiedad.
- Evalúa las capas de protección existentes para la prevención y/o mitigación de los escenarios peligrosos.
- Recomienda las acciones necesarias para reducir la frecuencia y/o mitigar los efectos de los escenarios peligrosos y, de esta manera, reducir el riesgo.
- Implementa y realiza el seguimiento de las acciones propuestas.

Las acciones que se deriven de la aplicación de estas técnicas en cualquier etapa del Ciclo de Vida de una actividad, proyecto y/o activo industrial (diseño, construcción, operación y desmantelamiento) deben ser evaluadas y, si así se justifica, implementada lo antes posible. De esta forma se consigue un conocimiento temprano de los riesgos y que la incorporación de las acciones preventivas y/o de mitigación se realice con el mínimo coste y con una mayor eficacia de las medidas reductoras del riesgo.

Para realizar este tipo de estudios es necesario imaginar y comprender las causas que puedan derivar en una fuga o pérdida de contención y su evolución hacia los posibles escenarios accidentales finales, así como las capas de protección en las diferentes etapas de la evolución secuencial.

Las metodologías PHA más utilizadas son:

- Check list - Lista de comprobación.
- HAZID (Hazard Identification Analysis) - Análisis de Peligros.
- What if? - ¿Qué pasa sí?
- HAZOP (Hazard and Operability Analysis) - Estudio de Peligros y Operabilidad.
- FMEA (Fault Mode-Effects Analysis) - Análisis de Modo y Efecto de Fallos.

Además de las metodologías PHA, y tal y como se puede observar en el esquema anterior, en la elaboración de un Estudio de Riesgo (en adelante, ER) y/o un Análisis Cuantitativo de Riesgo (en adelante, ACR) se emplean otras técnicas y herramientas, que pueden ser utilizadas integradas en los propios estudios o de forma independiente, tales como:

- Árboles de Eventos (ETA - Event Tree Analysis).
- Árboles de Fallas (FTA - Fault Tree Analysis).
- Bowtie.



- Análisis LOPA (Layer of Protection Analysis) y/o un Estudio SIL (Safety Integrity Level) para obtener una Capa Independiente de Protección con un Factor de Reducción de Riesgo (RRF)
- Determinación y Verificación del Nivel de Integridad de Seguridad (SIL) para cada Función Instrumentada de Seguridad (SIF), para que el riesgo de un determinado escenario cumpla con el criterio de aceptabilidad y, si ello no fuera posible, con el criterio ALARP.

Todas estas metodologías se explican de manera más detallada a lo largo de los próximos capítulos y anexos.

7. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE Peligros (PHA)

7.1 DESCRIPCIÓN ABREVIADA DE LAS METODOLOGÍAS PHA

Las metodologías de Análisis de Peligros poseen características diferentes entre sí. Si bien en el Anexo I se describen las metodologías con mayor detalle a continuación se mencionan algunas características que permitan diferenciarlas y poder establecer:

- Cuándo deben aplicarse
- Selección de la técnica se a aplicar según la necesidad
- Resultados esperables
- Necesidad de complementación con técnicas cuantitativas

HAZID

Esta técnica se aplica generalmente durante el diseño conceptual de una planta. Abarca los peligros no solo relacionados con el proceso propiamente dicho, sino también los peligros que surgen, por ejemplo, de la ubicación de una instalación en un lugar determinado, pudiéndose analizar y definir la implantación, ventajas y desventajas del terreno, efectos al ambiente, efectos del ambiente a la instalación, causas comunes de fallos de equipamiento relacionados con lo ambiental, accesibilidad a la instalación, seguridad física de las personas, etc. Para llevar a cabo este estudio se requiere de un equipo multidisciplinario. El equipo realiza el análisis mediante el uso de “palabras guía” como disparador que ayudan al *brain storming*.

En el Anexo I se explica la metodología HAZID.

CHECK LIST

Se trata de una lista con detalles de los aspectos relacionados con la seguridad que se espera de un sistema (equipo, proceso, procedimiento, etc.). Por lo general, escrito desde la experiencia y usado para evaluar la aceptabilidad o el estado de la instalación u operación en comparación



con las normas establecidas. Esta técnica parte de un conocimiento previo de los posibles peligros en un sistema y permite verificar si se han tenido en cuenta en el diseño.

En el Anexo I se explica la metodología CHECK LIST.

WHAT IF?

Esta técnica se lleva a cabo en sesiones con un equipo multidisciplinario. A diferencia del HAZID no posee un “disparador” del análisis como son las “palabras guía”, que ayuden al *brain storming*, por lo que se requiere de un conocimiento profundo del proceso que se esté analizando. Se plantean posibilidades de desvíos en el proceso formulando la pregunta ¿Qué pasa si...?.

Por lo general se aplica en procesos sencillos de bajo riesgo, o en pequeñas modificaciones en las que no se justifica utilizar otra técnica más rigurosa como el HAZOP. También resulta conveniente su aplicación en los casos donde las palabras guía relacionadas con el HAZOP no se ajusten al proceso que se quiere analizar como, por ejemplo, procesos de acondicionamiento y almacenamiento de coque.

Cabe mencionar que la pregunta ¿Qué pasa si...? es común a todas las técnicas; la diferencia radica en que en otras, como en el HAZID o en el HAZOP, están direccionadas por disparadores o por las palabras guía. En la técnica What if...? se apela directamente a la imaginación desde el conocimiento del proceso u operación que se esté evaluando.

En el Anexo I se explica la metodología WHAT IF?.

HAZOP

Es un método sistemático que se llevado a cabo en sesiones con personal multidisciplinario. Una premisa del HAZOP es que los accidentes ocurren por desviación de los parámetros normales de operación y/o diseño. Dichas desviaciones se van analizando sistemáticamente con ayuda de palabras guía. La metodología va revisando todo el proceso rigurosamente. Los diagramas de instrumentación y cañerías son los documentos básicos en esta técnica, por lo que generalmente se aplica durante la ingeniería básica, ingeniería de detalle y durante la operación de una planta.

El HAZOP puede aplicarse a cualquier modo de operación de un proceso, debiendo usar diferentes palabras guía para cada modo. El analista de riesgos que dirige las sesiones multidisciplinarias debe verificar, sobre todo cuando el proceso no es continuo, que las palabras guía a utilizar se ajusten al proceso en cuestión. Pudiera resultar conveniente cambiar de metodología, por ejemplo a un What if...? en vez de tratar de ajustar el proceso discontinuo al HAZOP.

El HAZOP analiza peligros derivados del proceso, no riesgos laborales, ni problemas de mantenimiento (como equipos con espesores fuera de especificación, instalaciones eléctricas



no aptas para las áreas clasificadas en las que se encuentran). Estos aspectos identificados habitualmente en auditorías e inspecciones de seguridad, pueden ser causa de desviaciones de los parámetros del proceso, e incluidos en el HAZOP, pero no son analizados en profundidad.

En el Anexo I se explica la metodología HAZOP.

FMEA

Es un método para evaluar los efectos de los modos de fallos de componentes y generalmente no tiene en cuenta los errores operacionales. Por sus características se aplica a sistemas electromecánicos. Es una técnica que evalúa los componentes de un sistema, en cuanto a cuáles son los modos en que pueden fallar y cuáles son las consecuencias o efectos de dichos fallos. No posee palabras guía que vayan induciendo el análisis, pero previamente se deben listar todos los componentes del sistema que serán analizados.

Esta técnica ayuda a determinar cuáles son los componentes más críticos, identifica y tiende a eliminar las causas de fallos, razón por la cual es recomendable su uso en el sector de mantenimiento de equipos, supervisado por un departamento de seguridad de procesos.

En el Anexo I se explica la metodología FMEA.

BOWTIE

Si bien no es una metodología propiamente de identificación de peligros, es un método simple y esquemático que permite analizar los peligros; describiendo y analizando la evolución de un evento accidental desde sus posibles causas hasta sus consecuencias, considerando las barreras o capas de protección existentes (tanto las de prevención del evento como las de mitigación de las consecuencias) y/o de implantación necesaria/recomendable.

Esta metodología se realiza en sesiones con un equipo multidisciplinario, guiados por un Facilitador, el cual debe estar familiarizado con la aplicación de la metodología.

Mediante un *brain storming* se describen las causas de un determinado evento accidental y todas las barreras que lo prevengan. De igual forma se describen todas las posibles consecuencias y las barreras que las mitiguen. El Bowtie permite un análisis gráfico y visual que mejora la comunicación y comprensión de los riesgos y de su gestión a todos los niveles de una organización.

En el Anexo II se explica la metodología BOWTIE.

MHA (Major Hazards Analysis)

El “Major Hazards Analysis” es una metodología en la que se identifican posibles Accidente Graves en un proceso en base a “juicio de experto”.

El tratamiento que algunas compañías le dan a esta identificación es la de asignar a cada MHA identificado una severidad de daños para las personas, el medio ambiente y la Propiedad. Como



consecuencia de ello, sólo aquellos que superen un determinado nivel de severidad de la matriz de riesgos de la Compañía, serán objeto de otros análisis con otras metodologías como son el Árbol de Fallas y/o un análisis LOPA para determinar la frecuencia del MAH y con ello su riesgo y, de esta manera, contrastarlo con los criterios de aceptabilidad de riesgo de la Compañía.

En el Anexo I se explica la metodología MHA.

7.2 ESCENARIOS PELIGROSOS QUE SE IDENTIFICAN Y EVALÚAN

Los escenarios accidentales finales que pueden identificarse y evaluarse con las técnicas PHA se pueden agrupar según el efecto físico que ocasiona el daño: de tipo térmico, mecánico y relacionado con la concentración de gas en el aire. Estos efectos físicos comportan consecuencias sobre las personas, el medio ambiente y la Propiedad.

En la figura siguiente se muestran los escenarios accidentales finales, luego de una fuga o pérdida de contención que deriva en una radiación térmica:

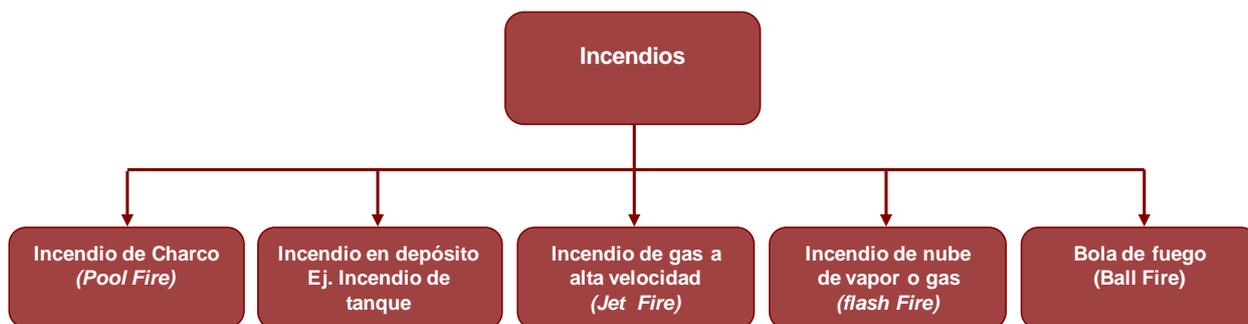


Figura 7.1: Escenarios accidentales que derivan en radiación térmica

En la figura siguiente se muestran los escenarios accidentales finales, luego de una fuga o pérdida de contención que deriva en una explosión.



Figura 7.2: Escenarios accidentales que derivan en sobrepresión

En la figura siguiente se muestran los escenarios accidentales finales, luego de una fuga o pérdida de contención relacionadas con la concentración de gas y/o vapor en el ambiente.

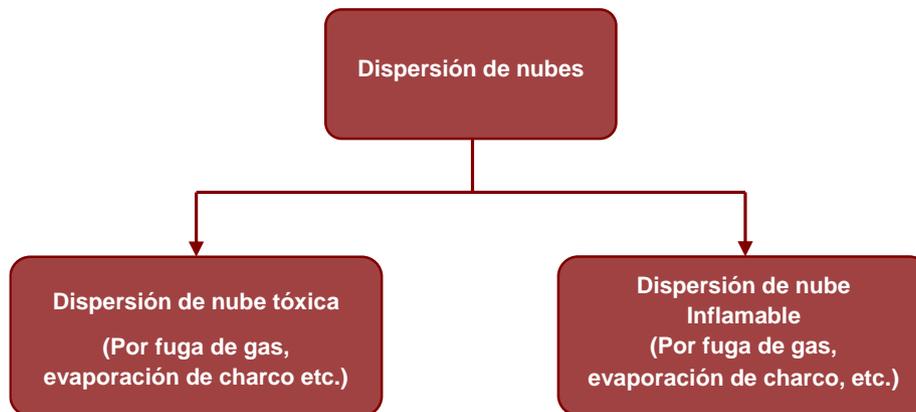


Figura 7.3: Escenarios accidentales que derivan en concentraciones de gas/vapor en el ambiente

En el caso de que no se produzcan ninguno de los efectos físicos mencionados, el escenario final es fuga o derrame con afectación medioambiental si fuera el caso. En el Anexo VI correspondiente al ER se detalla una metodología para evaluar este tipo de riesgo.



Ejemplos de escenarios accidentales finales luego de una pérdida de contención

Fuga de propano desde una línea

Gas a alta velocidad, genera una nube inflamable. Posible Flash fire en caso de encontrar un punto de ignición en las cercanías.



Dardo de fuego (Jet Fire)

Ignición inmediata de una fuga de gas a alta velocidad desde una torre de destilación.





Incendio de charco (Pool Fire)

Derrame de líquido inflamable y posterior incendio del charco, por ignición de los vapores inflamables desprendidos en la superficie.



Incendio de tanque

Incendio de tanque en una refinería luego de una explosión (efecto dominó).





Bleve - Bola de Fuego (Fire Ball)

La BLEVE es un caso especial de estallido catastrófico de un recipiente a presión en el que ocurre un escape súbito a la atmósfera de una gran masa de líquido o gas licuado a presión sobrecalentados. Una ignición inmediata luego del escape de gas, provoca la formación de una bola de fuego.



Exposición a gas tóxico

Fuga de gas con formación de nube tóxica.





7.3 LIMITACIONES COMUNES A TODAS LAS TÉCNICAS PHA

Según CCPS hay 5 limitaciones a todas las metodologías de Análisis de Peligros, tal como se detalla a continuación:

- No se puede asegurar que todos los posibles peligros hayan sido identificados; y para los peligros que fueron identificados, no se puede garantizar que todas las causas y consecuencias hayan sido tomadas en cuenta y analizadas.
- Los estudios son de naturaleza subjetiva por lo que, probablemente, un mismo estudio no se pueda reproducir exactamente igual por diferentes expertos. El mismo estudio en las mismas condiciones puede dar resultados diferentes.
- La cantidad de información generada no siempre es fácil de interpretar. Dada la cantidad de información generada se suelen presentar resúmenes de resultados y recomendaciones con indicaciones de dónde conviene aplicar mejoras.
- Los resultados que se obtienen con estas metodologías dependen de la experiencia del analista de riesgos en la metodología a emplear y también de su creatividad en el momento de imaginar posibles peligros o lograr que los participantes los identifiquen. En el caso donde la experiencia sea escasa es mejor usar una metodología de análisis predictivo como el HAZOP, si bien ello no es garantía de poder entender todos los posibles peligros. Aun así, la experiencia del analista es más importante que la metodología usada.
- Las conclusiones finales están basadas en el conocimiento (juicio de experto) del equipo de trabajo, ya que la mayoría de los eventos peligrosos identificados nunca han ocurrido y el equipo debe valorar la severidad de las consecuencias y la frecuencia de ocurrencia de los escenarios peligrosos para poder evaluar el riesgo. La naturaleza subjetiva de las deliberaciones propias de estas metodologías podría generar cierto grado de escepticismo respecto de los resultados.

7.4 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PHA

Los resultados que se obtienen de los Estudios PHA son los siguientes:

- Identificación de peligros y de las causas de los mismos.
- Listado de escenarios peligrosos con una valoración de las consecuencias, valoración de la frecuencia de ocurrencia y valoración del riesgo.
- Listado de recomendaciones para llevar a cabo en las siguientes fases del proyecto, que apuntan a implementar o mejorar las capas de protección.
- Datos de partida para la realización de estudios complementarios como EAC, ER, ACR, LOPA y SIL.



- Datos de partida para la realización de estudios complementarios relacionados con el medio ambiente, por ejemplo estudios de impacto ambiental o estudio de riesgo ambiental.
- Identificar necesidades de capacitación.
- Formar la base de un registro de riesgos en una instalación existente.

7.5 PREPARACIÓN DE UN ESTUDIO PHA

Los estudios PHA habitualmente se realizan en sesiones multidisciplinarias, con un equipo de trabajo determinado y con documentación precisa. Se requiere, además, un seguimiento de las acciones correctivas que surgen de dichos estudios.

El éxito y la calidad de los estudios dependen de la estructura en la que se encuentran enmarcados. Conviene que exista una estructura en la Compañía que promueva la realización de los estudios mediante Programas de Seguridad de Procesos o Sistemas de Gestión de Seguridad y Medio Ambiente, con una política de seguridad definida y orientada a:

- Promover un sistema para mantener actualizada la documentación de los procesos, tanto en proyectos nuevos como durante las modificaciones que surjan en la vida útil de la instalación.
- Proporcionar personal competente para la realización de los estudios PHA y reconocer la importancia de su participación, ya que son ellos quienes conocen cómo la instalación es verdaderamente operada y mantenida. Además, ellos deben actuar en base a los resultados de los estudios.
- Documentar los estudios, realizar un seguimiento del estado de las recomendaciones que surjan de los mismos, y registrar la respuesta de la Compañía ante cada recomendación; por ejemplo, si es aceptada, rechazada, sustituida o modificada.
- Promover un sistema de auditoría que garantice que todas las recomendaciones aprobadas se han llevado a cabo oportunamente.
- Destinar recursos para la implementación de las recomendaciones que reduzcan el riesgo.

La preparación de un estudio consiste en definir los objetivos, el alcance, y evaluar la documentación necesaria. De estas tareas derivan los plazos de ejecución, la elección de la técnica PHA más apropiada y la conformación del equipo de trabajo.

El objetivo del estudio depende de la etapa del Ciclo de Vida en el que se encuentre el proceso. En la tabla 7.3 se mencionan las necesidades en cada etapa del Ciclo de Vida.

EL alcance debe ser claro y definirse previamente al desarrollo del estudio; no obstante, debe existir libertad en la búsqueda de los peligros potenciales, por ejemplo si el alcance es solo una



línea del proceso y el equipo PHA identifica un problema en el control de nivel del recipiente del cual sale la línea, se debería documentar el hallazgo para un posterior análisis, o sugerir medidas de protección adicionales. Sin embargo el Facilitador debe procurar que las sesiones no se desvíen del objetivo principal.

Los objetivos y el alcance deben ser coherentes con los plazos estipulados, y el analista de riesgos debe validar dichos plazos.

7.6 EQUIPO DE TRABAJO

La realización de un estudio PHA requiere conformar previamente un equipo multidisciplinario de trabajo. Las capacidades necesarias de los participantes dependen de varios factores, incluyendo el tipo de proceso y operación, la técnica seleccionada y el objetivo del análisis.

Todas las técnicas son más efectivas y rigurosas con un equipo multidisciplinario. Sin embargo, es importante evaluar la cantidad óptima de participantes. En caso de ser pocos el análisis puede resultar de mala calidad, al quedar sin resolver dudas por falta de algún referente de una determinada área. Por el contrario, si la cantidad de personas es muy grande resulta difícil de coordinar y manejar el grupo.

Generalmente los tipos de participantes son:

- Facilitador del estudio PHA.
- Secretario PHA.
- Representantes técnicos del proceso y/o instalación (del Operador y del Propietario).
- Representantes técnicos de ingenierías y suministradores de equipos (“Paquetistas”).

Facilitador PHA

Normalmente se requiere de una persona que dirija las sesiones y modere al equipo de trabajo. Es importante que el Líder o Facilitador de dicha sesiones sea un analista de riesgos y/o ingeniero en seguridad de procesos.

Es recomendable que el Facilitador sea independiente, es decir, que esté libre de compromisos respecto del desarrollo del diseño, de la ingeniería y de la propia instalación en estudio.

Debe tener experiencia en la metodología a utilizar, habilidades interpersonales, de liderazgo y debe poseer suficiente experiencia técnica para comprender el proceso y la operación que se requiere analizar.

Algunos de los requisitos y funciones del Facilitador se enumeran a continuación:

- Asegurar la correcta selección de una técnica PHA.
- Validar la conformación del equipo que participará de las sesiones.



- Moderar las sesiones.
- Interpretar P&ID, procesos operativos, etc.
- Indagar sin que los miembros del equipo se pongan a la defensiva.
- Mantener la objetividad.
- Motivar, dirigir y focalizar las discusiones del grupo.
- Evitar las discusiones innecesarias.
- Resumir los problemas, sugerir soluciones vistas en otros procesos, consensuar con los participantes lo que finalmente quede redactado en la planilla de estudio.
- Apreciar los diferentes puntos de vista y lograr empatizar con los miembros del equipo.
- Permanecer imparcial y mantener el respeto por el equipo.
- Administrar el ritmo de las discusiones del equipo, y mantener la agenda prevista de las reuniones.
- Percibir la fatiga y aburrimiento del equipo y aplicar medidas correctivas.
- Suspender la discusión de temas que no pueden ser resueltos por el equipo.
- Asesorar al Jefe del proyecto sobre cuestiones que pudieran afectar la calidad del estudio y, de ser necesario, posponerlo; esto incluye: experiencia inadecuada de los participantes, ausencia de los miembros claves del equipo e información de seguridad desactualizada.

Secretario PHA

Durante las sesiones de trabajo el Secretario debe documentar en la planilla correspondiente, todo lo que se discuta y se consensúe. Generalmente esto se hace con ayuda de algún software especializado.

Conviene que el Secretario tenga conocimiento del proceso a analizar, para poder resumir las discusiones técnicas y dejar un documento claro y entendible al finalizar el estudio.

Algunos de los requisitos y funciones del Secretario son:

- Conocedor de la metodología.
- Capacidad de síntesis.
- Capacidad de Interpretar P&ID y procesos operativos.
- Debe conocer la instalación objeto de estudio.



- Registrar en la planilla todo lo que se genera en las sesiones. Las recomendaciones debe estar redactadas con claridad y de forma comprensible para todos, sin necesidad de acudir a la planilla de trabajo para entender la recomendación.
- Estar capacitado en el uso del software.
- Elaborar el informe final.

Dependiendo de la complejidad del proceso a analizar puede ocurrir que el Facilitador también cumpla el rol de Secretario. Esto puede ser viable siempre que no se descuiden ambas tareas. La experiencia ha demostrado que los Secretarios que juegan múltiples roles, no pueden documentar todo lo necesario porque están ocupados presentando su propia visión sobre alguna situación peligrosas. Para desempeñar funciones combinadas es importante evaluar la complejidad y la experiencia de la persona encargada de la tarea.

Representantes del proceso o instalación a analizar

Los representantes técnicos del proceso o instalación son personas de diferentes áreas relacionadas con diseño y la operación. Estos miembros se eligen por su conocimiento específico sobre algún aspecto del proceso a analizar; en general se recomienda que sean ingenieros o técnicos de las siguientes especialidades.

- Proyectos.
- Operación.
- Procesos.
- Mantenimiento.
- Instrumentación.
- Seguridad de procesos.
- Medio ambiente.

Algunos de los requisitos y funciones de los representantes de la instalación son:

- Evaluar la documentación correspondiente.
- Ser parte activa del proceso a analizar.
- Comprometerse con la metodología dirigida por el Facilitador identificando causas, siendo objetivos en la evaluación de las consecuencias, proponiendo recomendaciones y mejoras.
- Verificar que el informe sea acorde a lo analizado durante las sesiones.
- Llevar a cabo las recomendaciones realizadas.



En PHA en los que participan representantes de la Ingeniería (proyecto, procesos, instrumentación y, en ocasiones, un técnico de obra civil y/o estructuras) la funciones de estos son similares a las de los representantes de la instalación en estudio.

7.7 DOCUMENTACIÓN BÁSICA NECESARIA

En la tabla 7.1 se muestra la documentación básica para cada técnica de Análisis de Peligros.

Es importante que la documentación se encuentre actualizada y que refleje la realidad de la planta y el proceso que se quiere analizar. La calidad final del estudio PHA depende fuertemente de esta información.

Técnica	Documentación Necesaria ³
CHECK LIST	<ul style="list-style-type: none">• Documentación relativa al proceso a analizar. *• Leyes, normas y estándares para generar la lista de verificación.
HAZID	<ul style="list-style-type: none">• Diagrama de flujo (PFD).*• Descripción del proyecto (ubicación, accesos, servicios auxiliares, opciones de Lay out).*• Descripción del Proceso (Diagrama de bloques o Diagrama de Flujo básico, memoria descriptiva).*• Fichas de Seguridad de las Sustancias.• Legislación Aplicable.• Filosofía operativa, de mantenimiento de control y de seguridad.• Información sobre salud y medio ambiente.
WHAT IF...?⁴	<ul style="list-style-type: none">• Diagrama de flujo (PFD).*• Descripción del proyecto (ubicación, accesos, servicios auxiliares, opciones de Lay out). *• Diagramas de instrumentación y cañerías (P&ID). *• Matriz Causa – Efecto. *• Memorias descriptivas del proceso y servicios auxiliares.• Valores de diseño del proceso y de las instalaciones.• Procedimientos de Parada ante Emergencias.• Sistema de Shut Down.

³ La información necesaria marcada con asterisco es documentación imprescindible, y de consulta continua en el estudio PHA. La documentación que no está marcada por lo general es para consultas puntuales durante el estudio.

⁴ La documentación necesaria para What If...? Y HAZID depende de la etapa de ingeniería en donde se aplique. Pudiendo ser menor la información necesaria a listado propuesto.



Técnica	Documentación Necesaria ³
	<ul style="list-style-type: none"> • Red de Incendio. • Sistema de F&G. • Especificaciones sobre el equipo (si corresponde).
HAZOP	<ul style="list-style-type: none"> • Planos de instrumentación y cañerías (P&ID).* • Diagrama de flujo (PFD). * • Matriz Causa-Efecto. * • Lay Out general. * • Lay Out equipos contra incendios y de detección (si corresponde). * • Memoria descriptiva. • Valores de diseño del proceso y de las instalaciones. • Manual de Operación y Control. • Memoria de cálculo de red contra incendios (si corresponde). • Procedimientos de Parada ante Emergencias. • Bases de diseño de disparos de PSV. • Balance de materia y energía (si corresponde). • Hoja de datos de equipos (si corresponde). • Planos de Clasificación de Áreas Peligrosas (si corresponde).
FMEA	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de flujo (PFD). * • Matriz Causa-Efecto. * • Valores de diseño del proceso/ instalaciones/equipos a analizar. * • Manual de Operación y Control.

Tabla 7.1: Documentación básica necesaria

7.8 REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO PHA

Una vez que se han definido los objetivos, el alcance, se ha conformado el equipo para el análisis y se ha recabado la información del proceso, el Facilitador del equipo programa las sesiones de trabajo.

Las sesiones pueden realizarse tanto en el sitio donde se encuentra la instalación o alejado de la misma, siempre y cuando el equipo pueda trabajar sin interrupción y disponga de toda la documentación que necesite.

El lugar de las reuniones debe disponer básicamente de espacio para la cantidad de participantes prevista, y debe estar debidamente equipado con proyector, pantalla(s), computadoras y pizarra.



El Facilitador debe promover la participación de todos los participantes y asegurar la correcta aplicación de la técnica.

Las actividades en el desarrollo de un estudio PHA son:

- Identificar peligros según la técnica utilizada, por ejemplo debido a eventos externos, fallo de componentes, desviaciones de las condiciones normales de operación, errores humanos y de organización.
- Reconocer consecuencias **(aquí no deben de tenerse en cuenta, en primera instancia, las salvaguardas existentes)**.
- Respuestas del sistema (sistemas de seguridad que eviten que se materialice el accidente y/o que mitiguen las consecuencias una vez haya ocurrido el escenario accidental).
- Hacer recomendaciones. Deben ser claras y consensuadas; las recomendaciones deben entenderse sin necesidad de acudir al estudio completo o a la información utilizada durante las sesiones, como por ejemplo P&ID.
- Redactar comentarios. Realizar las aclaraciones pertinentes para que la planilla sea entendible, incluso por personas que no han participado del estudio.
- Toda la información se debe documentar en las planillas de trabajo.

7.9 MATRIZ DE RIESGOS

Cuando la valoración del riesgo es cualitativa, es preciso utilizar una Matriz de Riesgo, en donde las entradas son Frecuencia y Severidad, para obtener un valor de Índice de Riesgo.

Este tipo de valoración del riesgo habitualmente se realiza en los estudios PHA y ER, descritos en la Guía.

Las propias Compañías deben definir sus propias matrices de riesgos y categorías de riesgos, en función del riesgo que están dispuestas a asumir, considerando la actividad que desarrollan. Estas matrices deben cumplir con el mínimo exigible en la legislación vigente del país en el que se desarrolle la actividad.

En el Anexo VI, solo con carácter informativo, se muestra un ejemplo de Matriz de Riesgo, basada en la IEC-61511.



7.10 APLICACIÓN DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS

La Gestión del Riesgo se debe realizar a lo largo de todo el Ciclo de Vida de una instalación para asegurar una identificación, evaluación y reducción de los riesgos. La identificación temprana de los accidentes potenciales que pueden afectar a las personas, el medio ambiente y a la Propiedad, permite reducir el riesgo aplicando medidas más eficaces con menor costo.

La aplicación de las distintas metodologías, depende de varios factores tales como:

- el objeto del estudio de riesgos
- la documentación disponible
- las características del proceso
- el tipo de riesgo del proceso

Todos estos aspectos deben analizarse teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de las metodologías de Análisis de Peligros.

De acuerdo a las necesidades de seguridad y la información disponible en cada etapa del Ciclo de Vida se puede seleccionar, como primera aproximación, una metodología a aplicar. Los factores restantes pueden condicionar la selección de una metodología alternativa.

Cada técnica de Análisis de Peligros tiene ventajas y desventajas. Por otra parte, cada Compañía puede tener objetivos y necesidades diferentes para elaborar un Análisis de Peligros y Riesgos.

En la tabla 7.2 se resumen las ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de Análisis de Peligros.



Ventajas y desventajas de las diferentes Técnicas			
Técnica	Característica de la Metodología	Ventajas	Desventaja
CHECK LIST	<p>Deductivo. Se trata de una lista con detalles de los aspectos relacionados con la seguridad que se espera de un sistema (equipo, proceso, procedimiento, etc.). Por lo general, escrito desde la experiencia y usado para evaluar la aceptabilidad o el estado de la instalación u operación en comparación con las normas internacionales o normas internas de las compañías.</p> <p>Evalúa consecuencias y plantea salvaguardas.</p>	<p>Permite verificar el cumplimiento de aspectos relacionados con la seguridad, basados en un aprendizaje anterior, y ejecutándose como “lecciones aprendidas” a través de normas y estándares.</p>	<p>Se requiere un tiempo para preparar Check List adecuados, adaptados al objeto del análisis. En nuevos diseños no es recomendable.</p> <p>Es un método que examina la instalación solamente desde el punto de vista de cumplimiento de una norma, reglamento o procedimiento determinado.</p>
HAZID	<p>Inductiva. Se basa en la identificación de peligros de la Instalación, siguiendo una lista de verificación y palabras guía que permiten direccionar el análisis de peligros. La lista abarca una cantidad diversa de distintos tipos generales de peligros.</p> <p>De esta forma se sistematiza la búsqueda de causas y consecuencias.</p>	<p>Se orienta a accidentes graves y grandes riesgos para tener una primera visión.</p> <p>Permite detectar en etapas tempranas situaciones que pueden ser evitadas o minimizadas al considerarlas en el diseño.</p> <p>Permite:</p> <ul style="list-style-type: none">• Identificar peligros sobre la salud, seguridad, medio ambiente y activos.• Estimación y valoración del riesgo de forma cualitativa.• Establecer recomendaciones y acciones para llevar a cabo en las siguientes fases de del proyecto.• Obtener datos de partida para la realización de estudios de impacto ambiental.• Obtener datos de partida para generar estudios básicos de consecuencias mediante simulaciones de escenarios accidentales, que a su vez pueden utilizarse para planificar las emergencias, definir distanciamientos de equipos, contemplar el diseño de edificios acordes a los alcances peligrosos.• Identificar incertidumbres, preocupaciones y necesidades de formación.	<p>Es un método apropiado para la identificación de peligros en fase temprana de diseño de instalaciones / procesos en el que no se tiene mucho detalle por lo que normalmente es necesario realizar otra identificación de peligros, durante una fase más avanzada del proyecto en la cual ya se dispone de mayor detalle.</p>



Ventajas y desventajas de las diferentes Técnicas			
Técnica	Característica de la Metodología	Ventajas	Desventaja
		<ul style="list-style-type: none"> • Formar una base de un registro de peligros en una instalación existente. • Utilizarse de base para identificar escenarios peligrosos para un análisis de riesgos más riguroso, por ejemplo Bowtie. 	
HAZOP	<p>Inductiva. Es un método sistemático a través del empleo de palabras guía que direccionan la búsqueda de desviaciones de las condiciones normales de operación y diseño.</p> <p>Consiste en dividir la planta o unidad en subsistemas llamados comúnmente “nodos”, sobre los que se estudian variaciones a las condiciones normales de operación, identificando causas que las generan, consecuencias y salvaguardas previstas en el diseño. Permite la estimación y valoración del riesgo de forma cualitativa.</p>	<p>Es estructurada y muy sistemática, incrementa la probabilidad de identificar la mayoría de los peligros. Introduce mejoras en la operación.</p> <p>Es la metodología más utilizada en la industria.</p> <p>Permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar peligros sobre la salud, seguridad, medio ambiente y activos. • Estimación y valoración del riesgo de forma cualitativa. • Establecer recomendaciones y acciones para mejorar la operación y la seguridad del proceso. • Sirve para analizar peligros y riesgos de plantas complejas y/o de riesgo significativo • Formar una base de un registro de peligros en una instalación existente • Utilizarse de base para identificar escenarios peligrosos para un análisis de riesgos más riguroso, como ACR, LOPA, Bowtie. • Utilizarse de base para generar estudios de consecuencias más rigurosos, mediante simulaciones de escenarios accidentales que, a su vez, pueden utilizarse para planificar las emergencias. 	<p>Requiere recursos expertos y, por tanto, es más costoso.</p> <p>Debe contar con un analista de riesgos que dirija la sesión (preferible externo) para garantizar confiabilidad.</p> <p>Requiere liderazgo del moderador, a través del conocimiento del proceso y la incorporación de mejoras de otros procesos.</p> <p>No es una técnica apropiada para evaluar los peligros relacionados con la ubicación de la instalación, problemas de mantenimiento de las instalaciones, las causas de fallas del equipo y componentes de los sistemas mecánicos y eléctricos.</p> <p>Es una metodología para identificar y evaluar peligros relacionados con el proceso.</p>
WHAT IF...?	<p>Deductivo. Parecido al HAZOP pero no tan sistemático. Identifica peligros a través de las preguntas orientadas por un especialista, que empiezan por: Qué pasa si...?</p>	<p>Es fácil de usar. Permite analizar proceso, procedimientos, operaciones manuales.</p> <p>Puede ser una alternativa válida al HAZOP en determinados casos (plantas con bajo riesgo:</p>	<p>Es menos sistemático que el HAZOP, por lo que puede no cubrir todos los peligros.</p> <p>Depende de la experiencia y conocimientos del analista de riesgos quién participa en las</p>



Ventajas y desventajas de las diferentes Técnicas			
Técnica	Característica de la Metodología	Ventajas	Desventaja
	Se evalúan causas, consecuencias y salvaguardas, y permite la estimación y valoración del riesgo de forma cualitativa.	compresores de aire, plantas de agua, etc.). Permite: <ul style="list-style-type: none">• Identificar peligros sobre la salud, seguridad, medio ambiente y activos.• Estimación y valoración del riesgo de forma cualitativa.• Establecer recomendaciones y acciones para mejorar la operación y la seguridad del proceso.• Formar una base de un registro de peligros en una instalación existente.• Utilizarse de base para identificar escenarios peligrosos para un análisis de riesgos más riguroso, como ACR, LOPA, Bowtie.• Utilizarse de base para generar estudios de consecuencias más rigurosos, mediante simulaciones de escenarios accidentales que, a su vez, pueden utilizarse para planificar las emergencias, definir distanciamientos de equipos, contemplar el diseño de edificios acordes a los alcances peligrosos.	sesiones multidisciplinarias como facilitador de la misma. Es recomendable realizarlo sobre Check List o sobre una secuencia de actividades.
FMEA	Deductivo. Evalúa un listado de componentes de un proceso o un sistema y presume sus modos de fallo, con el objeto de identificar si estos fallos son peligros potenciales.	Esta metodología ha ganado reputación para el análisis de equipos complejos, sistemas electrónicos y mecánicos. De fácil aplicación (metodología sencilla). Permite: <ul style="list-style-type: none">• Identificar modos de fallos de componentes.• Identificar los efectos y consecuencia de los fallos.• Recomendar acciones para mejorar el diseño, operación y/o mantenimiento.	No aplicable en forma exclusiva para procesos porque los peligros potenciales y los riesgos pueden no deberse a fallos de componentes. No detecta modos de fallo de causas comunes. No contempla directamente el fallo humano. No se recomienda para procesos, puede resultar engorroso y mal aplicado.

Tabla 7.2: Ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de Análisis de Peligros



7.11 CICLO DE VIDA DE UNA INSTALACIÓN

Algunas Compañías tienen sus propios esquemas de Ciclo de Vida, con los requerimientos de seguridad y la documentación disponible establecida para cada etapa.

En la tabla 7.3 se recomienda una técnica de Análisis de Peligros; considerando los requerimientos de seguridad más comunes y la documentación disponible en las distintas etapas del Ciclo de Vida. También se nombran los estudios complementarios que se podrían realizar para un análisis de riesgos con mayor detalle.

El Ciclo de Vida contemplado en la Guía se muestra en la siguiente figura.



Figura 7.4: Ciclo de Vida de una Instalación

Es importante destacar que, si bien se recomienda una técnica para cada etapa del Ciclo de Vida, hay que tener en cuenta que en la elección de la metodología más apropiada pueden influir, como se mencionó anteriormente, otros factores. Es por esta razón que en la tabla 7.3 se presentan algunas técnicas de Análisis de Peligros alternativas a la recomendada.



Técnicas recomendadas según la etapa del Ciclo de Vida					
Ciclo de vida	Documentación disponible	Necesidad de Seguridad de Procesos	Técnicas recomendada	Técnica alternativa ⁵	Técnica Complementaria Recomendada
Investigación y desarrollo, sólo para costos	Poca información disponible. Leyes relacionadas con seguridad y medio ambiente a las cuales haya que ajustarse.	Se aconseja hacer una visualización general de los peligros.	Dada la poca información se recomienda hacer una visualización general de los peligros mediante Check list, basados en las leyes, reglamentaciones y estándares relacionados con la seguridad y el medio ambiente.	Si en esta etapa existe más información disponible se podría utilizar la técnica What If...? para riesgos generales	-
Ingeniería Conceptual	Lay Out preliminar, materiales a procesar y/o almacenar. Diagrama de flujo conceptual. Bases de diseños. Información sobre las sustancias a procesar	Detectar como primera visión los accidentes graves y grandes riesgos. Detectar ventajas y desventajas de la ubicación de la instalación. Detectar los peligros relacionados con los edificios previstos dentro de la planta. Listar los peligros más relevantes desde el punto de vista de procesos. Analizar en forma preliminar la disposición de equipos. Establecer los criterios más detallados sobre	HAZID	-	EAC (Básico)

⁵ Las alternativas a las técnicas recomendadas, deben ser evaluadas por el analista del riesgos que liderará las sesiones, quien evaluará particularmente el proceso, la información disponible y las necesidades de seguridad de las compañías, el tipo de operación y la complejidad del proceso.



Técnicas recomendadas según la etapa del Ciclo de Vida					
Ciclo de vida	Documentación disponible	Necesidad de Seguridad de Procesos	Técnicas recomendada	Técnica alternativa ⁵	Técnica Complementaria Recomendada
		la filosofía de operación, control y seguridad. Listar las recomendaciones a tener en cuenta durante la ingeniería básica.			
Ingeniería Básica	Diagramas de instrumentación y cañerías (P&ID). Memorias descriptivas del proceso y servicios auxiliares. Balance de Materias y Energía. Sistemas de alivio. Sistemas de Shut Down. Red de Incendio. Sistema de F&G. Matriz Causa – Efecto. Especificaciones sobre el equipo.	Detallar los peligros y valorar los riesgos para establecer las medidas de reducción. Focalizando en los peligros del proceso con más detalle que en la etapa anterior no se tuvieron en cuenta. Evaluar los peligros, definir alcances de vulnerabilidad de los accidentes. Verificar la implementación de las recomendaciones hechas en la etapa de ingeniería conceptual. Valoración del Riesgo. Estimación de los alcances de los efectos físicos de los accidentes. Verificar la confiabilidad de las Funciones	HAZOP SIL (Gráfico de Riesgos) (LOPA)	Alternativas al Hazop: <ul style="list-style-type: none"> • What if? (<i>por ejemplo si es un proceso simple, de bajo riesgo, definido por etapas, o en donde el Hazop no pueda aplicarse</i>) • FMEA (<i>si se trata de equipos o sistemas mecánicos o eléctricos</i>). 	EAC ACR/ ER



Técnicas recomendadas según la etapa del Ciclo de Vida					
Ciclo de vida	Documentación disponible	Necesidad de Seguridad de Procesos	Técnicas recomendada	Técnica alternativa ⁵	Técnica Complementaria Recomendada
		Instrumentadas de Seguridad (Nivel SIL).			
Ingeniería de Detalle	Diagramas de instrumentación y cañerías (P&ID)-definitivos. Memorias descriptivas del proceso y servicios auxiliares. Matriz Causa – Efecto. Definitiva. Especificaciones completas de los equipos. Lay Out definitivo, planos de cortes, isométricos. Detalle de Sistemas de Alivio. Detalle de instrumentación. Manual de Puesta en Marcha. Manual de Operaciones. Manual de Mantenimiento.	Revisar si se han se llevado a cabo las recomendaciones para prevenir o mitigar los peligros. Identificar nuevos peligros contemplando modificaciones que pudieran existir en el proceso, en comparación con la etapa anterior. Revisión de la valoración del Riesgo. Revisión de los alcances de los efectos físicos de los accidentes. Verificar la confiabilidad de las Funciones Instrumentadas de Seguridad (Nivel SIL).	HAZOP (Revisión) SIL (Gráfico de Riesgos, LOPA)	Alternativas al Hazop: <ul style="list-style-type: none"> • What if? (<i>por ejemplos si es un proceso simple, de bajo riesgo, definido por etapas, o en donde el Hazop no pueda aplicarse</i>). • FMEA (<i>si se trata de sistemas mecánicos o eléctricos</i>). 	EAC ACR/ ER (Revisión)
Construcción y puesta en marcha	La documentación es básicamente la misma que las emisiones finales de la ingeniería de detalles.	En esta etapa todos los peligros han sido identificados y evaluados. Se han llevado a cabo las recomendaciones necesarias para reducir el riesgo a niveles aceptables.	Check List. Si bien en esta etapa existen actividades relacionadas con la seguridad, no es práctica habitual realizar estudios de Análisis de Peligros como en etapas anteriores, pero pueden chequearse distintos aspectos de la seguridad	-	-



Técnicas recomendadas según la etapa del Ciclo de Vida					
Ciclo de vida	Documentación disponible	Necesidad de Seguridad de Procesos	Técnicas recomendada	Técnica alternativa ⁵	Técnica Complementaria Recomendada
			mediante listas de verificación.		
Operación	Manuales operativos. Manuales de Mantenimiento. Planes de Emergencia. Documentación de ingeniería relacionada con modificaciones.	Revalidación de estudios periódicos para garantizar una operación segura. Identificar y evaluar los peligros y el riesgo en modificaciones. Planes de emergencia específicos.	HAZOP	Alternativas al Hazop: <ul style="list-style-type: none"> • What if? (<i>por ejemplo si es un proceso simple, de bajo riesgo, definido por etapas, o en donde el Hazop no pueda aplicarse</i>). • FMEA (<i>si se trata de equipos o sistemas mecánicos y/o eléctricos</i>). 	EAC ACR/ ER Bow tie
Desmantelamiento /abandono	Información sobre pasivos ambientales del proceso. Residuos y los posibles impactos en el entorno de la instalación.	Las necesidades de seguridad se relacionan con la actividad de desmantelamiento.	HAZID/What if...? El analista de riesgos deberá definir la técnica más apropiada para dichas actividades	Check List	-

Tabla 7.3: Técnicas recomendadas según la etapa del Ciclo de Vida

Durante la operación normal de la planta puede surgir la necesidad de realizar un estudio de peligros y riesgos por diferentes motivos: modificaciones en la planta, para ajustarse a un nuevo Sistema de Gestión del Riesgo o por recomendaciones de las compañías aseguradoras.

Por otro lado, las distintas técnicas analizadas en la Guía se refieren exclusivamente a analizar la Seguridad de Procesos. Es importante destacar que algunas de estas técnicas pueden aplicarse en la identificación y evaluación de peligros de actividades y operaciones manuales.



En estos casos el Analista de Riesgos debe evaluar la mejor metodología a aplicar, teniendo en cuenta los siguientes puntos básicos.

- Las necesidades de seguridad que se requieren.
- La información disponible.
- Las características del proceso y operación a analizar.
- La percepción del riesgo que se tiene del proceso o actividad a analizar.
- Las ventajas y desventajas de las distintas técnicas.

A continuación se incluye una tabla, basada en la experiencia práctica, de la(s) técnica(s) más recomendada(s) por tipo de actividad/instalación, para el sector Downstream.

	HAZID	CHECK LIST	WHAT IF	HAZOP	FMEA
Proyecto/ Instalación: Entorno/ Aspectos medio ambientales/ Terceros (antrópicos)/etc.	X				
Almacenamiento		X	X		
Operaciones carga/descarga		X	X		
Unidades de proceso				X	
Ductos de transporte	X		X	X	
Equipos/componentes					X

Tabla 7.4: Técnicas recomendadas según el tipo de actividad/ instalación

7.12 GESTIÓN DEL CAMBIO

Durante la “Operación Normal” o en otras etapas del Ciclo de Vida, cuando se introducen modificaciones en los procesos se debe revisar el estudio PHA realizado e identificar los posibles peligros que se deriven de las modificaciones. Si resultara difícil esta evaluación, debe realizarse un estudio nuevo contemplando los efectos del cambio.

Es importante definir previamente si se realizará un análisis de las partes del proceso que se han modificado o del proceso completo. Por lo general se realiza un análisis solo de los cambios y,



llegado el momento de la revalidación del estudio PHA, se consideran los estudios PHA realizados durante los cambios.

En caso que las modificaciones del proceso no introduzcan nuevos peligros, no es necesario realizar un estudio nuevo.

El Analista de Riesgos debe evaluar la mejor metodología a aplicar, teniendo en cuenta los siguientes puntos listados en el apartado anterior.

7.13 REVALIDACIÓN DE ESTUDIOS PHA

La revalidación de los estudios PHA y los estudios complementarios generalmente se realiza cada 5 años, dependiendo de los sistemas de gestión y políticas de cada Compañía.

La revalidación permite asegurar, básicamente:

- La implementación de las acciones recomendadas en los estudios anteriores.
- La actualización de la documentación referente al proceso.
- La actualización de los procedimientos operativos.
- La adaptación del proceso a nuevos requerimientos de seguridad internos o externos a las compañías.
- Una evaluación de los problemas operativos recientes.

7.14 COMPLEMENTO DE LOS ESTUDIOS PHA

En la tabla 7.5 se han incluido una serie de estudios complementarios a los estudios PHA. Muchos de estos estudios requieren información detallada para poder llevarse a cabo, pero la información de base es la identificación y evaluación de los peligros.

En el capítulo 9 y anexos de esta Guía se detallan las metodologías de los estudios complementarios. Ello no obstante, en la tabla siguiente se muestra la relación entre las metodologías complementarias y los estudios PHA.

Estudio Complementario	Relación con el estudio PHA
EAC	El EAC requiere de un listado de escenarios accidentales hipotéticos los cuales se obtienen, básicamente, del estudio PHA (HAZOP, What if...? y/o HAZID).
ACR	El ACR requiere de un listado de escenarios accidentales hipotéticos que se obtienen, básicamente, del estudio PHA (HAZOP o What if...?).
Estudio SIL	Se basa en una valoración cualitativa del riesgo de los escenarios identificados en el estudio PHA (HAZOP o What if...?).



Estudio Complementario	Relación con el estudio PHA
	Los escenarios considerados son solo los que desencadenan la acción de una Función Instrumentada de Seguridad.
LOPA	Se basa en una valoración semicuantitativa del riesgo considerando los escenarios identificados en el estudio PHA (HAZOP o What if...?). Los escenarios considerados son solo los que desencadenan la acción de una o más capas de protección independientes (IPL) y/o de una Función Instrumentada de Seguridad.
Bowtie	Este estudio evalúa las barreras o salvaguardas que existen para cada escenario peligroso. Estos escenarios se extraen de los estudios PHA (HAZID o HAZOP).

Tabla 7.5: Relación entre estudios PHA y estudios complementarios

8. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

En los estudios PHA durante el proceso de valoración del riesgo, normalmente se utiliza una Matriz de Riesgo (ver apartado 7.9 y Anexo VI) con la cual se obtiene un “índice de riesgo” para determinar, a grandes rasgos, si el mismo es alto, medio o bajo.

Esta manera de valorar el riesgo es cualitativa o semicuantitativa, teniendo para ello que recurrir al juicio de experto. Para algunos requerimientos de seguridad de una instalación, se necesitan otra metodología que permita:

- Evaluar la necesidad de reducir el riesgo según el criterio ALARP.
- Implementar sistemas de seguridad con una confiabilidad necesaria.
- Planificar una emergencia.

A continuación se describen las metodologías utilizadas en un análisis de riesgos que complementan a los PHA.

Estudio de Alcance de Consecuencias (EAC)

Un EAC es una estimación de las consecuencias de los posibles accidentes en instalaciones que procesan sustancias peligrosas que, bien por sí mismas o por sus condiciones de proceso, pueden causar daños a las personas, al medio ambiente y a la Propiedad.

Su objeto es tener una base con la que establecer zonas de planificación en emergencias y zonas de posible efecto dominó.

Por lo que respecta a la afectación ambiental por derrames, no es habitual su estudio en un EAC. Este tipo de accidente, normalmente se analiza y evalúa en un Estudio de Riesgo (ER).

En el Capítulo 9 se explica en detalle la metodología para realizar un EAC.



Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR)

Un ACR es una estimación del riesgo de una actividad o de una planta industrial.

Estos estudios suponen el análisis conjunto de una serie de hipótesis accidentales que pueden acaecer en una planta y el riesgo se estima considerando todos los escenarios accidentales supuestos. Para ello, se determinan la frecuencia de ocurrencia de las hipótesis accidentales y se estiman las consecuencias letales para las personas, mediante la simulación de los accidentes.

En el Anexo V se explica la metodología para realizar un ACR.

Estudio SIL

La confiabilidad de los SIS está relacionada con los Niveles de Integridad de Seguridad (SIL); dichos niveles se determinan utilizando la técnica LOPA o mediante otras técnicas cualitativas como es el caso del Gráficos de Riesgos Calibrados.

La metodología LOPA permite determinar la reducción del riesgo necesaria para un escenario peligroso determinado. Este tipo de análisis apunta a una reducción del riesgo mediante sistemas de seguridad más confiables, tales como los Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS).

En el Anexo III se explica la metodología para realizar un Estudio SIL.

Análisis LOPA

LOPA (*Layer of Protection Analysis*) es un método de análisis de riesgo semicuantitativo que se aplica a partir de un análisis de riesgo cualitativo, con el propósito de estimar los riesgos asociados con un acontecimiento indeseado (de forma un poco más precisa). Este método analiza si existen suficientes salvaguardas, es decir medidas para controlar y/o mitigar el riesgo.

El análisis LOPA parte de un análisis PHA y estudia cada uno de los escenarios identificados en los que hay definida alguna lógica de seguridad que sea una potencial SIF, documentando la causa inicial y las capas de protección que previenen o mitigan los mismos. Se selecciona una pareja causa-consecuencia (escenario accidental) y se identifican las capas de protección independientes que previenen la evolución de dicha causa a la consecuencia indeseada.

Mediante esta técnica se determina si las protecciones son adecuadas para reducir el riesgo a un nivel de riesgo tolerable/ aceptable y si se precisa de reducción de riesgo adicional.

En el Anexo IV se explica la metodología para realizar un Análisis LOPA.



9. ESTUDIO DE ALCANCE DE CONSECUENCIAS

El EAC es una estimación de consecuencias de posibles accidentes en instalaciones que procesan sustancias peligrosas que, bien por sí mismas o por sus condiciones de proceso, pueden causar daños a las personas, al medio ambiente y a la Propiedad.

El objetivo principal del estudio EAC es estimar los alcances de dichas consecuencias, mediante la aplicación de modelos de cálculo, para establecer zonas que permitan la planificación de las emergencias, así como el alcance de los daños en equipos, edificios y estructuras y constituye una base para la toma de decisiones sobre disposición de equipos, diseño de edificios y/o ignifugado de estructuras.

A continuación se listan los pasos para el desarrollo de un estudio EAC:

1. Identificación de los peligros, lista de hipótesis accidentales.
2. Análisis de consecuencias:
 - a. Aplicación de modelos de simulación, de reconocido prestigio internacional, para la determinación de:
 - Efectos de radiación térmica.
 - Efectos por sobrepresión e impulso mecánico debido a explosiones.
 - Dispersiones de nubes inflamables y tóxicas.
 - Derrames. Afectación ambiental.
 - b. Análisis Efecto Dominó.

Por lo que respecta a la afectación ambiental por derrames, no es habitual su estudio en un EAC. Este tipo de accidente, normalmente se analiza y evalúa en un Estudio de Riesgo (ER). Es por ello que este tipo de accidente no se analiza en este apartado si no en el Anexo VI, Estudio de Riesgo, de esta Guía.

9.1 HIPÓTESIS ACCIDENTALES

Los accidentes hipotéticos que se simulan en un EAC se basan principalmente en los PHA, en los accidentes acontecidos en instalaciones similares y en los incidentes o cuasi-accidentes ocurridos en las propias instalaciones.

Una hipótesis accidental se postula a partir de a un suceso iniciador, normalmente una pérdida de contención y una posterior evolución secuencial hacia distintos escenarios accidentales finales. Por ejemplo, una fuga de gas puede resultar en un dardo de fuego (*Jet Fire*) o en una dispersión de nube inflamable con la posible generación de llamarada (*Flash Fire*).



Las hipótesis deben contemplar los siguientes tipos de sucesos iniciadores de accidente:

- Iniciadores de accidente genéricos: Consisten en postular una pérdida de inventario, total o parcial, en equipos (recipientes / tuberías, etc.) y en diferentes lugares (fase líquida, fase gas). Estos iniciadores se pueden considerar como un “genérico” y son debidos a causas “estándar”, es decir, que se pueden, en principio, aplicar a cualquier equipo, de cualquier instalación. Dentro de las causas “aleatorias” se englobarían: fallo en el diseño, fallo del material, etc.
- Iniciadores de accidente específicos: También consisten en una pérdida de inventario, pero se caracterizan por ser muy específicos de la instalación como, por ejemplo, los fallos operacionales (sobrellenados de tanques, reacción fuera de control “runaway”, relacionados con determinados procedimientos operativos específicos de riesgos, algunos riesgos atípicos de determinadas sustancias, etc.).

Se deben plantear, como mínimo, iniciadores de accidente genéricos para todas las sustancias peligrosas, pudiéndose descartar, de forma argumentada, aquellas que por su estado, cantidad, situación o tipo de clasificación no puedan ocasionar a un accidente grave.

En general deben plantearse hipótesis accidentales en los siguientes equipos:

- Para equipos en condiciones energéticas y/o mecánicas extremas (altas temperaturas y/o presiones): cámaras de coque, reactores, compresores, intercambiadores, columnas, reboilers, etc.
- Equipos sometidos a operaciones frecuentes y, por tanto, con mucho desgaste, como por ejemplo: mangueras, brazos de carga/ descarga, conexiones de instrumentación y purga, bombas, hornos, calderas, almacenamiento con movimiento de recipientes unitarios, etc.
- Equipos con grandes inventarios de sustancias peligrosas: tanques de almacenamiento, columnas y depósitos de proceso, camiones cisterna, etc.

No es necesario estimar las consecuencias de todas las pérdidas de contención creíbles en una instalación debido a iniciadores genéricos, sino que éstas pueden restringirse a las más representativas de la instalación o actividad en estudio. Así, si existen varios depósitos, columnas, etc., con la misma sustancia peligrosa o semejante y que operan en condiciones de presión y temperatura parecidas, en un EAC sólo es necesario el cálculo para la más representativa de la instalación.

Por lo que respecta a los iniciadores específicos:

- Fallos de instrumentos del Sistema Básico de Control de Procesos (BPCS).



- Fallos espurios de válvulas de corte o sistemas de alivio.
- Fallo o corte de suministro (agua de refrigeración, aire de instrumentos, eléctrico, nitrógeno para inertización, vapor, etc.).
- Formulaciones erróneas o errores humanos.

9.2 EVOLUCIÓN DE SUCESO INICIADOR

La secuencia posterior a una fuga se analiza mediante la técnica de árboles de eventos.

El árbol de eventos, o análisis de secuencia de sucesos, es un método inductivo que describe de forma cualitativa y cuantitativa la evolución de un iniciador hasta los accidentes finales, en función de las características del iniciador, del entorno y de los sistemas de protección.

Partiendo del iniciador y considerando los factores condicionantes involucrados, el árbol describe las secuencias que conducen a los posibles accidentes finales. La construcción y evaluación del árbol comienza por la identificación de los factores condicionantes y sus probabilidades de ocurrencia (éxito/fallo) de cada uno de ellos. A continuación se colocan cada uno de los **N** factores condicionantes identificados como "cabecera" y partiendo del iniciador se plantea sistemáticamente para cada uno de ellos dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del suceso.

Se obtienen así **2N** combinaciones o secuencias. Sin embargo, las dependencias entre los sucesos hacen que la ocurrencia o éxito de uno de ellos pueda eliminar la posibilidad de otros reduciéndose así el número total de secuencias.

La disposición horizontal de las "cabeceras" se suele hacer por orden cronológico de evolución del accidente, criterio de difícil aplicación en algunos casos.

El árbol de sucesos representado a continuación ilustra su construcción y evaluación:

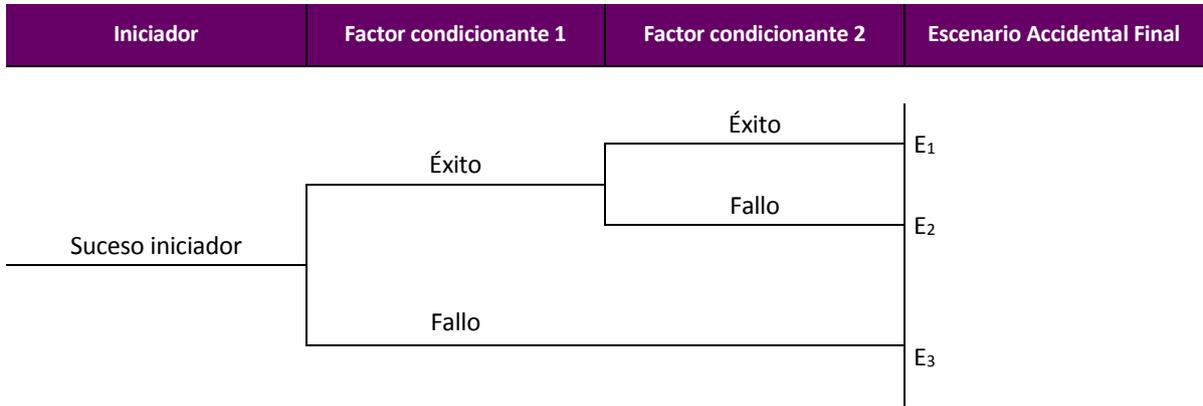


Figura 9.1: Árbol de eventos

Se deben evaluar tantos árboles de eventos como hipótesis accidentales se hayan planteado, a menos que, a través de una agrupación lógica de las mismas, se pueda representar una evolución de sucesos iniciadores semejantes a través de un mismo árbol. En todo caso, debe justificarse debidamente esta clasificación.

Con la elaboración de los árboles de sucesos se obtiene la lista de los Accidentes Finales más característicos del proceso, instalación o actividad.

Con los árboles de eventos se calcula la frecuencia de ocurrencia de los Accidentes Finales. Para ello se asigna al suceso iniciador una frecuencia de ocurrencia, obtenida de fuente bibliográfica o mediante un Árbol de Fallas, y una probabilidad a cada uno de los factores que condicionan la evolución.

Dado que, normalmente, en un EAC no se asigna frecuencia a los Accidentes Finales, con el árbol de eventos se analiza de forma cualitativa la evolución del suceso iniciador y se determinan los Accidentes Finales que puede provocar el mismo.



Ejemplo 1: Árbol de Eventos de una fuga continua de gas tóxico y/o inflamable⁶

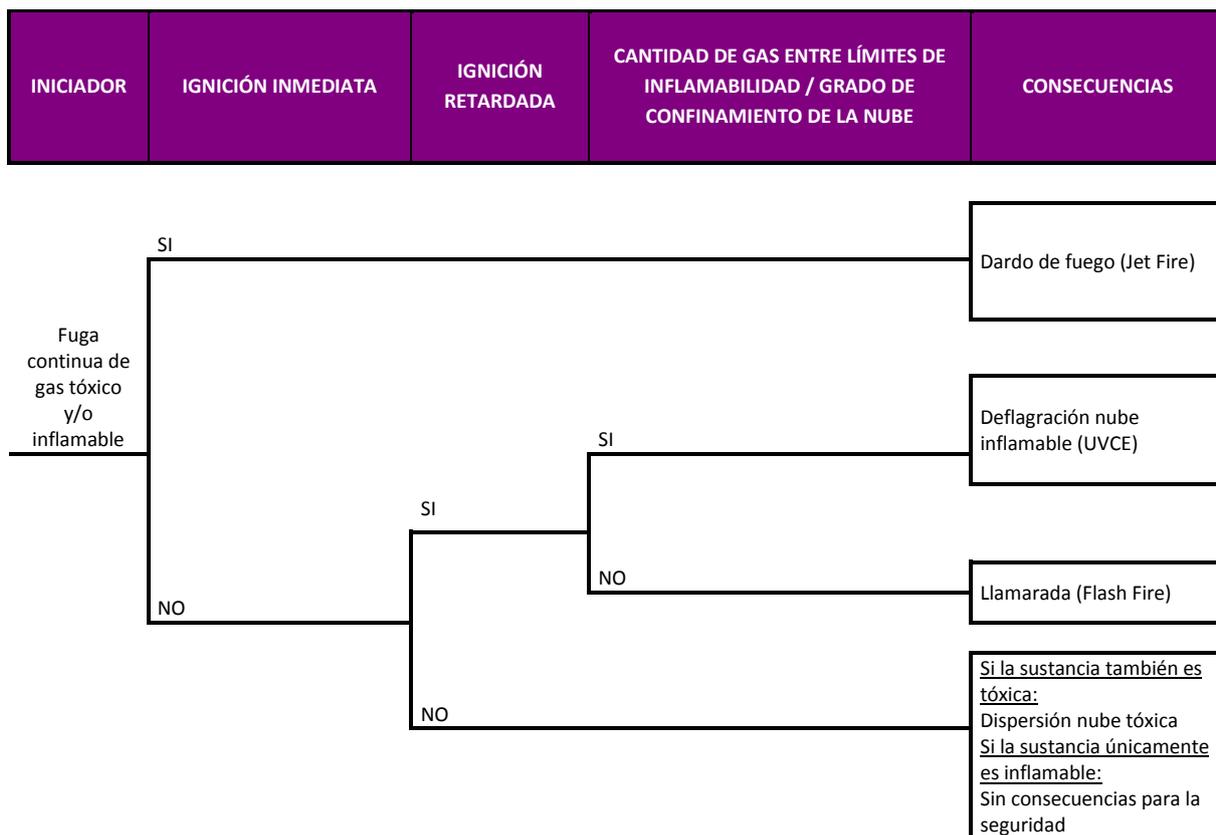


Figura 9.2: Ejemplo 1 de árbol de eventos

⁶ Aplicable también a la evolución de una fuga continua de un gas licuado tóxico y/o inflamable (CON FLASH TOTAL).



Ejemplo 2: Árbol de Eventos de un derrame de líquido inflamable y/o tóxico

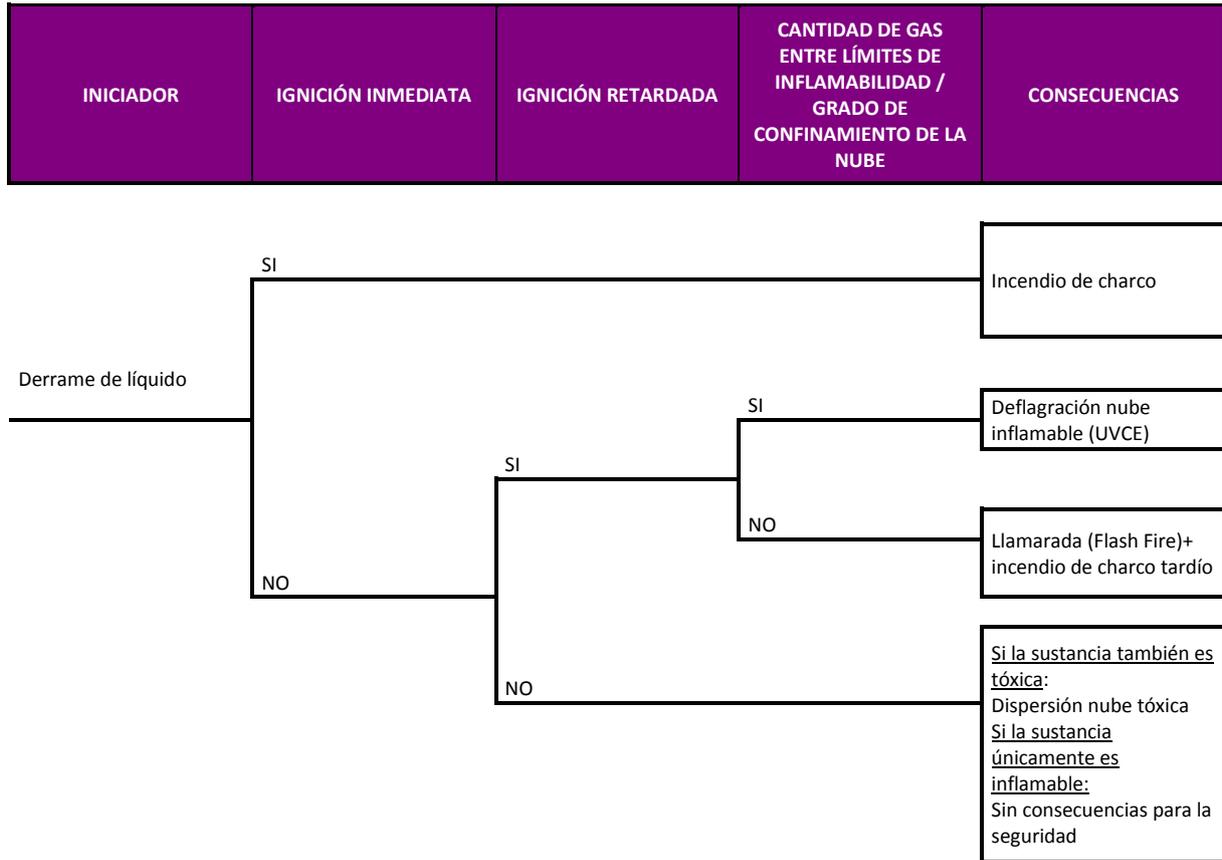


Figura 9.3: Ejemplo 2 de árbol de eventos

9.3 ESCENARIOS ACCIDENTALES FINALES

A continuación se listan los escenarios accidentales finales por tipo de efecto físico:

Escenarios accidentales finales que derivan en una radiación térmica:

- Incendio de Charco (Pool Fire).
- Dardo de Fuego (Jet Fire).
- Llamarada (Flash fire).
- Bola de Fuego (Fire Ball).

Escenarios accidentales finales que derivan en un efecto mecánico:

- Explosión de recipientes a presión (Estallido).



- Explosión de nube de vapor no confinada (UVCE).
- Explosión por reacción fuera de control.
- Explosión por partículas de polvo en el aire.
- Explosiones de nubes confinadas (CVCE).

Escenarios accidentales finales que derivan en daños relacionados con la concentración de gas y/o vapor en el ambiente por una pérdida de contención:

- Dispersión de nube tóxica (Por fuga de gas a alta presión, evaporación de charcos, etc.).
- Dispersión de nube inflamable (Por fuga de gas a alta presión, evaporación de charcos, etc.).
- Derrame y afectación ambiental.

9.4 ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS

Para estimar las consecuencias de los escenarios accidentales finales, en primer lugar hay que calcular la cantidad de producto fugado y los alcances, para determinados umbrales de daño, de radiación térmica, sobrepresión, impulso y concentración de nube inflamable y/o tóxica, según los escenarios accidentales finales que surjan del árbol de eventos.

El análisis de consecuencias se basa en la estimación de los valores que pueden alcanzar, espacial y temporalmente, las variables representativas de los efectos físicos (térmicos⁷, químicos⁸ y/o mecánicos⁹), derivados de los accidentes finales descritos anteriormente, aplicando para ello modelos de cálculo adecuados.

Incendios

El efecto físico asociado a los incendios es la radiación térmica, por lo que calcular los alcances de un incendio es determinar el alcance de este efecto en función de la distancia.

⁷ Dosis de radiación térmica generada por la oxidación rápida, no explosiva de sustancias combustibles, produciendo llama, que puede ser estacionaria (incendio de charco (Pool Fire), dardo de fuego (Jet Fire)) o progresiva (llamarada (Flash Fire), bola de fuego (BLEVE)).

⁸ Concentración de tóxico o dosis recibida por la nube tóxica provocada por la fuga o vertido incontrolado de sustancias peligrosas.

⁹ Sobrepresión local estática de la onda de presión y valor local integrado del impulso, generados por una explosión física o química.



Explosiones

El efecto físico asociado con las explosiones es la sobrepresión y el impulso mecánico, por lo que calcular el alcance de una explosión, es determinar el alcance de de estos dos efectos en función de la distancia.

Dispersión de nube inflamable y/o tóxica

El efecto asociado con las dispersiones es la concentración en el aire tal que genere mezcla explosiva y/o concentraciones tóxicas para las personas o dañinas para el medio ambiente. Por lo tanto, calcular el alcance de una dispersión de gas supone determinar el alcance de las concentración del LEL (límite inferior de inflamabilidad) y el alcance de las concentraciones tóxicas para las personas, ambos valores en función de la distancia al punto de fuga.

Es evidente que las consecuencias dependen de factores relacionados con las propiedades de las sustancias, las condiciones de procesamiento y/o almacenamiento y, además, del entorno en el que se produce la pérdida de contención o fuga de producto. Dichos factores se listan a continuación:

- Propiedades fisicoquímicas y toxicológicas de las sustancias involucradas:
 - Presión de vapor.
 - Temperatura de ebullición.
 - Inflamabilidad (LEL, UEL, Flash point).
 - Toxicidad.
 - Reactividad.
 - Densidad.
 - Descomposición en productos peligrosos.
 - Capacidad de asociación con vapor agua.
- Condiciones de Almacenamiento u operación:
 - Inventario de producto.
 - Temperatura.
 - Presión.
 - Concentración.
 - Estado (sólido, líquido y gaseoso).
- Conocimiento de las instalaciones y de su entorno:



- Tipo de pavimento, drenajes, pendientes.
- Sistema de contención de derrames.
- Orografía.
- Instalaciones vecinas / Efecto Dominó.
- Puntos vulnerables relevantes.
- Presencia de puntos de ignición.
- Meteorología:
 - Temperatura media.
 - Humedad relativa media.
 - Distribución de la velocidad/ dirección del viento.
 - Categoría de estabilidad atmosférica de Pasquill¹⁰.
- Salvaguardas tecnológicas de prevención y mitigación:
 - Sistemas de detección de gases, llama o temperatura.
 - Ubicación de válvulas de corte.
 - Sistemas de absorción.
 - Cortinas de agua.
 - Sistemas contra incendios
 - Sistemas de actuación manual/automática. Tiempos de respuesta.

Modelos de cálculo

Los cálculos se realizan con modelos de simulación complejos que consideran los factores listados anteriormente. Estos modelos están incorporados en distintas herramientas informáticas (*software*) cada una de ellas con sus particularidades.

A continuación se citan algunos ejemplos de estas herramientas informáticas o programas de cálculo:

¹⁰ Variable establecida para caracterizar la capacidad que la atmósfera tiene para dispersar un contaminante; representa el grado de turbulencia existente en un momento determinado.



Nombre	Características	Origen
EFFECTS	Evaluación de las consecuencias derivadas de un escape de fluido (flujo, evaporación, dispersión, explosión, incendio)	TNO
PHAST	Evaluación de las consecuencias derivadas de un escape de fluido (caudal, evaporación, dispersión, explosión, incendio)	DNV
HEGADAS	Cálculo de la dispersión atmosférica de escapes de gases pesados	SHELL
ALOHA	Evaluación de las consecuencias derivadas de un escape de fluido (flujo, evaporación, dispersión, explosión, incendio)	EPA
DEGADIS	Cálculo de la dispersión atmosférica de escapes de gases pesados	EPA

Tabla 9.1: Modelos de cálculo de consecuencias

Los modelos y aplicaciones informáticas enumeradas sólo se incluyen en este documento a título informativo y no forman un conjunto exhaustivo. Existen en el mercado otras aplicaciones igualmente válidas para los propósitos de un análisis de riesgos.

Independientemente del modelo de cálculo utilizado para la estimación de los efectos físicos, en el estudio debe quedar suficientemente especificado el código y la versión utilizada.

Con la mayoría de los modelos de simulación de efectos de accidentes se puede calcular los umbrales que definen las zonas de planificación y las zonas letales (tanto para los efectos térmicos como los mecánico o tóxicos) de los accidentes; asumiendo siempre criterios de partida debido a las limitaciones de estos programas.

En la tabla siguiente se facilita una orientación de los cálculos que deben realizarse para cada escenario accidental final típico.



Escenario accidental final	Descripción	Cálculo de consecuencias
Pool Fire	Cálculo de incendio de charco rectangular o circular	Cálculo de cantidad fugada y dimensiones del charco. Ver criterios de cálculo. Obtener las distancias de daño correspondientes a los valores de radiación térmica. Ver tabla 9.4.
Jet Fire	Cálculo del dardo de fuego	Cálculo de caudal de fuga. Ver criterios de cálculo. Obtener las dimensiones del dardo y las distancias de daño correspondientes a los valores de radiación térmica. Ver tabla 9.4.
Dispersión de nube inflamable	Cálculo de dispersión de la nube inflamable según corresponda para una fuga desde un chorro a alta velocidad o dispersión pasiva.	Cálculo de caudal de gas disperso en el aire. Obtener las distancias para las cuales las concentraciones de gas son equivalentes al UEL, LEL y al 50% LEL y la cantidad de gas entre límites de inflamabilidad.
Dispersión nube tóxica	Cálculo de dispersión de la nube tóxica según corresponda para una fuga desde un chorro a alta velocidad o dispersión pasiva.	Cálculo de caudal de gas disperso en el aire. Obtener las distancias de daño, según su toxicidad. Ver tabla 9.7.
Flash Fire	Con el cálculo de la dispersión de la nube inflamable se obtuvo el LEL. Dentro del mismo se producirá la llamarada en el momento de la ignición	No hay cálculo de consecuencia adicional. Se estima la letalidad LC100 dentro de la zona de LEL.
UVCE/CVCE	Con el cálculo de la dispersión de la nube inflamable se obtuvo la cantidad de gas entre límites de inflamabilidad en el momento de la ignición. Se deben calcular los alcances de una explosión de nube inflamable, confinada o no.	Obtener las distancias de daño correspondientes a los valores de sobrepresión e impulso. Ver tablas 9.5 y 9.6.
Explosión de recipiente	Considerar la explosión del recipiente por: sobrellenado, explosión interna, reacción fuera de control, aumento de temperatura y/o de presión.	Obtener las distancias de daño correspondientes a los valores de sobrepresión e impulso. Ver tablas 9.5 y 9.6.
Incendio de tanque	Cálculo de un Pool Fire circular de diámetro equivalente al diámetro del tanque	Obtener las distancias de daño correspondientes a los valores de radiación térmica. Ver tabla 9.4.
BLEVE	Cálculo de la radiación térmica por FIRE ball	Obtener las distancias de daño correspondientes a los valores de radiación térmica. Ver tabla 9.4.
	Cálculo de la sobrepresión e impulso de la onda explosiva.	Obtener las distancias de daño correspondientes a los valores de sobrepresión. Ver tablas 9.5 y 9.6.

Tabla 9.2: Cálculo de escenarios típicos



9.5 ZONAS DE PLANIFICACIÓN

Se entiende por zona de planificación el área alrededor del foco del accidente en la que es preciso tomar alguna medida de protección para las personas, el medio ambiente y/o la Propiedad, que en alguna medida sufrirán las consecuencias del propio accidente.

Se definen dos zonas de planificación:

- **Zona de Intervención:** es aquella en la que las consecuencias de los accidentes producen un nivel de daños que justifica la aplicación inmediata de medidas de protección.
- **Zona de Alerta:** es aquella en la que las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, aunque perceptibles por la población, no justifican la intervención, excepto para los grupos críticos de población.

Las zonas potencialmente afectadas por los efectos físicos que se derivan de los accidentes finales se determinan en base a las distancias correspondientes a unos determinados valores umbral, tal y como se indica en los siguientes apartados.

Los denominados “valores umbral” son aquellos niveles de los efectos que ocasionan el daño (radiación térmica, sobrepresión, impulso, concentración tóxica).

Las variables asociadas a los efectos físicos que generan daño sobre las personas y equipos o instalaciones son los indicados en la siguiente tabla:

Escenario	Efecto	Unidades
Dardo de fuego (Jet Fire)	Radiación térmica	kW/m ²
Llamarada (Flash Fire)	Radiación térmica	kW/m ²
Incendio de charco (Pool Fire)	Radiación térmica	kW/m ²
Explosión confinada en equipo	Sobrepresión	mbar ó KPa
	Impulso mecánico	mbar.s ó KPa.s
Explosión no confinada (UVCE)	Sobrepresión	mbar ó KPa
	Impulso mecánico	mbar.s ó KPa.s
Dispersión tóxica	Concentración	ppm ó mg/m ³

Tabla 9.3: Variables asociadas a los efectos físicos



A continuación se incluyen unas tablas en las que se dan los valores umbrales correspondientes a la legislación española¹¹. Para más información acerca de valores umbral para la determinación de zonas de planificación en otros países, consúltese la legislación que se indica:

- FRANCIA: JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE; MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE: Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.
- ITALIA: PIANIFICAZIONE DELL'EMERGENZA ESTERNA DEGLI STABILIMENTI INDUSTRIALI A RISCHIO D'INCIDENTE RILEVANTE -D.P.C.M. 25 febbraio 2005 (S.O. n.40 alla G.U. n.62 del 16 marzo 2005).
- ALEMANIA: VDI 3783 Blatt 4, Oktober 2004; Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Störfall-Verordnung – 12. BImSchV, vom 8. Juni 2005.
- REINO UNIDO: www.hse.gov.uk/hid/haztox.htm: "Assesment of the Dangerous Toxic Load (DTL) for Specified Level of Toxicity (SLOT) and Significant Likelihood of Dead (SLOD)".

Valores umbral para los efectos de tipo térmico

Los valores umbral son los indicados en la siguiente tabla:

Zona de planificación	Radiación térmica (kW/m ²)	Efecto
Zona de Intervención	5	Con una exposición de 15 a 20 segundos, causará dolor y con exposición mayor a 30 segundos causará daños.
Zona de Alerta	2	Mínimo para causar dolor tras 1 minuto de exposición.

Tabla 9.4: Valores umbral para los efectos de tipo térmico¹²

Valores umbral para las dispersiones de sustancias peligrosas inflamables (llamada)

Para las dispersiones de sustancias inflamables se determina el alcance de la concentración correspondiente al límite inferior de inflamabilidad (LEL) para definir la Zona de Intervención. Normalmente no se calcula la Zona de Alerta para este suceso, si bien en ocasiones se determina esta zona con el umbral del 50 % del LEL.

El primer umbral (LEL) corresponde a la zona en la cual, de producirse la ignición, existirían efectos directos por radiación térmica.

¹¹ Fuente: Real Decreto 1196/2003 por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas., España

¹² Fuente: Report No. 434 – 14, Vulnerability of humans, International Association of Oil & Gas Producers (OGP).



El segundo umbral (50% LEL) es utilizado para activar la señal de alarma en caso de fuga inflamable, por lo tanto, este umbral se puede identificar con el concepto de Zona de Alerta.

Valores umbral para los efectos de tipo mecánico

Los valores umbral son los indicados en la siguiente tabla:

Zona de planificación	Sobrepresión (mbar)	Efectos
Zona de Intervención	125	Colapso parcial de paredes y techos de las casas.
Zona de Alerta	50	Límite de daños a puertas, revestimientos y personas.

Tabla 9.5: Valores umbral para los efectos de sobrepresión¹³

Zona de planificación	Impulso (mbar.s)	Efectos
Zona de Intervención	150	Colapso parcial de paredes y techos de las casas.
Zona de Alerta	100	Límite de daños a puertas, revestimientos y personas.

Tabla 9.6: Valores umbral para los efectos de impulso mecánico¹⁴

Valores umbral para los efectos de tipo químico

Para la definición de las Zonas de Intervención y Alerta es habitual utilizar en este tipo de estudios los índices AEGL (Acute Exposure Guideline Levels) propuestos inicialmente por la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos de América. Si la sustancia no tiene definido el índice anterior se utilizarán los denominados ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) publicados por la Asociación de Higiene Industrial Americana, y/o los TEEL (Temporary Emergency Exposure Limits) desarrollados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Aun así antes de utilizar estos umbrales el analista debe de cerciorarse de que estos son los indicados por la legislación, del país en el que se desarrolla el estudio.

No deben utilizarse valores de AEGL que no sean finales, a excepción del caso en que no estén disponibles ninguno de los otros dos índices.

En la siguiente tabla se indican los valores umbral a utilizar para los efectos de tipo químico:

¹³ Fuente: Real Decreto 1196/2003, España.

¹⁴ Fuente: Real Decreto 1196/2003, España.



Zonas de planificación	Concentración de tóxico	Efectos
Zona de Intervención	AEGL-2/ERPG-2/TEEL-2	<p>AEGL-2: Concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo los hipersusceptibles, puede experimentar efectos a largo plazo serios o irreversibles o ver impedida su capacidad para escapar.</p> <p>ERPG-2: Máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.</p> <p>TEEL-2: máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos podrían estar expuestos sin experimentar o desarrollar efectos sobre la salud, serios o irreversibles, o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.</p>
Zona de Alerta	AEGL-1/ERPG-1/TEEL-1	<p>AEGL-1: Concentración a/o por encima de la cual se predice que la población general, incluyendo individuos susceptibles pero excluyendo los hipersusceptibles, puede experimentar una incomodidad notable. Concentraciones por debajo del AEGL1 representan niveles de exposición que producen ligero olor, sabor u otra irritación sensorial leve.</p> <p>ERPG-2: Máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora experimentando sólo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.</p> <p>TEEL-1: máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos experimentarían efectos ligeros y transitorios sobre la salud o percibirían un olor claramente definido.</p>

Tabla 9.7: Valores umbral para los efectos de tipo químico¹⁵

9.6 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD PARA LAS PERSONAS

El Análisis de Vulnerabilidad tiene como objeto determinar el número de personas (o densidad poblacional) que puede verse afectada por los diferentes escenarios accidentales, es decir, el número de víctimas potencial. Para esto se requiere una función que relacione la magnitud del impacto con el grado de daño causado por el mismo, es decir, debe establecerse una relación

¹⁵ Fuente: Real Decreto 1196/2003, España.



entre la dosis y la respuesta. El método más utilizado es el “análisis probit”, que relaciona la variable “probit” con la probabilidad.

La probit (Pr) es una medida del porcentaje de la población vulnerable sometida a un efecto perjudicial de una determinada intensidad (V), que recibe un daño determinado.

Normalmente la probabilidad (que varía de 0 a 1) es sustituida por un porcentaje (de 0 a 100), más práctico en los análisis de riesgo. La relación entre porcentaje y probit puede verse en la tabla 9.8. Para su aplicación se suele utilizar la siguiente expresión:

$$Pr = a + b \cdot \ln (V)$$

Donde a y b son constantes que se determinan experimentalmente a partir de la información de accidentes o, en determinados casos, a partir de la experimentación con animales.

Esta ecuación permite, a partir de los efectos de accidente, obtener de forma prácticamente directa el porcentaje de muertos y heridos de una determinada tipología. Posteriormente, la aplicación de este porcentaje sobre la población afectada por el accidente permitirá estimar el número de víctimas.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,97	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,5	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,8	4,82	4,85	4,87	4,9	4,92	4,95	4,97
50	5	5,03	5,05	5,08	5,1	5,13	5,15	5,18	5,2	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,5
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
-	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Tabla 9.8: Relación entre Probit y porcentaje

**Letalidades asociadas a radiación térmica (Pool Fire, Jet Fire, Fire Ball...)**

Para determinar las dosis letales equivalentes al 1% hasta 100% de letalidad (por exposición a radiación térmica) puede aplicarse la ecuación Probit de Pietersen¹⁶:

$$Pr = -36,38 + 2,56 \cdot \ln(I^{4/3} \cdot t)$$

donde:

- I es la intensidad de radiación (en W/m²) y t es el tiempo de exposición (en s).
- Pr variable probit o función de probabilidad de daño sobre la población expuesta.

Siguiendo los criterios adoptados por el TNO, en el caso de incendios de charco, el fuego será letal en un 100% dentro de los confines del charco, debido al contacto directo con las llamas, fuera de la envolvente se asigna una letalidad del 100 % en la zona donde la radiación es superior o igual a 35 kW/m²; por debajo de 35 kW/m² la letalidad se calcula con la ecuación Probit estándar con un tiempo de exposición de 20 s (criterio indicado en Reference Manual Bevi Risk Assessment, versión 3.2, apartado 3.4.2 del módulo B).

%	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
0,00		9,83	10,68	11,22	11,66	12,04	12,36	12,62	12,88	13,14
10,00	13,38	13,57	13,77	13,98	14,39	14,35	14,56	14,73	14,86	15,04
20,00	15,22	15,35	15,53	15,67	15,81	15,99	16,14	16,28	16,42	16,57
30,00	16,71	16,81	16,96	17,11	17,26	17,36	17,51	17,67	17,77	17,93
40,00	18,09	18,19	18,35	18,46	18,63	18,74	18,90	19,01	19,18	19,29
50,00	19,46	19,63	19,75	19,92	20,04	20,22	20,34	20,52	20,64	20,82
60,00	20,94	21,13	21,31	21,44	21,63	21,82	21,95	22,14	22,34	22,53
70,00	22,67	22,87	23,07	23,27	23,48	23,68	23,96	24,17	24,39	24,68
80,00	24,89	25,19	25,48	25,71	26,01	26,40	26,71	27,10	27,50	27,91
90,00	28,32	28,82	29,42	30,03	30,65	31,47	32,50	33,76	35,48	38,52
-	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
99,00	38,52	38,97	39,43	40,01	40,60	41,44	42,30	43,56	45,25	48,12

Tabla 9.9: Resultado Probit para radiación térmica en kW/m²

Asimismo, se considera el dardo de fuego 100% letal dentro de sus confines debido al contacto directo con las llamas y a la sofocación.

¹⁶ Pietersen, C.M (1990).



Umbral de letalidad	Radiación térmica (kW/m ²)
LC1	9,8
LC50	19,5
LC100	35 o radio del charco/ dardo de fuego

Tabla 9.10: Umbral de letalidad por radiación térmica

Letalidades asociadas a sobrepresiones (UVCE/ CVCE)

La Nota Técnica de Prevención NTP-291 (1991) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) de España: Modelos de Vulnerabilidad por accidentes graves: Método Probit, propone la siguiente expresión para el cálculo del porcentaje de muerte por hemorragia pulmonar:

$$Pr = -77,1 + 6,91 \cdot \ln P^{(17)}$$

Donde P es la sobrepresión expresada en Pa.

%	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
0,0		1031,7	1074,4	1101,1	1122,0	1140,0	1155,0	1166,8	1178,6	1190,6
10,0	1201,0	1209,7	1218,5	1227,4	1245,3	1243,5	1252,5	1259,8	1265,2	1272,6
20,0	1280,0	1285,5	1293,0	1298,6	1304,3	1311,9	1317,6	1323,3	1329,1	1334,8
30,0	1340,6	1344,5	1350,4	1356,3	1362,2	1366,1	1372,1	1378,0	1382,0	1388,0
40,0	1394,1	1398,1	1404,2	1408,3	1414,4	1418,5	1424,7	1428,8	1435,0	1439,2
50,0	1445,4	1451,7	1455,9	1462,3	1466,5	1472,9	1477,1	1483,6	1487,9	1494,3
60,0	1498,7	1505,2	1511,8	1516,1	1522,7	1529,4	1533,8	1540,5	1547,2	1553,9
70,0	1558,4	1565,2	1572,0	1578,8	1585,7	1592,6	1601,8	1608,8	1615,8	1625,2
80,0	1632,3	1641,7	1651,3	1658,5	1668,1	1680,2	1690,0	1702,2	1714,6	1727,0
90,0	1739,6	1754,8	1772,6	1790,7	1808,9	1832,6	1862,0	1897,4	1944,6	2025,1
-	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99,0	2025,1	2036,8	2048,6	2063,5	2078,5	2099,7	2121,0	2152,0	2192,8	2260,5

Tabla 9.11: Resultado Probit para sobrepresión en mbar

¹⁷ Es similar a la probit de Eisemberg (1975): $-16,7 + 2,03 \ln P$.



Letalidad (%)	Sobrepresión (mbar)
LC1	1031,7
LC 50	1445,4
LC 100	2260

Tabla 9.12: Umbrales de letalidad por sobrepresión

Debe considerarse que estos valores de sobrepresión son umbrales de probabilidad de muerte por hemorragia pulmonar. Estos valores son muy altos frente a otros a los que se les asignan también una alta probabilidad de muerte como el de 300¹⁸ mbar, correspondiente a daños importantes en edificios (casi destrucción completa) por lo que es práctica habitual en los EAC, ACR y ER considerar este umbral para el 100% de letalidad.

Letalidades asociadas a llamaradas (Flash Fire)

Las personas que pudieran encontrarse dentro de la llamarada estarían en contacto directo con la llama y podrían sufrir lesiones importantes. La protección que puedan llevar constituye un factor importante a considerar.

Como consecuencia de la baja duración del efecto se considera que las personas que en el momento de la ignición se encuentren fuera de la nube, no sufrirán consecuencias significativas.

Se considera que el alcance del LEL (área del Flash Fire) constituye el 100% de letalidad siempre y cuando la temperatura de llama sea superior a la temperatura de auto ignición de la ropa.

Letalidad (%)	Concentración inflamable
LC100	LEL

Tabla: 9.13: Umbrales de letalidad por exposición a llamaradas

Letalidades asociadas a nube tóxica

Para la evaluación del riesgo asociado a sustancias tóxicas se calculan los alcances correspondientes al 1 %, 50% y 100% de probabilidad de muerte por inhalación.

El nivel de concentración tóxica se determina por aplicación de la ecuación Probit correspondiente a cada sustancia, tal como aparece en la tabla siguiente.

¹⁸ Fuente: Reference Manual Bevi Risk Assessments versión 3.2 – module B. Table 14 Probability of dying flammable substances - overpressure



MATERIAL PELIGROSO	ECUACIÓN PROBIT	UNIDADES
Sulfuro de hidrógeno	$Pr = -11,5 + \ln (C^{1,9} \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Amoníaco	$Pr = -15,6 + \ln (C^2 \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Dióxido de Azufre	$Pr = -19,2 + \ln (C^{2,4} \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Benceno	$Pr = -109,78 + 5,3 \cdot \ln(C^2 \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Fluoruro de Hidrógeno	$Pr = -8,4 + \ln (C^{1,5} \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Monóxido de carbono	$Pr = -7,4 + \ln (C \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Cloro	$Pr = -6,35 + 0,5 \cdot \ln(C^{2,75} \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Cloruro de hidrógeno	$Pr = -37,3 + 3,69 \cdot \ln (C^1 \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Acrlonitrilo	$Pr = -8,6 + \ln (C^{1,3} \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos
Metanol ¹⁹	$Pr = -20,41 + \ln (C^2 \cdot t)$	C = mg/m ³ t = minutos

Tabla 9.14: Listado de ecuaciones Probit²⁰

Para este tipo de efecto la variable representativa del daño inmediato originado por la liberación de sustancias tóxicas, es la concentración de tóxico o la Dosis D, definida mediante:

$$D = C_{\text{máx}}^n \cdot t_{\text{exp}}$$

¹⁹ Fuente: SERIDA 1.3

²⁰ Fuente: Apartado 3.5.1.-Probit values for toxic substances, Module B, Manual Reference Bevi Risk Assessments).



Con lo que resultan, aplicando el concepto de dosis, los siguientes umbrales de letalidad:

Dosis		
MATERIAL PELIGROSO	UNIDADES	DL1
Sulfuro de hidrógeno	$(\text{mg}/\text{m}^3)^{1,9} \cdot \text{min}$	$1,43 \cdot 10^6$
Amoníaco	$(\text{mg}/\text{m}^3)^2 \cdot \text{min}$	$8,60 \cdot 10^7$
Dióxido de Azufre (SO ₂)	$(\text{mg}/\text{m}^3)^{2,4} \cdot \text{min}$	$3,15 \cdot 10^9$
Benceno	$(\text{mg}/\text{m}^3)^{1,3} \cdot \text{min}$	$2,2 \cdot 10^6$
Fluoruro de Hidrógeno (HF)	$(\text{mg}/\text{m}^3)^{1,5} \cdot \text{min}$	64.215
Monóxido de carbono	$(\text{mg}/\text{m}^3) \cdot \text{min}$	23.624
Cloro	$(\text{mg}/\text{m}^3)^{2,75} \cdot \text{min}$	$6,83 \cdot 10^7$
Cloruro de hidrógeno	$(\text{mg}/\text{m}^3)^1 \cdot \text{min}$	50.614
Acronitrilo	$(\text{mg}/\text{m}^3)^1 \cdot \text{min}$	73.130
Metanol	$(\text{mg}/\text{m}^3)^2 \cdot \text{min}$	1,06.1010

Tabla 9.15: Dosis tóxicas letales

9.7 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD PARA LA PROPIEDAD. ESTUDIO DEL EFECTO DOMINÓ

Definición del efecto dominó

El denominado Efecto Dominó es un término que expresa la generación consecutiva de diferentes accidentes en el interior de una instalación, como consecuencia de un accidente anterior. El concepto principal del Efecto Dominó es la secuencia y no la simultaneidad, como muchos autores interpretan.

Un accidente que ocurra en el interior o exterior de las instalaciones objeto del estudio genera unos niveles de radiación y/o de sobrepresión. Si el tiempo de exposición es suficientemente largo frente a la intensidad de la radiación generada, o si los niveles de sobrepresión generados superan la resistencia de los equipos de la instalación, es probable que este primer accidente origine uno a varios sucesos no deseados en otros puntos que, a su vez, y en función de la intensidad de cada uno de ellos, pueden generar nuevos accidentes hasta provocar la total destrucción de las instalaciones pudiendo incluso afectar gravemente a las instalaciones vecinas.



Como objeto del estudio se analiza el Efecto Dominó para cada una de los accidentes finales, estudiando los niveles de radiación y/o sobrepresión que pueden alcanzar los puntos más críticos y, a su vez, originar nuevos accidentes.

Este fenómeno es debido básicamente a los siguientes efectos:

- Sobrepresión como consecuencia de una explosión confinada en un equipo o al aire libre.
- Radiación térmica como consecuencia de un incendio de charco, dardo de fuego, bola de fuego, etc.
- Proyección de fragmentos como consecuencia de una explosión.

Se considera que la radiación térmica originada por la llamarada, dada la corta duración de la misma, no ocasionaría daños a equipos por concatenación de efectos.

En el caso de dispersiones de nubes tóxicas, éstas tampoco causan efecto dominó.

La determinación de los efectos sobre estructuras, equipos, edificios, etc., como consecuencia de los diferentes accidentes que pueden plantearse, parte de la asociación experimental de diferentes valores umbrales con unos efectos asociados determinados.

Dentro de esta ciencia experimental se intuye la dificultad de tener realmente los efectos esperados ante niveles de radiación térmica o sobrepresión determinados, pues estos efectos dependerán en gran medida del estado de conservación de equipos, ignifugado, calidad de los materiales, disposición espacial, grado de confinamiento, etc.

Para la determinación de un posible efecto dominó de un accidente grave en instalaciones circundantes o próximas y/o en un establecimiento vecino, en algunas referencias normativas se establecen los siguientes valores umbrales:

Escenario/ Efecto	Consecuencia	Valor umbral
Radiación térmica	Fallo de recipientes y equipos no protegidos	8 kW/m ²
Sobrepresión	Fallo de recipientes y equipos atmosféricos o a bajas presiones.	160 mbar

Tabla 9.16: Valores umbral para la evaluación del Efecto Dominó²¹

²¹ Fuente: Real Decreto 1196/2003, España.



No obstante, y siempre como una referencia válida internacionalmente empleada por los expertos en este tipo de análisis, se puede acudir a las dos tablas que se muestran a continuación para determinar los daños esperados frente a sobrepresión y radiación térmica²².

Valor umbral (kW/m ²)	Descripción
11,7	El acero delgado, parcialmente aislado, puede perder su integridad física
12,5	Fusión de recubrimiento de plástico en cables eléctricos
25,0	El acero delgado aislado puede perder su integridad mecánica.
37,5	Suficiente para causar daños a equipos de proceso y colapso de estructuras

Tabla 9.17: Valores de Vulnerabilidad de Materiales por radiación térmica

Valor umbral (mbar)	Descripción
150	Distorsión de vigas de acero, colapso parcial de paredes y tejados de casas.
200	Fallo de recipientes y equipos atmosféricos o a bajas presiones.
250	Rotura de tanques. Daño de maquinaria industrial pesada. Distorsión de estructuras y cimientos
300	Daños estructurales graves.
400	Demolición casi completa de casas.
700	Probable destrucción casi completa de edificios.

Tabla 9.18: Valores de Vulnerabilidad de Materiales por sobrepresión

9.8 CRITERIOS DE CÁLCULO

El cálculo de consecuencias se recomienda realizarlo aplicando los criterios generales expuestos a continuación o, en su caso, tomando otros que el analista de riesgos considere más adecuados, siempre con la debida justificación técnica. De esta manera se podrán realizar estudios de diferentes instalaciones y establecer comparaciones entre ellos.

²²Joaquim Casal-Helena Montiel-Eulàlia Planas-Juan A.Vílchez.(Análisis de Riesgos en Instalaciones Industriales-1999).



Criterios generales empleados para el análisis de consecuencias

El cálculo de consecuencias deberá dejar clara constancia de los criterios generales de cálculo, de las variables meteorológicas utilizadas, de los modelos matemáticos aplicados y los valores umbral adoptados, tal y como se describe en los siguientes apartados.

Condiciones meteorológicas

Es conveniente utilizar los datos correspondientes a la estación meteorológica más próxima a la actividad o instalación. Deberán referenciarse, de forma clara y documentada, los datos utilizados.

Las condiciones meteorológicas empleadas deben cubrir, como mínimo, la situación más probable en la estación meteorológica de referencia con velocidad media de viento para una determinada estabilidad, y la situación más desfavorable (y quizás poco frecuente) como, por ejemplo, una estabilidad atmosférica muy estable (Pasquill F), con la velocidad media de viento para esa estabilidad. Normalmente se utiliza una velocidad de viento baja (1-2 m/s) para caracterizar una atmósfera muy estable.

Si no se dispone de datos de estabilidad atmosférica y velocidad de viento asociada en la zona, se pueden asumir, por ejemplo, las siguientes condiciones atmosféricas:

- *Estabilidad D de Pasquill y velocidad de viento de entre 4 y 5 m/s.*
- *Estabilidad F de Pasquill y velocidad de viento de entre 1 y 2 m/s.*

Tamaño del orificio de fuga

Es práctica habitual considerar la rotura parcial y/o la rotura total de tuberías/ mangueras/ brazos. Para este tipo de elementos se considera rotura total si el diámetro es inferior a 6" y rotura parcial (10% del diámetro nominal de la tubería/ manguera/ brazo hasta un máximo de 50 mm) para tuberías de diámetro superior o igual a 6".

Coefficiente de descarga

Se considerará un coeficiente de descarga de 0,62 para roturas parciales/orificios y de 1 para roturas totales, tal y como se especifica en las Notas 2, 3 y 4 del apartado 4.3 "Outflow models" del Purple Book CPR, 18E, TNO, 2005.

Tiempo de fuga

Para determinar la duración de la fuga se tendrán en cuenta las salvaguardas de detección y mitigación, condicionantes de la duración de la fuga, de acuerdo con los tiempos indicados a continuación:



Tipo de válvula	Descripción	Tiempo total para la detección y la actuación
Automática	<ul style="list-style-type: none">• La detección es totalmente automática y específica.• La detección resulta en una orden automática de cierre de la válvula.• No se requiere la actuación de un operador.	2 min
Operada a distancia	<ul style="list-style-type: none">• La detección es semiautomática.• La detección resulta en una señal de alarma (en campo o en la sala de control) como, por ejemplo, una señal acústica o luminosa, o ambas.• El operador valida la señal, localiza el pulsador de la válvula y lo actúa desde campo o desde la sala de control.	10 min
Operada manualmente	<ul style="list-style-type: none">• La detección NO es totalmente automática y específica.• La detección resulta en una señal de alarma (en campo o en la sala de control).• El operador valida la señal, se desplaza hasta el lugar, localiza la válvula y la cierra manualmente.	30 min En caso de emplear 20 m se justificará

Tabla 9.19: Tiempos de fuga ²³

Se podrá utilizar un tiempo de duración de la fuga menor de 2 minutos si se puede demostrar, de forma debidamente documentada, la presencia y tiempo de actuación de un dispositivo con un tiempo de respuesta menor (por ejemplo, válvulas de exceso de flujo).

Para las operaciones de carga/ descarga de cisterna, vagón de ferrocarril, se podrá considerar un tiempo de fuga de 2 minutos, en el supuesto de que se cumplan los cinco requisitos que estipula el Reference Manual Bevi Risk Assessments, versión 3.2, en su apartado 4.2.6.1. Estos requisitos son:

- Presencia del operador durante toda la operación con visión directa del brazo o de la manguera de carga/ descarga.
- Garantía de la presencia del operador mediante un sistema de hombre muerto o procedimiento específico.
- El accionamiento del botón de parada de emergencia, en caso de fuga, durante la operación está incluido en el procedimiento.
- El operador está entrenado y conoce el procedimiento.

²³ Manual Reference BEVI Risk Assessments" (version 3.2), Module C, apartado 4.2.2.-Blocking Systems.



- El botón de parada de emergencia está ubicado de acuerdo con los estándares de forma que garantice una intervención corta con independencia de la dirección de fuga.

En el supuesto de que no existan elementos para atajar la fuga se supondrá el vaciado completo del equipo y elementos asociados, o vaciado parcial que corresponda a 30 minutos.

Caudal de fuga:

El cálculo de la cantidad de gas, vapor, líquido y/o fluidos en doble fase correspondiente a una fuga se realizará aplicando los correspondientes modelos de fuga, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Se empleará el nivel más habitual de llenado de los equipos.
- Se tendrán en cuenta las condiciones de operación en el interior del tanque de almacenamiento o equipo de proceso.
- En rotura franca de tubería, se contabilizarán los aportes al caudal de fuga desde ambos lados, si procede. En impulsión de bombas/ compresores se considerará el caudal máximo de la bomba/ compresor dado por el fabricante de la misma o, en caso de no conocerse este dato, se aplicará el siguiente criterio: 1,5 veces el caudal normal de operación, en ausencia de contrapresión. Si la rotura sucede a una distancia considerable del elemento impulsor, el caudal de fuga será el caudal de operación.
- Para roturas parciales en impulsión de bomba y tubería, se aplicará el método Bernoulli, que consiste en calcular el caudal de fuga por un orificio de tamaño igual al orificio de la fuga y con una presión igual a la presión de operación en la impulsión de la bomba. El caudal así calculado se compara con el caudal máximo de la bomba y se selecciona el menor de los dos (el caudal de fuga no puede ser mayor que el caudal máximo de la bomba).

Espesor de charco

Habitualmente en el Estudio de Riesgo se considera para zonas pavimentadas, con pendientes y canalizaciones hacia sumideros o puntos de recogida, espesores de charco entre 5 y 10 mm; se recomienda el valor de 10 mm. Para el caso de terrenos no acondicionados se considerarán espesores mayores, por ejemplo: entre 10 y 100 mm.

Superficie de charco

En un área confinada, el área máxima del charco será igual al tamaño del área confinada si el inventario de producto liberado cubre toda la superficie del área confinada. En áreas no confinadas, la determinación de la superficie del charco se realizará dividiendo el volumen



derramado por el espesor de charco. En áreas donde el terreno esté acondicionado, se limitará la extensión del charco a 1.500 m² ²⁴ y, en medio acuático, a 10.000 m².

Tiempo de evaporación

En caso de no existir medios efectivos para evitar la evaporación se puede considerar un tiempo máximo de duración de la evaporación de 30 minutos. En caso de existir una salvaguarda tecnológica de mitigación cuya eficacia quede debidamente justificada (sistemas de abatimiento o dilución de los derrames: espuma, cortinas, etc.) y que justifique una actuación rápida, el tiempo de evaporación desde charco, para líquidos con temperatura de ebullición superior a la temperatura ambiente, se considera inferior a 30 minutos, según se establece en el Appendix 4.C.1 “Outflow models” del Purple Book CPR, 18E, TNO, 2005.

Valor de rugosidad del terreno

Para las dispersiones de nubes inflamables y/o tóxicas se considerará un valor de rugosidad del terreno de acuerdo con los indicados en la siguiente tabla.

Rugosidad del terreno (m)	Descripción
0,0002	Mar abierto
0,005	Bañados, nieve; terreno sin vegetación, sin obstáculos
0,03	Terreno abierto, de pasto, con pocos objetos aislados.
0,1	Terreno con baja vegetación, grandes obstáculos ($x/h^{25} > 20$)
0,25	Terreno con mucha vegetación; grandes obstáculos ($15 < x/h < 20$)
0,5	Parques, arbustos, muchos obstáculos ($x/h < 15$)
1,0	Zona residencial, zona boscosa, área industrial con obstáculos no demasiado altos.
3,0	Área urbana, grandes ciudades con obstáculos elevados, área industrial con obstáculos elevados.

Tabla 9.20: Rugosidad del terreno ²⁶

²⁴ Fuente: TNO, LPG Study (1983). En áreas no confinadas de proceso o almacenamiento de establecimientos industriales, se adopta una extensión máxima del charco de 1.500 m².

²⁵ X: distancia entre obstáculos y h: altura típica de los obstáculos.

²⁶ Reference Manual Bevi Risk Assessment, versión 3.2, apartado 3.3.9 del módulo B



Dispersión

Dependiendo de la densidad de la nube formada, se utilizará un modelo de dispersión de gases densos (cuando en las condiciones a la temperatura de fuga, su densidad es superior a la del aire) o un modelo Gaussiano de dispersión de gases neutros (cuando en las condiciones a la temperatura de fuga, su densidad es inferior y/o igual a la del aire).

Explosiones

Los efectos de la sobrepresión se recomiendan calcularlos mediante el método Multi-Energy de TNO.

- Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE): la evaluación de los alcances de la sobrepresión se realizará siempre que exista posibilidad de confinamiento²⁷ de la nube generada y la cantidad de gas entre límites de inflamabilidad sea superior a 1.000 kg (criterio de Kletz), a menos que se trate de gases muy reactivos (tipo hidrógeno, etileno, acetileno, etc.), cuya cantidad mínima a deflagrar es de 40 kg²⁸.
- La deflagración se calculará utilizando condiciones medias (curva número 6, según método Multi-energy). Si se desconoce la parte confinada de la nube inflamable se considerará un grado de confinamiento del 8%²⁹.
- Confined Vapour Cloud Explosion (CVCE): Para calcular los efectos de la sobrepresión se tomará una curva 10 al producirse en un espacio confinado. La cantidad de gas que participe en la explosión será la correspondiente al límite superior de inflamabilidad (UEL), a las condiciones de temperatura y presión a la que se produzca la explosión.

²⁷ De acuerdo con el método Multi-energy, la explosión de una nube de vapor solamente es posible si la nube está confinada (total o parcialmente). La esencia del método Multi-energy se basa en que la explosión viene determinada por la parte confinada de la nube inflamable de tal modo que los efectos de las explosiones no se calculan para el total de la masa inflamable contenida en la nube de vapor sino solamente para la cantidad contenida en la parte confinada de la nube.

²⁸ Según K Cugan, se han registrado deflagraciones con solamente 36-40 kg de etileno, con 90 kg de hidrógeno y también con 500 kg de metano.

²⁹ De acuerdo con el punto 4.8 del Purple Book (CPR 18E, December 2005), la fracción de gas entre límites de inflamabilidad en áreas obstruidas o parcialmente confinables se considera en un 8 % del total.



10. SOFTWARES PARA ESTUDIOS PHA

Los softwares han sido desarrollados por empresas que también ofrecen servicios de consultoría de estudios PHA y, de alguna manera, reflejan pautas para realizar un estudio PHA. A continuación indicamos dos de las aplicaciones informáticas más utilizadas.

Software Para Análisis de Peligros (PHA)

Software	Compañía
PHA-Pro	IHS-Dyadem
PHAWorks	Primatech

Las aplicaciones informáticas listadas sólo se incluyen en este documento a título informativo y no forman un conjunto exhaustivo. Existen en el mercado otras aplicaciones igualmente válidas para los propósitos de un PHA.

Formato

PHA-Pro presenta los datos con un formato similar al de hojas de cálculo con columnas. El usuario puede agregar, eliminar o mover las columnas.

PHAWorks, también posee el formato de hoja de cálculo pero sin las líneas de cuadrícula para separar las celdas, esto puede hacer difícil la lectura y el seguimiento de la redacción.

Este formato de hoja de cálculo no es útil cuando es necesario hacer referencia a un nodo diferente.

Ambos programas permiten personalizar de forma simple la matriz de riesgos.

Seguimiento de recomendaciones

PHA-Pro puede utilizarse para seguimiento de las recomendaciones.

PHAWorks no está configurado para seguir las recomendaciones; sin embargo, Primatech vende un programa adicional, Tracker, para la gestión de las recomendaciones.

Exportar a otros formatos

En el software PHA-Pro, la planilla de trabajo puede exportarse a Microsoft Word. Esto permite la realización del informe final con mayor rapidez.

Las opciones de impresión en PHAWorks son limitadas, y no permite exportar la tabla a Microsoft Word. Sin embargo Primatech ofrece un programa visor gratuito.

Los softwares para simulación de consecuencias se han presentado previamente en el Capítulo 9.4.



11. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

En esta Guía se menciona al Analista de Riesgos como una figura importante cumpliendo funciones de liderazgo y tomando decisiones respecto de los estudios de riesgos. La persona que cumple este rol generalmente pertenece a una empresa consultora externa dado que debe ser un experto en análisis de riesgos, independiente tanto de la Compañía para la que se realiza el estudio como de cualquier otra organización que intervenga en el mismo (empresa constructora, ingeniería, proveedores, etc.), quién debe llevar a cabo los estudios. Si bien este analista, que cumple la función de Líder PHA, puede ser interno a la Compañía, se debe asegurar que se mantenga absoluta independencia entre él y quienes participan en la construcción ingeniería, diseño u operación, es decir, que no estén implicados en el proyecto u operación.

Es conveniente que exista dentro de la Compañía un Analista de Riesgos responsable de la ejecución de los estudios con las siguientes capacidades:

- Ingeniero Químico o alguna titulación similar especializado en la seguridad de procesos.
- Experto en la aplicación de las metodologías que se mencionan en la Guía.
- Es conveniente que posea experiencia en operación, o algún sector relacionado con la planta o Complejo en estudio.

12. BIBLIOGRAFÍA Y NORMATIVA LEGAL

Bibliografía Estudios PHA.

- *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures – Second Edition with Worked Examples, AIChE-American Institute of Chemical Engineers, New York (1992) - Center for Chemical Process Safety.*
- *Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety, AIChE-American Institute of Chemical Engineers, New York (1989).- Center for Chemical Process Safety.*
- *Lees Loss Prevention in the Process Industries. Volume 1.*
- *API RP 52, Guidelines for Pressure Relief and Effluent Handling Systems*
- *Department of Defense, Military Standard System Safety Program Requirements, MIL-STD-882B/D*
- *IEC 60812- Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*
- *BS IEC 61882:2001, Hazard and Operability studies (HAZOP studies) – Application*



- Kletz T., *HAZOP and HAZAN, Identifying and Assessing Process Industry Hazards*, IChemE-Institution of Chemical Engineers, Rugby (1992)
- Casal J., Montiel H., Planas E., Vílchez J.A., *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*, Edicions UPC, Barcelona (1999).

Bibliografía Bowtie

- IEC/FDIS 31010- Risk Management – Risk assessment techniques.
- ISO 17776 (2000) – Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations – Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment.
- International Association of Drilling Contractors - Health, Safety and Environmental Case Guidelines for Land Drilling Units.

Bibliografía ACR/EAC/ER

- Casal J., Montiel H., Planas E., Vílchez J.A., *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*, Edicions UPC, Barcelona (1999)
- *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis-AICHE Second edition*
- *Reference Manual Bevi Risk Assessments, version 3.2- National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)-Netherlands*
- *Lees Loss Prevention in the Process Industries*
- *Methods for the calculation of Physical Effects Due to releases of hazardous materials (liquids and gases) - Third edition Second revised print 2005- Yellow Book-TNO.*
- *Guidelines for quantitative risk assessment – First edition 1999/2005- Purple Book-TNO.*
- *Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials - First edition 1992- Green Book-TNO.*

Bibliografía SIL

- ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 1 (IEC 61511-1 Mod) – *Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – Part 1: Framework, Definitions, System, Hardware and Software Requirements.*
- ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 2 (IEC 61511-2 Mod) – *Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – Part 2: Guidelines for the Application of ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 1 (IEC 61511-1 Mod) – Informative.*
- ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 3 (IEC 61511-3 Mod) – *Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – Part 3: Guidance for the Determination of the Required Safety Integrity Levels – Informative.*



- *IEC/TR 61508-0 – Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 0: Functional safety and IEC 61508.*
- *UNE-EN 61508-1 (2003) – Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/ electrónicos/ electrónicos programables relacionados con la seguridad. Parte 1: Requisitos generales / Parte 2: Requisitos para los sistemas eléctricos/ electrónicos/ electrónicos programables relacionados con la seguridad / Parte 3: Requisitos del software (soporte lógico) / Parte 4: Definiciones y abreviaturas / Parte 5: Ejemplos de métodos de determinación de los niveles de integridad de seguridad / Parte 6: Directrices para la aplicación de las Normas CEI 61508-2 y CEI 61508-3.*
- *UNE-EN 61508-1 (2004) – Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/ electrónicos/ electrónicos programables relacionados con la seguridad. Parte 7: Presentación de técnicas y medidas.*
- *Exida.com LLC 2001-2006 - Ingeniería Funcional de Seguridad I: Análisis de Riesgos y Selección del Nivel de Integridad en Seguridad.*
- *Exida.com LLC 2001-2006 - Ingeniería Funcional de Seguridad II: Diseño del SIS – Verificación del SIL.*
- *Safety Instrumented Systems Verification, by William M. Goble and Harry L. Cheddie ISBN 155617909X.*

Bibliografía LOPA

- *Ref. IEC/FDIS 31010- Risk Management – Risk assessment techniques.*
- *ANSI/ISA-84.00.01-2004 Part 3 (IEC 61511-3 Mod) – Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector – Part 3: Guidance for the Determination of the Required Safety Integrity Levels – Informative.*
- *Exida.com LLC 2001-2006 - Ingeniería Funcional de Seguridad I: Análisis de Riesgos y Selección del Nivel de Integridad en Seguridad.*

NORMATIVA LEGAL

Argentina

- *Decreto 10.877 / 60 (Reglamentario de la Ley 13.660)*
- *NAG GdE Nro 112 NORMA PARA EL PROYECTO CONSTRUCCION Y OPERACION DE PLANTAS DE ALMACENAMIENTO DE GASES LICUADOS DE PETROLEO*
- *Decreto 351/79 (Reglamentario de la Ley 19.587)*



- *Resolución 743/2003 - Registro Nacional para la Prevención de Accidentes Industriales Mayores*
- *Resolución 338/2012 - Condiciones para la localización de la Terminal Portuaria destinada a operaciones e Gas Natural Licuado y requerimientos de protección ambiental.*

Colombia

- *Ley 1010 de 1993, Resolución 2400 de 1979, Resolución 1016 de 1989, Decreto 1295 de 1994", Ley 1562 de 2012, Ley 776 de 2002 (Diciembre 17); y los Decreto 423 de 2006 y Ley 1523 de 2012 en relación a la gestión del riesgo de desastre.*
- *El artículo 1, Decreto 1753 de 1994 del Ministerio de Ambiente sobre licencias ambientales contempla el análisis de riesgo como el estudio o evaluación de las circunstancias, eventualidades o contingencias que en el desarrollo de un proyecto, obra o actividad puedan generar peligro o daño a la salud humana, al medio ambiente y a los recursos naturales.*
- *Ley 1523 de 2012 se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.*

Chile

- *DS 160/2008 - Reglamento de Seguridad para las Instalaciones y Operaciones de Producción y Refinación, Transporte, Almacenamiento, Distribución y Abastecimiento de Combustibles Líquidos" y su modificación, el DS 101/2013,*
- *DS-108/2013 - Reglamento de Seguridad para las Instalaciones de Almacenamiento, Transporte y Distribución de Gas Licuado de Petróleo y Operaciones Asociadas".*

México

- *Ley Federal del Trabajo.*
- *Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo (RFSHMAT).*
- *NORMA Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2012, Sistema para la administración del trabajo- Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas.*

Perú

- *Decreto Supremo Nº 43-2007 EM, por el que se aprueban el Reglamento de Seguridad para las Actividad de Hidrocarburos y se modifican diversas disposiciones.*
- *RCD OSINERGMIN Nº 240-2010-OS-CD. Procedimiento de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión de seguridad para las actividades de hidrocarburos se establece la estructura y contenido que deben contener los estudios de riesgos y planes de contingencia para las actividades de hidrocarburos.*



- *R.D. Nº 0497-98-DE/DCG.- Aprueba lineamientos para elaboración de planes de contingencia en caso de derrame de hidrocarburos y sustancias nocivas al mar, ríos o lagos navegables, se establece la estructura y contenido para los planes de contingencia en caso de derrame de hidrocarburos en cuerpos de agua.*
- *Decreto Supremo Nº 005-2012-TR, Reglamento de la Ley Nº 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.*

España

- *Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas (y posteriores modificaciones).*
- *REAL DECRETO 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.*



ANEXO I: DESCRIPCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE PELIGROS

CHECK LIST

Introducción

«Check Lists» o listas de verificación, son utilizadas usualmente para determinar la adecuación a un determinado procedimiento o reglamento. La primera referencia bibliográfica al método es de 1971, artículo publicado por Millar and Howard en la revista inglesa Major Loss Prevention in Process Industries (London Institution of Chemical Engineers).

Descripción

El Check List es una metodología de identificación de peligros muy simple de aplicar. Se trata de una lista de verificación o lista de chequeo, creada con ayuda de normas, códigos y buenas prácticas de ingeniería. Se genera una lista de preguntas que tratan de identificar las diferencias o deficiencias existentes en el proceso en cuestión. Permite identificar peligros conocidos ya que es una verificación o contraste con dichas normas, estándares o códigos. Si no existe una lista de verificación para un proceso determinado, una persona con experiencia debe desarrollar una, basándose en los estándares correspondientes y la experiencia propia en las instalaciones y los equipos. En caso que la lista no esté completa, podrían pasarse por alto algunos peligros. Al igual que una norma o un código de prácticas, una lista de verificación es un medio para evitar errores ya ocurridos, de los cuales se ha aprendido y se ha determinado una manera de prevenirlos.

Ámbito de aplicación

Son aplicables a todas las fases de un proyecto. Podemos indicar su empleo en:

- Diseño.
- Construcción.
- Puesta en marcha.
- Operación.
- Paradas.

El resultado de la aplicación de estas listas es la identificación de peligros comunes y la adecuación a los procedimientos de referencia.

Los resultados son siempre cualitativos y suelen limitarse al cumplimiento, o no, de las normas de referencia.

Recursos necesarios

Las listas de verificación deben ser preparadas por personas de gran experiencia.



Es necesario disponer de las normas o estándares de referencia, así como de un conocimiento del sistema a analizar.

Pueden ser puestas en práctica por una persona sin gran experiencia, aunque los resultados deben ser supervisados por alguien con experiencia.

Características

Constituye una buena base de partida para complementarlo con otros métodos de identificación de peligros que tienen un alcance superior al cubierto por los reglamentos e instrucciones técnicas.

Es un método que examina la instalación solamente desde el punto de vista de cumplimiento de un reglamento o procedimiento determinado.

Ejemplos

- Check List para diseño de recipientes a presión. API RP 521. Guidelines for Pressure Relief and Effluent Handling Systems, en la sección 3.
- Check List para evaluar cambios. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 3ra edición, Apéndice A.
- Check List en puesta en marcha y comisionado (Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 2da edición, Capítulo 16).

WHAT IF

Introducción

Esta metodología se basa en el planteamiento de posibles desviaciones en un proceso, ya sea a nivel de diseño, construcción, modificaciones u operación. Como su nombre sugiere, consiste en cuestionarse el resultado de la presencia de sucesos indeseados que pueden provocar consecuencias adversas. Comenzando la pregunta con ¿Qué pasa si...? por ejemplo: "¿Qué pasa si se cierra la válvula?", o pueden ser expresiones de interés general, como "Me preocupa la contaminación durante la descarga".

Descripción

Se realiza típicamente en sesiones con un equipo multidisciplinario. Primeramente se requiere un conocimiento básico del sistema y la disposición mental para combinar o sintetizar las desviaciones posibles, por lo que normalmente es necesaria la presencia de personal con amplia experiencia para poder llevarlo a cabo. El AIChE describe ésta como una metodología de gran alcance si el personal es experimentado; de lo contrario, los resultados suelen estar incompletos.

Un análisis What if...? revisa todo el proceso, al igual que otras metodologías. Para facilitar el estudio, se subdivide el proceso en partes más pequeñas (subsistemas). La división puede realizarse por lógica de proceso (entrada, producción, salida), por áreas de proceso, por unidad o por edificio.



La pregunta ¿Qué pasa sí...? pone el foco en diferentes causas que provocarían una desviación en el proceso o de procedimiento (en caso de tratarse de un proceso operativo). Las preguntas suelen ser causas de accidentes y se formulan a base de plantear fallos diversos, por ejemplo:

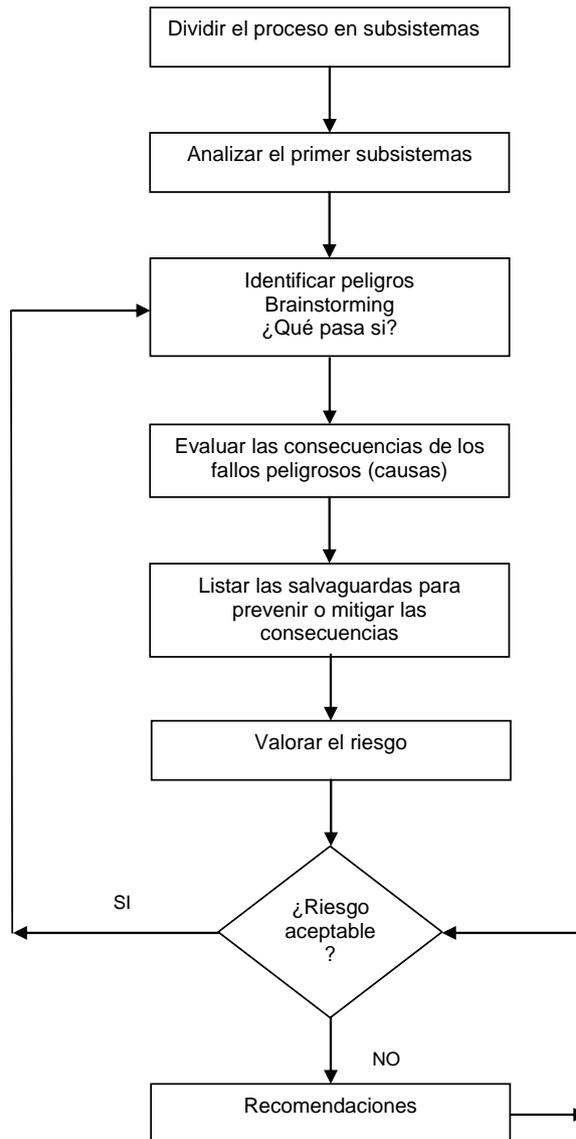
- Fallos de instrumentación y/o equipos.
- Fallos del operador.
- Errores de diseño.
- Riesgos generales (fuego, explosión, fallo estructural, etc.).
- Problemas externos (condiciones climáticas, condiciones diversas como conflictos sindicales, atentados o sabotaje, etc.).

Al igual que otras técnicas se deben identificar las consecuencias que provocan dichas desviaciones, así como las salvaguardas que pudieran prevenir o mitigar el escenario peligroso o mitigarlo. Debe obviarse la presencia de salvaguardas en la evaluación de las consecuencias para las personas, medio ambiente y/o Propiedad.

Puede haber múltiples consecuencias y escenarios peligrosos para una misma pregunta What if?.



Diagrama de flujo de la metodología.



Ámbito de aplicación

El método tiene un ámbito de aplicación amplio ya que depende del planteamiento de las preguntas que pueden ser relativas a cualquiera de las áreas que se proponga la investigación, tales como: seguridad eléctrica, protección contra incendios, seguridad personal, etc.

Las preguntas se formulan en función de la experiencia previa y se aplican, tanto a proyectos nuevos como a plantas en operación, siendo muy común su aplicación ante cambios propuestos en instalaciones existentes o procesos discontinuos.



Recursos necesarios

Información general de la instalación disponible en el momento del estudio (Plot plant, Diagrama de procesos (PFD), descripción de la instalación, filosofía operación/seguridad, descripción de enclavamientos, etc.). Podría utilizarse también la Información del entorno (medio ambiente e instalaciones).

Características

Es un método menos estructurado que el HAZOP y FMEA, por lo que su aplicación es más sencilla; sin embargo, su exhaustividad depende más del conocimiento y experiencia del personal que lo aplica.

Válido para instalaciones sencillas, procedimientos y operaciones manuales.

Puede ser una alternativa válida al HAZOP en determinados casos (plantas con bajo riesgo como, por ejemplo, compresores de aire y plantas de agua).

Ejemplos

En las guías de CCPS (Guidelines for Hazard Evaluation Procedures, 3ª edición Parte II) se da un ejemplo de What if..? de una planta de VCM (Vinyl Chloride Monomer) para la fase inicial del Ciclo de Vida de un proyecto.



HOJA DE TRABAJO BÁSICA PARA UN ESTUDIO WHAT IF...?*

SISTEMA SUBSISTEMA: P&ID N°: Intención de Diseño: Notas:										
Qué pasa si?	Consecuencias	Salvaguardas	S	F	R	Recomendaciones	S	F	R	Comentarios

Ejemplo de planilla What if...?

WHAT IF PLANTA CLARIFICADORA

Page: 12 of 15

SESSION: (1) 18/03/2014
 SUBSISTEMA: (11) Tanque y Línea de impulsión de bombas de inyección de floculante C-1274-1/2
 NOTES:
 DRAWINGS: Flujograma 12_02

NOTES:

¿Que pasa si?	CONSECUENCIAS	SALVAGUARDAS	F	S	R	RECOMENDACIONES	BY	F	S	R	COMENTARIOS
1. Error de procedimiento de mezclado/llenado	1.1. Sobrellenado de tanque de floculante, derrame, salpicadura y posible afectación a las personas por caídas	1.1. EPP	2	B	2	See.13 See.14 See.20	Seg-Op				
2. Arranque de bomba por error operativo sin haber llenado el tanque	2.1. Rotura de internos de la bomba 2.2. Falta de inyección de floculante, mayor concentración de sólidos en lixiviados	2.1. Bomba de respaldo	4	D	2	26. Implementar switch de bajo nivel en tanque de floculante que pare la bomba B-1274-1/2	Ing	2	D	1	
3. Se obstruye la línea de succión de la bomba B-1274-1/2	3.1. Rotura de la bomba		3	D	1	See.16	Op				

S: Severidad de la consecuencia
 F: Frecuencia de la consecuencia.
 R: Nivel de Riesgo.



HAZID

Esta metodología, si bien puede aplicarse en diferentes fases del Ciclo de Vida de una instalación, dadas sus características por lo general se usa para descubrir peligros en forma temprana, es decir en las primeras fases del Ciclo de Vida.

El objetivo básico del HAZID es identificar los peligros, reducir sus consecuencias y su probabilidad de ocurrencia. Normalmente, el sistema que se está evaluando se divide en partes manejables (subsistemas) y un equipo multidisciplinario, durante las reuniones en donde se realiza un brain storming, identifica y evalúa los peligros potenciales en cada parte del sistema.

El grupo de trabajo debe estar integrado por representantes de las diferentes áreas: Operaciones, Mantenimiento, Ingeniería, Procesos, Seguridad y Medio Ambiente.

Descripción del método

El método parte del planteamiento de una lista de peligros en la instalación. Estos peligros abarcan distintos aspectos:

- Peligros relacionados con el proceso (por ejemplo, relacionados con presencia de combustibles, productos químicos altamente reactivos, sustancias tóxicas, explosivos, sistemas de alta presión y otros sistemas de almacenamiento de energía).
- Peligros relacionados con el medio ambiente, que puedan influir en las instalaciones o que la propia planta afecte al medio ambiente. Por ejemplo, condiciones meteorológicas extremas, impacto en el entorno por emisiones, emplazamiento.
- Peligros relacionados con las fallas de los sistemas de prevención y/o mitigación.
- Peligros relacionados con la operación, mantenimiento, pruebas de equipos, respuestas ante emergencia.
- Peligros relacionados con falla de servicios auxiliares. Por ejemplo, suministro eléctrico, vapor, agua de enfriamiento, etc.
- Peligros relacionados con la salud de las personas

Por lo general estos peligros se listan y enmarcan dentro de categorías generales y se desglosan en subcategorías para sistematizar las sesiones de trabajo. A este listado es habitual llamarlo “lista de control”.

Ejemplo de Categorías generales de Peligros.

1. Peligros externos y medioambientales:

- Peligros naturales y medioambientales.
- Peligros derivados de la acción humana (antrópicos)



- Daños medioambientales
2. Peligros de las instalaciones:
 - Peligros de incendio y de explosión
 - Peligros derivados de los procesos
 - Peligros de sistemas de utilidades
 - Peligros derivados del mantenimiento
 - Peligros relacionados con la construcción de las instalaciones
 - Peligros relacionados con la puesta en marcha de las instalaciones.
 3. Peligros para la salud.
 4. Peligros relacionados con la implementación de los proyectos:
 - Contrataciones
 - Competencia - Capacidad
 - Plan de contingencias

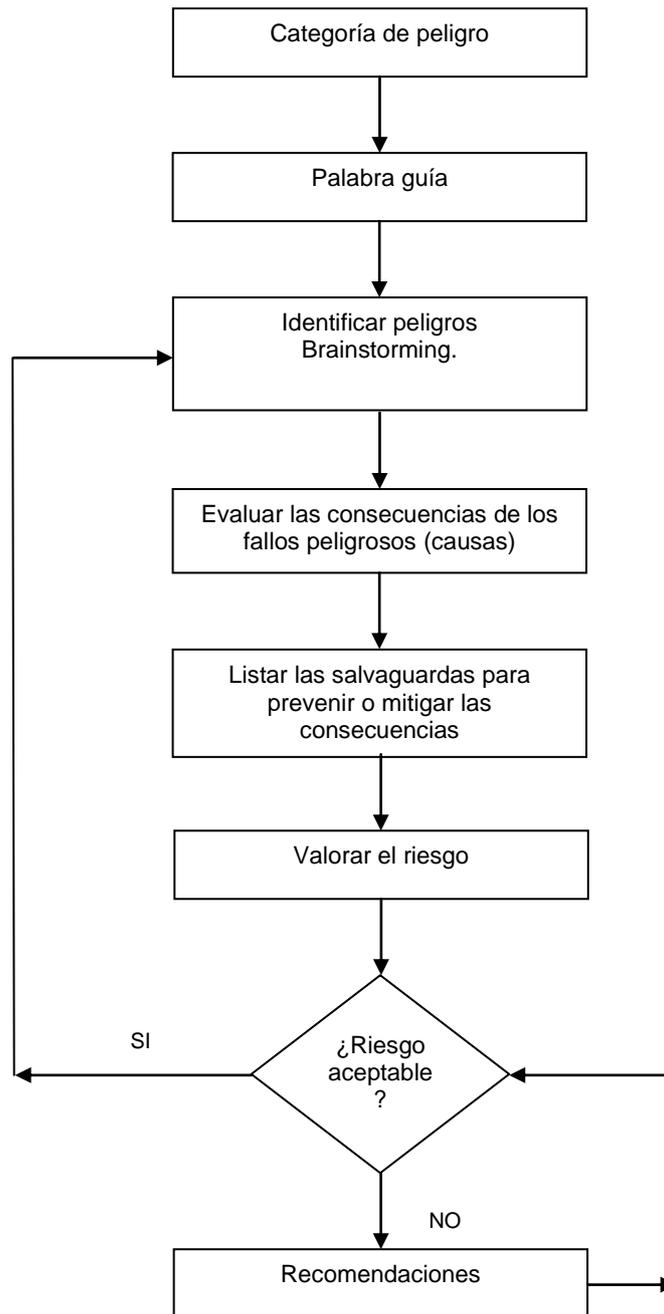
La lista exhaustiva de categorías y subcategorías de peligros a analizar será desarrollada por el Jefe del Proyecto en conjunto con el Líder del estudio. Esta lista puede basarse en otros estudios y guías de la Compañía; por ejemplo, en los análisis preliminares de riesgos (APR). Para lograr más especificidad es conveniente que cada subcategoría de peligros posea unas series de palabras, llamadas palabras clave o palabras guía, que permitan identificar escenarios peligrosos.

Una vez definido el peligro que se desea evaluar, se procede a determinar las consecuencias y salvaguardas correspondientes al escenario peligroso planteado.

El HAZID incluye una valoración del riesgo de cada uno de los escenarios peligrosos identificados mediante una ponderación cualitativa de la severidad de las consecuencias y las probabilidades de ocurrencia mediante una matriz de riesgos apropiada. En caso que el riesgo no sea aceptable se recomendarán acciones para reducirlo.



Diagrama de flujo de la metodología.





Modelo de Lista de control

PELIGROS EXTERNOS Y AMBIENTALES	
PELIGROS NATURALES Y MEDIOAMBIENTALES	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones meteorológicas extremas • Rayos • Terremotos • Erosión • Hundimiento paulatino del terreno
PELIGROS CAUSADOS POR EL HOMBRE	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades terroristas o de sabotaje • Amenazas contra la seguridad • Actividades de terceros • Colisión de aeronaves
IMPACTO DE LAS INSTALACIONES EN EL ENTORNO	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto en estructura geográfica del terreno • Proximidad a áreas pobladas • Uso de la tierra colindante • Proximidad a rutas de transporte • Efectos medioambientales • Asuntos sociales
INFRAESTRUCTURAS	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicaciones ordinaria • Comunicaciones en caso de emergencia • Apoyo a suministros
IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones a la atmósfera • Vertidos a medio acuático • Vertidos al terreno • Descargas de emergencia • Contaminación del suelo • Impacto de las instalaciones • Impacto en la biodiversidad • Eliminación de residuos • Períodos de construcción

Anexo I. Tabla 1: Peligros externos y medio ambientales

PELIGROS DE LAS INSTALACIONES	
MÉTODOS y FILOSOFÍA DE CONTROL	<ul style="list-style-type: none"> • Filosofía respecto a las operaciones y al personal • Concepto de las operaciones • Filosofía de mantenimiento • Filosofía de control • Niveles del personal • Respuesta a emergencia • Operaciones simultáneas • Arranques y paradas



PELIGROS DE LAS INSTALACIONES	
PELIGROS DERIVADOS DE PROCESOS	<ul style="list-style-type: none">• Inventario• Mermas de inventario• Sobrepresión• Temperatura inadecuada• Nivel inadecuado• Composición errónea• Almacenamiento de productos inflamables• Fuentes de ignición• Layout, distribución, situación de los equipos• Protección y respuesta ante el fuego Protección del personal• Llamada• Venteo• Descargas de procesos (sin ignición)• Toma de muestras
SERVICIOS	<ul style="list-style-type: none">• Agua contra incendios• Medio de calentamiento• Alimentación eléctrica• Vapor de agua• Drenajes• Almacenamiento y tratamiento de Residuos• Almacenamiento químico y de Combustibles• Agua potable• Alcantarillado• HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning)
PELIGROS POR MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none">• Necesidades de acceso• Override y bypass requeridos• Características comunes de los equipos• Izado de cargas pesadas• Transporte
INSTALACIONES EXISTENTES Y EN CONSTRUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none">• Conexiones• Reutilización de materiales• Interfase: parada/purga/ESD (Emergency Shut Down)• Contaminación del suelo• Movilización/desmovilización• Nivel de prefabricados• Daño a instalaciones subterráneas existentes• Accidentes en plantas próximas
PELIGROS EN EL EXTERIOR DE LAS INSTALACIONES	<ul style="list-style-type: none">• Vulnerabilidad• Ventilación natural• Efectos de la radiación de llamas• Efectos de escapes de gases densos• Futura expansión

Anexo I. Tabla 2: Peligros de la instalación



PELIGROS PARA LA SALUD	
	<ul style="list-style-type: none"> • Enfermedades • Asfixia • Cancerígenos • Tóxicos • Físicos • Mentales • Riesgos laborales • Transporte
PELIGROS RELACIONADOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS	<ul style="list-style-type: none"> • Influencias preponderantes • Legislación • Regulaciones externas • Limitaciones externas medioambientales

Anexo I. Tabla 3: Peligros para la salud

ESTRATEGIA DE CONTRATACIÓN	
IDENTIFICACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios de riesgos • Registro de riesgos y efectos • Control de proyectos
PLAN DE CONTINGENCIA	<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura geográfica • Medidas de recuperación
COMPETENCIA, CAPACIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de formación • Requisitos de formación • Nivel tecnológico

Anexo I. Tabla 4: Peligros relacionados con la estrategia de contratación

Ámbito de aplicación

Se aplica generalmente durante el diseño conceptual o durante la fase de investigación y desarrollo de un proceso; por ejemplo, para definir la ubicación de la planta. También se utiliza comúnmente como una herramienta de revisión de diseño antes de que los P&ID sean elaborados.

Recursos necesarios

Información general de la instalación disponible en el momento del estudio (Lay Out preliminar, Diagrama de procesos (PFD), descripción de la instalación, filosofía de operación y seguridad, descripción de enclavamientos, etc.). Podría utilizarse también la Información del entorno (medio ambiente e instalaciones).

Características

- La metodología está basada en la experiencia del analista, en procesos similares y también en su creatividad. Si bien la lista de control trata de hacer que el estudio adquiera cierta sistematización, la identificación de peligros propiamente dicha surge de un brain storming.



- Permite Identificar peligros sobre la salud, seguridad, medio ambiente y la Propiedad.
- Permite establecer recomendaciones y acciones para llevar a cabo en las siguientes fases del proyecto.
- Permite obtener datos de partida para la realización de estudios de impacto ambiental y otros medios de análisis de riesgos.
- Permite identificar incertidumbres, preocupaciones y necesidades de formación.
- Permite formar una base de un registro de peligros en una instalación existente.
- El estudio se va registrando en una planilla. A continuación se adjunta un ejemplo de planilla HAZID.

HOJA DE TRABAJO BÁSICA PARA UN HAZID

SISTEMA:											
Categoría de Peligro General:											
Diagrama/Plano:						Intención de Diseño:					
Notas:											
Sub-Categoría de Peligro	Peligro	Consecuencias	Salvaguardas	S	F	R	Recomendaciones	S	F	R	Comentarios



Ejemplo de estudio HAZID

HAZID PLANTA DE COGENERACIÓN

Fecha: (1) 05/12/2010

Sección: (1) Riesgos externos y Medioambientales

Notes:

Page: 1 of 10

Notes:

Categoría de Riesgo	Riesgo	Efectos	Medidas de Control	S	F	R	Recomendaciones	Por	S	F	R	Comentarios	
Riesgos naturales y medio ambientales	1. Lluvias extremas	1.1. Posible inundación, daños económicos, pérdida en la generación de energía y de vapor	1.1. Están en curso proyectos para ampliar la capacidad de drenaje de efluentes pluviales. 1.2. Protecciones propias de la planta de cogeneración, paro de planta. 1.3. En caso de paro de planta esta previsto que se siga utilizando energía eléctrica externa.	3	6,3	18,9	1. Analizar alternativa para conducir a sitio seguro los desagües que actualmente se dirigen al área donde será instalada la planta de cogeneración en química. 2. Analizar que/cuales plantas son afectadas por la pérdida de vapor causada por el paro de las plantas cogeneradora.	QCA	1,7	6,3	10,7	La planta a instalar en química será ubicada en un terreno que actualmente se usa para contingencias en caso de fuertes lluvias, esta previsto movimiento de suelo, relleno y nivelación a nivel de planta.	
	2. Vientos fuertes	2.1. Sin consecuencias, esta contemplado en el diseño						QCA					
	3. Rayos	3.1. Posible incendio, daños a las personas e instalaciones	3.1. Sistema de protección contra descarga atmosférica.	7	1,6	11,2							
	4. Hundimiento del terreno	4.1. Daños a las instalaciones	4.1. Estudio de suelo que condiciona el diseño de la obra civil	3	0,4	1,2							
Riesgos derivados de la acción humana	5. Riesgos contra la seguridad	5.1. Sin consecuencias en refinería (esta ubicado en el medio del complejo)											

HAZOP

Introducción

El HAZOP es una metodología sistemática y formal para identificar peligros, evalúa las consecuencias, las salvaguardas, y genera recomendaciones para minimizar los riesgos y mejorar la operación.

Es una técnica mencionada específicamente en algunas regulaciones, y aceptada generalmente como una de las metodologías preferidas de identificación de peligros en las industrias del gas y del petróleo. Se utiliza en las etapas de Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalle y operación normal de la planta.

Los riesgos a minimizar son aquellos que pueden implicar al personal, tanto del interior del emplazamiento como del exterior, el medio ambiente y la propiedad.

Como resumen se puede indicar que la metodología consiste en estudiar los P&ID y dividir el proceso en subsistemas llamados “nodos”, donde se analizan las posibles desviaciones de los principales parámetros que caracterizan el proceso (PRESIÓN, TEMPERATURA, CAUDAL, NIVEL, COMPOSICIÓN,



etc.). Las desviaciones son evaluadas de forma sistemática recurriendo a una lista de palabras guía (NO, MÁS, MENOS, OTRO, INVERSO, etc.), que califican el tipo de desviación.

El estudio se lleva a cabo en una serie de sesiones multidisciplinaria cuyos participantes son técnicos de diversas disciplinas, principalmente: ingeniería, procesos, mantenimiento, instrumentación, seguridad y medio ambiente. La metodología tiene como objetivo estimular la imaginación en base a la técnica de brain storming. Se estudian las desviaciones del proceso para determinar si conducen a una situación peligrosa o si generan algún tipo de problema para la operación.

Objetivos

El objetivo básico del HAZOP es identificar los peligros y los problemas en la operatividad de la planta, reducir las consecuencias y su probabilidad de ocurrencia.

Básicamente el propósito de un HAZOP es:

- Identificar peligros y problemas operativos.
- Evaluar las consecuencias de dichos peligros
- Evaluar la efectividad de las salvaguardas provistas como medidas de prevención o mitigación de peligros.
- Proponer recomendaciones para prevenir o mitigar peligros y, de esta forma, reducir el riesgo.
- Servir de entrada para un estudio de riesgos más riguroso.

Descripción de la Metodología

Está basado en el análisis sistemático y formal empleando palabras guía con las que se buscan de forma deliberada las desviaciones a los parámetros del proceso, empleándolas como mecanismos de activación para estimular a los miembros del equipo a buscar dentro del proceso las causas y cuáles podrían ser las consecuencias de la desviación.

Para facilitar el análisis, los sistemas del proceso se dividen en partes. El estudio se realiza bajo la coordinación de un Líder con experiencia, que debe garantizar una cobertura completa de análisis de todo el proceso. El facilitador del estudio es asistido por una persona, comúnmente llamado Secretario, que registra los peligros identificados, problemas operacionales y toda la evaluación y resolución.

El equipo multidisciplinario encargado del estudio debe contar con técnicos especialistas en varias disciplinas y con la experiencia apropiada.

El estudio debe realizarse en un clima de pensamiento positivo que permita exponer las argumentaciones y objeciones necesarias que ayuden a clarificar los puntos de vista e ideas de los componentes del equipo.

Los estudios HAZOP, como todos los estudios PHA, consisten en cuatro pasos básicos:



Definición: Esta etapa es común a todas las técnicas. Básicamente consiste en definir los objetivos de estudio, el alcance, las responsabilidades, y seleccionar el equipo de trabajo.

Los objetivos y alcance de un estudio son interdependientes y deben desarrollarse juntos. Ambos deben especificarse claramente, para asegurar que:

- Los límites del sistema y sus interfaces con otros sistemas y el medio ambiente están claramente definidos.
- El equipo de estudio está enfocado y no se desvía a zonas irrelevantes para el objetivo.

Las responsabilidades de un equipo HAZOP deben estar claramente definidas por el Jefe del Proyecto. El Líder del estudio debe revisar el diseño para determinar qué información está disponible y qué personas deben formar el equipo de estudio. Se debe desarrollar un programa de actividades que refleje los hitos del proyecto para permitir que cualquier recomendación se lleve a cabo de manera oportuna.

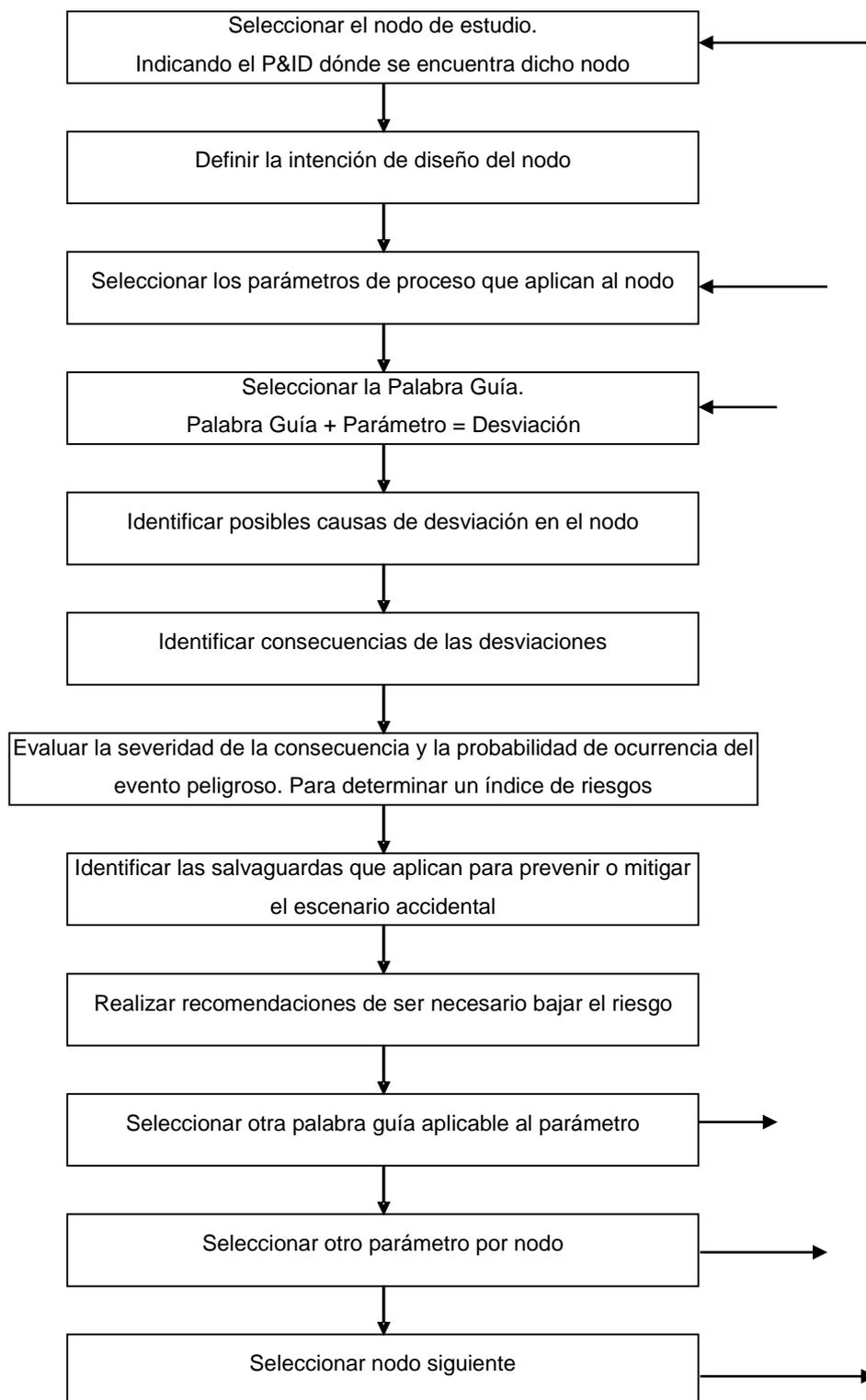
Preparación: Planificar el estudio, recopilar datos, estimar plazos, definir el lugar de las sesiones. Esta etapa es común a todas las técnicas.

Desarrollo: Una vez que se ha superado la etapa de definición y preparación, el desarrollo del estudio HAZOP consiste en:

- Dividir el sistema en partes, comúnmente llamadas “nodos”.
- Seleccionar un nodo y definir la intención del diseño de esa parte del proceso a analizar.
- Plantear las desviaciones a analizar en el nodo. Las desviaciones se plantean sistemáticamente mediante la combinación de un parámetro del proceso a analizar y una palabra guía.
- Identificar causas de las desviaciones.
- Identificar y registrar las consecuencias factibles que se pueden producir en relación con cada una de las causas planteadas.
- Identificar si existe un problema significativo.
- Identificar y registrar las salvaguardas que existan para el escenario. Lazos redundantes, interlocks, Funciones de Seguridad o Sistemas SIS, procedimientos operativos, etc.
- Proponer las acciones que se podrían tomar para evitar las causas o limitar las consecuencias.
- Proponer Acciones de mejora, del diseño y la operación.
- Anotar las aclaraciones y comentarios pertinentes durante todo el análisis que permitan que la planilla de trabajo sea entendible.
- Repetir este procedimiento para cada nodo.



Diagrama Lógico Indicativo del Proceso





Selección de los nodos

Es el primer paso para proceder al estudio del proceso, el cual se realiza en base a los P&ID del mismo.

Los nodos se pueden fijar tanto en el interior de recipientes como en líneas de entrada o salida de los mismos, con la única condición de que alguna de las variables de proceso propuestas sufra cualquier variación o cambio sustancial que pudiera comportar alguna consecuencia negativa para la seguridad, la operación, el medio ambiente y la Propiedad.

Previo al inicio del desarrollo del HAZOP los miembros del equipo deben tener en lo posible una propuesta de los nodos realizada por el Líder del HAZOP para que sea consensuada y estén familiarizados con los mismos.

Si algún equipo o sistema tiene más de un modo de operación, es necesario que quede bien entendido por el equipo HAZOP, de forma tal que se tenga en cuenta en el análisis del nodo correspondiente.

Intención de diseño

Luego se explica la intención del diseño del nodo y los elementos que lo forman. La intención de diseño debe quedar redactada en la planilla de trabajo. Se trata de una descripción del proceso que abarca al nodo y sus condiciones de operación y diseño.

La intención del diseño, cuando el HAZOP sea de un proceso, generalmente contiene los siguientes elementos: sustancia que se procesa, procedencia del flujo de proceso, destino del flujo de proceso, condiciones de diseño de los equipos intervinientes en el nodo.

En esta etapa se deberán analizar y aclarar los modos de operación de los equipos de procesos que forman el nodo, tanto las operaciones normales como las menos frecuentes, condiciones transitorias, y todos los modos de operación.

Palabras guía

El papel de la palabra guía es estimular el pensamiento para enfocar el estudio y generar ideas y debates.

Las palabras guía, en combinación con los parámetros, dan la desviación que se requiere analizar en el nodo.

La lista de palabras guía a estudiar la propondrá el Líder del HAZOP, el cual tendrá en cuenta las características del proceso. Si se requiere alguna palabra guía adicional o sustitución de otra, se debe justificar brevemente a los miembros del equipo.

A modo de ejemplo, se presenta una lista de palabras guía que podrían ser aplicables en un estudio HAZOP para una gran variedad de procesos y sistemas.



Palabras Guías	Significado
No	Ausencia del parámetro
Más	Mayor a lo previsto en el diseño
Menos	Menor a lo previsto en el diseño
Inverso	Inversión en el sentido del parámetro

Anexo I. Tabla 5: Significado de palabras guía básicas

En la tabla siguiente se muestran ejemplos de palabras guía relacionadas a orden o secuencia

Palabras Guías	Significado
Antes	Adelantar un paso de una secuencia o procedimiento
Después	Retrasar un paso de una secuencia o procedimiento
Temprano	Llevar a cabo una acción antes
Tarde	Llevar a cabo tarde una acción
Otra	Cambio parcial o total de la variable

Anexo I. Tabla 6: Significado de palabras guía menos frecuentes

Parámetros de proceso

Los parámetros del proceso deben definirse una vez identificados los nodos y su intención de diseño.

Los elementos de un nodo tienen unos parámetros de procesos que deben identificarse y asociarse a ellos para poder aplicar la metodología. Por ejemplo, si un elemento de un nodo es un tanque, considerando el producto que contiene el tanque se pueden definir los siguientes parámetros: Presión, Nivel, Temperatura, Composición, Reacción.

Según el tipo de proceso puede ser necesaria la aplicación de otros parámetros diferentes a los típicos (*Presión, Nivel, Temperatura, Caudal, Composición, Reacción*); esto depende del tipo de proceso que se pretende analizar, los equipos involucrados y la intención del diseño del mismo.



Utilizar solamente los parámetros de proceso más comunes puede ser que no sirva para una identificación de todos los peligros del proceso, por lo que es necesario la aplicación de parámetros adicionales para asegurar la cobertura completa de los peligros en el estudio.

En la tabla siguiente se muestran los parámetros típicos y las palabras guía que aplican para esos parámetros.

PARÁMETRO TÍPICOS	PALABRA GUÍA
PRESIÓN	ALTA BAJA
NIVEL	ALTO BAJO
FLUJO-CAUDAL	ALTO MENOS INVERSO
TEMPERATURA	ALTA BAJA
COMPOSICIÓN	OTRA CONTAMINANTES
VISCOSIDAD/DENSIDAD	OTRA
CORROSIÓN	ALTA
FUEGO	EXTERNO INTERNO

Anexo I. Tabla 7: Parámetros típicos de un proceso

En la tabla siguiente se muestran las desviaciones formadas por la aplicación de una palabra guía a un parámetro de proceso.

Parámetros	Palabras Guías				
	Más	Menos	No	Inverso	Otros
Presión	Alta presión	Baja Presión	Vacío		
Temperatura	Alta Temperatura	Baja Temperatura			
Nivel	Alto Nivel	Bajo Nivel	Sin nivel		
Reacción	Alta reacción	Baja Reacción	Sin Reacción	Reacción inversa	Reacción Errónea
Composición					Contaminación

Anexo I. Tabla 8: Desviaciones de los parámetros de proceso



Identificación de las causas de las desviaciones

Las causas de las desviaciones deben establecerse de forma realista y clara para que no quepa duda de las mismas y no exista confusión entre la causa de la desviación y la consecuencia que acarrea la misma.

Constituye esta parte fundamental del estudio sobre la que se debe, en una primera fase, definir las salvaguardas; para ello se tienen en cuenta las tres causas tipo básicas:

- Fallo de los equipos o de la instrumentación
- Fallo humano
- Fenómenos externos

Las causas deben ser creíbles. De este concepto es que a menudo no se consideran fallos múltiples como causas de una desviación. Esta premisa que se ha instaurado no debe ser rígida, de forma que se consideren fallos múltiples para casos especiales.

Evaluación de las consecuencias

Para cada causa, las consecuencias de las desviaciones se han de identificar de modo preciso. Hay que tener en cuenta que existen causas que pueden generar consecuencias distintas dependiendo de si tienen lugar aguas abajo o arriba del nodo considerado como, por ejemplo, el cierre de una válvula o taponamiento, que puede dar lugar a un aumento de presión (que podría acarrear una rotura) o a un no caudal (con efectos graves para cualquier bomba).

La naturaleza y magnitud de las consecuencias generadas por las desviaciones son las que determinarán la importancia y fiabilidad de las salvaguardas con las que debe contar el sistema. Por esta razón las consecuencias requieren ser identificadas de forma clara y justificada.

Las consecuencias de cada causa se imaginan considerando que las salvaguardas existentes han fallado (es decir como si no existiesen). Este concepto no debe confundirse con los fallos múltiples ya que los mismos se refieren a causas de desviaciones, no al fallo de las salvaguardas una vez ocurrida una causa-consecuencia.

Considerar las salvaguardas existentes

Una vez establecidas las consecuencias, el siguiente paso es juzgar si las salvaguardas o las capas de protección dispuestas, es decir, los lazos de control, alarmas, procedimientos operativos, interlocks, etc., son capaces de prevenir la causa de la desviación o, en su caso, mitigar sus efectos.

Acciones o recomendaciones propuestas

Si, una vez evaluadas las salvaguardas existentes, el equipo HAZOP encuentra que éstas no serían capaces de prevenir la causa o de mitigar suficientemente las consecuencias, deben proponerse acciones o recomendaciones adecuadas para evitar o mitigar la consecuencia indeseada.



Puede ocurrir que el equipo del estudio no sea capaz de proponer las acciones adecuadas a pesar de dedicar a ello un tiempo prudencial. En estos casos se indicará en las Hojas de Trabajo que se requiere una investigación adicional para determinar la salvaguarda necesaria y suficiente.

Aspectos principales que deben considerarse en el Análisis HAZOP

Sistemas a considerar	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Líneas, recipientes, equipos, etc.
Variables a considerar	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Presión, variación de la presión, temperatura, variación de la temperatura, variaciones de volumen, calor generado, calor transmitido, velocidad de reacción, densidad, viscosidad, composición, concentración, reacciones causa-efecto entre variables, etc.
Modos de operación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Operación normal, ✓ Modo de puesta en marcha, ✓ Modo de parada, ✓ Modos de Mantenimiento, construcción o inspección
Tipos de causas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fallo humano, ✓ Fallos de equipo, instrumento o sus componentes, ✓ Fallo de suministro, ✓ Evento de emergencia medioambiental, ✓ Otras causas de operación normal, incluyendo perturbaciones en los instrumentos
Efectos en la planta/unidad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambio en las condiciones químicas, ✓ Cambios en las cantidades, ✓ Cambio en las condiciones físicas
Condiciones peligrosas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pérdida de contención; emisión de alguna sustancia, ✓ Cambios en las características peligrosas del material, ✓ Límite operativo sobrepasado, ✓ Exposición a fuente de energía
¿Cómo se detectarían las condiciones peligrosas?	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Durante la operación normal, ✓ Bajo fallo humano, ✓ En otra circunstancia, ✓ Bajo fallo del equipo
Acciones correctoras	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambios en el diseño del proceso, ✓ Cambio en los límites de operación, ✓ Cambios en la fiabilidad del sistema ✓ Mejora en la contención de los materiales ✓ Cambios en los sistemas de control ✓ Adición o eliminación de materias

Anexo I. Tabla 9: Aspectos principales a considerar en un HAZOP



Consideraciones generales

En este apartado se ofrecen algunas consideraciones generales que pueden ser útiles a la hora de planificar la realización de un HAZOP:

- No es aconsejable sesiones HAZOP de más de 6 horas (a los sumo 8 ha) con descansos de 10-15 minutos cada dos horas. Durante este tiempo cabe esperar el análisis de 3 a 5 nodos, según sea la complejidad del sistema a analizar.
- No empezar un HAZOP hasta que la documentación disponible mínima no esté garantizada. Siempre existirá el conflicto entre realizar un HAZOP en etapas tempranas de las ingenierías básicas y de detalles y la calidad de la información disponible versus el hecho de incorporar recomendaciones en forma temprana a menor costo. El Jefe del Proyecto debe evaluar la mejor opción en ambas fases de ingeniería.
- Debe crearse una atmósfera de libre y sana discusión, es decir, evitar actitudes coercitivas. El equipo del proyecto debe ir con una mentalidad abierta, sabiendo que parte de su diseño puede ser criticado constructivamente; asimismo debe evitarse cualquier actitud despreciativa. Cuanto mejor sea el clima en la sesión, mejores resultados se obtendrán. El Director HAZOP debe manejar con su experiencia las diferentes situaciones que vayan ocurriendo.
- El HAZOP no es una sesión para diseñar sistemas, por lo que no debe emplearse el tiempo en plantear soluciones de detalle. Todas las acciones a tomar deben ser posteriormente analizadas y detalladas lo suficiente, para su correcta implementación. Incluso una recomendación puede transformarse en el análisis posterior en una solución alternativa, que deberá registrarse y ser puesta en conocimiento del equipo. Dedicar el tiempo justo (no más) para las propuestas de acciones. Una misión fundamental del Director HAZOP es el regular estos tiempos.
- En relación a los actos de sabotaje, se recomienda que se tengan en cuenta únicamente en entornos en los que la experiencia demuestre que son probables. Caso contrario, y dada la diversidad de actos de sabotaje que pueden tener lugar, se recomienda excluirlos de las sesiones.
- Las posibles causas de los desvíos deben tenerse en cuenta suponiendo que no hay salvaguardas adicionales en el sistema, y las consecuencias que se establezcan deben seguir este mismo enfoque (peores consecuencias, como si el sistema no tuviera protecciones). Una vez analizado bajo este escenario, se listan las salvaguardas y el equipo está en condiciones de definir si son suficientes o no. En consecuencia, nunca presuponer o descartar causas a priori aduciendo la existencia de salvaguardias. Es una tendencia natural al inicio de los HAZOP que el Líder debe controlar.



- Se recomienda no emplear excesivo tiempo en causas con consecuencias menores.

Informe HAZOP

El informe HAZOP es recomendable que contenga los siguientes puntos:

- Introducción.
- Metodología del análisis HAZOP
- Objetivo y Alcance del estudio HAZOP.
- Miembros del equipo HAZOP
- Seguimiento de las recomendaciones.
- Resumen de las recomendaciones - Conclusiones.
- Planilla de trabajo

El documento final de recomendaciones habitualmente incluye una tabla, en la que se indica quién es el organismo o empresa responsable de implementarla (la propiedad, la ingeniería, el vendedor-suministrador, etc.).

Si alguna recomendación, por las causas que sean, se cambiara o no fuera aceptada, el proponente debe argumentarlo de forma completa y clara. Todos los miembros del equipo que han asistido a las sesiones deben aceptarlo y dar su visto bueno al cambio propuesto.

El Líder del HAZOP lo debe tener en cuenta y así lo indicará en el informe final del HAZOP.

Las sesiones de trabajo deben registrarse en una planilla de trabajo como la que se muestra a continuación.



Fase de Ingeniería básica.

Durante esta fase se desarrolla la ingeniería de diseño, se deciden los métodos de operación y qué información se requiere. Es el período ideal para preparar el HAZOP ya que en esta etapa se dispone de suficiente información para permitir que el estudio sea completo.

Fase de ingeniería de detalle.

En esta fase es muy conveniente disponer del HAZOP concluido de forma que no interfiera en la preparación de los planos y demás documentación para la fase de construcción. En esta etapa se suele revisar el HAZOP realizado en la Ingeniería Básica.

Fase de puesta en marcha y comisionado.

En casos donde las secuencias de puesta en marcha y sus instrucciones sean críticas o en los que hayan incluido cambios importantes en el diseño en la fase final del proyecto, es importante llevar a cabo una revisión del HAZOP antes de la puesta en marcha.

Instalaciones existentes

En relación a cambios en instalaciones existentes, el HAZOP se debe aplicar antes de implementar cualquier cambio que pudiera afectar a la seguridad u operatividad de un sistema o que pudiera tener algún otro impacto.

Asimismo, esta técnica se debería emplear a la hora de revisar P&ID y/o procedimientos para identificar peligros o problemas operativos que no se hayan puesto en evidencia por la experiencia adquirida o en el caso de revisar operaciones singulares o procedimientos distintos a los empleados normalmente.

Las modificaciones que involucran cambios en los P&ID, o aquellos cambios en la operación o el uso de sustancias distintas (química o físicamente) a las empleadas, deben estar sujetos a un estudio HAZOP.

Todo estudio HAZOP debe indicar de forma clara su alcance, si aplica a toda una planta, unidad, proceso, servicio o si solamente aplica a una modificación en concreto.

Instalaciones en procesos "batch"

El análisis HAZOP se puede aplicar también a procesos discontinuos, tales como los procesos "batch" o en secuencia.

Para aplicar el análisis HAZOP a tales procesos es preciso disponer, en primer lugar, del P&ID de la instalación completa, así como de la descripción clara de la operatoria o secuencia pormenorizada que se sigue.

El conocimiento de todas las características de las materias primas que se emplean y de los productos que se obtienen es sumamente útil y necesario.



Limitaciones de los estudios HAZOP

Aunque los estudios HAZOP han demostrado ser extremadamente útiles en los procesos industriales, esta técnica tiene algunas limitaciones que se deben tener en cuenta.

El análisis de los problemas es cualitativo, de forma que en el HAZOP se identifican peligros y/o dificultades los cuales pueden requerir un análisis posterior empleando otras técnicas tales como el ACR, ER, EAC, SIL o LOPA.

No es adecuado para un estudio detallado del emplazamiento de la instalación.

En los estudios HAZOP se consideran los peligros que proceden de uno o, como máximo, dos fallos creíbles de los sistemas asociados al proceso. Por ello no es usual tener en cuenta todas las consecuencias catastróficas de frecuencia improbable o causada por eventos múltiples. Este tipo de análisis se debe realizar aparte del HAZOP.

La efectividad del estudio HAZOP en la identificación y evaluación de peligros se basa en:

- La información disponible,
- Los conocimientos y la experiencia de los componentes del equipo, y
- La competencia del "Líder" del HAZOP.

FMEA

Introducción

Corresponde al acrónimo anglosajón del Failure Mode and Effects Analysis. Una descripción de una aplicación completa del método se incluye en el artículo de King y Rudd publicado en el AIChE J. (American Institute of Chemical Engineers Journal) en 1971.

Descripción del método

Este método consiste en la tabulación de los equipos y sistemas de una instalación, estableciendo las diferentes posibilidades de fallo y las diversas influencias (efectos) de cada uno de ellos en el conjunto del sistema o de la instalación.

Los *fallos* que se consideran son, típicamente, las situaciones de anormalidad tales como:

- Abierto cuando normalmente deba estar cerrado.
- Cerrado cuando normalmente deba estar abierto.
- Marcha cuando normalmente deba estar parado.
- Paro cuando normalmente deba estar en marcha.



- Fugas cuando normalmente debe ser estanco.
- Otros.

Los efectos son el resultado de la consideración de cada uno de los fallos identificados individualmente sobre el conjunto de los sistemas o de la instalación.

El método FMEA establece, finalmente, qué fallos individuales pueden afectar directamente o contribuir de una forma destacada al desarrollo de accidentes de una cierta importancia en la instalación.

Este método no considera los errores humanos directamente, sino su consecuencia inmediata de mala operación o situación de un componente o sistema.

Tampoco establece las diferentes combinaciones de fallos de equipos o secuencias de los mismos que pueden llegar a provocar un accidente final de mayores consecuencias.

El FMEA es un método cualitativo que establece una lista de fallos, sistemática, con sus consiguientes efectos y puede ser de fácil aplicación para cambios en el diseño o modificaciones de instalación.

Ámbito de aplicación

El método FMEA puede ser utilizado en las etapas de diseño, construcción y operación.

En la etapa de diseño es útil para la identificación de protecciones adicionales, que puedan ser fácilmente incorporados para la mejora de equipos y sistemas.

En la etapa de construcción puede ser utilizado para una evaluación de modificaciones que puedan surgir por cambios inducidos en campo.

En período de operación el FMEA es útil para la evaluación de fallos individuales que puedan inducir a accidentes potenciales.

Su uso puede ser, con limitaciones, alternativo a un HAZOP, aunque encuentre su mayor aplicación como fase previa a la elaboración de árboles de fallos, ya que permite un buen conocimiento de los sistemas.

Recursos necesarios

Normalmente, el método FMEA puede llevarse a cabo por un equipo de dos analistas que conozcan perfectamente las funciones de cada equipo o sistema, así como la influencia de estas funciones en el resto de la línea o proceso. Para sistemas complejos, el número de analistas deberá ser incrementado en función de la complejidad y especialidades a ser cubiertas.

Para garantizar la efectividad del método, debe disponerse de:

- Lista de equipos y sistemas.
- Conocimiento de las funciones de los equipos.



- Conocimiento de las funciones de los sistemas y la instalación.

La dedicación es proporcional a la complejidad, y es muy poco significativo intentar establecer un índice promedio de dedicación.

Ventajas

- Permite realizar una revisión sistemática y detallada de cada componente del equipo mecánico y eléctrico.
- Puede equivaler al estudio HAZOP de los P&IDs, con la ventaja de requerir un equipo más reducido que este
- Rapidez del método frente a otros más complejos como pueden ser el HAZOP.
- En todo caso, supone un análisis metódico y ordenado de todos los fallos que pueden presentarse en un equipo, sistema, proceso o instalación y que puede suponer una aproximación relativamente de poco coste a las situaciones accidentales que estos fallos puedan provocar.

Desventajas

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



HOJA DE TRABAJO BÁSICA PARA UN ESTUDIO FMEA

Nombre del equipo	Elemento / pieza	Función	Modo de fallo	Mecanismo Y Causa del fallo	Efectos del fallo	Criticidad	Recomendación /Acción correctiva	Riesgo			Comentario adicional
								S	L	R	

MHA

Major Hazards Analysis se basa en el uso de la Matriz de Riesgos para evaluar los peligros y las situaciones inseguras existentes en las aéreas operativas de la unidad como así también, aquellas que puedan surgir de las actividades de rutina de mantenimiento y de operaciones llevadas a cabo en esa área. El objetivo es identificar y evaluar escenarios de:

- Preocupaciones relacionadas con la condición física de equipos, infraestructura, espaciamiento, facilidades vecinas, etc. que pudiera derivar en un evento no deseado tal como daños al personal, pérdida de contenido o daño a facilidades.
- Actividades rutinarias de mantenimiento y operaciones que puedan introducir peligros al personal y a las facilidades.



- Casi incidentes o pérdidas económicas, por ejemplo, grúa que pueda entrar en contacto con líneas eléctricas o falla de suministro eléctrico por un corto período de tiempo

Esta herramienta no tiene por objetivo identificar deficiencias de diseño que pudieran o debieran ser identificadas en algunos de los estamentos de un HAZOP.

Descripción del método.

En primer lugar se debe definir el escenario peligroso a analizar. Es decir, descripción de los eventos simultáneos y/o sucesivos que deben cumplirse para que un determinado peligro genere consecuencias adversas sobre las personas, el medio ambiente, la Propiedad y/o la comunidad. En la explicación del escenario también se describen las consecuencias generadas. El desarrollo de un escenario es responsabilidad del equipo evaluador, siendo lo más específico posible y teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Los escenarios deben ser realistas. Ni tan detallados que lleven a subestimar el riesgo, ni tan generales que no permitan desarrollar e implementar medidas de control.
- Los escenarios se deben basar en un único evento iniciador y no en fallas múltiples simultáneas no relacionadas entre sí.
- Puede haber eventos en cascada a partir de un único evento iniciador, los cuales deben ser tenidos en cuenta pero solo se debe revisar una falla por vez.

Los escenarios de riesgo deben incluir la siguiente información:

- El evento iniciador
- La cascada de hechos o eventos que ocurren a partir el evento iniciador
- Otros factores para cada escenario
- Resultados
- Consecuencias

Una vez definido el evento y sus consecuencias se debe realizar la Evaluación de Riesgo. El desarrollo de una estimación cualitativa y/o cuantitativa del riesgo basada en evaluaciones de ingeniería y técnicas matemáticas para combinar estimaciones de consecuencias y frecuencias de incidentes. Los resultados son usados para tomar decisiones y la estimación de la severidad de las consecuencias es cualitativa, en tanto que la estimación de la frecuencia puede ser cualitativa o cuantitativa, a requerimiento.

Pasos a Seguir

El proceso de ejecución de esta técnica se basa en los siguientes pasos:

- Identificar los peligros y/o preocupaciones



- Desarrollar un escenario hipotético de accidente basado en las operaciones actuales y/o en las condiciones actuales de la unidad
- Determinar la probabilidad (frecuencia) y consecuencia de dicho escenario. Representarla gráficamente en la Matriz de Riesgos.
- Identificar controles y acciones potenciales para alertar del hecho, prevenir la ocurrencia y/o mitigar las consecuencias.
- Evaluar nuevamente el hecho a medida que las acciones propuesta de prevención y/o mitigación están disponibles
- Obtener la aprobación necesaria para continuar operando y/o del riesgo mitigado y establecer claramente responsables y plazos de cumplimiento de las acciones propuestas.
- Se puede, y recomienda, utilizar árboles de eventos. Estos pueden tratarse de manera básica (sucede / no sucede) o incorporar probabilidades. En estos casos, como así también en la determinación de la frecuencia del evento iniciador, se recomienda consultar al Especialista de evaluación de riesgos de la compañía.

Recursos

La evaluación de riesgo la desarrolla un equipo evaluador conducido por un facilitador con amplia experiencia en al área que se está evaluando y que permita identificar escenarios creíbles de no creíbles.

Es importante que los miembros del equipo estén entrenados en la técnica de uso de matrices de riesgos y evaluación de riesgos.

Es importante que haya representantes del área, de mecánica o mantenimiento, si el tema a tratar involucra equipos y representantes del área técnica. La composición del equipo debe ajustarse al foco de la evaluación.

Las recomendaciones surgidas deben tener un apropiado seguimiento.



ANEXO II: BOWTIE

Introducción

El análisis Bowtie es un método simple y esquemático que permite analizar los peligros describiendo y analizando la evolución de un evento accidental desde sus posibles causas hasta sus consecuencias, considerando las barreras o capas de protección existentes (tanto las de prevención del evento, como las de mitigación de las consecuencias) y/o de implementación necesaria/recomendable.

El Bowtie puede considerarse como una combinación entre un árbol de fallos y un árbol de eventos. Sin embargo, el Bowtie es una versión “simplificada” de estas metodologías ya que solo considera las causas inmediatas que llevan al evento accidental (o Top Event) y no analiza cuales son las causas básicas (como se analiza en el Árbol de Fallas), y las consecuencias se consideran independientes, no vinculadas mediante el Árbol de Eventos.

Descripción de la metodología

Como todas las metodologías que se realizan mediante la técnica de brain storming, para la aplicación de la metodología Bowtie se requiere de una reunión multidisciplinaria en la que los participantes tengan un elevado conocimiento/experiencia sobre el evento analizado. Esto es de gran importancia para la calidad del estudio final.

El punto inicial para desarrollar un Bowtie es aplicar alguna metodología auxiliar de Identificación de Peligros (HAZID, HAZOP, WHAT IF, FMEA, etc.) para determinar aquellos peligros cuyas consecuencias o riesgos asociados sean graves.

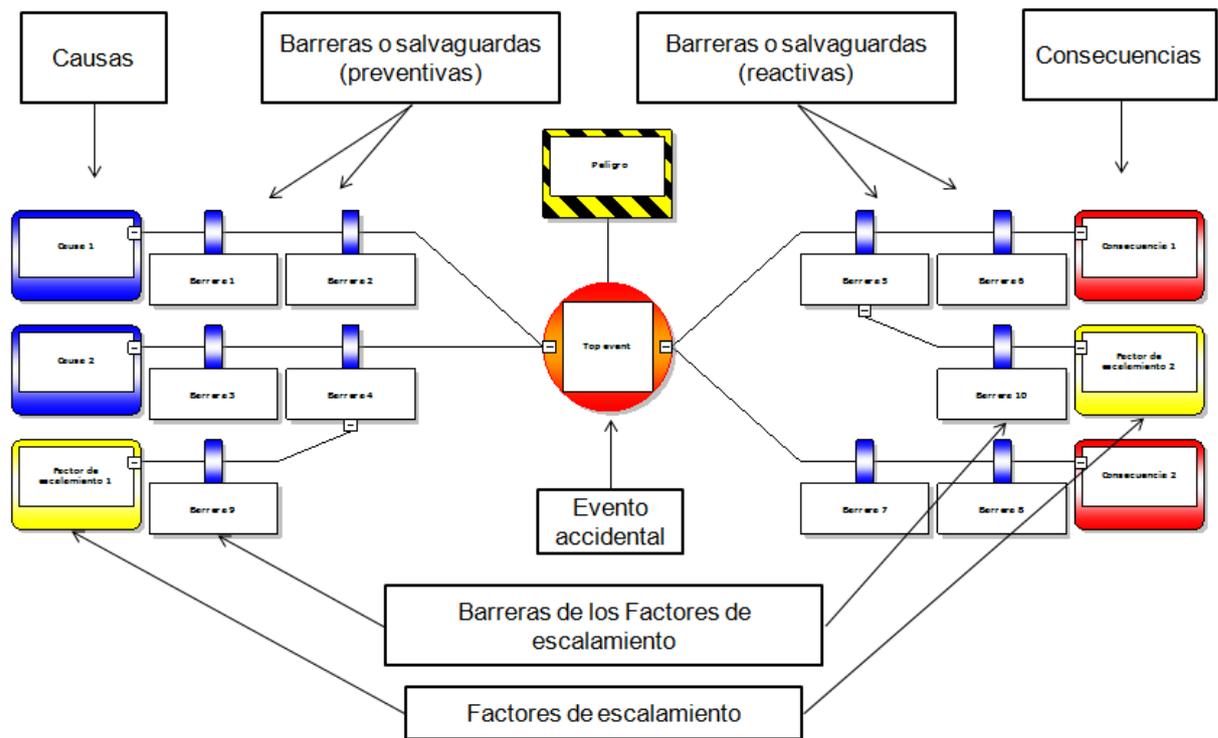
Posteriormente se sigue la siguiente secuencia básica:

- a. Se identifica el Peligro y el Evento accidental (Top Event) a analizar. Estos son representados como el nudo central del Bowtie.
- b. En la parte izquierda del diagrama se listan todas las Causas que puedan dar de forma directa el evento accidental.
- c. En la parte derecha del diagrama se listan todas las Consecuencias potenciales que pueden desencadenarse de la evolución desfavorable del evento accidental.
- d. Se listan todas las barreras que prevengan la evolución desde las causas al evento accidental (barreras preventivas). Estas barreras pueden presentar deficiencias (factores de escalamiento), los cuales a su vez tienen otras barreras para prevenir dichas deficiencias (barreras de los factores de escalamiento). Por ejemplo: Una barrera podría ser el “tratamiento químico”, siendo un factor de escalamiento la “falta de químicos en stock en campo”, y una posible barrera del factor de escalamiento sería el “control periódico sobre el stock de químicos, para tener siempre cantidades suficientes en campo”.
- e. Se listan todas las barreras que mitiguen la evolución desde el evento accidental a las consecuencias (barreras reactivas o de mitigación). Estas barreras pueden presentar



deficiencias (factores de escalamiento), los cuales, a su vez, tienen otras barreras para prevenir dichas deficiencias (barreras de los factores de escalamiento). Por ejemplo: una barrera podría ser el “Plan de Respuesta ante Emergencias”, siendo un factor de escalamiento la “falta de conocimiento del personal sobre el Plan de Respuesta ante Emergencias”, y una posible barrera del factor de escalamiento sería el “Programa de Simulacros” o la “Capacitación periódica del personal”.

A continuación se muestra una forma básica de un Diagrama Bowtie:



Anexo II. Figura 1: Ejemplo de diagrama Bowtie



Ámbito de aplicación

La versatilidad de esta metodología le permite adaptarse a cualquier sector industrial³⁰ y a cualquier nivel de una organización, con diferentes combinaciones de peligro y evento accidental. Por ejemplo: se pueden realizar Análisis Bowtie a nivel corporativo, donde el evento accidental sería la pérdida del negocio, o a nivel operacional, donde el evento accidental sería la pérdida de control en una operación o la pérdida de contención en un equipo.

Asimismo, el Análisis Bowtie se puede realizar con el nivel de especificidad que se requiera; sin embargo, su grado óptimo es un enfoque medio, sin tratar de generalizar demasiado el concepto de análisis de riesgos, ni de entrar demasiado en detalle. De esta manera se da respuesta a su máxima aspiración, COMUNICAR las posibles situaciones de riesgo y el nivel de protección que se tiene frente a ellas, para poder evaluar la necesidad de incorporar o no medidas de protección adicionales.

Recursos necesarios

Es necesario disponer de información general de la instalación o de la actividad a analizar (Plot plan y/o Lay Out preliminar, Diagrama de procesos (PFD), descripción de la instalación, filosofía operación y seguridad, descripción de enclavamientos, descripción de la actividad, etc.). Podría utilizarse también la Información del entorno (medio ambiente e instalaciones).

Características

A continuación se listan las principales ventajas del análisis Bowtie:

- Es una metodología simple de entender y “muy visual”, adecuada para la comunicación de los riesgos a todos los niveles de una organización.
- Dado que se realiza en sesiones multidisciplinarias, facilita la canalización de la experiencia personal de los trabajadores, el conocimiento de aspectos específicos de las instalaciones, de los casi accidentes, etc., en una mejor comprensión de los riesgos y de las posibles mejoras (implementación de barreras adicionales, tanto de prevención como de mitigación).
- Los trabajadores pueden entender fácilmente los principales riesgos y pueden reconocerse a sí mismos en sus tareas diarias como los "dueños" de las barreras existentes para prevenir y mitigar los riesgos.
- Se centra en las barreras, tanto para la prevención como la mitigación, evaluándose también su efectividad.

³⁰ Actualmente esta metodología se usa en la Industria del Petróleo, Industria Química, Minería, Aviación, Transporte marítimo, incluidos los puertos, Sanidad, Respuesta a emergencias, Sector financiero, Sector gubernamental, etc.

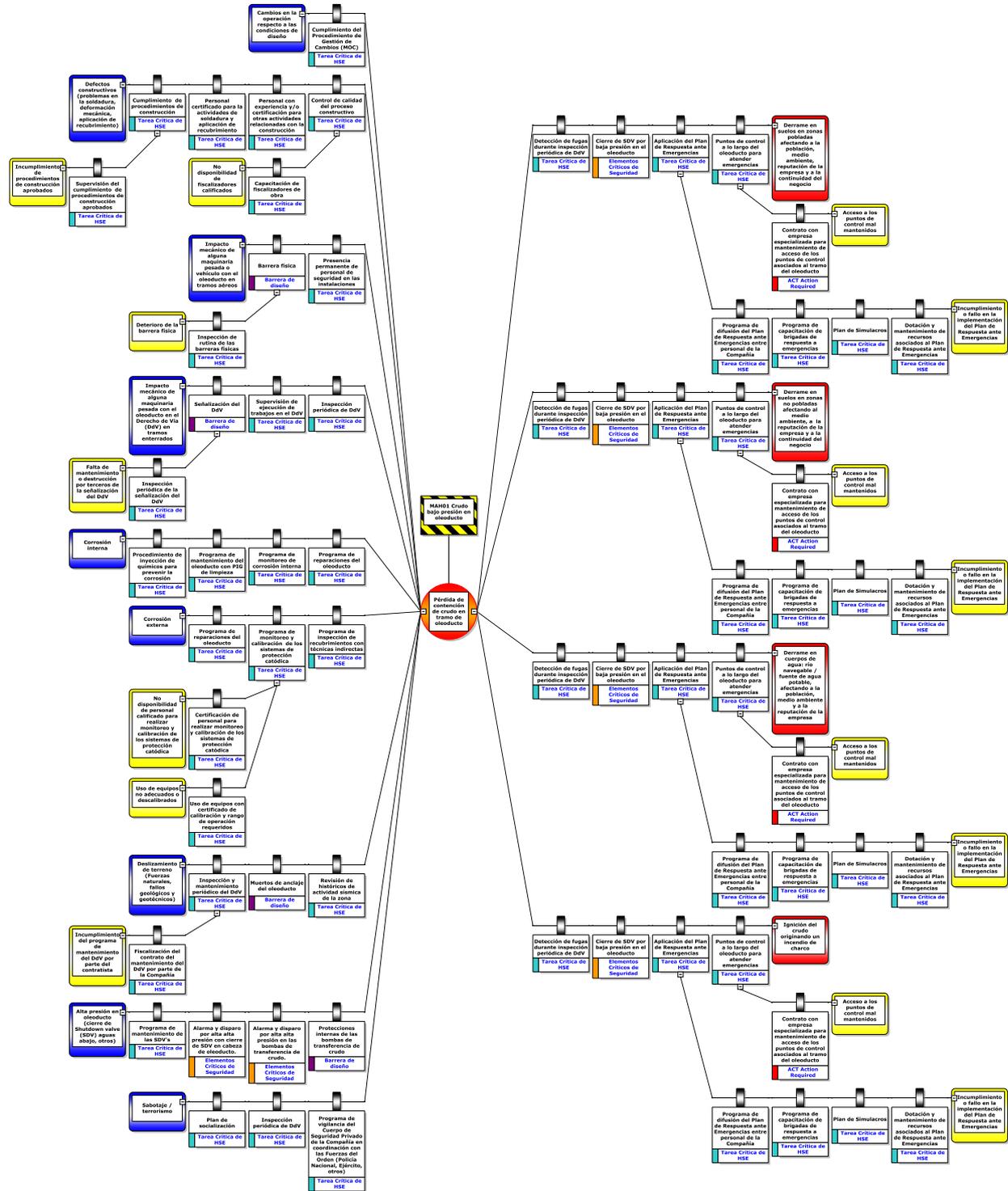


- No solo permite identificar las barreras existentes, sino también los mecanismos de falla de dichas barreras (factores de escalamiento) y, a su vez, cómo éstos son manejados (barreras de los factores de escalamiento).
- Permite descubrir dependencias, en una sola persona (por ejemplo: en el operador), para asegurar todas las barreras de una causa o consecuencia.
- Se pueden mostrar en el diagrama Bowtie los responsables de cada barrera, así como las actividades de soporte a dichas barreras (tales como mantenimiento, capacitación o inspecciones).
- Permite realizar una evaluación de los riesgos (indicados en cada consecuencia), así como una valoración del escenario global (indicado en el evento accidental).

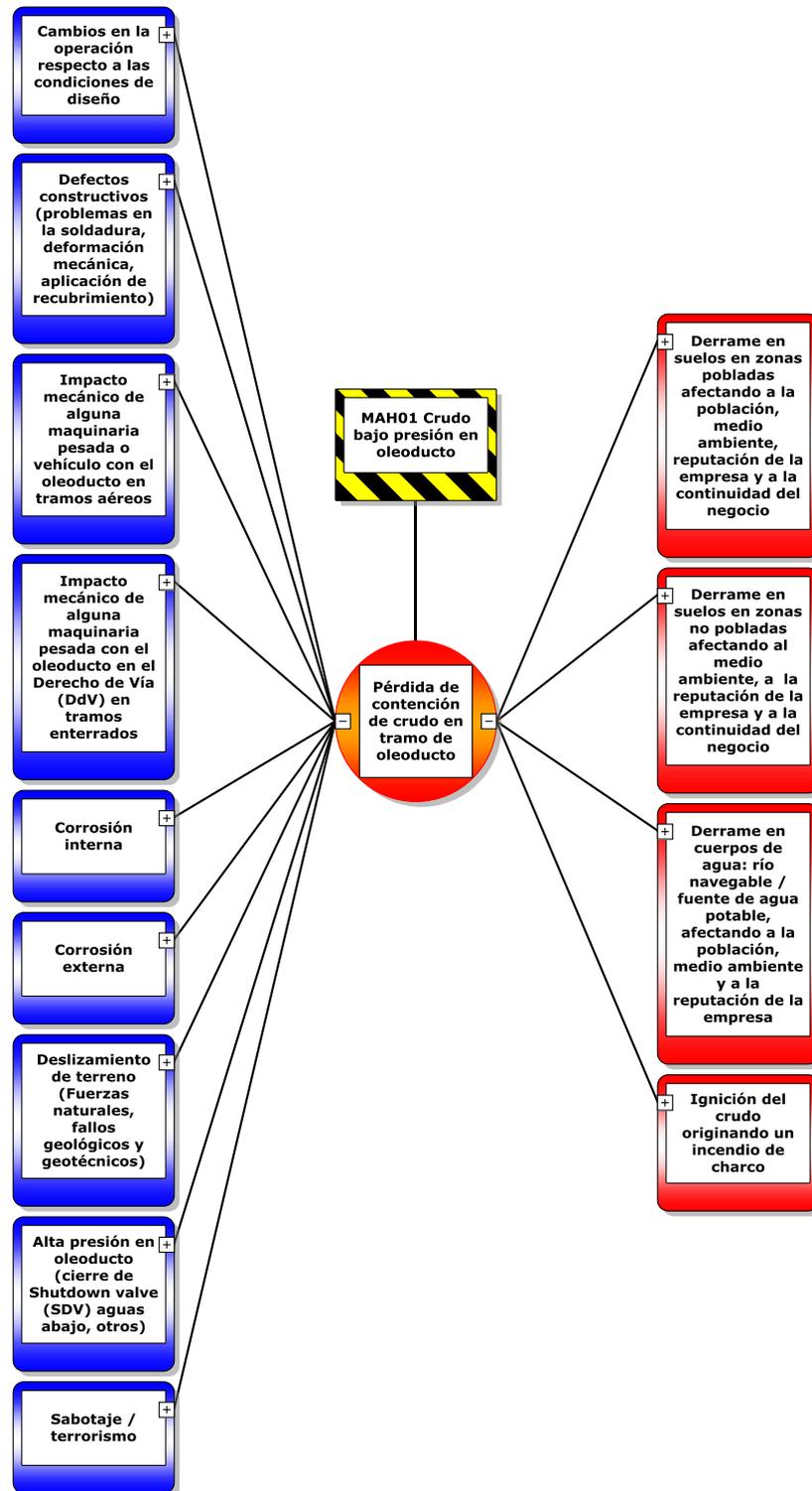
Por otra parte, las desventajas del análisis Bowtie son:

- No se pueden representar la ocurrencia de múltiples causas simultáneamente para causar la consecuencia (como, por ejemplo, se representa con las puertas “Y” en los árboles de eventos);
- Se pueden simplificar demasiado situaciones complejas, en particular cuando se realiza la cuantificación.

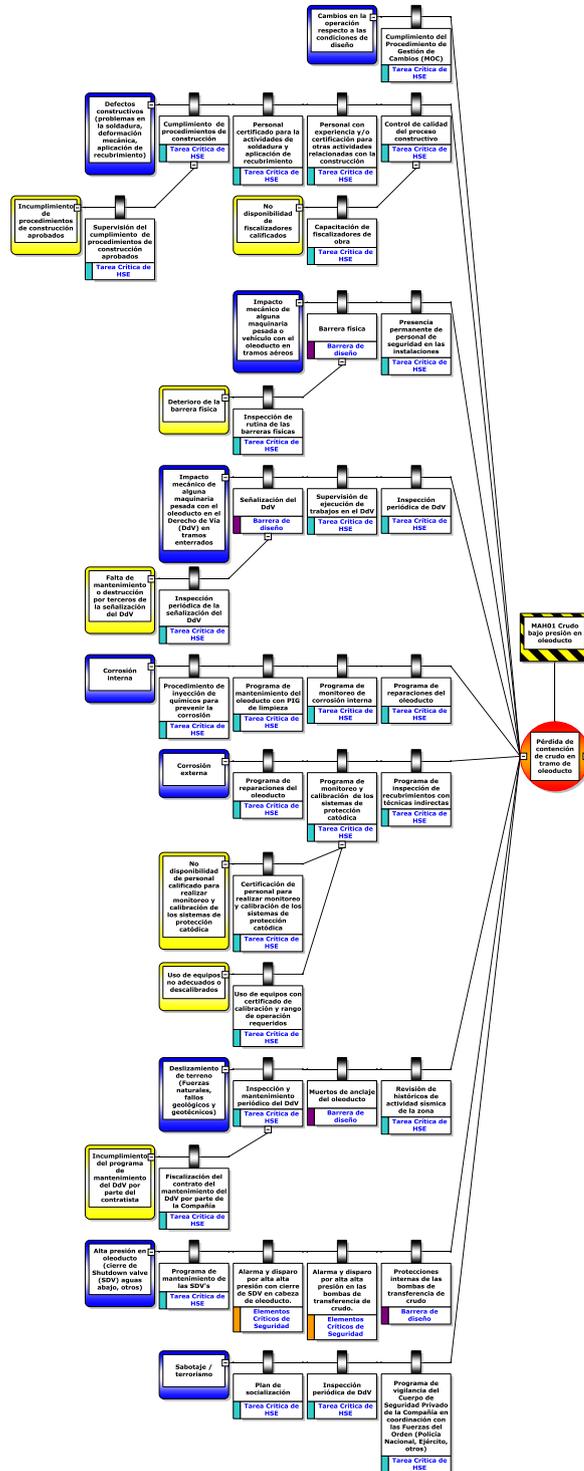
En las figuras que se presentan a continuación se muestra un ejemplo de Bowtie para el caso de la “Pérdida de contención de crudo en un oleoducto”.



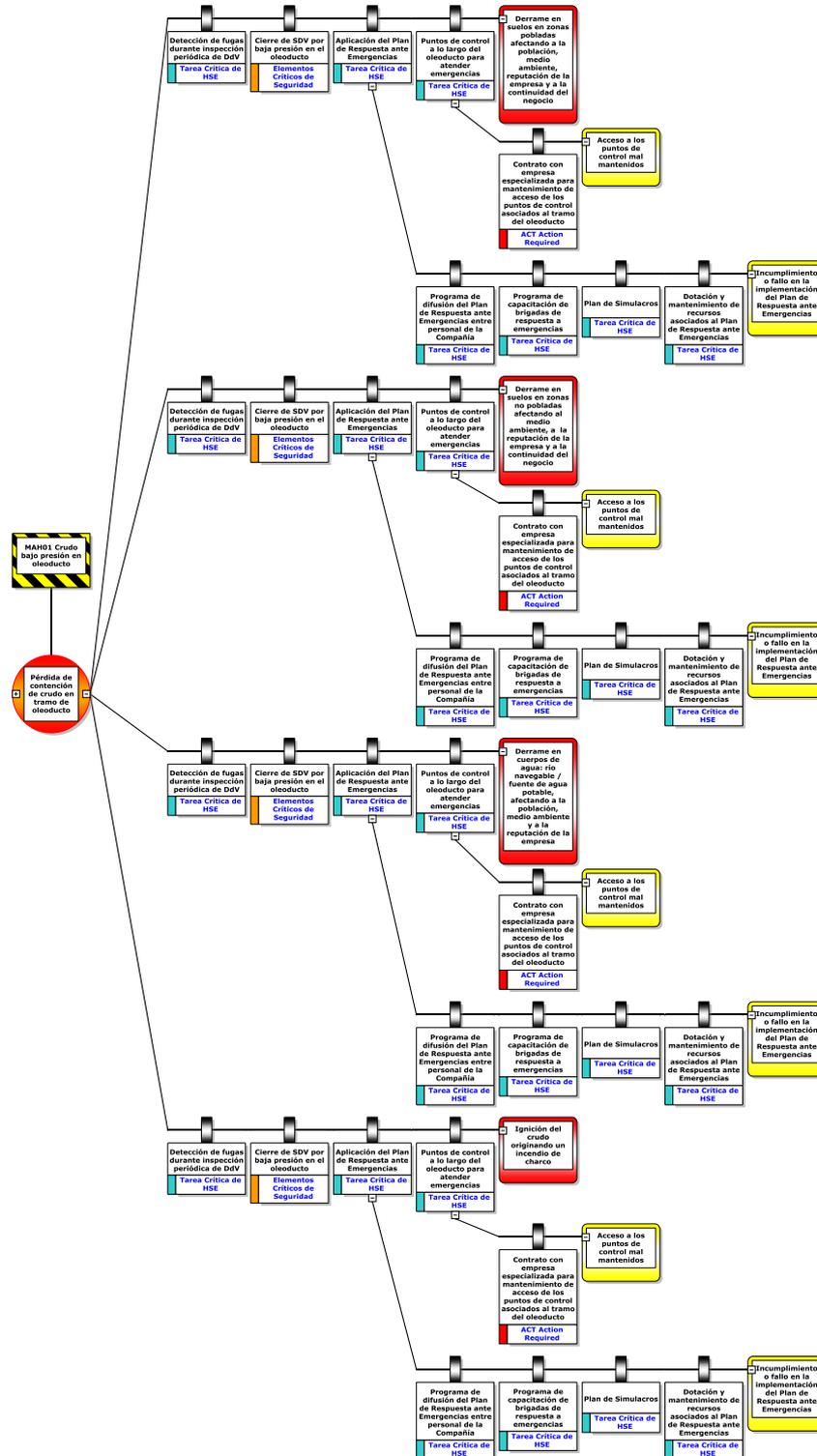
Anexo II. Figura 2: Ejemplo de diagrama Bowtie (Esquema general)



Anexo II. Figura 3: Ejemplo de diagrama Bowtie (Esquema general con detalle de causas y consecuencias)



Anexo II. Figura 4: Ejemplo de diagrama Bowtie (Detalle de las causas con sus barreras y factores de escalamiento)



Anexo II. Figura 5: Ejemplo de diagrama Bowtie (Detalle de las consecuencias con sus barreras y factores de escalamiento)



ANEXO III: ESTUDIO SIL

Introducción

El concepto de Nivel de Integridad de Seguridad (SIL – Safety Integrity Level) de una Función Instrumentada de Seguridad (SIF) incluye otros acrónimos tales como SIS (Sistema Instrumentado de Seguridad) y sus interrelaciones con otros conceptos de riesgo los cuales se describirán y comentarán someramente.

Concepto de SIL

El Nivel de Integridad de Seguridad es un nivel discreto de los requisitos de integridad de seguridad de las Funciones Instrumentadas de Seguridad. En funcionamiento de bajo demanda el SIL está relacionado con la Probabilidad de Fallo promedio bajo Demanda (PFDavg) de la SIF.

Existen 4 niveles de SIL, en función del modo de operación (bajo demanda o continuo) a los que se asignan valores del 1 al 4, siendo el SIL 1 el menor de ellos.

Nivel de integridad de seguridad	Modo de funcionamiento a baja demanda (Probabilidad media de fallo a ejecutar, bajo demanda, la función para la que ha sido diseñado)
4	$\geq 10^{-5}$ a $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ a $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ a $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ a $< 10^{-1}$

Anexo III. Figura 1: Nivel Integrado de Seguridad (SIL) - Modo en Baja Demanda

Nivel de integridad de seguridad	Modo de funcionamiento continuo o a fuerte demanda (Probabilidad de fallo peligroso por hora)
4	$\geq 10^{-9}$ a $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8}$ a $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7}$ a $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6}$ a $< 10^{-5}$

Anexo III. Figura 2: Nivel Integrado de Seguridad (SIL) - Modo en Alta Demanda



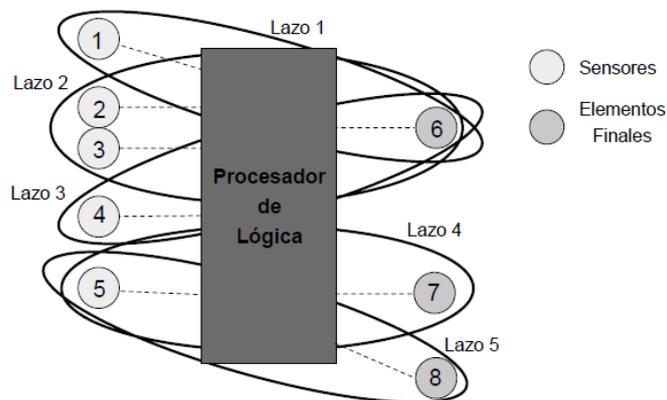
Un SIS debe generar las acciones correctas para prevenir un riesgo o mitigar sus consecuencias.

Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS)

La normativa IEC 61511 define el Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS) como: “un sistema instrumentado usado para la implementación de una o más SIF. Un SIS está compuesto de cualquier combinación de sensores, procesadores de lógica y elementos finales”.

Definiéndose cómo:

- **Sensores:** Miden los parámetros del proceso, tales como presión, temperatura, flujo, nivel, concentración de gas y otras variables.
- **Procesador de Lógica:** Controlador, que lee las señales de los sensores y ejecuta acciones pre-programadas para prevenir o mitigar un peligro de proceso, enviando para ello señales a los elementos finales.
- **Elementos finales:** Actúan para hacer que el proceso vaya a su estado seguro.



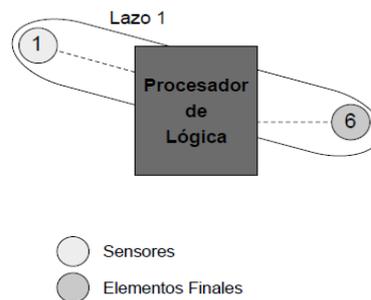
Anexo III. Figura 3: Ejemplo de Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS)

Es propósito de un SIS:

- Llevar automáticamente un proceso industrial a su estado seguro cuando ciertas condiciones específicas han sido violadas.
- Permitir que el proceso avance al próximo estado cuando las condiciones especificadas se han cumplido (funciones permisivas).
- Tomar acción para mitigar las consecuencias de un peligro industrial.



Un SIS puede tener múltiples SIF cada una de las cuales con SIL diferente.



Anexo III. Figura 4: Ejemplo de Función Instrumentada de Seguridad (SIF)

Etapas de la Gestión de un SIS

La planificación es crítica para el éxito de cualquier acción aplicable a la Gestión de Seguridad ya que exige la coordinación de varias disciplinas, así como integrar documentación diversa que, además, procede normalmente de Departamentos distintos.

El Plan de Gestión de SIS sigue el concepto de Ciclo de Vida de forma que la funcionalidad del SIS se mantenga en todo momento. Para ello, todo el sistema debe diseñarse de forma que permita ser instalado, probado, mantenido y decomisado sin que los componentes de la seguridad pierdan en absoluto su vigencia.

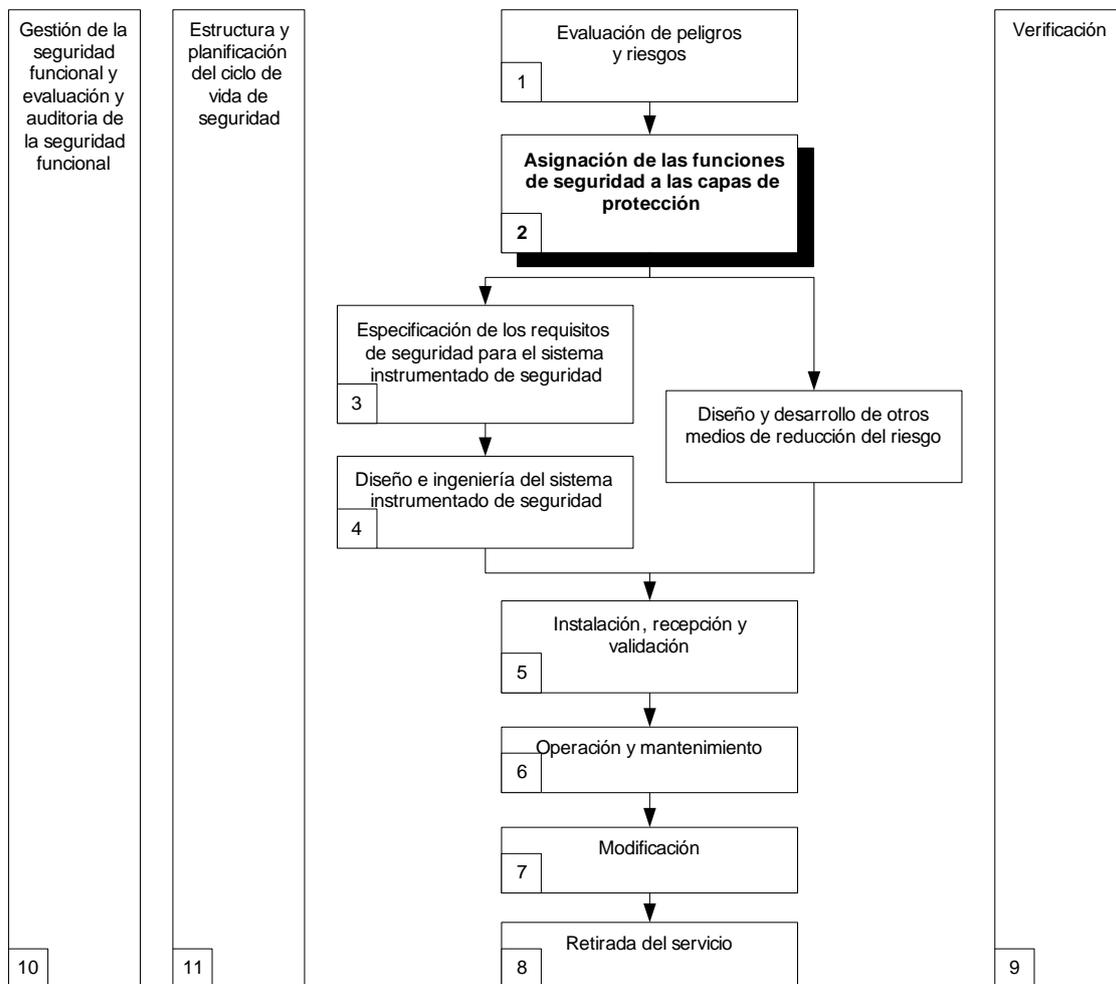
Ciclo de Vida de Seguridad

Las actividades básicas asociadas al Ciclo de Vida de un SIS son:

- Análisis del riesgo.
- Evaluación de la necesidad de reducción del riesgo.
- Establecer los requerimientos para conseguir la necesaria reducción del riesgo.
- Implementar el sistema de acuerdo a los requerimientos indicados.
- Asegurar que el sistema funcione siempre de forma adecuada.

La especificación de gestión del ciclo de vida de los SIS pretende establecer los requisitos de las actividades del ciclo de vida necesarios para organizar las actividades técnicas y asegurar la existencia de una adecuada planificación para que el SIS cumpla los requisitos de seguridad descritos en los estándares ANSI/ISA S84.00.01(IEC 61511Mod), IEC 61508 e IEC 61511.

El resumen del "Ciclo de Vida de Seguridad" se presenta a continuación:



Anexo III. Figura 5: Ciclo de Vida de Seguridad

Análisis del Riesgo - Concepto de riesgo e integridad de la seguridad

Consiste en valorar el riesgo una vez que se ha realizado la identificación y evaluación de los peligros del proceso. En caso de ser necesaria una reducción del riesgo, una posibilidad para lograrlo es mediante un SIS y sus SIF.

Evaluación de la necesidad de reducción del riesgo – Riesgo ALARP

Cuando el riesgo asociado a un proceso es superior a lo que se considera nivel aceptable, se hace necesaria su reducción. Para conseguir la adecuada reducción del riesgo existen diversos sistemas, guías y/o metodologías. Un sistema ampliamente utilizado es el de las Capas de Protección. Un SIS se debe diseñar de forma que los riesgos se reduzcan hasta cumplir con los criterios de aceptabilidad de la Compañía, o si esto no fuera posible, la obtención de un riesgo en zona ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*).



Establecer los requerimientos para conseguir la necesaria reducción del riesgo – Asignación del Nivel de Integridad de Seguridad (SIL)

La Asignación del SIL es el proceso de establecer la cantidad de reducción del riesgo necesaria para alcanzar el nivel aceptable. La Asignación del SIL es la primera etapa en el desarrollo, diseño, comisionado y operación de un SIS e implica la determinación del SIL para cada SIF. Para esta asignación del nivel requerido existen diversas metodologías aplicables tal como se exponen en la IEC 61511, parte 3.

Hay metodologías cualitativas como el Risk Graph y semi-cuantitativa como el LOPA. Algunas compañías utilizan un método cualitativo en primera instancia y, para situaciones con un riesgo alto (SIL 3 o superior) un método semi-cuantitativo como el Análisis LOPA (*Layer of Protection Analysis*). Otras compañías directamente utilizan la metodología LOPA.

Implementar el sistema de acuerdo a los requerimientos indicados – Safety Requirements Specification (SRS)

En las Especificaciones de Requerimientos de Seguridad (SRS - Safety Requirements Specification) se especifican todos los requerimientos del SIS necesarios para el desarrollo de su ingeniería de detalle y la información de seguridad del proceso.

Las SRS contienen dos tipos de requerimientos de las SIF:

Requerimientos funcionales:

- Descripción de las SIF.
- Como debe funcionar el SIS para cada SIF.

Requerimientos de integridad:

- Requerimientos de reducción de riesgo y de confiabilidad
- Qué tan bien debe funcionar el SIS para cada SIF

Asegurar que el sistema funcione siempre de forma adecuada – Verificación SIL

La Verificación del SIL de una SIF consiste en confirmar que el equipo SIS instalado cumple con el Nivel de Integridad de Seguridad identificado durante el estudio de Asignación de SIL. Esta Verificación debe llevarse a cabo después de realizar la Asignación del SIL de cada SIF.

Para cada diseño de la SIF se realiza un cálculo de probabilidad de fallo y del factor de reducción de riesgo (RRF) para verificar que la SIF diseñada alcanza los objetivos. Si el diseño no concuerda con el RRF objetivo, se puede elegir un equipo mejor o emplear redundancias.

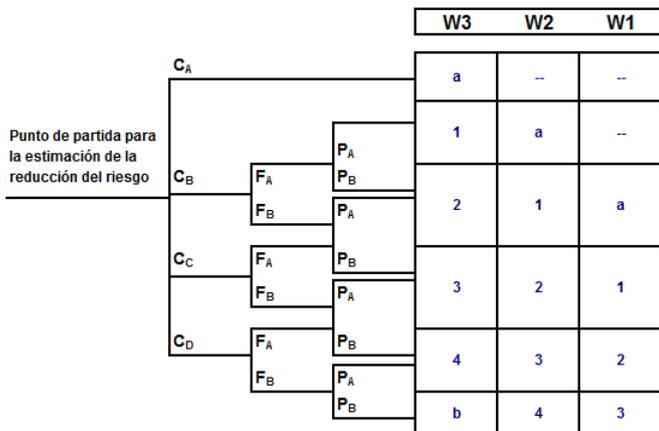


Gráficas de evaluación de Safety Gap

Para determinar el SIL de una SIF se tiene que evaluar el Safety Gap o Agujero de Seguridad (diferencia entre la seguridad objetivo y la alcanzada sin la SIF que se evalúa) del escenario accidental para el cual la SIF es una capa de protección independiente. Esta valoración de riesgo es habitual realizarla para los tres tipos de ámbitos: daños a las personas, afectación del medio ambiente y el de daños a la Propiedad.

A continuación se presentan unos gráficos de riesgo (“Risk Graph”) para el riesgo para las personas y para el riesgo al medio ambiente, del estándar EC-61511, parte 3. Para más información, consúltese la IEC 61511, parte 3.

MÉTODO CUALITATIVO PARA DETERMINAR EL SIL REQUERIDO: RISK GRAPH” (ANEXO D) ESTÁNDAR IEC 61511-3

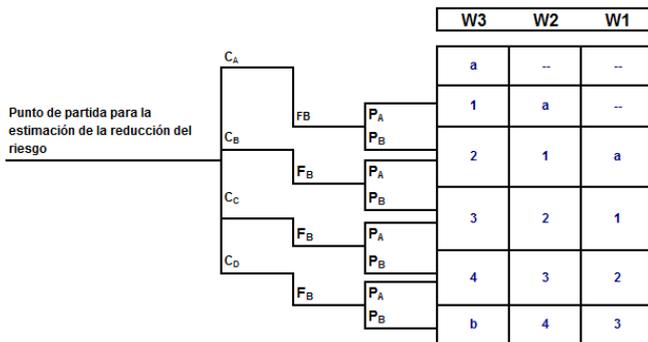


Parámetro	Clasificación	
C: Consecuencia para personas	C _A	Daños menores a personas
	C _B	Daños serios o permanentes a uno más personas
	C _D	Muerte de varias personas
	C _C	Efecto Catastrófico, muchas víctimas mortales
F: Frecuencia o tiempo de Exposición	F _A	Exposición rara o frecuente en la zona peligrosa
	F _B	Exposición frecuente o permanente en la zona peligrosa
P: Posibilidad de evitar el evento peligroso	P _A	Posible bajo ciertas condiciones
	P _B	Casi imposible
W: Frecuencia de suceso no deseado	W ₁	Muy baja probabilidad que suceda el evento peligroso
	W ₂	Probabilidad media que suceda el evento peligroso
	W ₃	Probabilidad alta que suceda el evento peligroso

Anexo III. Figura.6: Ejemplo de Gráfico del riesgo, para las Personas



**MÉTODO CUALITATIVO PARA DETERMINAR EL SIL REQUERIDO: RISK GRAPH” (ANEXO D)
ESTÁNDAR IEC 61511-3**

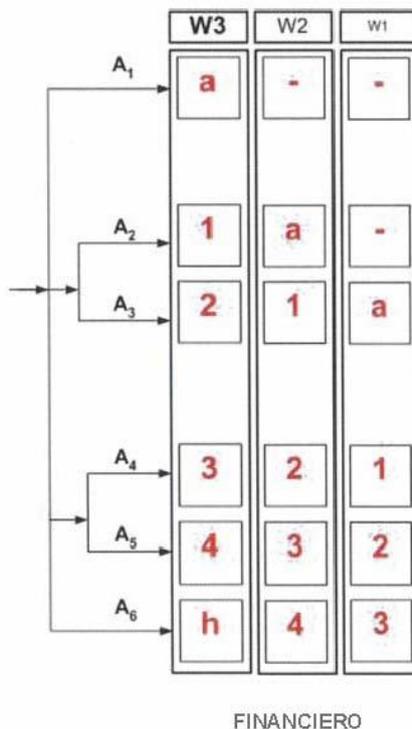


Parámetro		Clasificación
C: Consecuencia para el medio ambiente	C _A	Daños menores pero suficiente para informar a la dirección de la planta.
	C _B	Escape dentro de los límites de la planta pero con daños significativos
	C _D	Escape fuera de los límites de la planta con daños importantes que se pueden remediar con rapidez sin consecuencia duradera
	C _C	Escape fuera de los límites de la planta con daños importantes que no se pueden remediar con rapidez o con consecuencia duradera
F: Frecuencia o tiempo de Exposición	No se usa para medio ambiente	
P: Posibilidad de evitar el evento peligroso	P _A	Posible bajo ciertas condiciones
	P _B	Casi imposible
W: Frecuencia de suceso no deseado	W ₁	Muy baja probabilidad que suceda el evento peligroso
	W ₂	Probabilidad media que suceda el evento peligroso
	W ₃	Probabilidad alta que suceda el evento peligroso

Anexo III. Figura.7: Ejemplo de Gráfico del riesgo, para el medio ambiente



Para daños a la Propiedad la IEC 61511, parte 3 no facilita ningún gráfico. A continuación se muestra un gráfico (elaboración propia) a título de ejemplo.



Anexo III. Figura.8: Ejemplo de Gráfico del riesgo, para activos

Parámetro de Riesgos Financieros (A)

Para evaluar los Riesgos Financieros se deberán tener en cuenta todas las pérdidas económicas asociadas al escenario, sin tener en cuenta posibles seguros que cubran los daños:

- Costes de demolición.
- Costes de material e instalación del equipo.
- Costes de la interrupción de la producción.

Los valores que puede tomar este parámetro, así como su descripción, se encuentran en la tabla siguiente:



Parámetro		Clasificación
A: Consecuencia financiera	A ₁	Interrupción menor del proceso y/o daños en equipos (10^4 \$ US > pérdidas totales).
	A ₂	Interrupción del proceso y/o daños en equipos (10^4 \$ US ≤ pérdidas totales < 10^5 \$ US).
	A ₃	Interrupción moderada del proceso o daños en equipos (10^5 \$ US ≤ pérdidas totales < 10^6 \$ US).
	A ₄	Interrupción grave del proceso o daños en equipos (10^6 \$ US ≤ pérdidas totales < 10^7 \$ US).
	A ₅	Daños severos en equipos esenciales (10^7 \$ US ≤ pérdidas totales < 10^8 \$ US).
	A ₆	Pérdidas catastróficas (pérdidas totales ≥ 10^8 \$ US)
W: Frecuencia de suceso no deseado	W ₁	Muy baja probabilidad que suceda el evento peligroso
	W ₂	Probabilidad media que suceda el evento peligroso
	W ₃	Probabilidad alta que suceda el evento peligroso

Anexo III. Figura 9: Parámetros para Grafico de Riesgo financiero



Ejemplos SIL – SIF PSL01 para protección de muy baja presión en succión de compresor

Asignación del Nivel Integrado de Seguridad (SIL):

SIF 1

Datos generales

Ref	Campo	Detalle
a)	Unidad / Proyecto	Nueva Unidad 001
b)	Tag SIF	PSLL01
c)	Servicio/equipo	Compresor JC-1
d)	Enclavamiento asociado	I-1
e)	P&ID N°. y Revisión	PID-001
f)	Fecha	13/10/2014
g)	Referencia PHA	Estudio Hazop xxx
h)	Intención del diseño	Muy Baja Presión de Succión paro Compresor de Gases JC-1
i)	Elementos sensores	PT1
j)	Elementos finales y acciones requeridas para llevar el proceso a estado seguro	Paro Compresor de Gases JC-1
k)	Otras acciones del enclavamiento	--

Fallo peligroso en demanda

Ref	Campo	Detalle
a)	Causas	1. Taponamiento en aéreos C-2 por sulfuro de amonio.
b)	Consecuencias no mitigadas del fallo de la SIF en demanda	Posible daño en compresores. Fuga de gas inflamable. Daños a personas y al medio ambiente por alto contenido de SH ₂ .
c)	Tiempo de seguridad del proceso	Del orden de segundos
d)	Safety Gap según las gráficas de riesgo sin capas de protección Independientes	
	1	
	SEGURIDAD PERSONAL	
	W	2 C 2 F 1 P 2 SG 1
	PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL	
W	2 E 2 SG 1	
PROTECCIÓN DE ACTIVOS		



Ref	Campo						Detalle
	W	2	A	2	SG	1	
e)	Salvaguardias y créditos IPL asociados						1. LI-2 o LI-3 con LAL y LALL Doble sello alarmado
f)	SIL requerido según graficas de riesgo (considerando las IPLs):						1. SIL 1 – 0 créditos IPL = SIL 1
g)	Estudios adicionales						No
h)	SIL REQUERIDO						SIL 1

Fallo seguro (disparo espurio)

Ref	Campo	Detalle
a)	Tiempo de re arranque / parada	1 hora
b)	Consecuencias de un disparo espurio	Perturbaciones de proceso. Dificultades operativas.
c)	Max. tasa de disparo espurio	1 en 10 años
d)	Diseño con tolerancia a fallos justificado	No
e)	Recomendaciones	--
f)	Comentarios	--



Safety Requirements Specification (SRS)

SIF 1

Datos generales

Ref	Campo	Detalle
a)	Unidad / Proyecto	Nueva Unidad 001
b)	Tag SIF	PSLL01
c)	Servicio/equipo	Compresor JC-1
d)	Enclavamiento asociado	I-1
e)	P&ID N°. y Revisión	PID-001
f)	Fecha	13/10/2014
g)	Referencia PHA	Estudio Hazop xxx
h)	Intención del diseño	Muy Baja Presión de Succión paro Compresor de Gases JC-1
i)	Elementos sensores	PT1
j)	Elementos finales y acciones requeridas para llevar el proceso a estado seguro	Paro Compresor de Gases JC-1
k)	Otras acciones del enclavamiento	--

Fallo peligroso en demanda

Ref	Campo	Detalle
a)	Causas	2. Taponamiento en aéreos C-2 por sulfuro de amonio.
b)	Consecuencias no mitigadas del fallo de la SIF en demanda	Posible daño en compresores. Fuga de gas inflamable. Daños a personas y al medio ambiente por alto contenido de SH ₂ .
c)	Tiempo de seguridad del proceso	Del orden de segundos
d)	Safety Gap según las gráficas de riesgo sin capas de protección Independientes	
	1	
	SEGURIDAD PERSONAL	
	W	2 C 2 F 1 P 2 SG 1
	PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL	
W	2 E 2 SG 1	
PROTECCIÓN DE ACTIVOS		
W	2 A 2 SG 1	
e)	Salvaguardias y créditos IPL asociados	2. LI-2 o LI-3 con LAL y LALL (0 créditos) Doble sello alarmado (0 créditos)
f)	SIL requerido según graficas de riesgo (considerando las IPLs):	2. SIL 1 – 0 créditos IPL = SIL 1
g)	Estudios adicionales	No



Ref	Campo	Detalle
h)	SIL REQUERIDO	SIL 1

Fallo seguro (disparo espurio)

Ref	Campo	Detalle
a)	Tiempo de re arranque / parada	1 hora
b)	Consecuencias de un disparo espurio	Perturbaciones de proceso. Dificultades operativas.
c)	Max. tasa de disparo espurio	1 en 15 años
d)	Diseño con tolerancia a fallos justificado	No
e)	Recomendaciones	--
f)	Comentarios	--

Características funcionales y de integridad

Ref.	Campo	Detalle
•	SIF Test Interval	12 meses para sensores y elementos finales y 48 meses para el Logic Solver.
•	Diagrama lógico	Documento 002
•	Estado seguro (ETT/DTT)	DTT
•	Tiempo de respuesta	1 minuto
•	Valor de disparo	0,08 kg/cm ²
•	“Bypass” de puesta en marcha	Ninguno
•	Modo de operación (tipo demanda)	Baja demanda
•	Método de protección	Desenergizar para disparar
•	Parada manual	La parada del compresor se puede realizar a través de comandos por software desde la sala de control.
•	“Bypass” de mantenimiento (Definir tiempo de activación máximo)	Bypass de mantenimiento por software.
•	Modo de operación (estado operativo)	SIF activa siempre (excepto fuera de servicio y mantenimiento)
•	Rearme de disparo	Manual desde sala de control.
•	Modos de fallo	
•	Diagnósticos	Sensor: Under-range Elementos finales: Parar
•	Tiempo de vida	30 años
•	Requisitos especiales (TSO, etc.)	Ninguno



Diagrama lógico

De acuerdo a Matriz Causa-Efecto (documento 003).

Sensor(es)

Voting de grupos sensores

Ref.	Campo	Detalle
a)	Voting	2oo3

Grupo de sensor (PT01A)

Ref.	Campo	Detalle
a)	Tipo de grupo	Sensor de presión.
b)	Voting	1oo1
c)	Acción	Disparo por muy baja presión.
d)	MTTR	8 horas.
e)	Intervalo de pruebas manuales	12 meses.
f)	Fuentes de causa común	Se ha aplicado un factor Beta, que indica la susceptibilidad de las causas comunes del 10%.
g)	Voting degradado – Fallo	N/A (este grupo no tiene diagnóstico).
h)	Voting degradado – “Bypass”	No requerida
i)	Requisitos de arranque	Ninguno.
j)	Requisitos de re-arranque	Ninguno.
k)	Otros requisitos especiales	Ninguno.

Grupo de sensor (PT01B)

Ref.	Campo	Detalle
a)	Tipo de grupo	Sensor de presión.
b)	Voting	1oo1
c)	Acción	Disparo por muy baja presión.
d)	MTTR	8 horas.
e)	Intervalo de pruebas manuales	12 meses.
f)	Fuentes de causa común	Se ha aplicado un factor Beta, que indica la susceptibilidad de las causas comunes del 10%.
g)	Voting degradado – Fallo	N/A (este grupo no tiene diagnóstico).
h)	Voting degradado – “Bypass”	No requerida
i)	Requisitos de arranque	Ninguno.
j)	Requisitos de re-arranque	Ninguno.
k)	Otros requisitos especiales	Ninguno.

**Grupo de sensor (PT01C)**

Ref.	Campo	Detalle
a)	Tipo de grupo	Sensor de presión.
b)	Voting	1oo1
c)	Acción	Disparo por muy baja presión.
d)	MTTR	8 horas.
e)	Intervalo de pruebas manuales	12 meses.
f)	Fuentes de causa común	Se ha aplicado un factor Beta, que indica la susceptibilidad de las causas comunes del 10%.
g)	Voting degradado – Fallo	N/A (este grupo no tiene diagnóstico).
h)	Voting degradado – “Bypass”	No requerida
i)	Requisitos de arranque	Ninguno.
j)	Requisitos de re-arranque	Ninguno.
k)	Otros requisitos especiales	Ninguno.

Sensores

Tag	P&ID	Hoja de datos	Acción a fallo	MOS
PT01A	PID-001	004	Under-range	--
PT01B	PID-001	005	Under-range	--
PT01C	PID-001	006	Under-range	--

Logic solvers (PLC, relés, etc.)**Voting**

Ref.	Campo	Detalle
a)	Voting	1oo1D

Grupo LS

Ref.	Campo	Detalle
a)	Tipo de grupo	Logic Solver
b)	MTTR	8 horas.
c)	Intervalo de pruebas manuales	48 meses.
d)	Fuentes de causa común	N/A (Arquitectura 1oo1D)
e)	Voting degradado – Fallo	1oo1D → disparo
f)	Voting degradado – “Bypass”	No requerida
g)	Requisitos de arranque	Reset manual
h)	Requisitos de re-arranque	Reset manual
i)	Otros requisitos especiales	Ninguno.



Elementos Finales

Voting

Ref.	Campo	Detalle
a)	Voting	1001

Grupo elemento final (JC-1)

Ref.	Campo	Detalle
a)	Tipo de grupo	Compresor
b)	Voting	1001
c)	Acción	Desenergizar para disparar.
d)	MTTR	8 horas.
e)	Intervalo de pruebas manuales	12 meses.
f)	Fuentes de causa común	N/A.
g)	Voting degradado – Fallo	N/A (este grupo no tiene diagnóstico).
h)	Voting degradado – “Bypass”	N/A.
i)	Requisitos de arranque	Comando manual para abrir.
j)	Requisitos de re-arranque	Comando manual para abrir.
k)	Otros requisitos especiales	Ninguno.

Elementos finales

Tag	P&ID	Hoja de datos	Acción a fallo	Rearme
JC-1	PID-001	008	Apagar	Rearme Software desde HMI, panel local y panel remoto

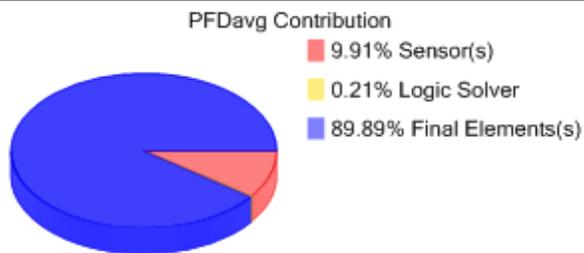


Verificación SIL

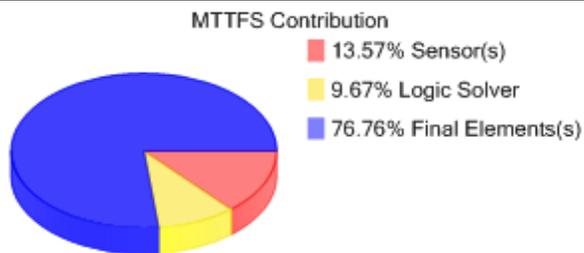
Nombre Proyecto Nueva Unidad 001 Unidad Nueva unidad 001																	
SIF Tag SIF 1. PSL01A/B/C (2003) Descripción Referencia																	
Responsable Fecha del Análisis Tiempo de Misión 30 años																	
Resultados Función Instrument. de Seguridad																	
SIL Meta	1																
RRF Meta	10																
SIL Alcanzado	1																
PFDavg	2.98E-02																
SIL (PFDavg)	1																
SIL (Restric. Arquitec. IEC 61508:2000)	1																
SIL (Systematic Capability)	-																
RRF Alcanzado	34																
MTTFS (años)	60.03																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>PFDavg</th> <th>MTTFS</th> <th>SILac</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">Elemento Sensor</td> <td>2.96E-03</td> <td>442.42</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Procesador Lógica</td> <td>6.17E-05</td> <td>620.95</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">Elemento Final</td> <td>2.68E-02</td> <td>78.2</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		PFDavg	MTTFS	SILac	Elemento Sensor	2.96E-03	442.42	1	Procesador Lógica	6.17E-05	620.95	3	Elemento Final	2.68E-02	78.2	1	Leyenda
	PFDavg	MTTFS	SILac														
Elemento Sensor	2.96E-03	442.42	1														
Procesador Lógica	6.17E-05	620.95	3														
Elemento Final	2.68E-02	78.2	1														

© 2013 exida.com L.L.C.

Comentarios: La SIF opera en modo de Low Demanda.
 Field Equipment MCI: 2 – Good repair – 90% Logic Solver MCI: 2 – Good repair – 90%



© 2013 exida.com L.L.C.



© 2013 exida.com L.L.C.

Nota: Los resultados que se muestran en este Resumen de Verificación del SIL se basan en cálculos detallados. Todas las premisas utilizadas, como la información de confiabilidad, se encuentran documentadas en el informe detallado que genera exSILentia.



ANEXO IV: ANÁLISIS LOPA

Descripción

LOPA (*Layer of Protection Analysis*) es un método de análisis de riesgo semicuantitativo que se aplica a partir de una identificación de riesgo cualitativa, con el propósito de estimar los riesgos asociados con un acontecimiento indeseado. Este método analiza si existen suficientes salvaguardas, es decir medidas para controlar y/o mitigar el riesgo.

Se considera que es un método semicuantitativo porque se genera una estimación numérica del riesgo. En caso que se requiera un evaluación más ajustada del riesgo de un escenario accidental, se deberían usar técnicas cuantitativas más rigurosas como es el Análisis Cuantitativo de Riesgo o la utilización de los Árboles de Fallas y de los Árboles de Eventos para valorar la frecuencia y probabilidad de los sucesos iniciadores y de los eventos habilitadores o circunstancias, respectivamente, que hacen posible la ocurrencia de los accidentes finales a partir de un suceso iniciador.

El análisis LOPA parte de un análisis PHA y estudia cada uno de los riesgos identificados, documentando la causa inicial y las capas de protección que previenen o mitigan los mismos. Se selecciona una pareja causa-consecuencia (escenario accidental) y se identifican las capas de protección que previenen la evolución de dicha causa a la consecuencia indeseada.

Mediante esta técnica se determina si las protecciones son adecuadas para reducir el riesgo a un nivel de riesgo aceptable o si se precisa reducción de riesgo adicional. Si esta reducción se ha de proporcionar mediante una Función Instrumentada de Seguridad, la metodología LOPA permite la determinación del SIL de la SIF.

La documentación que se requiere para un análisis LOPA es la siguiente:

- Información básica sobre el riesgo del proceso; esto es, los peligros, las causas y las consecuencias, tal y como se proporcionan en un estudio PHA.
- Información sobre las salvaguardas o capas de protección, para cada escenario accidental.
- Frecuencias de los sucesos iniciadores, probabilidad de fallo de las capas de protección, estudio de consecuencias y criterios de aceptabilidad de riesgo.

El análisis se lleva a cabo por un equipo reducido de expertos; es frecuente que un LOPA sea realizado por un analista de riesgos y un experto de otra especialidad (Operaciones, Procesos, etc.).

El equipo aplica el siguiente procedimiento:

- Selecciona una única pareja de causa-consecuencia.
- Identifica las causas que evolucionan a los eventos indeseados y busca los datos sobre sus frecuencias y consecuencias.



- Identifica y analiza la efectividad de las capas de protección, las cuales previenen la evolución de las causas a las consecuencias indeseables.
- Identifica las capas de protección independientes (IPL – Independent Protection Layers) para cada pareja causa - consecuencia. No todas las salvaguardas o capas de protección son IPLs.
- Estima la probabilidad de fallo de cada una de las IPL.
- Combina la frecuencia de la causa inicial o suceso iniciador con la probabilidad de fallo de cada una de las IPL y de cualquier modificante condicional para determinar la frecuencia de ocurrencia de la consecuencia indeseada. Un modificante condicional es, por ejemplo, si una persona estará presente para estar afectada o no.
- Compara el nivel de riesgo calculado con los criterios de aceptabilidad de riesgo de la Compañía, para determinar si son necesarias protecciones adicionales.

Este método requiere menos tiempo y recursos que la elaboración de un árbol de fallos o un Análisis Cuantitativo de Riesgos, pero es más riguroso que un juicio subjetivo cualitativo.

El análisis se debe llevar a cabo para cada tipo de consecuencia: seguridad de las personas, Propiedad y medio ambiente. Cada LOPA puede tener diferente nivel de consecuencias y, por lo tanto, una severidad diferente.

Una IPL es un sistema / equipo o una acción que es capaz de prevenir la evolución de un escenario desde su causa a sus consecuencias indeseables, independiente del evento causal o de cualquier otra capa de protección asociada con el escenario.

Para determinar la reducción de riesgo que proporciona una IPL que pueden actuar para prevenir el riesgo de un escenario accidental, se considera su Probabilidad de Fallo promedio bajo Demanda (PFDavg). El Factor de Reducción de Riesgo (RRF) de una IPL es la inversa de su PFDavg.

La aplicabilidad de cada IPL debe de ser estudiada para cada suceso iniciador, ya que no todas las IPLs son efectivas para todos los sucesos iniciadores. Sólo se deben considerar aquellas salvaguardas que sean efectivas.

Las IPLs deben cumplir los siguientes criterios:

- Específica: una IPL debe estar específicamente diseñada para prevenir las consecuencias de un suceso potencialmente peligroso.
- Independencia: La actuación de la IPL debe de ser completamente independiente de todas las otras IPLs y del suceso iniciador. No debe compartir ningún componente con el resto de IPLs.
- Fiabilidad: La protección ha de ser capaz de prevenir que suceda la consecuencia de una manera fiable. Los fallos sistemáticos y aleatorios han de ser considerados en el diseño.



- **Auditable:** La protección deberá ser probada y revisada mediante auditorías. Esas auditorías de operación son necesarias para asegurar que se alcanza la reducción específica del nivel de riesgo.

Las siguientes salvaguardas se usan comúnmente en las industrias de proceso como capas de protección independientes, y deberían ser consideradas para cada escenario. La lista que se muestra a continuación no tiene como objeto ser una lista completa o exhaustiva. El equipo de selección de SIL debe trabajar en identificar todas las salvaguardas para cada escenario del estudio.

- **Sistema Básico de Control de Procesos (BPCS):** En muchos casos el Sistema Básico de Control de Procesos se diseña para llevar automáticamente el proceso a una situación segura bajo condiciones anormales.
- **Actuación del operador:** Es una salvaguarda común la intervención del operador que para manualmente un proceso cuando se detectan condiciones anormales. Para que esta salvaguarda llegue al nivel requerido de una IPL, el operador debe estar alertado de una operación anormal, estar entrenado en la reacción a llevar a cabo y tener el tiempo suficiente para considerar la alarma y responder de manera apropiada.
- **Integridad mecánica del recipiente:** En muchos casos, un recipiente está diseñado para trabajar en las máximas temperaturas y presiones generadas como resultado de condiciones anormales. En estos casos, la integridad mecánica del recipiente es una IPL.
- **Sistema físico de alivio:** Los sistemas físicos de alivio son salvaguardas comunes e incluyen sistemas como válvulas de alivio, discos de ruptura y fusibles térmicos.
- **Instalaciones externas de reducción del riesgo:** Algunos riesgos están mitigados por acciones externas que eliminan completamente la consecuencia, iniciados por medios físicos. Entre estas instalaciones se encuentran las cortinas de agua que minimizan o previenen la dispersión de productos tóxicos.

El resultado de un LOPA es una evaluación del riesgo de cada uno de los escenarios accidentales representativos de un proceso y del factor de reducción de riesgo (RRF) proporcionado por cada capa de protección independiente para cada uno de los escenarios, así como, de conseguirse el objetivo buscado, la obtención de riesgos que cumplan con los criterios de aceptabilidad de la Compañía.

Ventajas del análisis LOPA

- Requiere menos tiempo y recursos que la elaboración de un Árbol de Fallas o un Análisis Cuantitativo de Riesgo, pero es más riguroso que un juicio subjetivo cualitativo.
- Ayuda en la identificación y enfoque de los recursos en las capas de protección más críticas;
- Identifica operaciones, sistemas y procesos para los cuales no hay suficientes salvaguardas;
- Se focaliza en las consecuencias más serias.



Desventajas del análisis LOPA

- Únicamente se aplica, al mismo tiempo, a una pareja causa-consecuencia (escenario). Interacciones complejas entre riesgos o entre controles no están cubiertas.
- Los riesgos cuantitativos evaluados pueden no incluir los modos de fallo común.

Para más información, consúltese el anexo F del estándar IEC 61511, parte 3.

A continuación se presenta un ejemplo en el que se determina el SIL (Factor de Reducción de Riesgo de la capa de protección independiente) de una SIF de un regenerador de un FCC (*Fluid Catalytic Cracking*).

Ejemplo LOPA

SIL para las Personas

CÁLCULO DEL SAFETY INTEGRITY LEVEL PARA LAS PERSONAS (SIL)					
SIF Tag	SIF	Descripción SIF			Fecha
0001	LSL-0001	Paro de planta por bajo nivel del regenerador			14/10/2014
Referencia HAZOP		HAZOP-0001			
Descripción de la consecuencia		Posibilidad de paso de aire desde el regenerador hacia el reactor. Explosión en el reactor.			
Descripción de la categoría de la consecuencia		Muerte de varias personas (de 2 a 9)			
Categoría de la consecuencia		C3			
Frecuencia Objetivo (años ⁻¹)		1,00E-06			
Nº causa del fallo peligroso		1	2	3	4
Causas del fallo peligroso		Corte de carga			
Frecuencia Evento iniciador		5,00E-02			
Evento condicionante					
Modificadores condicionales		Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad
Probabilidad de fugas importantes		0,1			
Probabilidad de Ignición					
Probabilidad de Explosión		0,4			
Probabilidad de Llamarada					
Probabilidad de personas en área afectada		0,166			
Probabilidad de daños letales		1			
Factor de Uso		1			
Otros					
Frecuencia de la consecuencia no mitigada		3,32E-04			
Capas de Protección Independientes		Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad



CÁLCULO DEL SAFETY INTEGRITY LEVEL PARA LAS PERSONAS (SIL)					
SIF Tag	SIF	Descripción SIF			Fecha
BPCS					
Operador / Alarma					
Sistemas de alivio mecánico					
Paro por PDAL-0603					
0,1					
PFD de todas las IPL					
0,1					
Frecuencia de la consecuencia mitigada sin SIF (para cada causa iniciadora) (años ⁻¹)					
3,32E-05					
Frecuencia de la consecuencia mitigada sin SIF (años ⁻¹)					
3,32E-05					
RRF Requerido de la SIF					
33					
SIL Requerido de la SIF					
SIL 1					

SIL para el Medio Ambiente

CÁLCULO DEL SAFETY INTEGRITY LEVEL PARA EL MEDIO AMBIENTE (EIL)					
SIF Tag	SIF	Descripción SIF			Fecha
0001	LSL-0001	Paro de planta por bajo nivel del regenerador			14/10/2014
Referencia HAZOP		HAZOP-0001			
Descripción de la consecuencia		Posibilidad de paso de aire desde el regenerador hacia el reactor. Explosión en el reactor.			
Descripción de la categoría de la consecuencia		Fuga con afectación fuera del establecimiento, sin efectos negativos conocidos, que causa indignación en la comunidad local y daña la imagen de la empresa.			
Categoría de la consecuencia		E2			
Frecuencia Objetivo (años ⁻¹)		1,00E-04			
Nº causa del fallo peligroso		1	2	3	4
Causas del fallo peligroso		Corte de carga			
Frecuencia Evento iniciador		5,00E-02			
Evento condicionante					
Modificadores condicionales		Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad
Probabilidad de fugas importantes		0,1			
Probabilidad de Ignición					
Probabilidad de Explosión		0,4			
Probabilidad de Llamarada					
Factor de Uso		1			
Otros					



CÁLCULO DEL SAFETY INTEGRITY LEVEL PARA EL MEDIO AMBIENTE (EIL)					
SIF Tag	SIF	Descripción SIF			Fecha
Frecuencia de la consecuencia no mitigada		2,00E-03			
Capas de Protección Independientes		Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad
BPCS					
Operador / Alarma					
Sistemas de alivio mecánico					
Paro por PDAL-0603		0,1			
PFD de todas las IPL		0,1			
Frecuencia de la consecuencia mitigada sin SIF (para cada causa iniciadora) (años ⁻¹)		2,00E-04			
Frecuencia de la consecuencia mitigada sin SIF (años ⁻¹)		2,00E-04			
RRF Requerido de la SIF		2			
SIL Requerido de la SIF		SIL 0			

SIL para la Propiedad

CÁLCULO DEL SAFETY INTEGRITY LEVEL PARA LA PROPIEDAD (AIL)					
SIF Tag	SIF	Descripción SIF			Fecha
0001	LSL-0001	Paro de planta por bajo nivel del regenerador			14/10/2014
Referencia HAZOP		HAZOP-001			
Descripción de la consecuencia		Posibilidad de paso de aire desde el regenerador hacia el reactor. Explosión en el reactor.			
Descripción de la categoría de la consecuencia		Interrupción severa del proceso y/o daños en el equipo ($10^7 < PT < 10^8$ €)			
Categoría de la consecuencia		A3			
Frecuencia Objetivo (años ⁻¹)		1,00E-05			
Nº causa del fallo peligroso		1	2	3	4
Causas del fallo peligroso		Corte de carga			
Frecuencia Evento iniciador		5,00E-02			
Evento condicionante					
Modificadores condicionales		Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad
Probabilidad de fugas importantes		0,1			
Probabilidad de Ignición					
Probabilidad de Explosión		0,4			



CÁLCULO DEL SAFETY INTEGRITY LEVEL PARA LA PROPIEDAD (AIL)					
SIF Tag	SIF	Descripción SIF			Fecha
Probabilidad de Llamada					
Factor de Uso		1			
Otros					
Frecuencia de la consecuencia no mitigada		2,00E-03			
Capas de Protección Independientes		Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad	Probabilidad
BPCS					
Operador / Alarma					
Sistemas de alivio mecánico					
Paro por PDAL-0603		0,1			
PFD de todas las IPL		0,1			
Frecuencia de la consecuencia mitigada sin SIF (para cada causa iniciadora) (años ⁻¹)		2,00E-04			
Frecuencia de la consecuencia mitigada sin SIF (años ⁻¹)		2,00E-04			
RRF Requerido de la SIF		20			
SIL Requerido de la SIF		SIL 1			

SIL de la SIF

SIF Tag	Enclavamiento Asociado	Descripción SIF	Fecha
0001	LSL-0001	Paro de planta por bajo nivel del regenerador	14/10/2014
RRF Requerido de la SIF		33	
SIL Requerido de la SIF		SIL 1	



ANEXO V: ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGO

Un Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) es una estimación del riesgo de una actividad o de una planta industrial. Entre éstas cabe citar las unidades de una refinería o de petroquímica, así como las plantas de distribución y sus ductos y medios para el transporte (buques, camiones y/o vagones cisterna, ductos) de sustancias y/o productos peligrosos.

Estos estudios suponen el análisis conjunto de una serie de accidentes hipotéticos que pueden acaecer en una planta y el riesgo se estima considerando todos los escenarios accidentales supuestos.

Para la determinación del riesgo es necesario cuantificar la frecuencia de ocurrencia de las hipótesis accidentales planteadas, utilizando datos históricos recopilados y fuentes bibliográficas de reconocido prestigio, o bien mediante la técnica del Árbol de Fallas, para luego cuantificar las posibles secuencias accidentales desencadenadas mediante el empleo de la técnica del Árbol de Eventos. También se requiere la determinación del alcance de los umbrales de letalidad para personas (ver EAC, capítulo 9) de cada una de las hipótesis accidentales.

Una vez estimada la letalidad para personas y la frecuencia de ocurrencia de cada hipótesis accidental, se deben obtener diferentes parámetros de riesgo y compararlos con los criterios de aceptabilidad correspondientes. Los parámetros de riesgo a estimar son:

- Riesgo geográfico (Riesgo individual para público).
- Riesgo individual para los trabajadores.
- Riesgo social para el público y los trabajadores.

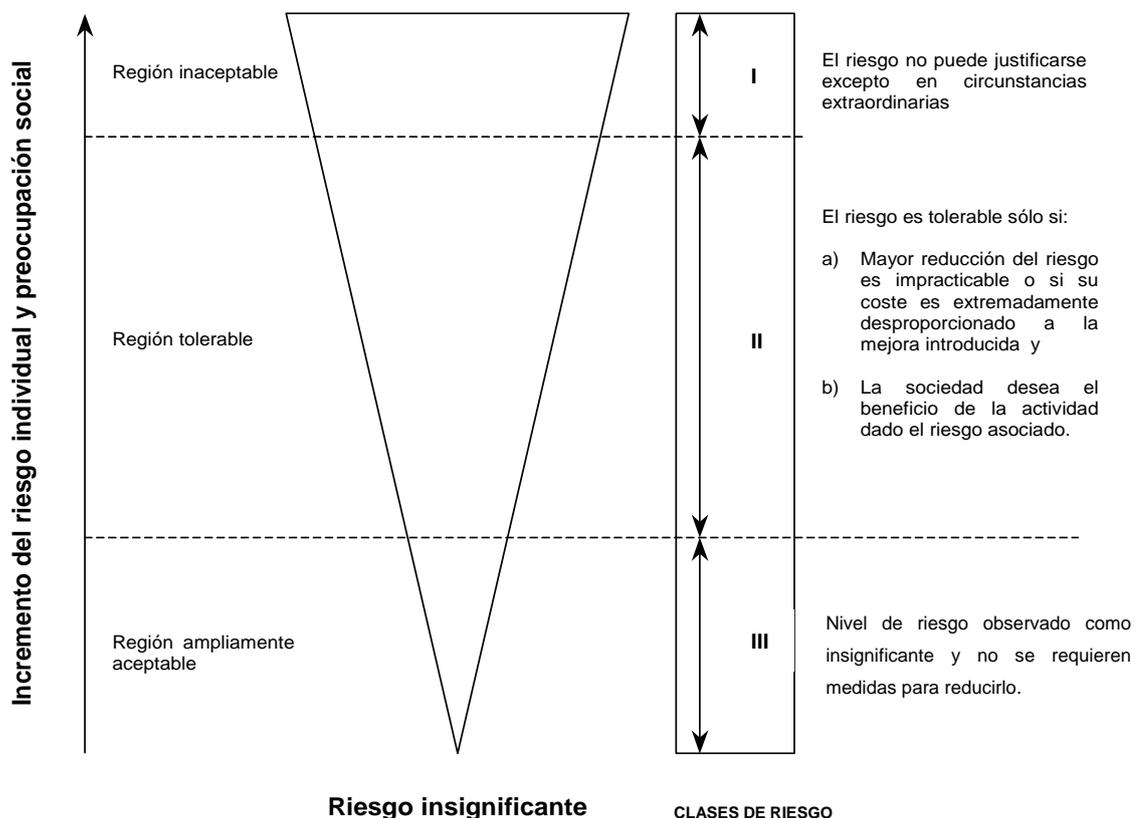
La comparación del valor de riesgo determinado con los criterios de aceptabilidad propios de cada Compañía, en ocasiones deriva en la necesidad de reducir el riesgo considerando el criterio ALARP; es decir, la obtención de un valor más bajo de riesgo en base a un análisis costo-beneficio.

Los criterios de aceptabilidad del riesgo según el concepto ALARP son:

- Riesgo Inaceptable: Aquel que NO cumple con los criterios de aceptabilidad de la Compañía, por lo que es necesario su reducción.
- Riesgo Tolerable: Aquel que se encuentra dentro de los valores comúnmente aceptados por la sociedad.
- Riesgo Aceptable: Aquel que cumple con los criterios de aceptabilidad de la Compañía.

El riesgo que persiste después de considerar en el análisis del riesgo todas las salvaguardas o capas de protección, se llama Riesgo Residual.

Debe procurarse que el Riesgo Residual esté siempre en la zona de aceptabilidad. El Riesgo Residual como mínimo debe quedar en la zona ALARP.



Cualquier dispositivo, equipo o sistema (incluye alarmas, procedimientos y la acción del operador) que reduce el riesgo mediante prevención o mitigación, se denomina salvaguarda o Capa de Protección.

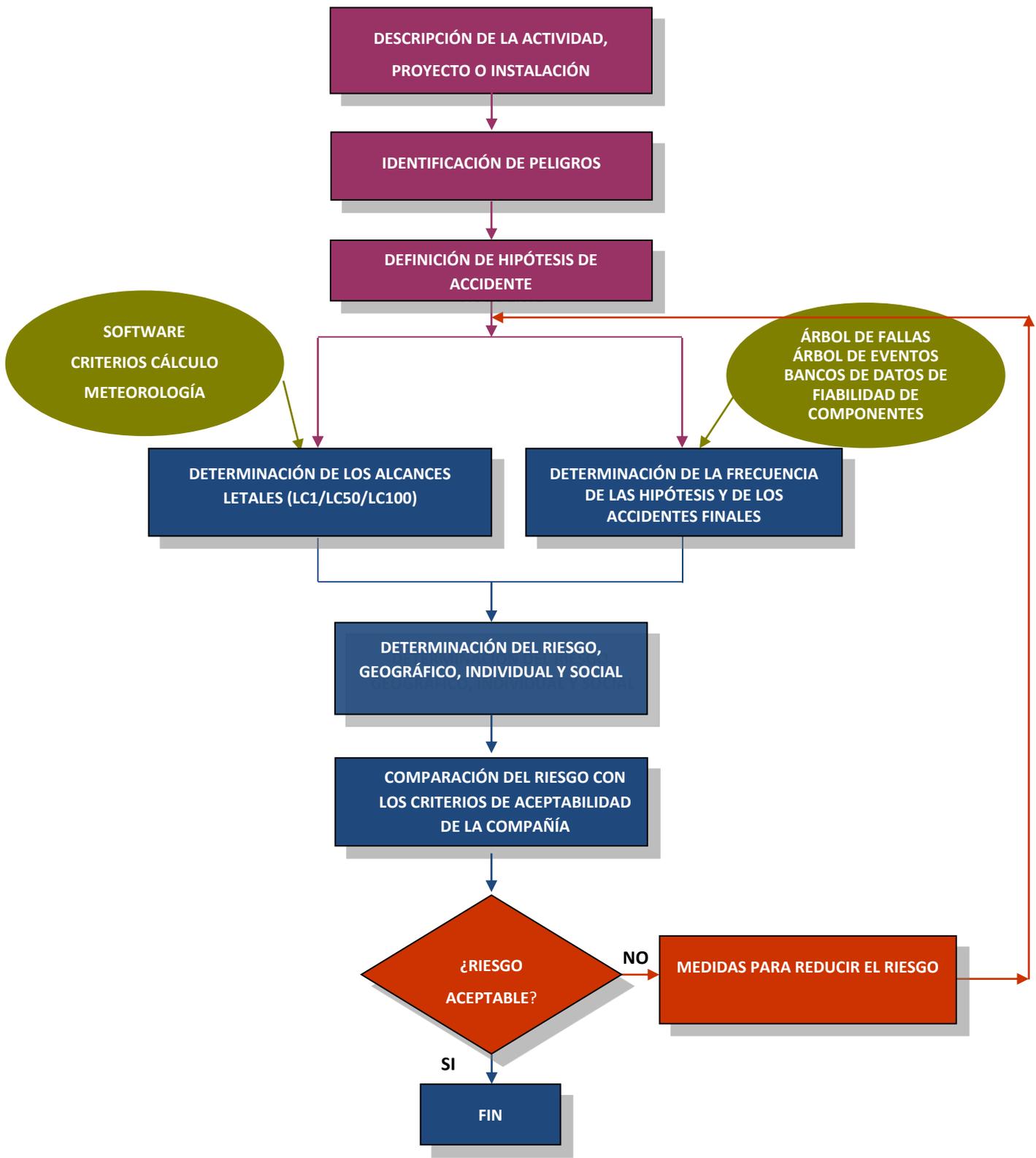
Las Capas de Prevención son aquellas que previenen que se manifieste el accidente por lo que son sistemas que reducen la frecuencia de ocurrencia del accidente.

Las Capas de Mitigación son aquellas que reducen los daños (consecuencias) de un accidente. Es decir, una vez producido el accidente mitigan los daños del mismo pero no reducen su probabilidad de ocurrencia.

Ambos tipos de Capas de Protección son complementarias siendo preferible, salvo excepciones que queden muy justificadas, la implementación de las Capas Preventivas frente a las de Mitigación.

PASOS A SEGUIR EN UN ACR

En la figura siguiente se muestran los pasos para desarrollar un ACR.



Anexo V. Figura 1: Pasos para desarrollar un ACR



IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS E HIPÓTESIS ACCIDENTALES

La identificación de peligros es la base para la determinación del listado de hipótesis accidentales, tal como se indica en el capítulo 6.

DETERMINACIÓN DE LOS ALCANCES LETALES

La determinación de los alcances letales para las personas LC1, LC50 y LC100, tiene como objeto establecer el número de personas (o densidad poblacional) que puede verse afectada por los diferentes escenarios accidentales, es decir, el número de víctimas potencial.

Este análisis de las consecuencias se realiza mediante la aplicación de modelos de simulación para la determinación de:

- Término fuente (fuga o derrame)
- Efectos de radiación térmica.
- Efectos por sobrepresión.
- Dispersiones de nubes inflamables y/o tóxicas.

Los criterios para esta determinación siguen los mismos lineamientos que los descritos en el EAC.

Normalmente en un ACR el número de hipótesis accidentales para la cuales se considera representativo el riesgo de la instalación o actividad en estudio es superior al número de hipótesis de un EAC para esa misma actividad o instalación. Esto es así porque en un EAC sólo se consideran las hipótesis de accidente más creíbles, mientras que en un ACR se consideran todas las hipótesis, aunque sean muy poco probables pero si creíbles, que puedan representar un riesgo. Así, puede que una hipótesis sea de riesgo muy bajo por tener una muy baja frecuencia pero si afecta al exterior de las instalaciones debe ser tenida en cuenta.

Por otro lado, es importante destacar que, por lo general, en un ACR no se analiza ni evalúa el riesgo ambiental, ni el efecto dominó, ni se calculan las zonas de planificación.

DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE LAS HIPÓTESIS ACCIDENTALES Y DE LOS ACCIDENTES FINALES

Para determinar la frecuencia de los escenarios accidentales finales puede requerirse de dos metodologías: Análisis de Árbol de Fallas y Análisis de Árbol de Eventos.

Árbol de Fallas

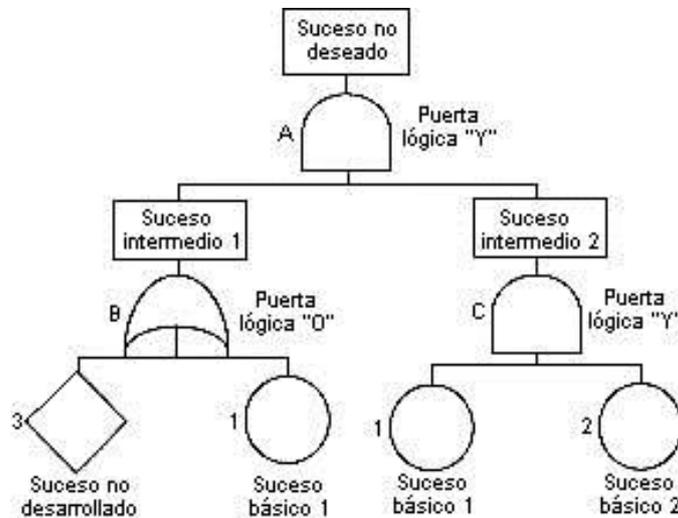
Los Árboles de Fallas constituyen una técnica ampliamente utilizada en los análisis de riesgos para la evaluación de probabilidades de ocurrencia de eventos no deseados, en los casos en los que el evento en estudio es complejo y es función de otros eventos más sencillos. Esta técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole que permite determinar la expresión de un suceso



estudiado en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en él, proporcionando resultados cualitativos y cuantitativos. En la parte superior del Árbol de Fallas se ubica el “evento tope” el cual corresponde al evento no deseado, por ejemplo un accidente. Se puede usar para encontrar cualquier combinación de eventos o fallas que lleven a causar el evento tope.

Dadas las características de esta técnica se usa para determinar la frecuencia de ocurrencia de escenarios complejos en el marco de un ACR.

La ventaja principal de esta técnica es su representación gráfica, que facilita la comprensión de la causalidad; de hecho, un Árbol de Fallas es un modelo gráfico en forma de árbol invertido que ilustra la combinación lógica de fallos parciales que conducen al fallo del sistema. La relación lógica entre dos sucesos es representada por los operadores lógicos “Y” y “O” utilizados en el álgebra booleana.



Anexo V. Figura 2: Árbol de Fallas

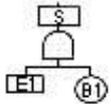
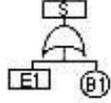
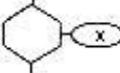
Para la elaboración del Árbol de Fallas es imprescindible que el analista de riesgo tenga acceso a información específica y propia de las instalaciones objeto de estudio, especialmente en lo referido a los sistemas de enclavamiento, instrumentación y control.

En el desarrollo del árbol los "sucesos básicos o no desarrollados", que se encuentran en la parte inferior de las ramas del árbol, deben cumplir con los siguientes aspectos:

- Ser independientes entre ellos.
- Que sus probabilidades de ocurrencia puedan ser obtenidas de tasas de fallo o fácilmente estimadas.

Para la representación gráfica de los Árboles de Fallas y con el fin de normalizar y universalizar la representación, se han elegido ciertos símbolos que se representan en la tabla siguiente, que muestra la simbología de los sucesos y las puertas u operadores lógicos utilizados en los Árboles de Fallas.

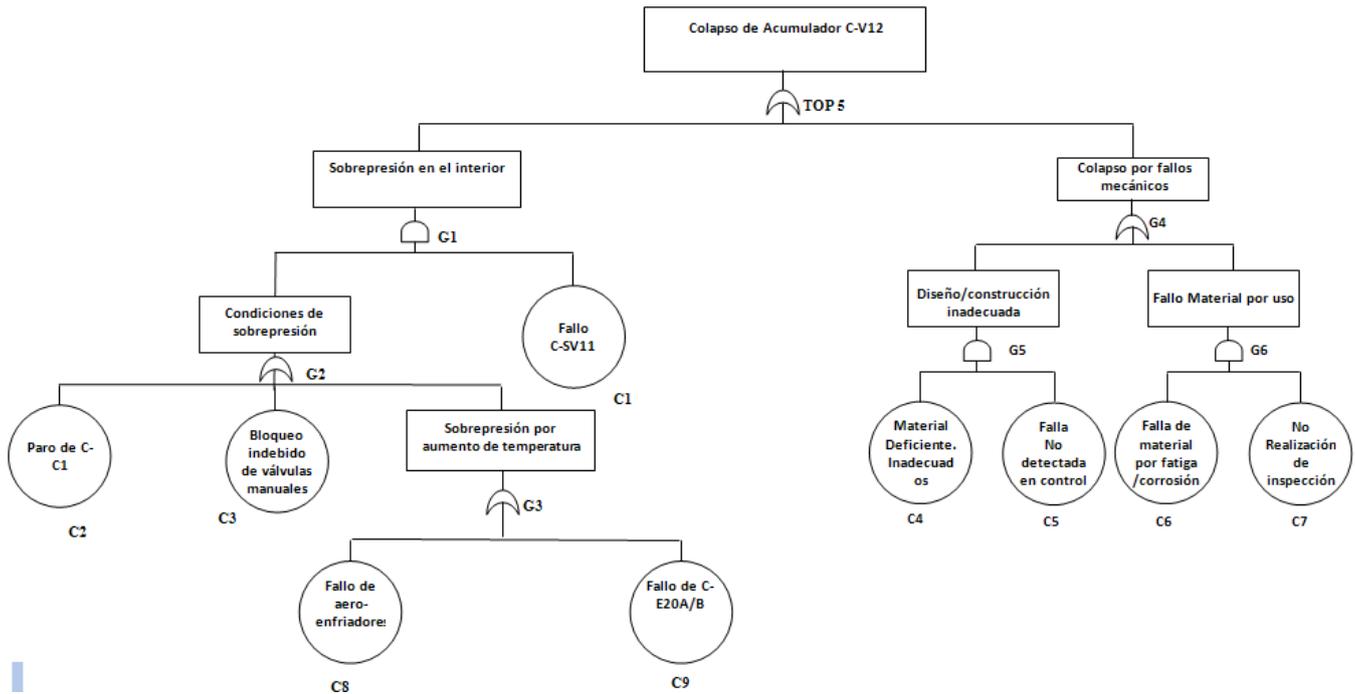


SÍMBOLOS	SIGNIFICADO DEL SÍMBOLO
	SUCESO BÁSICO. No requiere de posterior desarrollo al considerarse un suceso de fallo básico.
	SUCESO NO DESARROLLADO. No puede ser considerado como básico, pero sus causas no se desarrollan, sea por falta de información o por su poco interés.
	SUCESO INTERMEDIO. Resultante de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. Asimismo se representa en un rectángulo el "suceso no deseado" del que parte todo el árbol.
	<p>PUERTA "Y"</p>  <p>El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si ocurren todos los sucesos de entrada (E1 B1).</p>
	<p>PUERTA "O"</p>  <p>El suceso de salida (S) ocurrirá si ocurren uno o más de los sucesos de entrada (E1 B1).</p>
	SÍMBOLO DE TRANSFERENCIA. Indica que el árbol sigue en otro lugar.
	PUERTA "Y" PRIORITARIA. El suceso de salida ocurrirá si, y sólo si todas las entradas ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una elipse dibujada a la derecha de la puerta.
	PUERTA "O" EXCLUSIVA. El suceso de salida ocurrirá si lo hace una de las entradas, pero no dos o más de ellas.
	PUERTA DE INHIBICIÓN. La salida ocurrirá si, y sólo si lo hace su entrada y además se satisface una condición dada (X).

Anexo V. Figura 3: Símbolos usados en Árboles de Fallas



Ejemplo de Árbol de Fallas



Árbol de Eventos³¹

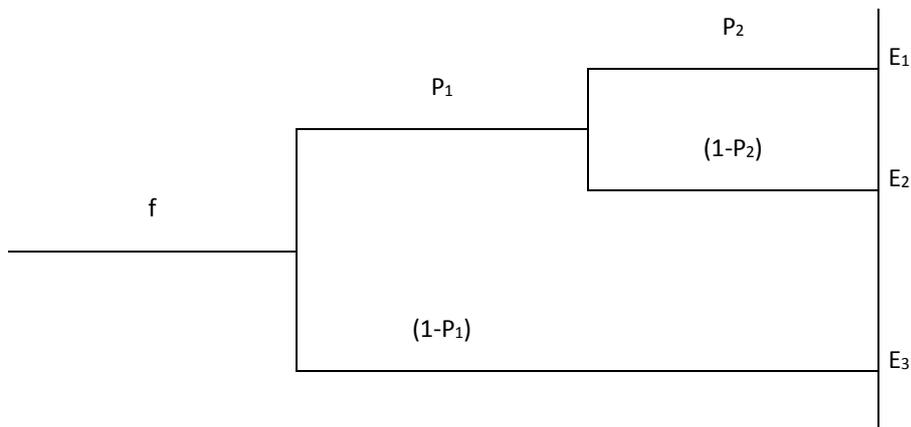
Es un método inductivo que describe de forma cualitativa y cuantitativa las secuencias de la evolución espacial y temporal de un sistema ante un evento inicial, permitiendo una cuantificación posterior.

Para determinar la frecuencia de los escenarios accidentales finales, se debe determinar la frecuencia de ocurrencia del suceso iniciador y luego la probabilidad de acierto o falla de las distintas cabeceras del árbol de eventos o factores condicionantes, tal como se muestra en la figura siguiente:

³¹ En el Capítulo 9 se dan ejemplos de Árboles de Eventos.



Suceso Iniciador	Factor condicionante 1	Factor condicionante 2	Escenario Accidental final
------------------	------------------------	------------------------	----------------------------



Anexo V. Figura 4: Árbol de Eventos. Cálculo de frecuencia de Escenario Accidental Final

Donde:

f = frecuencia del suceso iniciador

P_i = probabilidad de ocurrencia (éxito) del suceso i

$1-P_i$ = probabilidad de no ocurrencia (fallo) del suceso i

f_{E_i} = frecuencia del evento E_i , con

$$f_{E1} = f \cdot P_1 \cdot P_2$$

$$f_{E2} = f \cdot P_1 \cdot (1-P_2)$$

$$f_{E3} = f \cdot (1-P_1)$$

Los factores que condicionan la evolución del suceso iniciador del accidente hasta los accidentes finales pueden ser eventos aleatorios, así como las salvaguardas de mitigación presentes.

Se debe determinar la frecuencia de los accidentes finales mediante el producto de la frecuencia del suceso iniciador de los accidentes finales y de las probabilidades de los factores condicionantes.

Los factores condicionantes típicos que deberán incluirse en el Árbol de Eventos son, entre otros, los siguientes:

- Ignición inmediata o retardada.
- Posibilidad de confinamiento para determinar la probabilidad de una explosión de nube de vapor o de una llamarada.



- Actuación de detectores, sistemas de bloqueo, sistemas de lucha contra incendios, actuaciones de operadores, etc.

Como norma general, cabe destacar que, para poder incluir una salvaguarda, se ha de poder cuantificar su disponibilidad.

Para la elaboración de los Árboles de Eventos, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Para cada uno de los sucesos iniciadores o agrupación tipológica de los mismos se desarrollarán los Árboles de Eventos que indiquen la posible evolución desde el suceso iniciador hasta el accidente final (incendio de charco, llamarada, explosión...).
- Para cada alternativa del Árbol de Eventos se debe fijar la probabilidad de ocurrencia y evaluar la probabilidad de cada secuencia hasta los posibles accidentes finales. La información final de esta fase para cada iniciador de accidente, es un listado de cada uno de los posibles accidentes finales junto con su probabilidad de ocurrencia, de acuerdo con el Árbol de Eventos correspondiente.

Iniciadores de accidente genéricos

Según lo descrito en el apartado 9.1, existen dos tipos de sucesos iniciadores: genéricos y específicos. La determinación de la frecuencia de ocurrencia de estos dos tipos de iniciadores se realiza de manera distinta.

Para los iniciadores de accidente genéricos se recomienda el uso de datos bibliográficos, sin necesidad de recurrir a su cuantificación mediante Árboles de Fallas. Entran dentro de este grupo las pérdidas de inventario, total o parcial, de un depósito de almacenamiento, recipiente de proceso, tubería, bomba, camión cisterna, etc.

Para los iniciadores de accidente específicos la fuente de la frecuencia deberá ser la evaluación numérica del Árbol de Fallas o la aplicación de cualquier otra técnica que aporte datos cuantitativos consistentes (estadísticas de incidencias, datos disponibles en otras publicaciones o estudios de prestigio, etc.). En todo caso, el analista deberá considerar los datos que más se ajusten a las características de su operación.

A continuación se presentan algunas referencias bibliográficas relativas a la confiabilidad de equipos para instalaciones peligrosas:

- Reference Manual Bevi Risk Assessment, version 3.2 del National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), 2009.
- Red Book, Methods for determining and processing probabilities – second edition 1997/2005 del TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek).
- OREDA. Offshore reliability databank handbook, Norway, 1984.



- AICHE. Process equipment reliability Data, New York, 1989.
- Rijnmond Public Authority. Risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond Area - a pilot study, The Netherlands, 1982.
- Lees, Frank P. Loss prevention in the process industries. 3 Vol., 2nd Ed., London, 1996.
- Rasmussen, N. C. Reactor safety study: an assessment of accident risk in US commercial power plants. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1975.
- Report No.434-1, March 2010, Process release frequencies, International Association of Oil & Gas Producers (OGP)
- Report No. 434-4, March 2010 - Riser & Pipeline Release Frecuencias – International Association of Oil & Gas Producers (OGP).

Debe justificarse debidamente la fuente bibliográfica seleccionada, así como los datos de operación de la instalación utilizados para la determinación final de la frecuencia del iniciador de accidente.

En instalaciones en las que pudieran materializarse accidentes por sucesos naturales o actos por terceros, la frecuencia de ocurrencia de la hipótesis accidental debe ser la del iniciador de accidente genérico, penalizada por un factor para considerar estas causas adicionales.

Iniciadores de accidente específicos

La frecuencia de ocurrencia del iniciador de accidente específico, se determina con la técnica del Árbol de Fallas. Deben reflejar todas las capas de protección que existen en la instalación. Se deben incluir los sistemas o elementos en general que pueden limitar la ocurrencia del iniciador (por ejemplo, una Función Instrumentada de Seguridad (SIF) o un enclavamiento de alto nivel para sobrellenados de tanques) o reducir la magnitud (por ejemplo, una válvula de exceso de flujo).

Respecto de la frecuencia de ocurrencia de las hipótesis accidentales, cabe señalar que los datos sobre tasas de fallo que se indican en fuentes bibliográficas internacionales corresponden a instalaciones diseñadas y construidas de acuerdo con códigos de diseño y estándares de alta calificación internacional. Asimismo, estas instalaciones son mantenidas de acuerdo con programas y planes de mantenimiento preventivo y correctivo elaborados de acuerdo con estándares altamente reconocidos.

Conviene utilizar preferentemente tasas de fallos de las bases de datos de la propia Compañía o, en su defecto, las de fuentes de bibliografía internacional. En el caso de que se elabore un ACR de una instalación que no cumple con los lineamientos mencionados se debe aplicar un factor de penalización a la frecuencia indicada en la base de datos internacional. Este factor (entre 10 y 100, dependiendo de las diferencias de la instalación respecto de una que cumple con los lineamientos indicados en este párrafo), multiplica la frecuencia calculada con las tasas de fallos de la base bibliográfica.

En la tabla siguiente se da un ejemplo de la presentación de los resultados obtenidos en la determinación de la frecuencia de los accidentes finales.



Hipótesis accidental	Frecuencia final del iniciador accidental (genérico o específico)	Referencia al árbol de sucesos	Accidentes finales	Probabilidad	Frecuencia final del accidente (ocasiones/año)
Hipótesis accidental 1	1·10 ⁻⁵ oc/año	Árbol de sucesos nº 1	Incendio de charco		
			Llamarada		
			Dispersión tóxica		
			Explosión		

Anexo V. Tabla 1: Ejemplo de Presentación de resultados, frecuencia de los accidentes finales

RIESGO GEOGRÁFICO

El Riesgo Geográfico, también llamado Riesgo Individual para Público, es una medida del riesgo que indica la probabilidad, referida a un periodo de un año, de que una persona ubicada permanentemente, en un lugar determinado y sin protección específica, sea víctima debido al impacto de todos los posibles accidentes originados en el establecimiento. Sobre un período de referencia de un año, viene expresado en unidades de año⁻¹, si bien el riesgo, en el marco que nos ocupa, contiene el concepto de “víctima” por lo que las unidades se expresan en las tablas como víctimas/año.

Se puede representar bajo la forma de curvas de isorriesgo que unen, con una línea, los puntos que presentan el mismo riesgo. Este indicador de riesgo es función de la distancia existente entre la persona expuesta y los diferentes accidentes posibles dentro del establecimiento.

Criterio de aceptabilidad del Riesgo Geográfico o Individual para el público

En la siguiente tabla se indican, sólo con carácter informativo, los niveles de Riesgo Individual para el público basados en el principio ALARP utilizados en el Reino Unido (UK) y el estado de Victoria en Australia:

Riesgo Individual para el público (IRP) (año ⁻¹)	UK HSE	AUSTRALIA (Victoria)
INACEPTABLE	IRP > 1x10 ⁻⁴	IRP > 1x10 ⁻⁵ ⁽³²⁾
ALARP	1x10 ⁻⁶ < IRP ≤ 1x10 ⁻⁴	1x10 ⁻⁷ < IRP ≤ 1x10 ⁻⁵
ACEPTABLE	IRP ≤ 1x10 ⁻⁶	IRP ≤ 1x10 ⁻⁷

Appendix B, Survey of Worldwide Risk Criteria Applications of the Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria by Center for Chemical Process Safety. American Institute of Chemical Engineers, Inc.

³² Para nuevas instalaciones. Para instalaciones existentes, si el riesgo es superior a 10⁻⁵ víctimas/año, deben considerarse medidas de reducción del riesgo.



Otros países, como España, Holanda, Canadá o el Estado de Western en Australia no tienen en cuenta el principio ALARP, y consideran distintos valores de aceptabilidad del riesgo en función de los elementos sensibles del entorno. A continuación se adjuntan algunos ejemplos:

Riesgo individual máximo tolerable para nuevas instalaciones en el estado Western de Australia	
<i>* Para instalaciones existentes se requiere la implantación de medidas de reducción del riesgo si se supera el nivel de riesgo definido para instalaciones nuevas.</i>	
Desarrollos sensibles, como residencias, asilos, escuelas, prisiones, centros penitenciarios, hospitales, etc.	5×10^{-7} año ⁻¹
Áreas residenciales	1×10^{-6} año ⁻¹
Centros comerciales	5×10^{-6} año ⁻¹
Otras actividades no industriales	1×10^{-5} año ⁻¹
Otras actividades industriales	1×10^{-4} año ⁻¹
Riesgo individual máximo tolerable en la Comunidad Autónoma de Cataluña en España	
Elementos vulnerables: colegios, hospitales, centros deportivos, áreas residenciales, asilos, cárceles, áreas recreativas, centros comerciales, etc.	1×10^{-6} año ⁻¹
Riesgo individual máximo tolerable en Canadá	
Áreas residenciales	1×10^{-6} año ⁻¹
Centros comerciales	1×10^{-5} año ⁻¹
Otras actividades no industriales	1×10^{-4} año ⁻¹

Appendix B, Survey of Worldwide Risk Criteria Applications of the Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria by Center for Chemical Process Safety. American Institute of Chemical Engineers, Inc.

RIESGO INDIVIDUAL PARA LOS TRABAJADORES

El Riesgo Individual para trabajadores es una medida del riesgo que indica la probabilidad, referida a un periodo de un año, de que una persona sea víctima mortal debido al impacto de todos los posibles accidentes industriales originados en el establecimiento. Este tipo de riesgo depende de la fracción de tiempo de permanencia de la persona en cada lugar de la instalación.



Criterio de aceptabilidad del riesgo individual para los trabajadores

Los niveles de referencia para la aceptación del Riesgo Individual para los Trabajadores en UK HSE y el estado de Western en Australia se exponen en la siguiente tabla:

Riesgo Individual para los trabajadores en UK HSE y Western Australia (IRW) (año ⁻¹)	
INACEPTABLE	$IRW > 1 \times 10^{-3}$
ALARP	$1 \times 10^{-6} < IRW \leq 1 \times 10^{-3}$
ACEPTABLE	$IRW \leq 1 \times 10^{-6}$

UK HSE. Appendix B, Survey of Worldwide Risk Criteria Applications of the Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria by Center for Chemical Process Safety. American Institute of Chemical Engineers, Inc.

RIESGO SOCIAL

El Riesgo Social es una medida del riesgo que indica la probabilidad, referida a un periodo de un año, de que se produzcan víctimas mortales múltiples entre la población expuesta debido al impacto de todos los posibles accidentes originados en el establecimiento. Se asume que las personas involucradas disponen de algún medio de protección y que solo están expuestos al riesgo durante un periodo de tiempo, dependiendo de cada caso en particular.

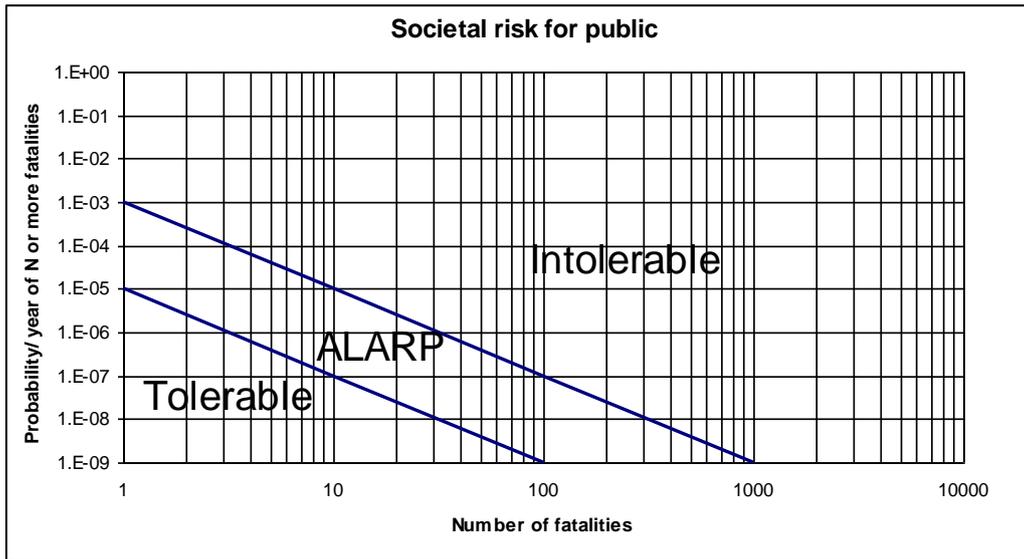
El Riesgo Social se calcula tanto para el personal que trabaja en el establecimiento como para el público en las proximidades del establecimiento.

Se representa mediante unas curvas F-N en un gráfico logarítmico en el que el eje de las “x” representa el número de víctimas mortales y el eje de las “y” representa la frecuencia acumulada de los accidentes que ocasionan un número de víctimas mortales superior o igual a N. Este indicador de riesgo depende directamente de la presencia de personas en el establecimiento y sus alrededores.

En diversas fuentes bibliográficas se indican valores de aceptabilidad de riesgo social utilizados habitualmente en los ACR si bien, hasta la fecha y que nosotros conozcamos, no han sido hechos propios por la legislación de aquellos países que han legislado sobre valores de aceptabilidad de Riesgo Geográfico. Es por ello que a continuación se muestran, sólo con carácter informativo, criterios de Riesgo Social ampliamente utilizados en los ACR, por aquellas compañías que no tienen definidos criterios propios.



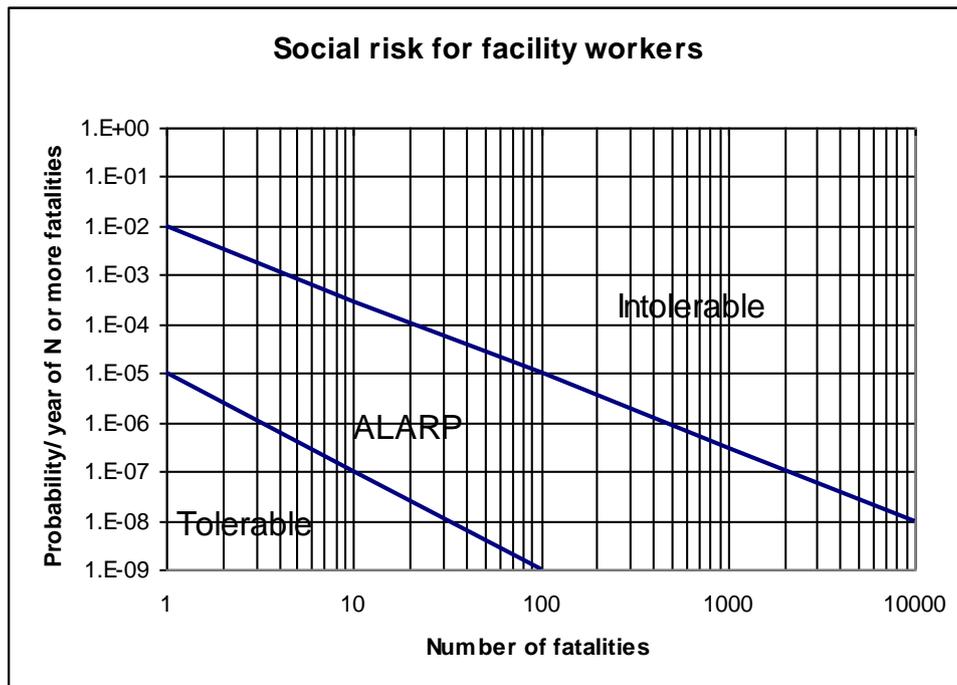
Criterio de aceptabilidad del Riesgo Social para el público



Anexo V. Figura 5: Riesgo Social para el público

Criterio de aceptabilidad del Riesgo Social para los trabajadores

La siguiente figura muestra el criterio de aceptabilidad del riesgo social para los trabajadores:



Anexo V. Figura 6: Riesgo social para trabajadores

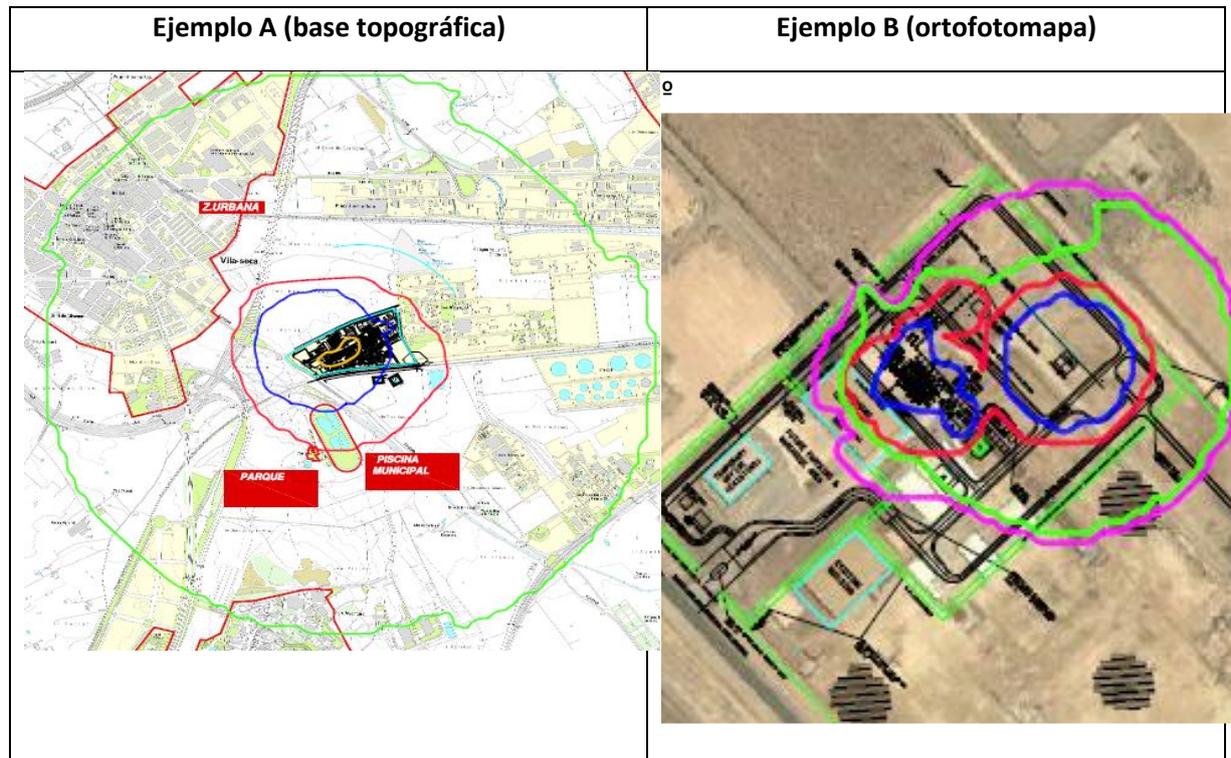


CRITERIOS GENERALES PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO INDIVIDUAL Y SOCIAL

Riesgo Individual para el público

Para determinar las curvas de isoriesgo es preciso recurrir a herramientas informáticas, tales como el Safeti QRA del DNV o el Risk Curves del TNO. Algunas consultoras, como Grupo TEMA, disponen de su propio código informático (ISORISC), el cual ha sido homologado por las administraciones públicas y compañías multinacionales con las que habitualmente trabaja.

A continuación se adjuntan varios ejemplos de curvas de isoriesgo. En el ejemplo A) se puede apreciar la existencia de elementos vulnerables dentro de la curva de isoriesgo 10^{-5} oc/año (curva de color azul afectando a la piscina municipal), por lo que el riesgo de la instalación sería inaceptable. En el ejemplo B, no hay presencia de elementos vulnerables, por lo que el riesgo sería aceptable.



Nivel de riesgo			
10^{-4} oc/año	10^{-5} oc/año	10^{-6} oc/año	10^{-7} oc/año

Anexo V. Figura 7: Ejemplo de Curvas de Isoriesgo



Riesgo Individual para los trabajadores

Para el cálculo del Riesgo Individual se deberá considerar la distribución y relación de personal dentro del establecimiento por puesto de trabajo, así como las curvas de isoriesgo en cada una de las áreas de trabajo en las que puede estar presente el personal de las instalaciones.

Para ello será necesario identificar los distintos puestos de trabajo e identificar el nivel de riesgo al que está expuesto (según curva de isoriesgo) y, en función del porcentaje de tiempo que se trabaja en dicha área, se obtendrá el nivel de Riesgo Individual para cada puesto de trabajo.

Riesgo Social para el público/ trabajadores

Para obtener la curva F-N se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Para elementos vulnerables con población no permanente (centros comerciales, centros deportivos, etc.) se considerará el aforamiento máximo permitido.
- Para el cálculo del Riesgo Social para el público no se tendrá en cuenta el personal de establecimientos industriales cercanos, salvo en el caso de que dispongan de edificios de oficinas con una capacidad de más de 50 personas.
- Para el cálculo del Riesgo Social del Público / Trabajadores no se computan las víctimas correspondientes a los ocupantes de los vehículos que circulan por las vías de comunicación próximas a la instalación.
- Los trabajadores de las instalaciones objeto del ACR no se tienen en cuenta para el cálculo del Riesgo Social para el Público. Por otro lado, los habitantes de la zona no se tienen en cuenta para el cálculo del Riesgo Social para los Trabajadores.
- Para el cálculo del Riesgo Social para el Público, se tiene en cuenta la ubicación de la fracción de población presente. Se considera una fracción del 7% durante horario diurno (de 8:00 a 18:30) y un 100% durante horario nocturno (de 18:30 a 8:00), según apartado 5.3.1. Survey of the population present, del Purple Book.
- Para el cálculo del Riesgo Social para el Público, se tiene en cuenta la ubicación de la población. Se considera que en el exterior de edificios se encuentra un 7% de la población durante horario diurno (de 8:00 a 18:30) y un 1% durante horario nocturno (de 18:30 a 8:00), y en el interior de edificios se encuentra un 93% de la población durante horario diurno (de 8:00 a 18:30) y un 99% durante horario nocturno (de 18:30 a 8:00), según apartado 5.3.2. Fraction indoors and outdoors, del Purple Book.
- Para el cálculo del Riesgo Social para los Trabajadores, se tiene en cuenta la ubicación de la plantilla, es decir, si se encuentran en el interior y/o exterior de edificios.
- Determinación de la frecuencia de ocurrencia de las dispersiones tóxicas y las llamaradas, obtenida como producto de la frecuencia de ocurrencia del accidente considerado, por la



probabilidad de que se dé una determinada condición atmosférica y que el viento sople en una dirección.

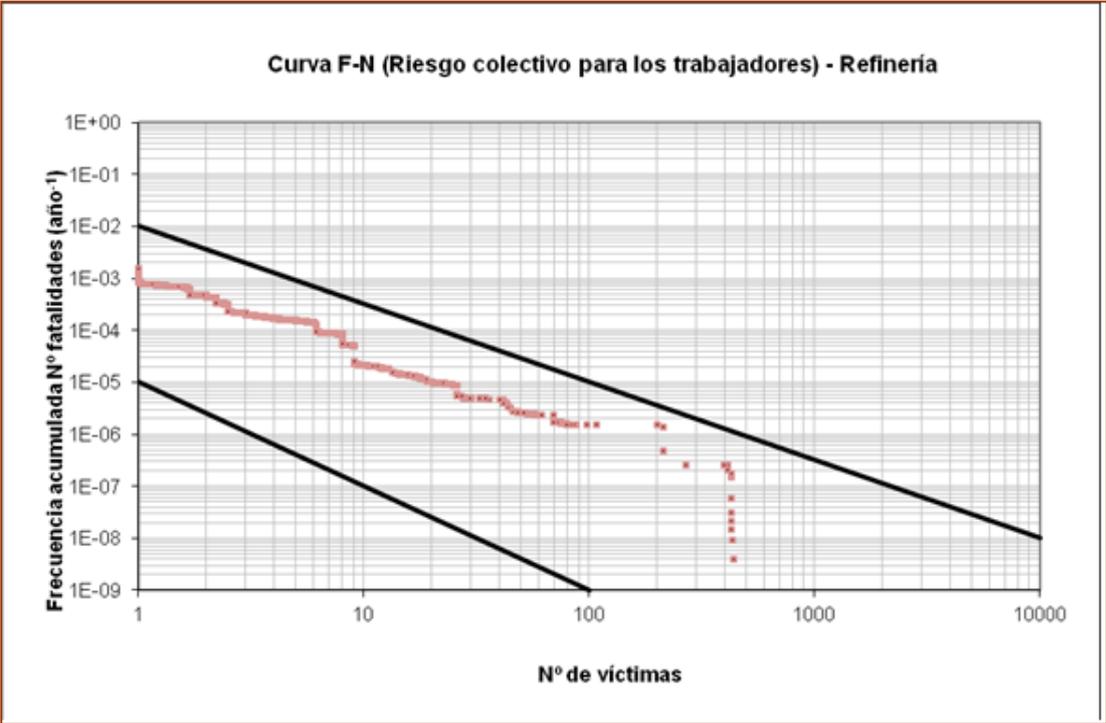
- Determinación de la frecuencia de ocurrencia de los dardos de fuego, obtenida como producto de la frecuencia de ocurrencia del accidente considerado, por la probabilidad de direccionalidad de fuga.
- Determinación de la frecuencia de ocurrencia de las deflagraciones, obtenida como producto de la frecuencia de ocurrencia del accidente considerado, por la probabilidad de que el viento sople en la dirección donde se ubica la zona confinada / congestionada.
- Para las fugas tóxicas se considera que un 100% de la población afectada en el exterior y un 10% de la población afectada en el interior de un edificio, puede ser víctima mortal, *según apartado 3.4.9 del módulo B del Bevi Risk Assessment*. Este valor se establece en base a que aplicando medidas simples del tipo encerrarse en casa y cerrar ventanas y puertas el riesgo de inhalar un producto tóxico se ve drásticamente disminuido.
- Para radiaciones térmicas (dardo de fuego, incendio, bola de fuego/ BLEVE) inferiores a 35 kW/m², se considera un 14% de víctimas en el exterior y un 0% en el interior, según apartado 3.4.9 del módulo B del Bevi Risk Assessment. Para radiaciones superiores a 35 kW/m² se considera un 100% de víctimas en el interior y exterior.
- Para la dispersión de nubes inflamables se considera que un 100 % de la población afectada en el exterior puede ser víctima mortal. Se considera que, en caso de ignición de la nube de vapores inflamables, la llamarada (flash FIRE) ocasionará quemaduras graves sobre una gran parte del cuerpo o la muerte de las personas que estuviesen en contacto directo con las llamas (letalidad del 100% dentro de la nube por efectos de la radiación térmica). En el caso de las personas situadas en el interior de edificios, probablemente estarán protegidas, aunque sea parcialmente, de la llamarada, aunque estarán expuestas a fuegos secundarios provocadas por la misma.
- Para sobrepresiones superiores a 300 mbar, se considera que el 100% de la población afectada en el exterior puede ser víctima mortal, *según apartado 3.4.9.3 del módulo B del Bevi Risk Assessment*.
- Finalmente se ordenan todos los accidentes de mayor a menor número de víctimas, se calcula la frecuencia acumulada de cada uno de ellos y se representa gráficamente la curva F-N



A continuación se presenta un ejemplo de tabla y curva F-N:

Nº HIPÓTESIS	ACCIDENTE FINAL	FRECUENCIA	Nº VÍCTIMAS ACCIDENTE	FRECUENCIA ACUMULADA
SI-02a	Llamarada (D)	3,91E-09	439	4,89E-09
SI-05b	Llamarada (F)	5,03E-09	432	9,92E-09
SI-14b	Llamarada (F)	8,98E-08	430	1,01E-07
SI-05a	Llamarada (D)	2,69E-08	430	1,28E-07
SI-04a	Llamarada (F)	9,58E-09	430	1,37E-07
SI-14a	Llamarada (F)	6,74E-09	430	1,44E-07
SI-03a	Llamarada (F)	5,75E-09	430	1,50E-07
SI-05a	Llamarada (F)	6,74E-09	429	1,56E-07
SI-05b	Llamarada (F)	2,02E-08	428	1,77E-07
SI-04b	Llamarada (F)	4,79E-08	411	2,25E-07
SI-03b	Llamarada (F)	2,87E-08	411	2,53E-07
SI-05a	Llamarada (D)	3,91E-09	396	2,57E-07
SI-04a	Llamarada (F)	3,14E-09	271	2,60E-07
SI-06	Deflagración (D)	8,80E-07	214	1,14E-06
SI-06	Deflagración (F)	2,20E-07	214	1,36E-06
SI-10	Llamarada (F)	1,53E-07	201	1,51E-06
SI-05b	Llamarada (D)	2,01E-08	108	1,53E-06
SI-04a	Llamarada (D)	1,26E-08	98	1,55E-06
....				

Anexo V. Tabla 2: Ejemplo de Tabla para Curvas FN





ANEXO VI: ESTUDIO DE RIESGO

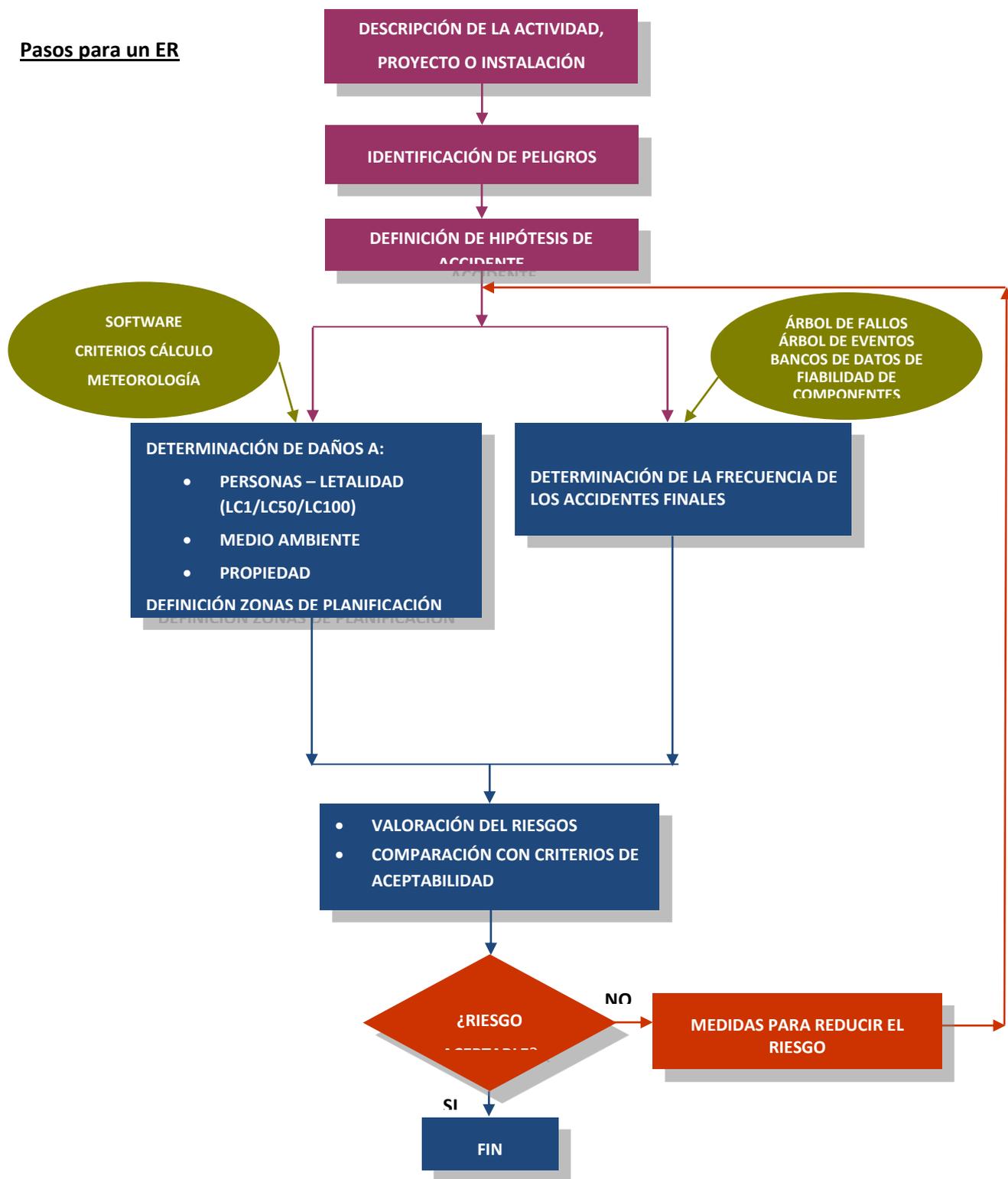
El Estudio de Riesgo (ER) es otro tipo de estudio en el que se valora el riesgo. Por un lado existen métodos cualitativos para el Análisis de Riesgos, como la utilización de matrices de riesgos usadas durante los estudios PHA, en donde se evalúa el riesgo de escenarios accidentales de forma cualitativa o semicuantitativa, para obtener un índice de riesgo del escenario analizado. Por otro lado está el ACR que contempla varios escenarios a la vez en donde las consecuencias y frecuencias de ocurrencia se estiman de forma cuantitativa para luego obtener distintos parámetros de riesgos. Una metodología intermedia entre el ACR y la valoración del riesgo durante un estudio PHA, es denominado, en la presente Guía, Estudio de Riesgo (ER).

El ER supone la utilización de matrices para estimar el riesgo. Se diferencia del método cualitativo usado en los estudios PHA en que la valoración de las consecuencias se realiza en base a un Estudio de Alcance de Consecuencias (EAC) y la estimación de frecuencias, mediante fuentes bibliográficas y las técnicas de Árboles de Fallas y Árboles de Eventos. No contempla la totalidad de los escenarios accidentales en conjunto como en el Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR), sino que la valoración se realiza de manera individual para cada escenario.

En la siguiente figura se muestran los pasos para la realización de un ER.



Pasos para un ER



Anexo VI. Figura 1: Pasos para realizar un ER



VALORACIÓN DEL RIESGO

Para realizar la evaluación del riesgo se aplica el principio ALARP por lo que es necesario definir los tres tipos de riesgos en términos de probabilidad y consecuencias de un accidente.

La correspondencia entre la probabilidad y las consecuencias de un accidente se detalla, a modo de ejemplo, en la siguiente Matriz de Riesgo.

Clases de riesgo ³³					
Frecuencia	Consecuencias				
	0 – Despreciable	1- Significativa	2 - Grave	3 – Crítica	4 - Catastrófica
6 - Muy Probable	III	II	I	I	I
5 – Probable	III	II	II	I	I
4 – Posible	III	III	II	II	I
3 - Remota	III	III	II	II	II
2 – Improbable	III	III	III	III	II
1 – Increíble	III	III	III	III	III

Anexo VI. Figura 2: Matriz de Riesgos

Clase de riesgo	Interpretación ³⁴
Clase I	Riesgo inaceptable (se deben tomar acciones para reducir el riesgo)
Clase II	Riesgo indeseable y únicamente tolerable o aceptable si la reducción de riesgo no es practicable o si los costes son manifiestamente desproporcionados respecto a la mejora conseguida (riesgo ALARP).
Clase III	Riesgo ampliamente aceptable (no es necesario tomar medidas adicionales para reducir el riesgo, pero éstos deben ser atendidos (monitoreados, con mitigación programada, etc.).

Anexo VI. Tabla 1: Clase de Riesgo

Según el INDECI³⁵, los estudios de riesgos deben considerar los siguientes aspectos

³³ Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla A-1, de IEC 61511, parte 3, Anexo A.

³⁴ Elaboración propia a partir de la Tabla A-2, de IEC 61511, parte 3, Anexo A

³⁵ Pág. 24 del Manual de Evaluación de Riesgos por Sustancias Químicas y Peligrosas, INDECI.



- **Entorno Humano**, que incluye tanto a las personas directamente asociadas a la actividad o instalación como a la población del Área de Influencia.
- **Entorno Natural o Ambiental** (físico, biológico y ecológico) y que incluye además la afectación a bienes culturales arqueológicos.
- **Entorno Socioeconómico**, que incluye al activo del propio así como las infraestructuras existentes, bienes, servicios y medios de vida de la población del Área de influencia.

La clasificación del riesgo se realiza teniendo en cuenta la severidad y la frecuencia de ocurrencia de los escenarios accidentales finales de una serie de hipótesis accidentales.

A continuación se describen los pasos a seguir para la realización de un ER, según lo indicado en la figura 1.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS E HIPÓTESIS ACCIDENTALES

La identificación de peligros es la base para la determinación del listado de hipótesis accidentales. Los criterios a tener en cuenta en el estudio ER son los mismos que para un EAC.

ESTIMACIÓN DE CONSECUENCIAS PARA LAS PERSONAS

La determinación de los alcances letales para las personas LC1, LC50 y LC100, tiene como objeto determinar el número de personas que pueden verse afectados por los diferentes escenarios accidentales, es decir, el número de víctimas potencial. Los criterios para esta determinación siguen los mismos lineamientos que los descritos en el EAC.

Para determinar un valor de consecuencias para las personas se debe comparar el resultado obtenido en el EAC con una tabla de consecuencias para las personas³⁶ similar a la que se muestra a continuación.

³⁶ Fuente: *Elaboración propia*



Categoría	Consecuencia	Descripción orientativa de los daños
C0 Despreciable	Lesión menor a una persona	<ul style="list-style-type: none"> Lesión sin baja médica o hasta 3 o 4 días de baja médica.
C1 Significativa	Lesión moderada a una persona.	<ul style="list-style-type: none"> Lesión necesitando hasta 30 días de baja médica. Efectos graves pero reversibles sobre la salud (por ejemplo irritaciones, quemaduras de extensión moderada). Daños causados por pequeñas fugas en bridas de tuberías con materiales peligrosos no tóxicos.
C2 Grave	Lesión seria o muy seria a una o varias personas, sin resultar en muerte	<ul style="list-style-type: none"> Discapacidad parcial o seria permanente. Enfermedad ocupacional. Lesión grave resultando en baja médica prolongada de más de 30 días de una o varias personas.
C3 Crítica	Muerte de una o varias personas (de 1 a 3)	<ul style="list-style-type: none"> Daños causados por fugas importantes de materiales peligrosos. Rotura de un equipo con elevada energía mecánica, por ejemplo, un compresor/bomba grande.
C4 Catastrófica	Muerte de muchas personas (más de 3)	<ul style="list-style-type: none"> Fugas masivas de materiales peligrosos. Explosiones o incendio de grandes derrames cercanos a viviendas

Anexo VI. Tabla 2: Consecuencias para las personas

ESTIMACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS AL MEDIO AMBIENTE, UNE 150008

El análisis de vulnerabilidad al medio ambiente se centra en las sustancias peligrosas para el medio ambiente, con independencia de si presentan otro peligro añadido y, por tanto, de si se ha llevado a cabo un análisis de consecuencias para las personas y/o la propiedad.

Para el análisis de vulnerabilidad del medio ambiente pueden tenerse en cuenta los criterios de la norma UNE 150008:2008³⁷ en los que se identifican, caracterizan y valoran sistemática y objetivamente cada uno de los componentes y factores relevantes:

La evaluación de las consecuencias al medio ambiente se basa en la valoración de los siguientes componentes:

- Fuentes de peligros.
- Sistemas de control primario.
- Sistemas de transporte.
- Receptores vulnerables.

³⁷ Norma UNE 150008. Análisis y evaluación del riesgo ambiental. AENOR. Marzo 2008.



Valoración de las fuentes de peligros

Los criterios considerados que determinan el potencial daño que una sustancia peligrosa puede inducir sobre el entorno son los siguientes:

- **Peligrosidad potencial de la sustancia peligrosa.** Determinada por las características de toxicidad, inflamabilidad y reactividad. Su valoración se indica a continuación:

CONCEPTO	VALORACIÓN
Muy peligrosa (materiales peligrosos muy tóxicos para los organismo acuáticos y/o muy tóxicos por inhalación)	4
Peligrosa (materiales peligrosos tóxicos para los organismos acuáticos y tóxicos por inhalación)	3
Poco peligrosa (en función de los peligros identificados en la ficha de seguridad)	2
No peligrosa (en función de los peligros identificados en la ficha de seguridad)	1

Anexo. VI. Tabla 3: Valoración de la peligrosidad potencial de la fuente peligrosa

NOTA: La peligrosidad se multiplica por 2 para darle un mayor peso.

- **Factores que condicionan su comportamiento ambiental.** Que determinarán la persistencia y transporte en el medio ambiente, y serán intrínsecos a la naturaleza de la sustancia en función de sus propiedades fisicoquímicas tales como volatilidad, biodegradación o persistencia. Su valoración se indica a continuación:

CONCEPTO	VALORACIÓN
Muy volátil Muy persistente Muy bio- acumulable	4
Volátil Persistente Bio-acumulable	3
Poco volátil Poco persistente Poco bio-acumulable	2
No volátil No persistente No bio-acumulable	1

Anexo. VI. Tabla 4: Comportamiento ambiental de la fuente peligrosa



NOTA.- Cada uno de los factores enumerados puntúa igual. Aquellos casos en los que no se prevén consecuencias desfavorables para el medio ambiente se puntúan con un cero.

- Cantidad potencial involucrada, determinada por las condiciones y características de la fuga. Su valoración se indica a continuación:

CONCEPTO	VALORACIÓN
Muy alta (>10.000 kg)	4
Alta (1.000 a 10.000 kg)	3
Poca (100 a 1.000 kg)	2
Muy poca (0 a 100 kg)	1

Anexo. VI. Tabla 5: Cantidad potencial involucrada en una fuga

Valoración de los sistemas de mitigación (control primario)

A continuación se indican los criterios a considerar para valorar los sistemas de seguridad dispuestos para la prevención/mitigación (medios destinados a detectar desviaciones como, por ejemplo, instrumentos de alarma, y detección o supervisión, cubetos de retención, sistemas de extracción y eliminación de gases, etc.) así como su eficacia y funcionamiento con la finalidad de que la fuente de riesgo no acceda al medio de transporte y no pueda afectar a los receptores. Su valoración se indica a continuación:

CONCEPTO	VALORACIÓN
Muy eficaz	1
Eficaz	2
Poco eficaz	3
No eficaz	4

Anexo. VI. Tabla 6: Valoración de los sistemas de prevención/ mitigación

NOTA: La existencia de sistemas de prevención/ mitigación (control primario) se multiplica por 2 para darle un mayor peso.

Valoración del sistema de transporte

Se indican a continuación los criterios a considerar para evaluar aquellos casos en que una fuente de peligro pueda alcanzar a un receptor por medio del sistema de transporte. Los sistemas de transporte son el aire, el agua superficial, el agua subterránea y el suelo y se han evaluado conforme a la extensión potencial que podría alcanzar el contaminante.



Si el sistema de transporte es el aire, la valoración se realiza en función de los alcances de las nubes inflamables o tóxicas. Su valoración es la siguiente:

CONCEPTO	VALORACIÓN
Muy extenso (accidentes para los que se prevea alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas y en el exterior del establecimiento.)	4
Extenso (para los que se prevea daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente en zonas limitadas)	3
Poco extenso (accidentes para los que no se prevean daños al medio ambiente de ningún tipo en el exterior de éste)	2
Puntual (accidentes para los que no se prevean daños al medio ambiente de ningún tipo en el exterior de éste)	1

Anexo. VI. Tabla 7: Sistema de transporte aire

Si el sistema de transporte es el agua superficial, el agua subterránea o el suelo, la valoración se realiza en función de la cantidad potencial de sustancia tóxica para los organismos acuáticos involucrada en el derrame. Su valoración es la siguiente:

CONCEPTO	VALORACIÓN
Muy extenso (> 10.000 kg)	4
Extenso (1.000 a 10.000 kg)	3
Poco extenso (100 a 1.000 kg)	2
Puntual (0 a 100 kg)	1

Anexo. VI. Tabla 8: Sistema de transporte hidrológico y/o edáfico

NOTA.- Aquellos casos en los que no hay una fuente de peligro que pueda afectar a un receptor por medio de un sistema de transporte se puntúan con un cero.

Valoración de los receptores

Se indican a continuación los criterios considerados para evaluar la vulnerabilidad de los receptores. Esta valoración se centra en el análisis de la calidad del entorno natural, entorno humano y entorno socioeconómico.



Los parámetros considerados son los siguientes:

- Entorno natural, su valoración se indica a continuación:

CONCEPTO	VALORACIÓN
Calidad muy elevada (parque nacional)	4
Calidad elevada (Parque o Reserva natural)	3
Calidad media (Espacio protegido no incluido dentro de las categorías de Parque Nacional o Reservas)	2
Calidad baja (Zona no protegida)	1

Anexo. VI. Tabla 9: Valoración del entorno natural

- Entorno humano, su valoración se indica a continuación:

CONCEPTO	VALORACIÓN
Población muy elevada (más de 100 personas)	4
Población elevada (25 a 100 personas)	3
Población media (5 a 25 personas)	2
Población baja (menor a 5 personas)	1

Anexo. VI. Tabla 10: Valoración del entorno humano

- Entorno socioeconómico, referido a la valoración del patrimonio económico y social (patrimonio histórico, infraestructura, actividad agraria, instalaciones industriales, espacios naturales protegidos y/o de especial relevancia, residenciales y de servicios), afectado en función de la extensión del impacto. Si la extensión del impacto abarca diferentes medios, debe considerarse como puntuación global la del medio de mayor relevancia por el tipo de consecuencia en estudio. Su valoración se indica a continuación:



CONCEPTO	VALORACIÓN
Muy alto (Residencial)	4
Alto (Turismo/ Sector Servicios)	3
Bajo (Actividad agrícola/ ganadera)	2
Muy bajo (Actividad industrial/ patrimonio histórico/ sin actividad)	1

Anexo. VI. Tabla 11: Valoración del entorno socioeconómico

Estimación de las consecuencias

La valoración cualitativa mediante índices de los componentes que influyen en medio ambiente (Fuentes de peligros, Sistema Prevención/ Mitigación (Control Primario), Sistema de Transporte y Receptores) permite obtener un índice asociado a cada uno de ellos y la suma de los mismos permite obtener el posible daño o consecuencias sobre el entorno receptor.

Para estimar la severidad de las posibles consecuencias se debe aplicar la siguiente fórmula:



Para esta fórmula se puede obtener los siguientes valores:

- Valor máximo: 40
- Valor mínimo: 10

La estimación de la gravedad de las consecuencias se realiza según los siguientes baremos:

VALORACIÓN	NIVEL EN LA MATRIZ	DESCRIPCIÓN
entre 35 - 40	C4	Catastrófico
entre 29 - 34	C3	Crítico
entre 23 - 28	C2	Grave
entre 17 - 22	C1	Significativo
entre 10 -16	C0	Despreciable

Anexo. VI. Tabla 12: Estimación de la severidad de las consecuencias



Para determinar un valor de consecuencias para el medio ambiente se deben comparar los daños provocados por el escenario accidental, con la tabla de consecuencias para el medio ambiente³⁸ similar a la que se muestra a continuación.

Categoría	Consecuencias	Descripción orientativa del daño
C0 Despreciable	Afectación ambiental mínima (suelo, subsuelo, aguas, etc.) dentro de la zona de influencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Sin consecuencias relevantes. • No es necesario reportar a las Autoridades.
C1 Significativa	Daño ambiental mínimo (suelo, subsuelo, aguas, etc.) dentro de la zona de influencia con consecuencias mínimas conocidas, aunque suficientemente importantes como para que la Dirección de la empresa tome medidas.	<ul style="list-style-type: none"> • Implica que la Dirección debe informar a las Autoridades Locales Competentes. • Fuera de la zona de influencia apenas hay impacto relevante.
C2 Grave	Daño ambiental (suelo, subsuelo, aguas, especies, etc.) con afectación fuera de la zona de influencia, sin efectos muy negativos conocidos, que daña la imagen de la empresa.	<ul style="list-style-type: none"> • Un incidente que causa indignación a la Comunidad Local o Provincial • Daños a especies de interés comercial o recreativo.
C3 Crítica	Daño ambiental (suelo, subsuelo, aguas, especies, etc.) fuera de la zona de influencia con efectos negativos conocidos pero reversibles. Se espera que los efectos perjudiciales terminen en menos de tres años.	<ul style="list-style-type: none"> • Un incidente que causa indignación en la Comunidad Provincial o Estatal y que daña la imagen de la empresa a nivel nacional. • Desaparición temporal de especies de interés comercial o recreativo.
C4 Catastrófica	Daño ambiental (suelo, subsuelo, aguas, especies, biodiversidad, etc.) con afectación fuera de la zona de influencia con efectos negativos conocidos a largo plazo (más de tres años)	<ul style="list-style-type: none"> • Se induce un cambio en el entorno. • Suceso que causará indignación en la comunidad a nivel nacional e incluso internacional

Anexo VI. Tabla 13: Consecuencias para el medio ambiente

ESTIMACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS A LA PROPIEDAD

Las consecuencias económicas deben tener en cuenta la suma de todos los contribuidores a la pérdida económica. Esto incluirá, pero no se limitará, a:

- Costes de demolición (para eliminar equipo dañado).
- Costes de material e instalación del equipo instalado.
- Costes de la interrupción de la producción.

Asimismo, se deben incluir en este punto los costes asociados a la remediación ambiental.

³⁸ Fuente: Elaboración propia



Para esta evaluación resulta conveniente utilizar los resultados del EAC, según los valores umbrales descritos en el apartado correspondiente al Efecto Dominó.

Para determinar un valor de consecuencias para la Propiedad se debe comparar el resultado obtenido según lo descrito en el en el EAC (o por juicio experto), con la tabla de consecuencias para la Propiedad³⁹ similar a la que se muestra a continuación.

Categoría	Consecuencia	Descripción orientativa del daño
C0 Despreciable	Afectación mínima sin necesidad de interrupción de las actividades.	Despreciable
C1 Significativa	Interrupción menor de las actividades/operaciones. Daños menores a instalaciones y/o equipos no esenciales. Daños menores a terceros.	El coste de los daños es inferior al 0,1 % del valor nuevo de la instalación.
C2 Grave	Interrupción moderada de las actividades/operaciones. Daños importantes a instalaciones y/o equipos no esenciales. Daños relevantes a terceros.	El coste de los daños es superior al 0,1 % e inferior al 1 % del valor nuevo de la instalación.
C3 Crítica	Interrupción severa de las actividades/operaciones. Instalación fuera de servicio entre 1 y 3 meses. Daños importantes a las instalaciones y/o equipos esenciales. Daños muy relevantes a terceros	El coste de los daños es superior al 1 % e inferior al 10 % del valor nuevo de la instalación.
C4 Catastrófica	Daños severos a las instalaciones y/o equipos esenciales. Instalación fuera de servicio durante varios meses (más de 3). Daños catastróficos a terceros	El coste de los daños es superior al 10 % del valor nuevo de la instalación.

Anexo. VI. Tabla 14: Consecuencias para la propiedad

ESTIMACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS, CCPS

Las estimaciones de consecuencias para personas, medioambiente y la propiedad se deben comparar con las tablas de las propias compañías.

A continuación se da un ejemplo más de este tipo de tablas extraída del documento “*Process Lagging and Leading Metrics*”, del CCPS.

³⁹ Fuente: *Elaboración propia*



Categoría	Daños personales	Daños materiales	Daños ambientales y de imagen
C0 Despreciable	Sin lesiones personales.	Costo directo inferior a U\$S 25.000.	Sin necesidad de remediación.
C1 Significativa	Lesión sin días perdidos (atención de primeros auxilios con vuelta al trabajo).	Costo directo entre U\$S 25.000 y 100.000.	Remediación breve (limpieza, remoción de tierra y vegetación afectada).
C2 Grave	Lesión con días perdidos.	Costo directo entre U\$S 100.000 y 1.000.000.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos de remediación menores a U\$S 1.000.000, o ▪ cobertura informativa a nivel local, o ▪ protección in situ (sólo para precaución) de los habitantes de las zonas aledañas.
C3 Crítica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una muerte en la instalación, o ▪ Más de una lesión con días perdidos en la instalación, o ▪ Una lesión fuera de la instalación. 	Costo directo entre U\$S 1.000.000 y 10.000.000.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos de remediación entre U\$S 1.000.000 y 2.500.000, o ▪ cobertura informativa breve a nivel nacional, o ▪ protección in situ o evacuación de los habitantes de las zonas aledañas.
C4 Catastrófica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Más de una muerte en la instalación, o ▪ Al menos una muerte fuera de la instalación. 	Costo directo mayor a U\$S 10.000.000	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costos de remediación mayores a U\$S 2.500.000, o. ▪ varios días de cobertura informativa a nivel nacional, o ▪ impacto significativo en la comunidad

Anexo. VI. Tabla 15: CCPS, niveles de consecuencias

ESTIMACIÓN DE LA FRECUENCIA

Para clasificar la frecuencia de ocurrencia de un escenario accidental final se puede recurrir a fuentes bibliográficas, o calcularla mediante las técnicas de Árboles de Fallas y Árboles de Eventos, comparando el valor (generalmente expresado en término de ocurrencias por año) con una tabla⁴⁰ similar a la que se muestra a continuación.

Para determinar la frecuencia de los escenarios accidentales finales, se debe determinar la frecuencia de ocurrencia del suceso iniciador y luego la probabilidad de acierto o falla de las distintas cabeceras del Árbol de Sucesos o factores condicionantes. Los criterios para esta determinación siguen los mismos lineamientos que los descritos en el Anexo V de metodología ACR.

⁴⁰ Fuente: Elaboración propia



Frecuencia	Característica	Ocurrencia (ocasiones /año)	Definición del suceso
6 - Muy probable	Suceso frecuente o cuasi cierto que tenga lugar	$> 10^{-1}$ oc/ año	Suceso frecuente en la actividad. Un incidente común que probablemente ocurra una o más veces por año.
5 – Probable	Suceso posible pero no frecuente	De 10^{-1} a 10^{-3} oc/ año	Un incidente que puede ocurrir una o más veces durante las operaciones o la vida estimada de los equipos
4 – Posible	Suceso posible	De 10^{-3} a 10^{-5} oc/ año	Un incidente poco frecuente que puede ocurrir alguna vez durante las operaciones o durante la vida estimada de los equipos
3 – Remota	Suceso sumamente raro	De 10^{-5} a 10^{-7} oc/ año	Un incidente que no es esperable durante las operaciones o la vida estimada de los equipos. Posibilidad muy remota de que ocurra.
2 - Improbable	Suceso improbable	De 10^{-7} a 10^{-9} oc/ año	Un incidente nunca experimentado en la empresa.
1 – Increíble	Suceso increíble	$< 10^{-9}$ oc/ año	Un incidente nunca experimentado en el sector específico de la actividad a nivel mundial.

Anexo. VI. Tabla 16: Frecuencias empleadas en la estimación de la probabilidad

Asociación Regional de Empresas del Sector Petróleo, Gas y Biocombustibles en Latinoamérica y el Caribe

ARPEL es una Asociación sin fines de lucro que nuclea a empresas e instituciones del sector petróleo, gas y biocombustibles en América Latina y el Caribe. Fue fundada en 1965 como un vehículo de cooperación y asistencia recíproca entre empresas del sector, con el propósito principal de coadyuvar activamente a la integración y crecimiento competitivo de la industria y al desarrollo energético sostenible en la región. Sus socios representan más del 90% de las actividades del upstream y downstream en la región e incluyen a empresas operadoras nacionales, internacionales e independientes, proveedoras de tecnología, bienes y servicios para la cadena de valor, y a instituciones nacionales e internacionales del sector.

Misión

Promover la integración, crecimiento, excelencia operacional y eficaz desempeño socio-ambiental de la industria en la región, facilitando el diálogo, la colaboración y la construcción de sinergias entre actores, así como la creación compartida de valor a través del intercambio y ampliación del conocimiento de sus socios.

Visión

Ser un referente en la consolidación de la industria de petróleo y gas como proveedora de energía confiable y segura, que satisfaga el crecimiento de la demanda energética regional en forma sostenible.

• EMPRESAS ASOCIADAS



• INSTITUCIONES ASOCIADAS



• ALIANZAS



ASOCIACIÓN REGIONAL DE EMPRESAS DEL SECTOR
PETRÓLEO, GAS Y BIOCMBUSTIBLES
EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

Javier de Viana 1018 - 11200 Montevideo, Uruguay
Tel.: + (598) 2410- 6993
www.arpel.org