

ANÁLISIS DE RIESGOS

***IDENTIFICACION DE PELIGROS**
-MÉTODOS DE IDENTIFICACION (ANÁLISIS DE PELIGROS).*

***EVALUACIÓN**
ANALISIS DE RIESGOS (ARBOLES DE EVENTOS. ESCENARIOS).
EVALUCIÓN DE FRECUENCIAS
EVALUACION DE CONSECUENCIAS
EVALUACION DEL RIESGO*

El Diseño Seguro. Vimos que:

-El Riesgo depende tanto de las frecuencias de ocurrencia de los eventos accidentales, como de las consecuencias de los mismos.

-Sabemos que debe evaluarse el riesgo asociado a los peligros existentes, y que para ello primero deben identificarse, y caracterizarse (¿como lo hacemos?).

-Desde el punto de vista del diseño, en todas las etapas del proyecto, DEBEN INTRODUCIRSE LOS ELEMENTOS NECESARIOS DE MITIGACION O SALVAGUARDAS PARA PREVENIR/MITIGAR/MINIMIZAR el sometimiento de los trabajadores, pobladores y el ecosistema a riesgos intolerables/inaceptables ¿como evaluamos esto?

DISEÑO Y ANALISIS DE RIESGOS

Conceptualmente, a los actos de diseñar, y el de realizar un AR, se los **considera independientes**. Esto es, que el equipo que realiza el diseño (si bien introduce salvaguardas durante el diseño) y debe/puede participar en el AR posterior; **NO deben liderar el mismo**, ya que se evaluarían a sí mismos (sesgo de confirmación).

Con los nuevos paradigmas (diseño basado en riesgo, o diseño inherentemente seguro) pareciera tensionarse este principio, ya que en éstos, **el AR idealmente se realiza en todas las etapas y simultáneamente al acto de diseño**.

DISEÑO Y ANALISIS DE RIESGOS (AR)

No obstante, debe aclararse que aun adoptando la filosofía de diseño inherentemente seguro -o bien la de diseño basado en riesgos- el acto de diseño **debe ser considerado independiente del acto del AR final.**

Surge del mismo criterio mencionado anteriormente. Debe ser realizado por equipos independientes, con formación y experiencia en las tareas específicas encaradas

*Análisis de Riesgos “cualitativo”. **Identificación de Peligros***

DEFINICION

Estudios sistemáticos, guiados, interdisciplinarios, para identificar y analizar los posibles peligros (y a menudo evaluar “cualitativamente” los riesgos de un proceso).

HAZOP, WHAT-IF, HAZID, FMEA, CHECK LISTS...

Análisis de *Riesgos Cuantitativos* para cada peligro y sus eventos/escenarios asociados

- ***Evaluar cuantitativamente las consecuencias***
- ***Evaluar cuantitativamente las frecuencias***
- ***Evaluar el Riesgo (ponderando ambos factores)***

Se utiliza software específico, todos ellos basados en modelos para cada tipo de escenario (incendios, explosiones, etc..)

¿A qué llamamos salvaguardas en el Diseño? ¿Qué son y para qué sirven?

- **Para Prevenir o reducir la frecuencia de ocurrencia de las causas de las fallas.**
- **Para la Mitigación de las Consecuencias dado la ocurrencia de una o más fallas (efecto dominó por ejemplo).**
- **Dado que todo escenario de falla y sus consecuencias se manifiestan a través de una cadena de causas-consecuencias: uno de los objetivos es la detección temprana de las causas de las fallas o de las incipientes manifestaciones de sus consecuencias.**

Qué son las Salvaguardas para un Diseño Seguro de Procesos?

- ***Se adoptan, se diseñan, se incorporan durante el proyecto de diseño de procesos.***
- ***Se deben tener en cuenta durante los estudios de AR (Análisis de Riesgos) evaluando la eficacia de las mismas (y las carencias).***

Control de Procesos

Si bien pueden tomarse como sistemas de prevención (actúan ante el desvío de una variable controlada) no se consideran como salvaguardas en el sentido de mitigar la frecuencia de una falla accidental, o sus consecuencias.

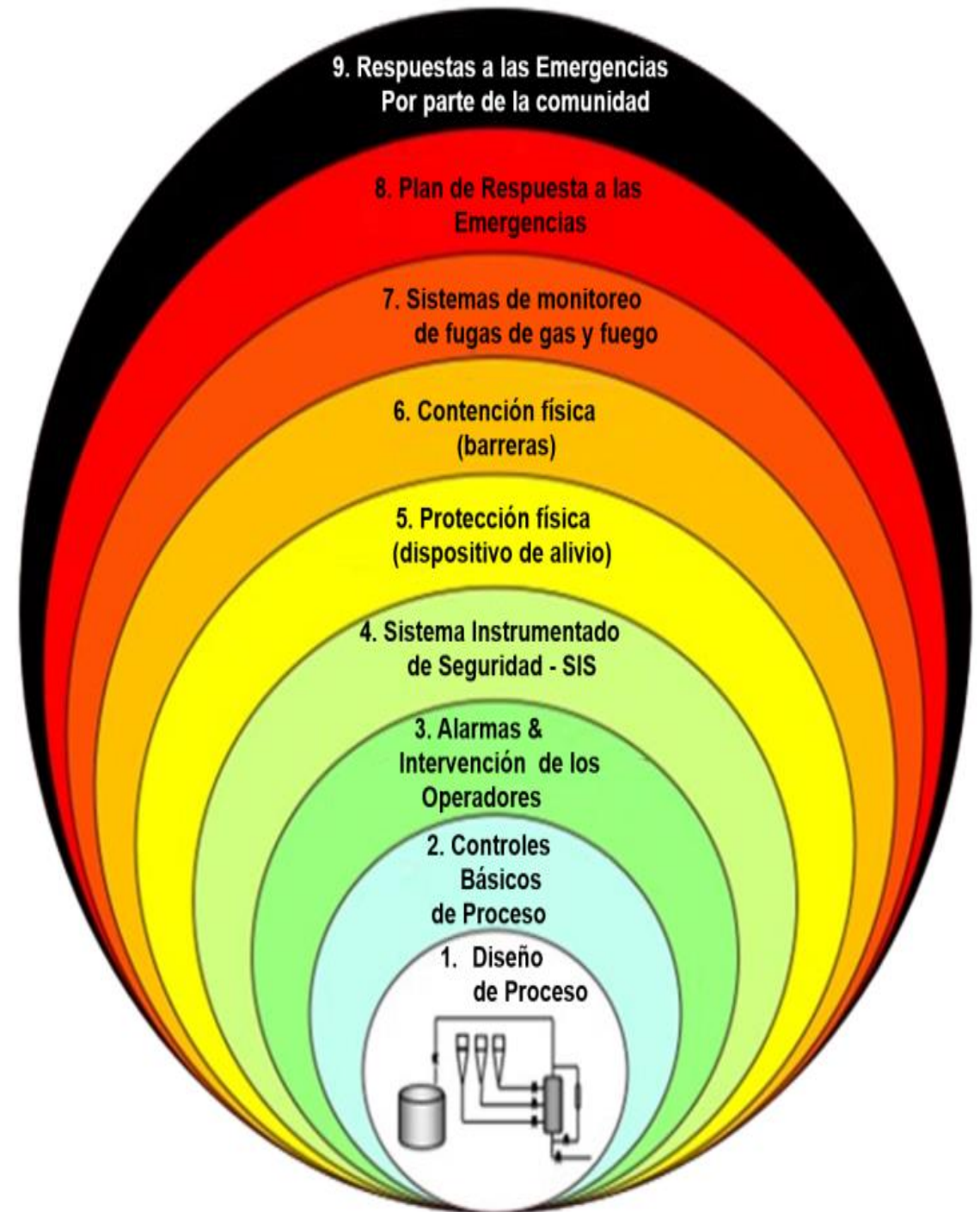
Son elementos de regulación del valor de las variables controladas del proceso.

En cambio, los sistemas de medición y alarmas, los sistemas instrumentados (computarizados) de seguridad, los procedimientos operativos, sistemas de acción ante situaciones críticas (enclavamientos por ej.), entrenamiento sistemático del personal, son consideradas salvaguardas.

Capas de seguridad / Salvaguardas

10

- *1 Diseño*
- *2 Sistemas básicos de control*
- *1 y 2 no son capas de seguridad*
- *8 Plan de repuestas ante emergencias*
- *9 Respuestas a emergencias por parte de la comunidad*
- *8 y 9 Surgen de planes de respuesta ante accidentes consumados, y se consideran capas de seguridad*



Análisis de Riesgos. Salvuardas/capas de seguridad

- ¿Qué Salvuardas se evalúan (se consideran EXISTENTES)?.
 - Se consideran existentes si están debidamente documentadas, y son “creíbles” respecto del escenario accidental analizado.
 - Se analiza además, su mantenimiento, frecuencia de inspección, su adecuación a todos los escenarios accidentales a los cuales se pretende mitigar / minimizar, etc..
- Si dada la situación actual se detectan deficiencias o carencias, es necesario recomendar el agregado de nuevas salvuardas. Además, como resultado del AR se determinan las prestaciones que éstas deben realizar, los encargados de hacerlo, etc..

Instituciones y Reglamentaciones

Son numerosas. Por ejemplo, una muy conocida es la OSHA (Occupational Safety and Health Administration)

- *Norma de Gestión de Seguridad de Procesos (PSM) (29 CFR 1910.119) en 1992:*
- *Surge en respuesta a varios accidentes catastróficos de liberación de sustancias químicas, que han ocurrido en diversos lugares. Se aplica: a los procesos con una cantidad procesada/almacenada -que supera un valor umbral- de ciertos productos peligrosos (químicos tóxicos, material inflamable, etc. según un listado), o bien si se fabrican explosivos o pirotecnia. Los productos químicos se enumeran en función de su toxicidad, reactividad, etc.*
- *El estándar PSM requiere un programa de gestión integral que integre tecnologías, procedimientos y prácticas de gestión para tender a garantizar lugares de trabajo seguros y saludables.*

¿Y en nuestra región ?

Provincia de Santa Fe

Para cada emprendimiento industrial o de transporte de sustancias peligrosas, u otra actividad peligrosa, se exige un estudio de impacto ambiental. En el mismo, se introduce un capítulo de análisis de Riesgos, que tiene tres grados de desarrollo o profundidad en función de diversos parámetros del proceso, en forma similar a lo establecido por las Normas OSHA mencionada anteriormente.

Esto nos impone a la vez, relacionar conceptualmente (y diferenciar) el impacto ambiental, el riesgo ambiental, y el riesgo tecnológico.

Tipos de Salvaguardas

- *En las OSHA se definen en general protecciones de diseño, “administrativas” y EPP –elementos de protección personal- en función de las tareas o exposiciones a las que se someten los trabajadores.*
- *Crterios administrativos, organizativos o sistematizaciones (documentados): Políticas Operativas (entrenamiento y formación del personal, procedimientos operativos, métodos de trabajo apropiados, entre otros)*

Salvaguardas

La interpretación de los términos “control por diseño ingenieril” y “control administrativo”, según OSHA, resulta muy amplia. En un contexto de AR, debieran interpretarse más específicamente, como sistemas de prevención o mitigación de la frecuencia de ocurrencia y de las consecuencias de las fallas.

En los sistemas computarizados (la mayoría), tanto el hardware como el software son indispensables, y ambos son derivados de la actividad de diseño.

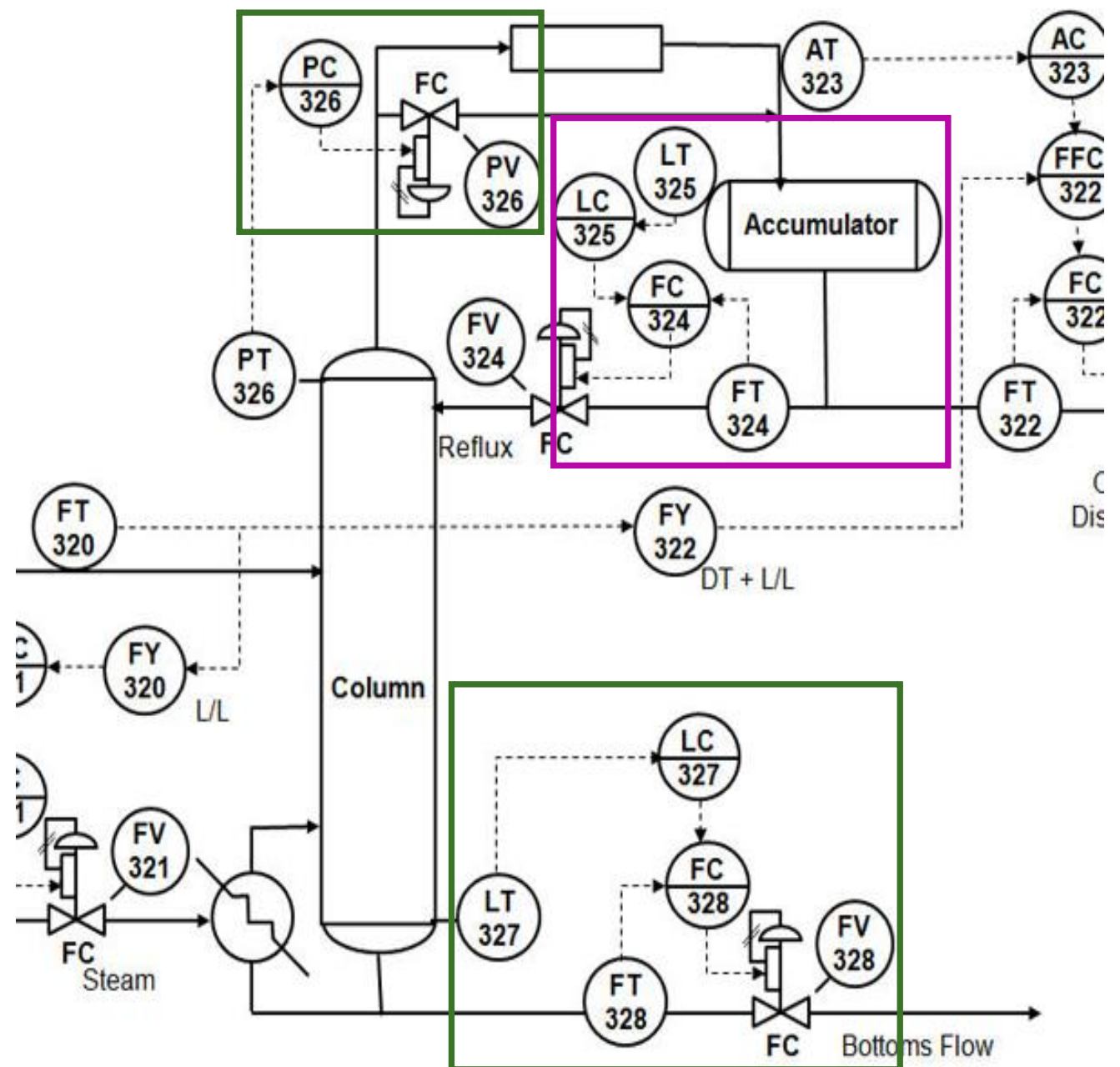
Los sistemas de Gestión, por ejemplo, la planificación del mantenimiento, incluyen logística y administración. También existen los procedimientos operativos, el entrenamiento del personal, etc..

En general, dentro del contexto del AR, lo más aconsejable es analizar los sistemas en función de su aptitud como “salvaguardas” según cada escenario analizado.

Ejemplos de Salvaguardas

*Los sistemas indicados son controladores de diverso tipo, con los medidores, transmisores de la señal, la válvula de control, etc. **NO son salvaguardas.***

*Igualmente el nivel del fondo de la columna, **no está alarmado, -para alto y bajo nivel- ni tiene protecciones por muy bajo o muy alto nivel... Idem para la presión de la columna y del acumulador.***



Sistemas controlados, una sola salvaguarda, venteo.

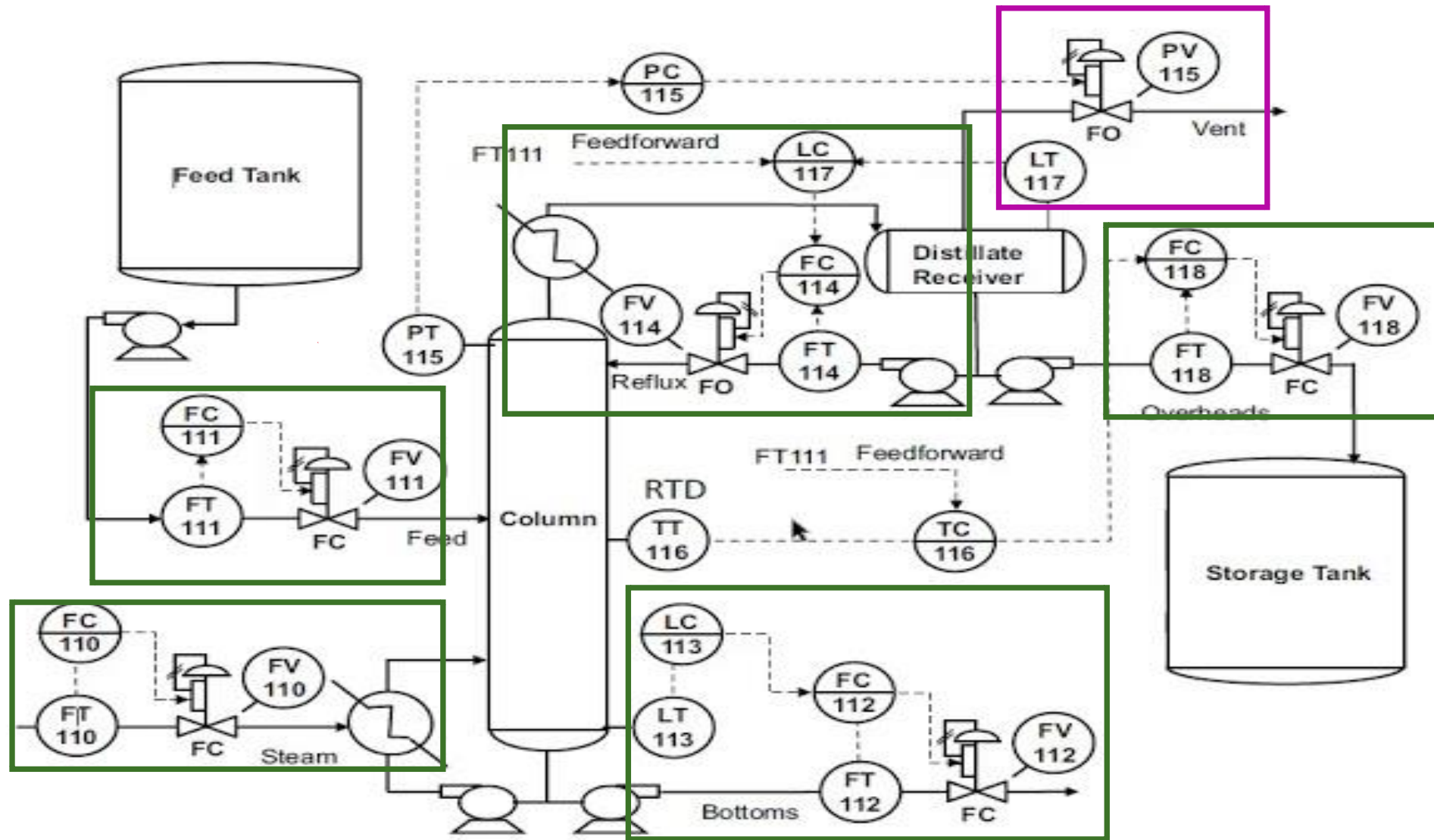


Figure 7-17. Basic Column Control System

Cómo se indican las salvaguardas de proceso

- ***Muchas en el plano P+I+D, según una simbología estándar.***
- ***Otras se indican en otros planos (layout) –Distancias de seguridad entre equipos, endicamientos para parques de almacenamiento-..***
- ***Barreras verdes o rociadores (para mitigar o evitar la difusión de gases).***
- ***Muros ignífugos para detener la onda expansiva de explosiones.***
- ***Los detectores de gases tóxicos, sensores de humo, red contra incendio, galpones para almacenar los elementos de defensa contra incendio, entre otros. Suelen indicarse en el P+I+D simplificadaamente y/o en planos aparte en forma detallada.***

Qué tener en cuenta para caracterizar/identificar las salvaguardas

- **Tener en cuenta el qué y el dónde.**
- **Identificarlas claramente. Sólo dar crédito a las que están documentadas y tengan trazabilidad.**
- **Tener en cuenta las salvaguardas que efectivamente actúen sobre las fallas/anomalías analizadas.**
- **Analizar cuidadosamente las salvaguardas que dependen de la acción humana (al acreditarlas).**
- **Tener en cuenta a las fallas de las salvaguardas. Pueden no actuar, o bien generar (ser causa) de fallas.**

Qué y dónde...

- **Existe una válvula de alivio (el que) en la línea de alimentación al reactor (el donde).**
- **Detectores de gases inflamables en la sala de control.**
- **Alarma de alto nivel en el tanque de fueloil.**
- **Mantenimiento preventivo de las bombas de alimentación del agua de enfriamiento al reactor.**

Tipos de Salvaguardas según modo de actuación

Protección Activa

- ***Equipos y medidas de protección activa: medios o sistemas que tienen como objetivo la **detección y extinción** del desarrollo de la falla/anomalía (por ejemplo, incendios) **desde la fase inicial**.***

Protección Pasiva

- ***Todos los elementos o sistemas necesarios para evitar principalmente la propagación descontrolada de una anomalía o falla.***

Protección Activa (ante incendio, por ejemplo)

- *Incendio: prevención, detección, alarma, elementos para su extinción.*
- *Sistemas automáticos de detección de incendios.*
 - *Sistemas manuales de alarmas de incendio.*
 - *Diferentes tipos de extintores; Extintores de Polvo, de espuma, de CO2, etc.*
 - *Columnas secas e hidrantes.*
 - *Bocas de incendio equipadas.*
 - *Sistemas fijos de extinción.*
 - *Sistemas de ventilación mecánica.*

Algunos tipos de protecciones activas

- ***Sistemas de dispersión de agua fijos (rociadores, diluvios, etc.).***
- ***Medición y alarma de temperatura, presión, caudal, etc.***
- ***Sensores de mezcla explosiva.***
- ***Sistemas instrumentados para Operaciones remotas.***
- ***Detección de gases tóxicos.***
- ***Detección de fuego, humo, otros.***

Elementos y medidas de protección pasiva (incendio)

Medidas y elementos que tienen como objetivo la prevención y mitigación/evitar propagación, de los posibles daños que pueda producir el fuego o la propagación de humos y gases tóxicos.

- *Protección ignífuga de la estructura. **Aislamientos térmicos e ignífugos***
- *Compartimentación con puertas/muros cortafuegos y paneles de cerramiento*
- ***Endicamientos (ante derrames de inflamables).***
- *Sistemas de señalización contra incendios, planes de evacuación...*

***Ejemplos de Salvaguardas
ante fallas que involucran aumentos de presión
o de temperatura:***

- ***Discos de ruptura.***
- ***Válvulas de alivio, Válvulas de venteo.***
- ***Enclavamientos.***
- ***Sistemas de parada de emergencia.***

Sistemas para la prevención o mitigación.

-Ante fuga de gases tóxicos:

-Lavado de gases, Scrubbers

-Flares / antorchas

-Detectores específicos de gases o vapores tóxicos

Sistemas de prevención

- Planes de contingencia y evacuación (distancias seguras)

- Entrenamiento del personal ante situaciones de emergencia.

Existen Numerosas Salvaguardas, ya que numerosas son las potenciales fallas en la industria de procesos

Para una mejor comprensión y asimilación de sus objetivos, principios de funcionamiento, denotación/representación, entre otros aspectos, es importante clasificarlas según diversos criterios:

Por el tipo de fallas o eventos accidentales para las cuales se las utiliza

Por el tipo o modo de operación ante demanda.

Ejemplos de Salvaguardas

A continuación se describirán brevemente los tipos y principios de funcionamiento de algunos eventos accidentales en la industria de procesos.

Incendio

Implosión de tanques de almacenamiento.

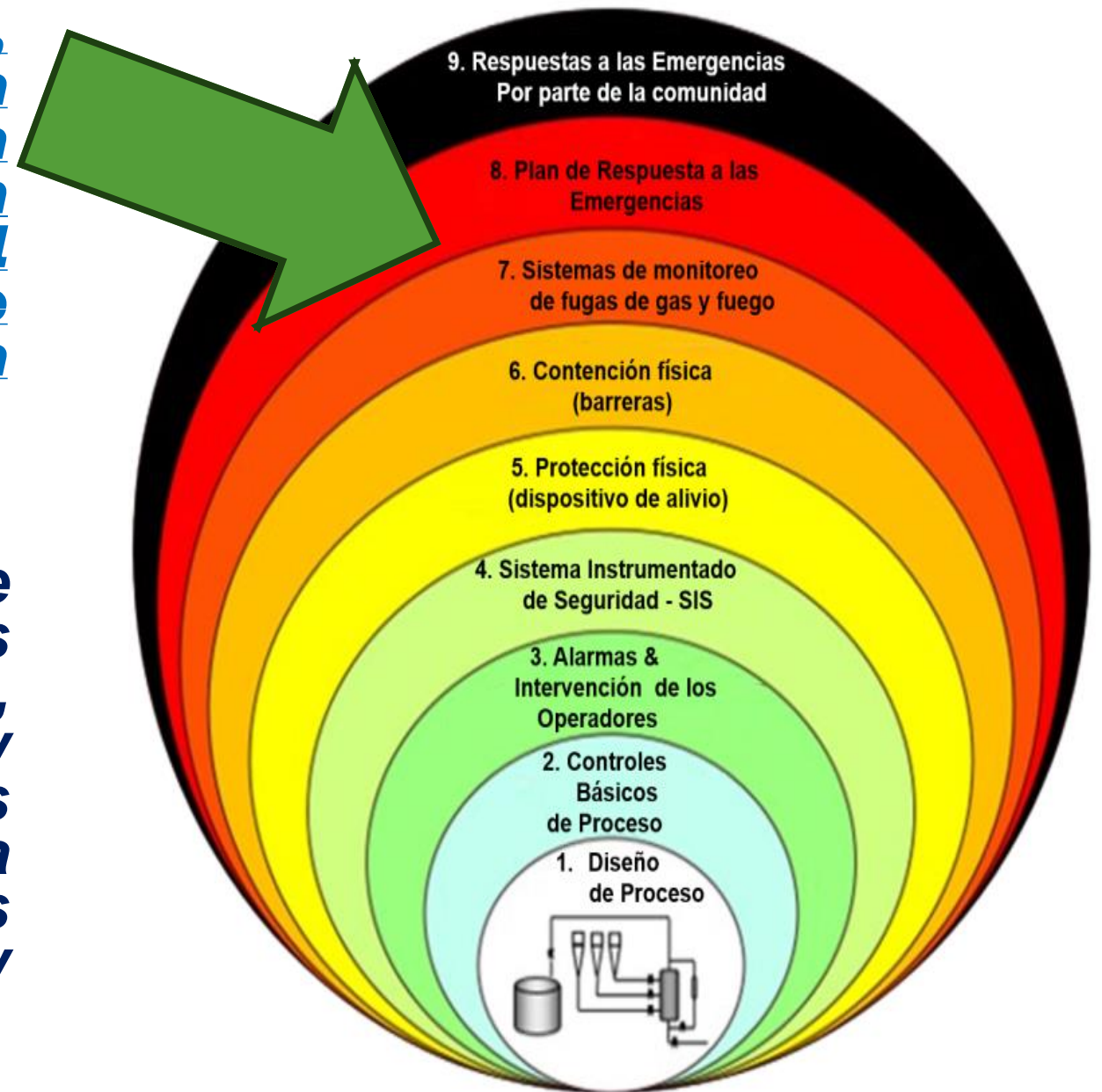
Difusión de tóxicos

Aumentos de presión y peligro de explosión

Ejemplos de Salvaguardas. Sistemas antiincendio

Todo sistema, elemento, medidas o equipo tanto para la detección como para la prevención de incendios, deben cumplir con las normativas del Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI 513/2017).

En este reglamento se establecen las normas y pautas en relación al diseño, ejecución, puesta en marcha y mantenimiento de todos los sistemas de protección contra incendios. También los materiales, componentes y equipos que los conforman.



El diseño de cada sistema/salvaguarda es una especialidad en la ingeniería de procesos / confiabilidad /

Algunos sistemas/elementos se adoptan -se seleccionan según necesidad y bajo el asesoramiento de las empresas proveedoras-.

Aquí realizaremos -para algunas salvaguardas de uso común en las instalaciones industriales-, una breve introducción a los efectos de presentar por un lado las características comunes, y por otro las particularidades de su funcionamiento/prestaciones.

¿Para qué sirven los sistemas de protección contra incendios?

- *Detección temprana de un conato de incendio.*
- *Impedir la propagación del fuego descontroladamente.*
- *Minimizar los efectos de los gases tóxicos.*
- *Proteger la vida de las personas. Asegurar su evacuación.*
- *Permitir y/o Facilitar el acceso y la labor de los bomberos.*
- *Proteger la estructura de edificios, equipamiento, evitando derrumbes y efectos dominó.*

De acuerdo a su función

- ***Sistemas de detección de humo y temperatura***, aviso sobre un posible incendio.
- ***Sistema de alarmas***, emiten un sonido o aviso.
- ***Sistemas de extinción o supresión de incendios***, ideados para combatir el fuego directo; como los extintores, rociadores, gabinetes, etc.
- ***Sistemas de corte rápido (enclavamientos)***, permiten cortar el flujo de combustible y ofrecer una gran ventilación mecánica.

De acuerdo al medio extintor:

- ***Sistemas de agentes limpios: CO₂, polvo químico seco, etc.***
- ***Sistema de espuma: cañones, inundación...***
- ***Sistemas de extinción de agua: chorro, pulverizada, niebla.***

De acuerdo a la disposición y aplicación:

- ***Sistemas fijos: ventilación mecánica, sistemas de alarmas y detección, redes de agua contra incendio***
- ***Equipos móviles de gran capacidad: motobombas portátiles y camiones cisternas.***
- ***Equipos portátiles: mangueras, monitores y extintores.***

***ROCIADORES
AUTOMÁTICOS:
EXTINCIÓN POR AGUA***



Sistema de bombeo de agua contra incendio

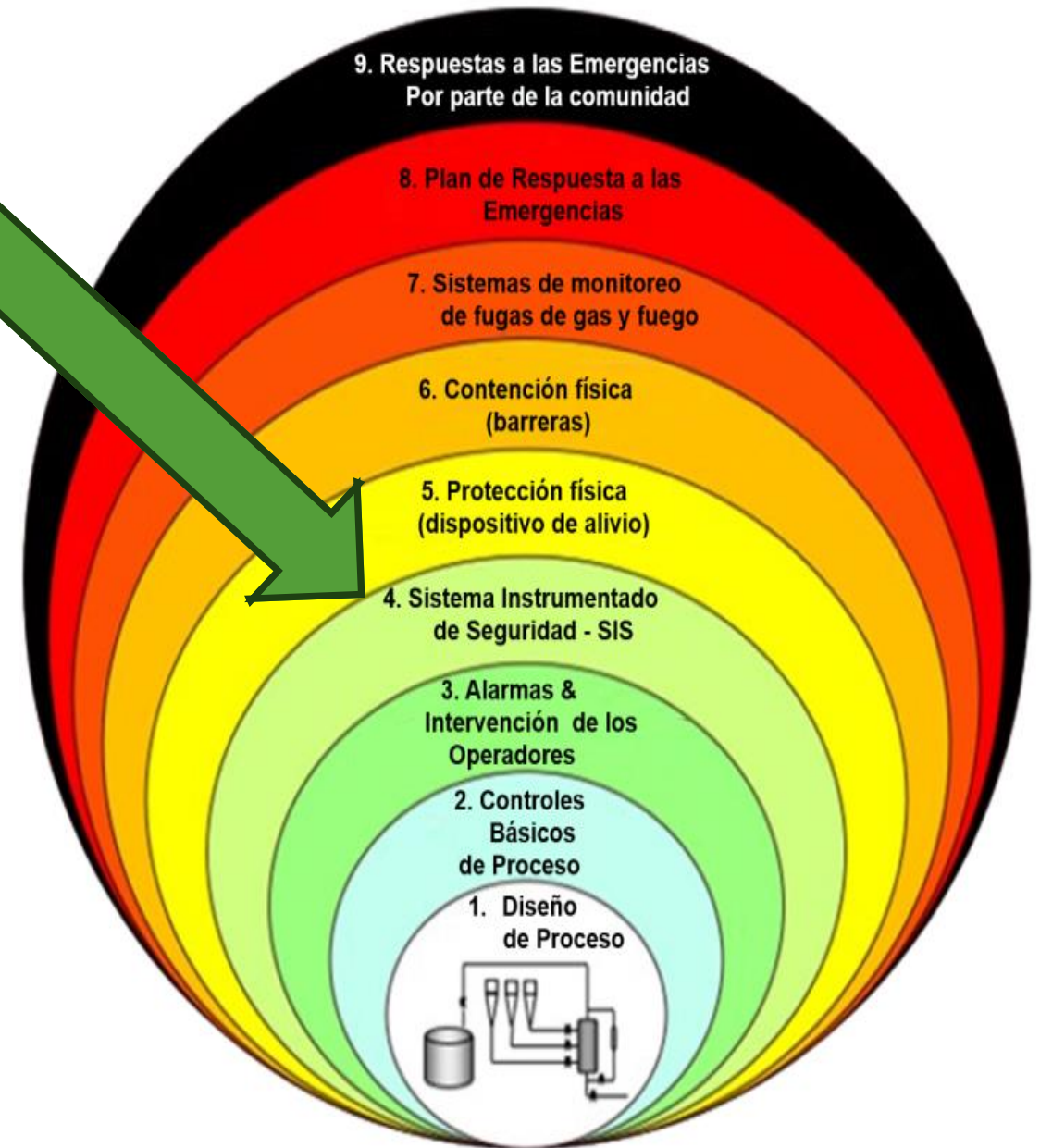


Enclavamientos. ¿Qué son?

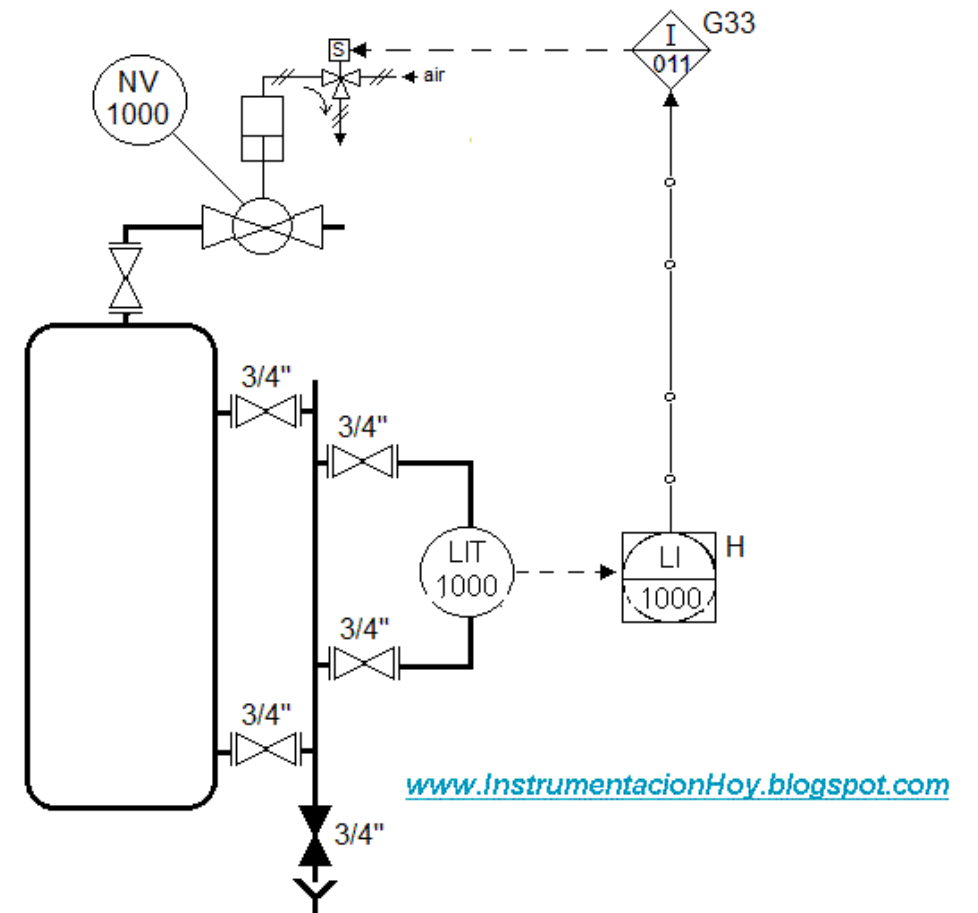
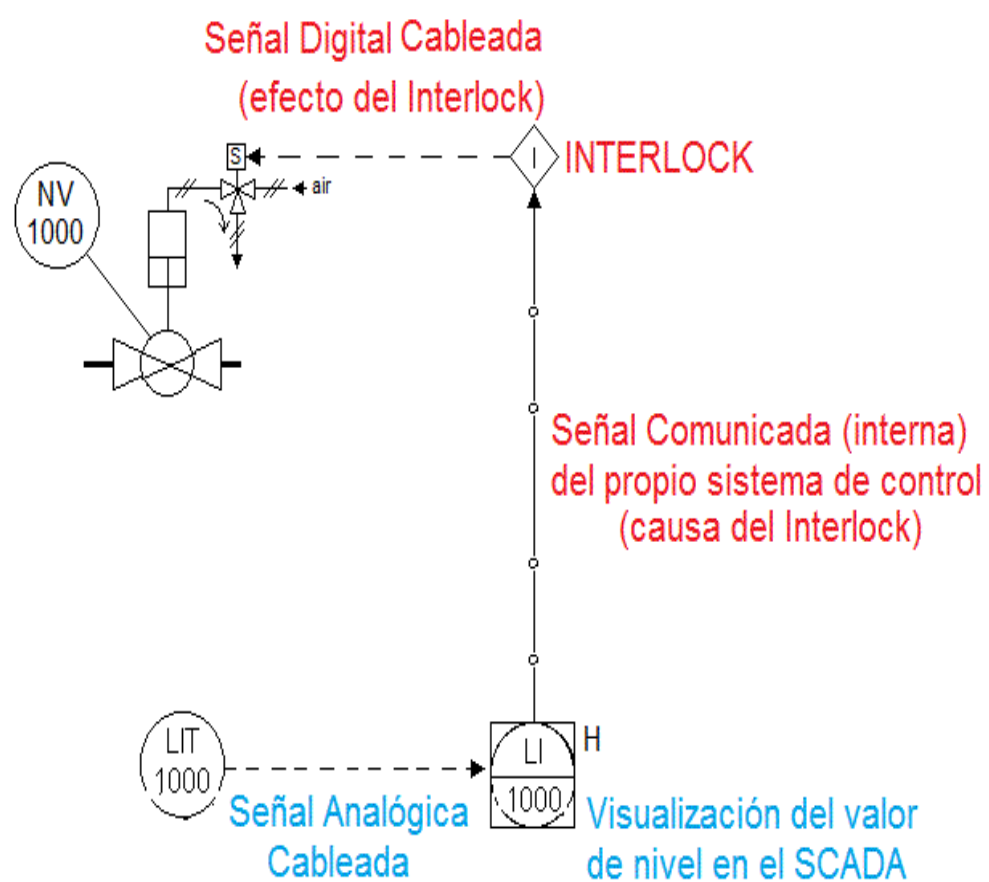
El enclavamiento es un dispositivo de protección que al activarse, impide al sistema/artefacto que pueda volver por sí solo a la situación/posición anterior.

En caso de una válvula, por ejemplo, una vez accionado el enclavamiento a una de sus posiciones -de forma manual o mecánica-, ésta queda fija en esa posición (abierto o cerrado).

Ejemplo: -ante alarma de muy bajo nivel de agua en caldera-, debe actuarse un enclavamiento para bloquear/anular la entrada de combustible (por ej. gas) a los quemadores, y abrir alivios de vapor para permitir la baja de presión para evitar una explosión.



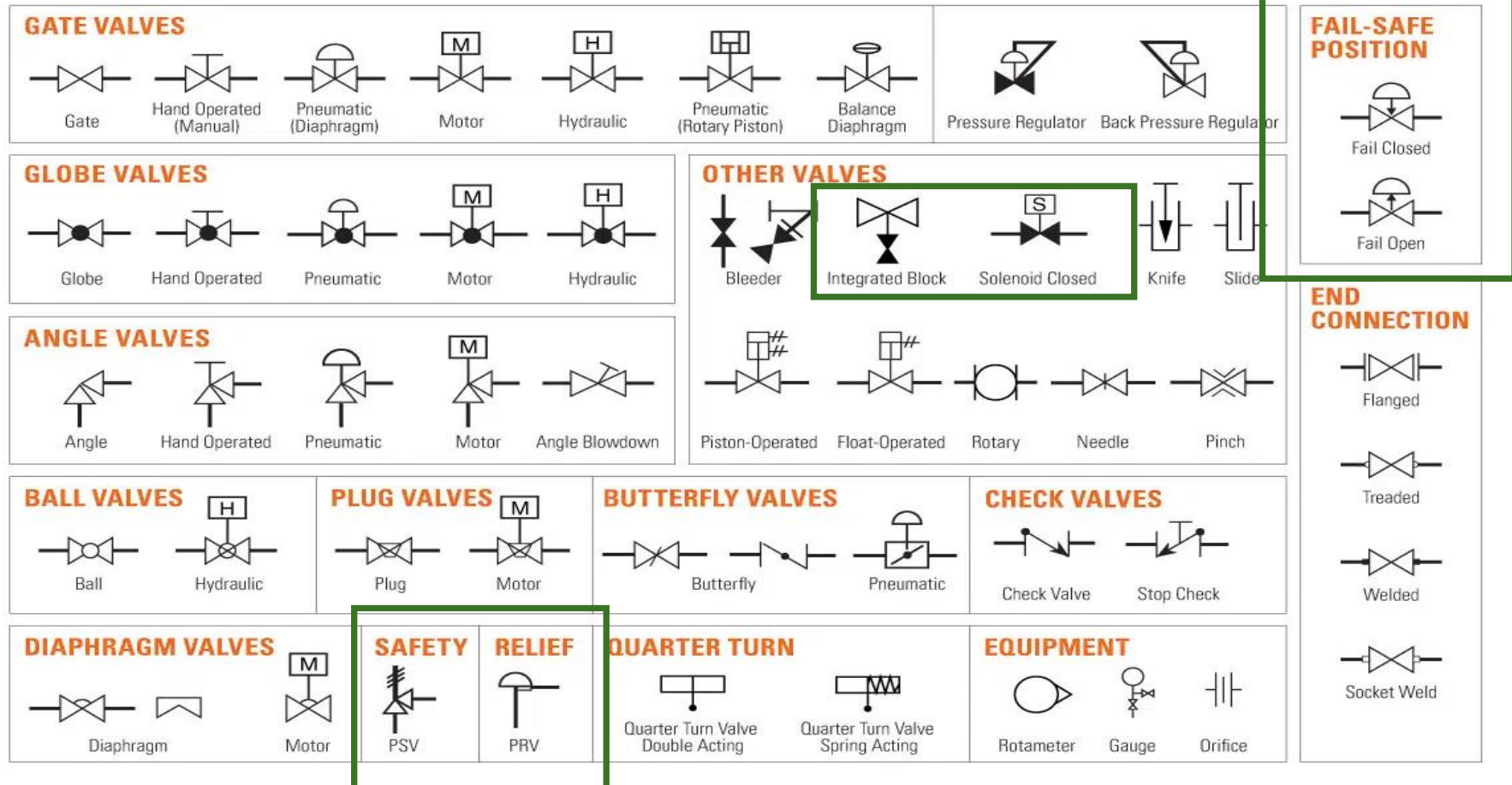
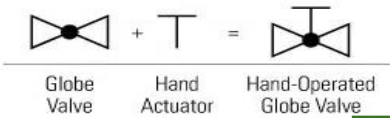
Enclavamientos. Representación en el P+I+D tomado de: www.InstrumentacionHoy.Blogspot.com



Supervisory Control and Data
Acquisition System

Simbología P+I+D

Common Valve Symbols



VÁLVULAS DE SEGURIDAD. ALIVIO DE PRESIÓN

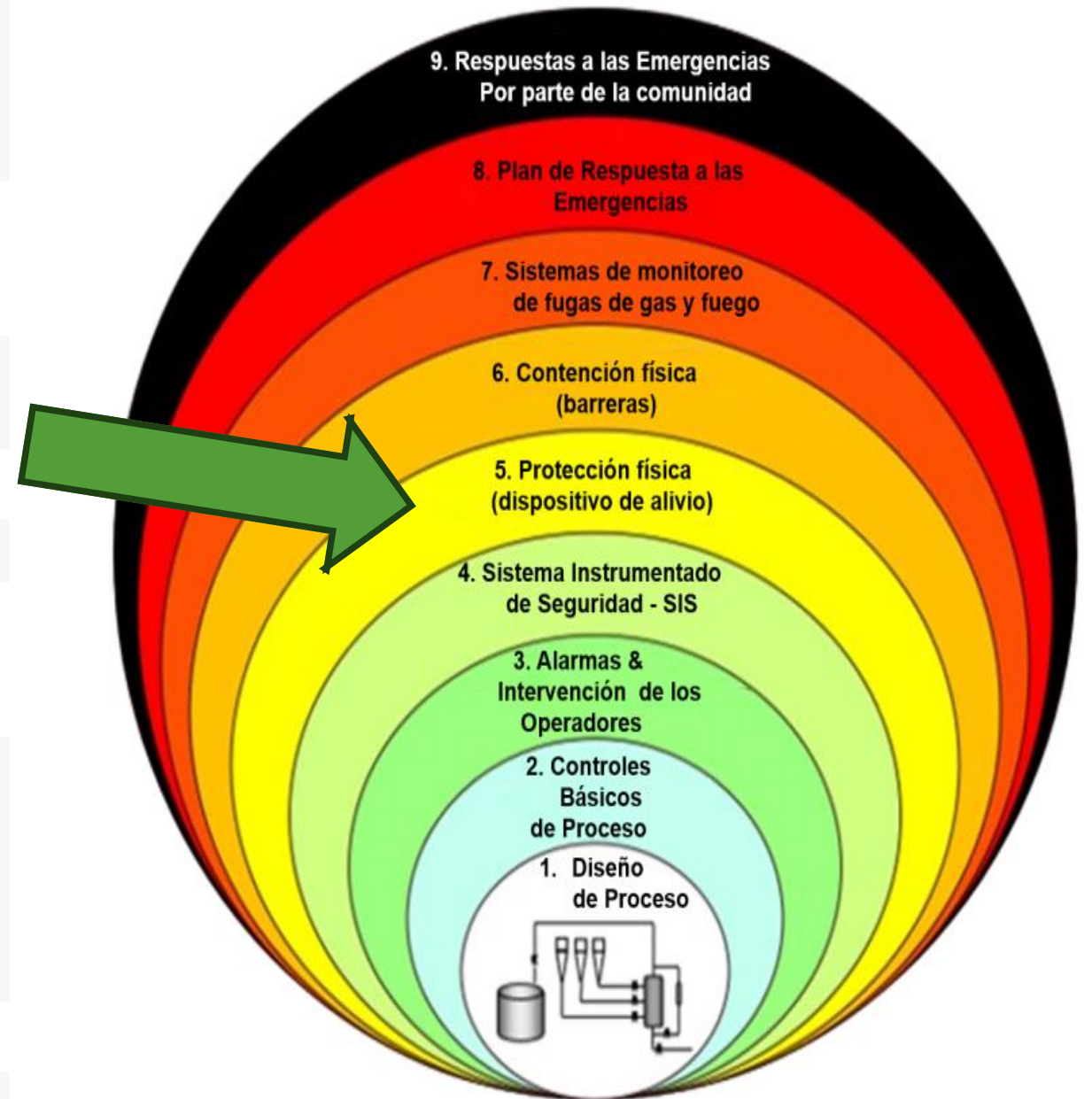
En general se certifican sus materiales de construcción y se realizan pruebas diversas (ver por ejemplo normas EN-10204 3.1. y la ISO 4126-1)

VÁLVULA DE SEGURIDAD DE APERTURA TOTAL INSTANTÁNEA (PSV)

VÁLVULA DE ALIVIO DE APERTURA NORMAL O PROGRESIVA (PRV)?

Eliminan el exceso de presión del sistema. Trabajan con vapor o gases. Pueden accionarse manualmente para abrirlas en condiciones de presión inferiores a las de tarado.

También pueden operar automatizadas.



VÁLVULAS DE SEGURIDAD. ALIVIO DE PRESIÓN

**VÁLVULA DE SEGURIDAD DE APERTURA TOTAL INSTANTÁNEA (PSV)
Vs**

VÁLVULA DE ALIVIO DE APERTURA NORMAL O PROGRESIVA (PRV)?

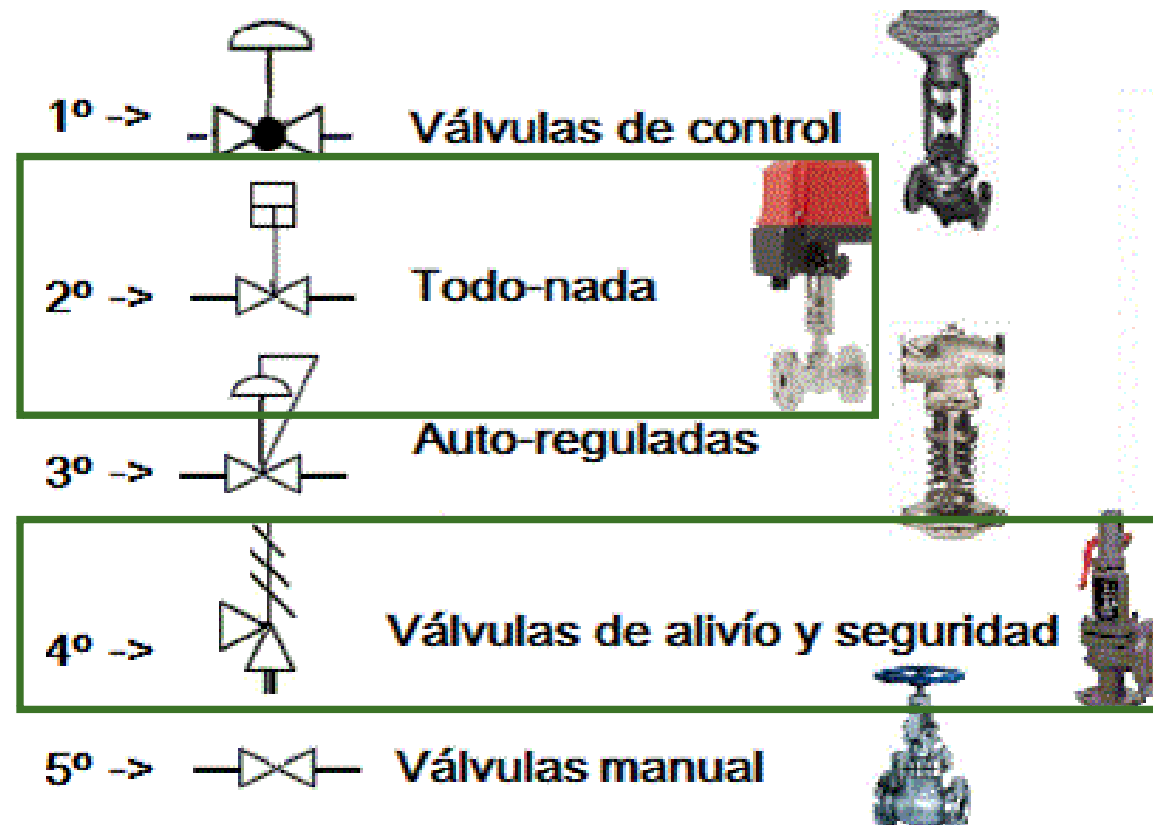
Diferencia principal: la velocidad de apertura

-La válvula de seguridad de apertura instantánea (PSV, Pressure Safety Valve) se abre instantáneamente y por completo al alcanzar la presión de tarado, Eliminando el exceso de presión del sistema de inmediato. Trabajan con vapor o gases. Pueden accionarse manualmente para abrirlas en condiciones de presión inferiores a las de tarado.

-La válvula de alivio de apertura normal o progresiva, (PRV, Pressure Relief Valve) abre gradualmente según se incrementa la presión del sistema y se supere la de tarado de la válvula, optimizadas para trabajar con líquidos.

Otros tipos de
salvaguadas.
Representación en P+I+D

- **Válvulas de Alivio y seguridad**
- **Válvulas todo o nada**



VÁLVULAS DE ALIVIO O DE SEGURIDAD

- *Las válvulas de alivio de presión son dispositivos reguladores de presión que se encargan de aliviar los excesos –debido a una falla- que lleva a superar el máximo valor de presión admisible fijado por el diseñador, evitando así potenciales roturas y/o explosiones, etc..*
- *Este tipo de válvulas son imprescindibles en: calderas, líneas de tuberías, tanques de almacenamiento... que contengan fluidos, gas o vapor, de manera de evitar presiones no admisibles.*
- *Se activan cuando se supera la presión máxima de tarado de la válvula previamente ajustada. Al superarse ésta, la válvula se abre liberando el exceso de presión hacia la atmósfera o hacia tanques de contención, según la toxicidad del fluido.*
- *Tras liberar el exceso de presión, la válvula vuelve a cerrarse y la presión del sistema vuelve a su nivel normal.*

PSV (*pressure Switch Valve*) / **PRV** (*pressure Relief Valve*)

válvulas de seguridad de presión

válvulas de alivio de presión



¿Qué es un disco de ruptura? ¿Cómo funciona?

- ***Tienen la misma función que las válvulas de alivio de presión. La principal diferencia se debe a que funcionan rompiéndose, por lo cual no pueden cerrarse nuevamente, y deberán ser reemplazados.***
- ***Existen diferentes tipos (metales resistentes a la corrosión, grafito), distintos tamaños, niveles de presiones de ruptura, temperaturas de funcionamiento, y sistemas adicionales complementarios según el uso específico.***

¿Qué es un disco de ruptura? ¿Cómo funciona?
Los discos de ruptura son dispositivos de protección para impedir que las variaciones de presión imprevistas provoquen daños en las instalaciones.

Específicamente, se basan en someter una fina membrana (construida con distintos materiales dependiendo de la necesidad específica) que es diseñada para romperse/abrirse si la presión diferencial supera el límite de resistencia con la cual ha sido calibrada, logrando así eliminar el excedente de presión



Válvulas de alivio

Para Tanques



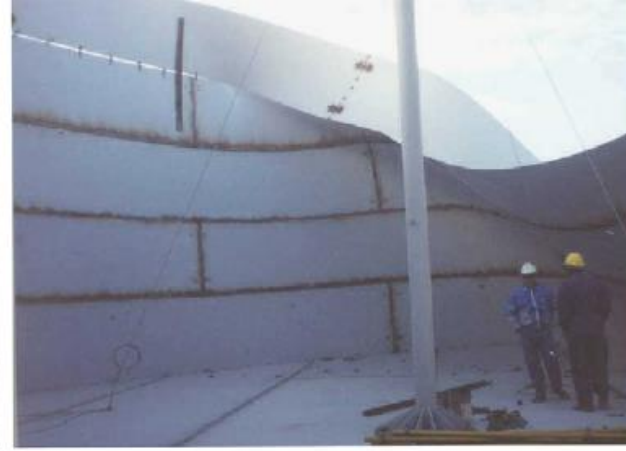
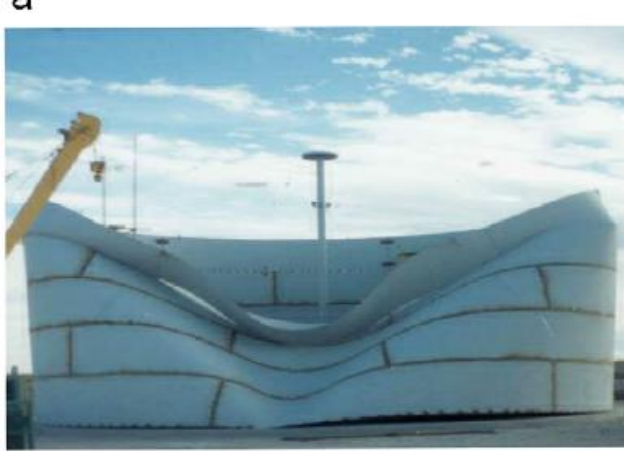
Sistemas de venteo



Símbolos en el P+I+D. Salvaguardas

- *Impedimento de retroflujo*
- *Disco de ruptura*

<u>EJEMPLO</u>	<u>P&ID</u>	<u>OTROS EQUIPOS</u>
		DIAFRAGMA
		DISCO DE RUPTURA
		BRIDA CIEGA
		ANTIRETORNO
		BOMBA



b

d

b

d



COLAPSO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE PETRÓLEO



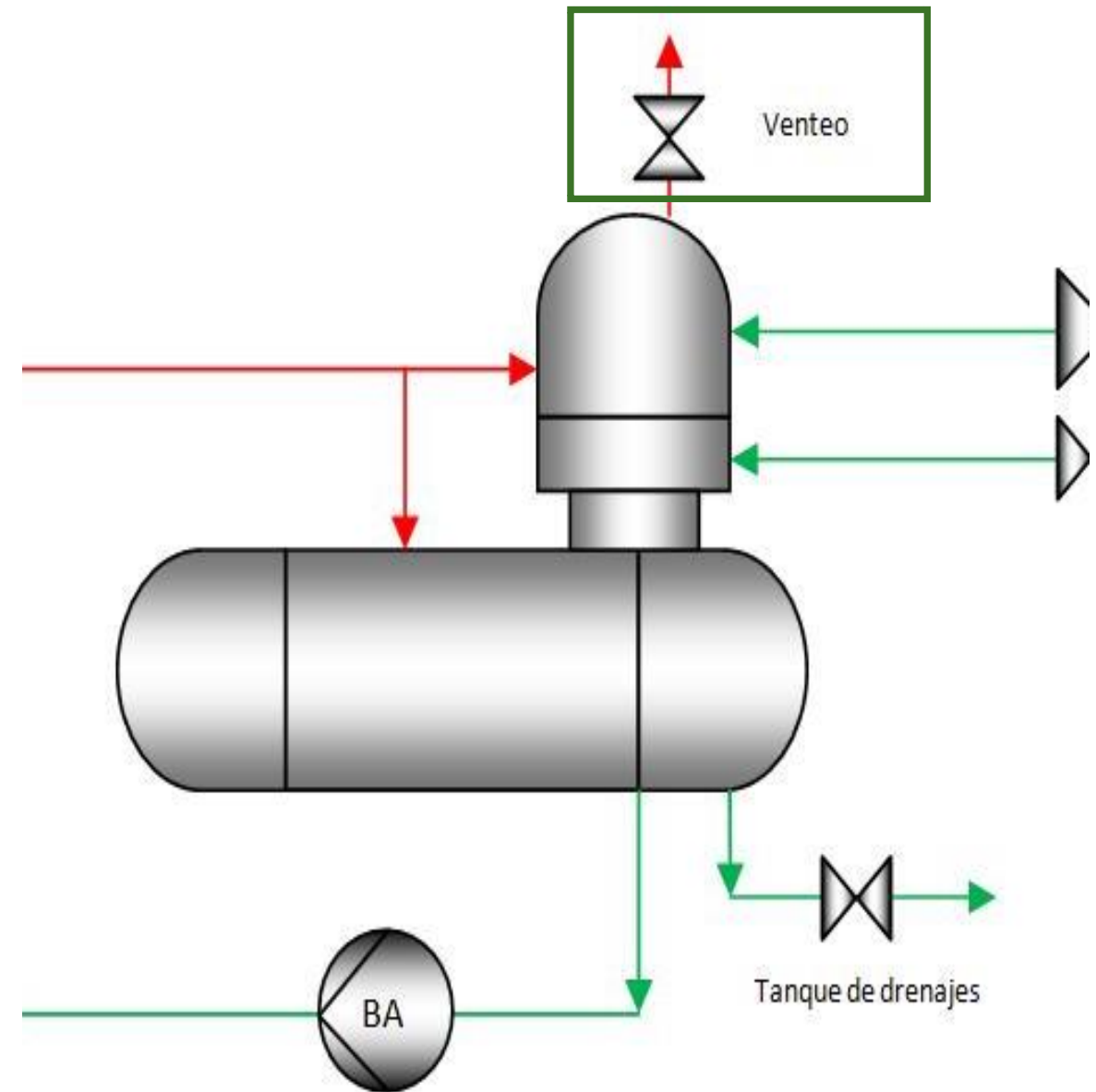
Venteos en Tanques

Los tanques de almacenamiento operan a presión atmosférica o valores de presión muy bajos. Se optimiza el espesor de las paredes para minimizar costos. Es necesario diseñar una protección ante **sobrepresión y/o vacío para evitar roturas (colapso).**

Las opciones más utilizadas de protección en tanques de almacenamiento son los venteos, junto a válvulas de alivio de presión adicionales o el uso de la unión frágil del techo del tanque.

Venteos en Tanques

- Los venteos son dispositivos de ventilación que alivian la sobrepresión, para una gran variedad de aplicaciones diferentes.
- En general, los venteos de emergencia son diseñados para aliviar las sobrepresiones en el tanque causadas por los vapores en caso de falla de la válvula de alivio de presión.



Proteger a los tanques de los cambios bruscos en la presión interna

Durante la carga del tanque

Peligro de rotura/explosión debido a la sobrepresión interna debido a la operación de carga. Se debe lograr un alivio de dicha sobrepresión extrayendo el gas/vapor contenido en el interior del tanque.

En el momento de hacer el trasvase del contenido

Evitar generación de vacío al interior del tanque (implosión). Se debe contar con un sistema que permita la entrada de un gas a presión de forma segura (depende de la sustancia, condiciones de operación, etc.).

Por las condiciones ambientales (cambios de temperatura).

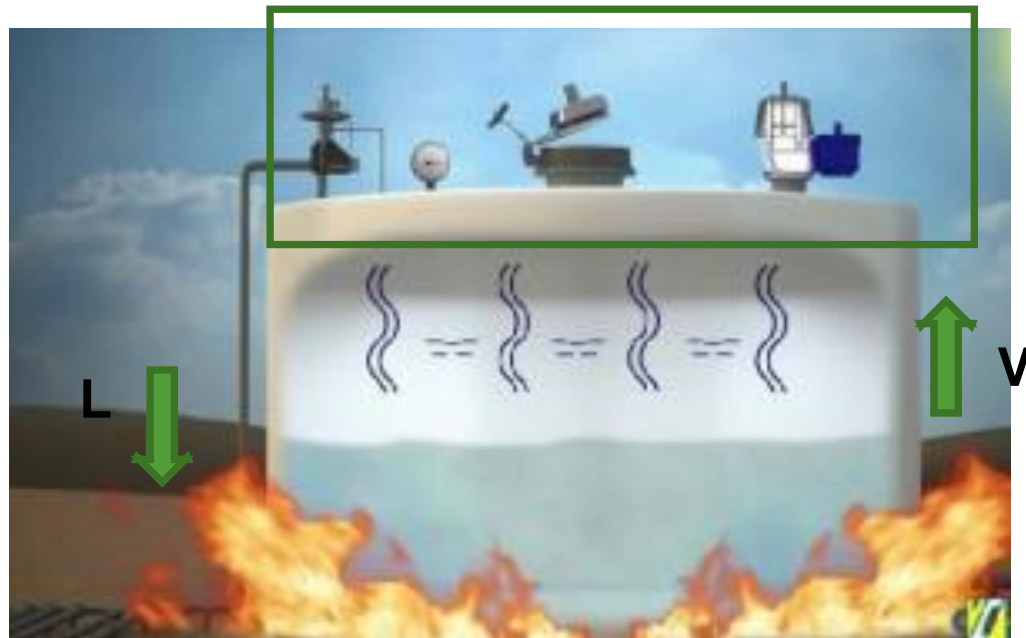
Los cambios que ocurren a lo largo del día provocan que el tanque se someta a cambios de presión en su interior, debido a la volatilidad del fluido al calentarse, o bien al condensarse debido a su enfriamiento.

¿Qué es deseable para un sistema de protección?

En general (depende del tipo de sustancias y las condiciones de almacenamiento, igual que las condiciones ambientales del lugar).

Para tanques de almacenamiento de líquidos inflamables a baja presión, se debe conformar un sistema de protección ante variaciones de presión interna, mediante la incorporación de un regulador de inertización de tanques, una válvula de alivio de presión y vacío, un supresor de llamas y un alivio de vacío de presión de emergencia.

Sistemas de Alivio de sobrepresión/vacío en tanques. Principios de funcionamiento





Causas principales para sobrepresión o vacío.

- ***Proceso abrupto o defectuoso de llenado y/o vaciado del tanque.***
- ***Ambientales: Cambios de presión y temperatura.***
- ***Fuego, que provoca aumento de presión en el tanque.***
- ***Fallos/bloqueos que provoquen fallos en la operación de llenado, vaciado, etc.***
- ***Ante situaciones de sobrepresión o vacío, debe incorporarse un alivio de presión o un sistema de inhalación para romper el vacío, cuyo diseño deberá cumplir con los requerimientos indicados en la norma API 2000.***

Válvulas de alivio de presión y de vacío. Datos para el Diseño

Estándar API 2000: “Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks”:

Requisitos de operación a presiones hasta de 15 psig. Se deben conocer temperaturas, presiones ambientales (que dependen del sitio geográfico), y las de operación, sustancia almacenada y flujos, cambios de temperatura, posibles escenarios de fuego...entre otros aspectos..

Datos/cálculos necesarios: Inhalación/ **compensación de vacío para compensar en el tanque el desplazamiento volumétrico (efectos de la transferencia del líquido).**

Inhalación/compensación de vacío** por condensación de vapores (efecto de la temperatura ambiente –descenso-) en el espacio de vapor del tanque.**

Extracción/Alivio** del tanque por entrada de líquidos y desplazamiento volumétrico (efectos de la transferencia del líquido).**

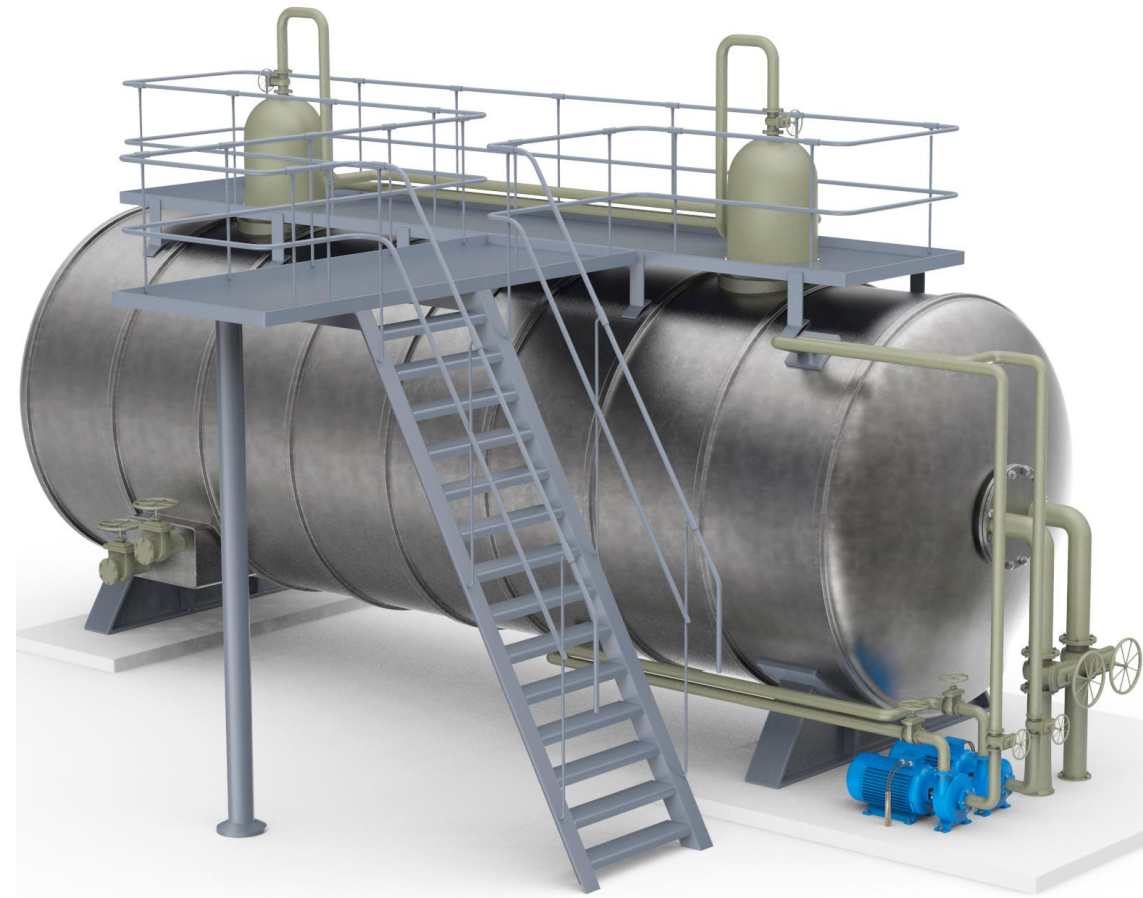
Extracción/Alivio** desde el tanque por evaporación de líquidos en el espacio de vapor del recipiente (aumento de la temperatura ambiente).**

****Venteo** de emergencia por exposición al fuego.**

Protección de tanques con atmósfera inerte

Para almacenamiento de fluidos volátiles, la protección con sistema (válvulas de presión/vacío, arrestallamas, discos de ruptura), si además son inflamables, no es suficientemente segura. Por el riesgo de explosión (en un cierto rango de concentraciones y presencia de oxígeno -aire externo que ingresa-). Una solución es presurizar con un gas inerte.

Esto implica que no todas las medidas de seguridad protegen por igual, ya que deben considerarse todos los factores. (por ejemplo la sustancia, presencia de oxígeno, vacío, etc.).



Modos de funcionamiento de una válvula de alivio

Uno de los mecanismos más sencillos de comprender son las válvulas de alivio que actúan en función del nivel de líquido. Si éste crece, y es mayor a un valor de referencia, sube un flotador que va cerrando la válvula, por lo general, mediante un sistema de palancas.

Si el nivel del líquido baja por el aire que penetra, o la evaporación anormal en el tanque, etc., de igual modo actúa sobre la válvula (se abre) dejando salir el aire.

La norma API sugiere el uso de *arrestadores/supresores de llama* en tanques de almacenamiento que contengan productos inflamables, como hidrocarburos. Este dispositivo evita la entrada de llamas al interior del tanque en caso de un incendio externo. En escenarios bajo fuego, es necesario calcular la radiación incidente para dimensionar el venteo.

Arrestallamas montado sobre un tanque de almacenamiento



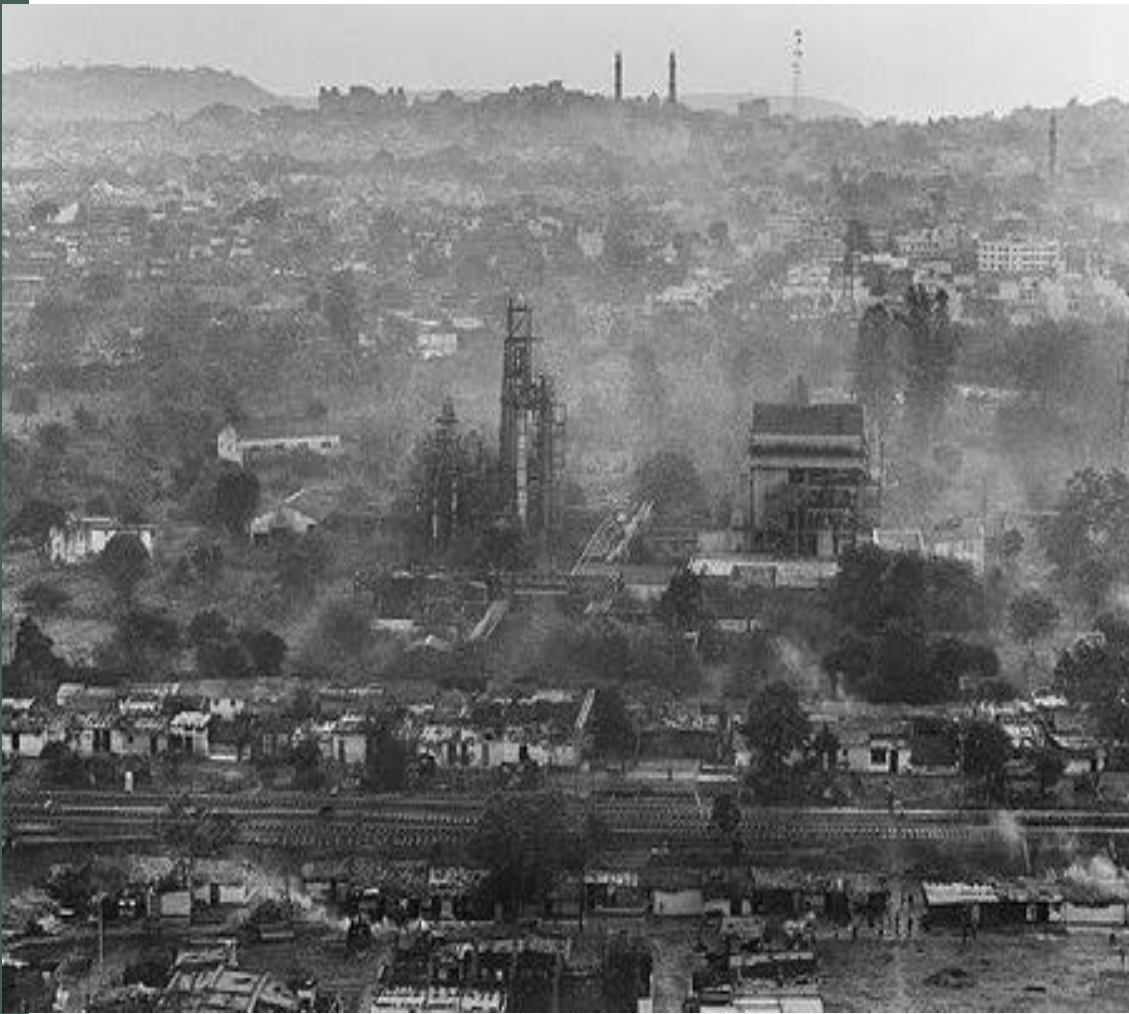
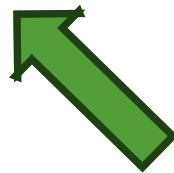
Fugas/emisión de corrientes gaseosas con contaminantes

SH₂, NH₃, Cl₂, etc.

Se debe diferenciar los accidentes de las emisiones permanentes, pero de baja concentración. En este último caso, deben eliminarse o tratarse si superan el umbral permitido de emisión a la atmósfera.

Accidente catastrófico. Bophal.

Emisión de un gas tóxico, numerosas muertes, evacuados, catástrofe ambiental.... Suceso inesperado, en un instante dado (no es una emisión permanente y gradualmente contaminante)



Fugas/emisión de corrientes gaseosas con contaminantes

Debe reducirse la frecuencia de potenciales accidentes /fallas que súbitamente, emitan corrientes tóxicas al ambiente. Las Salvaguardas también deben diseñarse para minimizar las consecuencias.

Entre otras, las causas de estas fallas incluyen roturas, errores humanos, la acción de venteos, discos de ruptura etc, actuando para evitar otras fallas,,, En este caso, es un error de diseño si no están conectadas a un lavador de gases...



Salvaguardas ante la fuga de gases tóxicos o inflamables.

Scrubber: es un lavador de gases para emisiones atmosféricas formado por una columna de relleno donde se trata el gas contaminado y se pone en contacto un líquido (normalmente a contracorriente) que realizará la eliminación del contaminante.



Antorchas

La quema en antorcha se utiliza para gestionar el gas natural ('asociado') que se genera como coproducto durante la extracción de petróleo, de forma rutinaria o como resultado de un suceso imprevisto.

La quema rutinaria en antorcha puede ser una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de las operaciones de las fases iniciales.



Zero Flare target

Gestionar la quema en antorcha para reducir las emisiones y convertir el gas asociado en una fuente de energía puede proporcionar muchas ventajas, pero también presenta dificultades.

Paquetes de compresión especializados, cuyo objetivo es recuperar y reutilizar gases y emisiones, como metano/GLP y dióxido de azufre, que normalmente se quemarían durante el proceso de quema en antorcha.

Flare Gas Recovery Systems (FGRS).

Este proceso, clave para el funcionamiento seguro de refinerías e instalaciones petroquímicas, consiste en capturar el gas del recipiente de descarga de la antorcha y comprimirlo mediante compresores de anillo líquido.

Los gases así recuperados pueden reutilizarse en el sistema de gas combustible de la instalación, como materia prima para refinerías o para su reinyección.

Mezcla inflamable o explosiva:

Son mezclas de aire y sustancias inflamables en distintos estados físicos (material particulado y gases o vapores inflamables) a temperatura y presión atmosférica.

Explosiones de Vapor: Mezcla de aire y material combustible, capaz de inflamarse en contacto con una fuente de energía. Existe un rango de concentraciones en aire para cada sustancia inflamable, que define la zona de explosividad de la mezcla.



Explosiones de vapor

BLEVE/BOLA DE FUEGO.

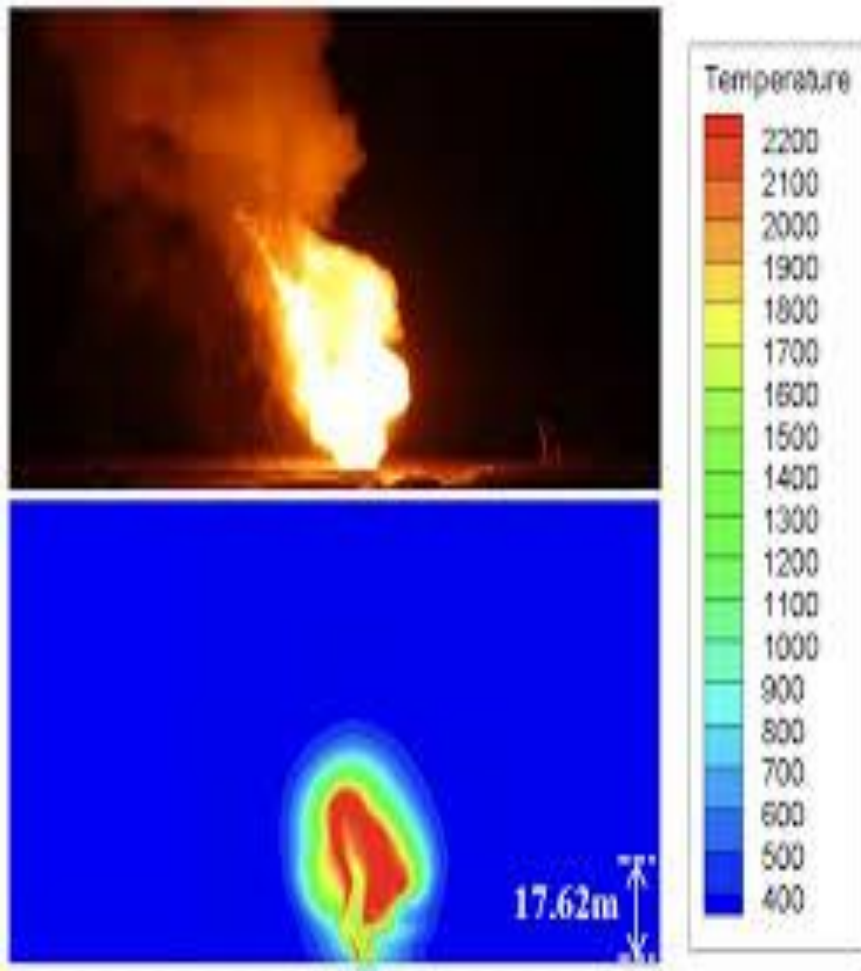
*UVCE -unconfined vapor
cloud explosion-*

*VCE -confined vapor cloud
explosion-*

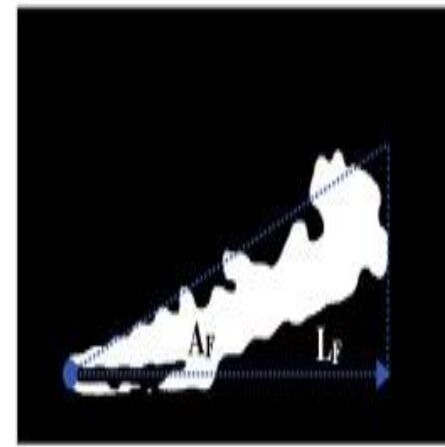
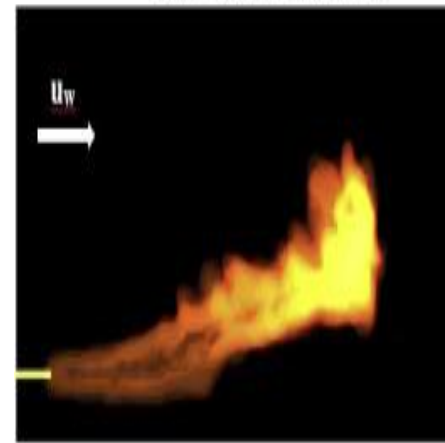
Fogonazo (flash fire)



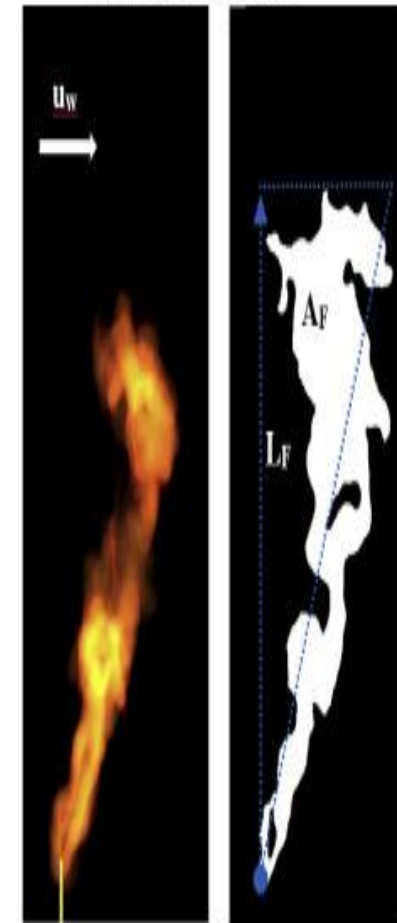
Jet Fire (chorro de fuego)



Horizontal Release



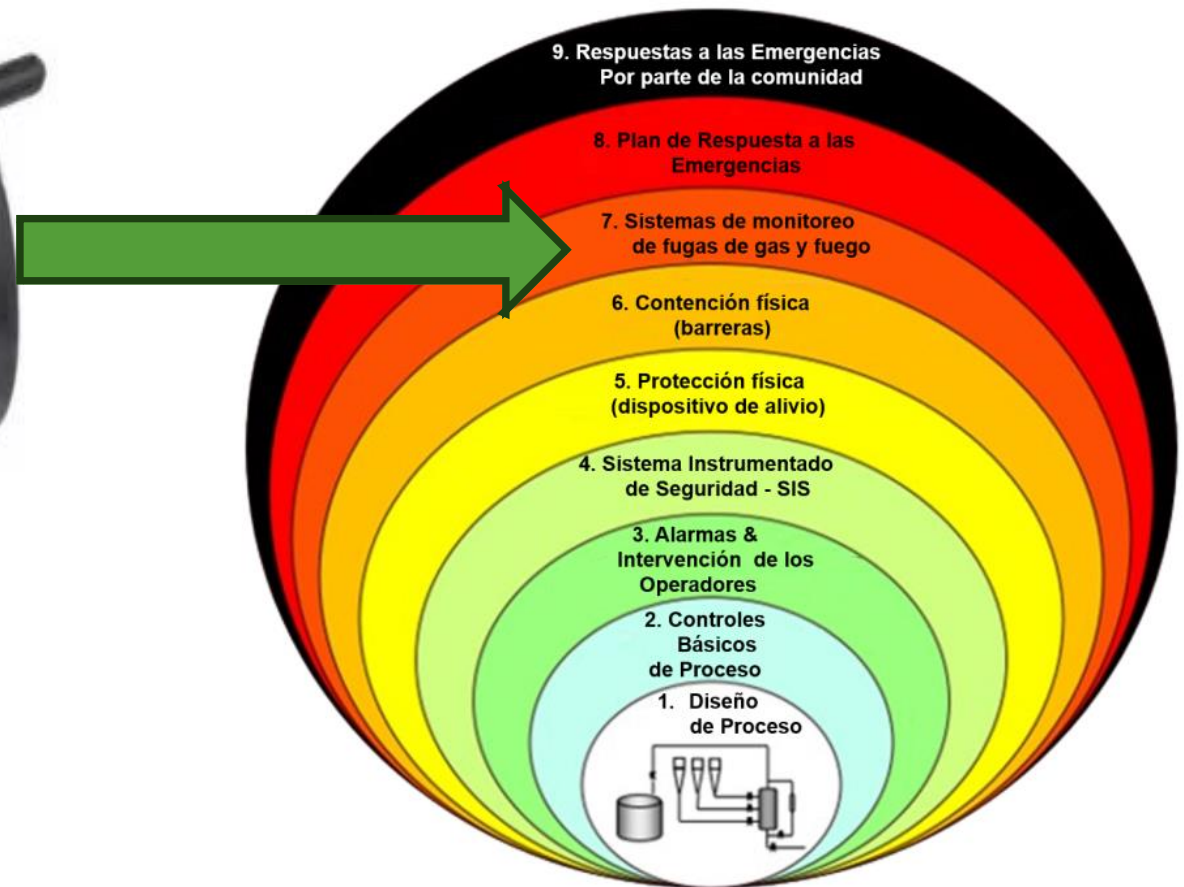
Vertical Release



Los monitores de explosividad utilizan sensores, por ejemplo catalíticos, que reaccionan al ser expuestos a gases explosivos. Funcionan por la oxidación del gas vía catalítica. Según su modo de operación, existen dos grupos generales de sensores de gas: los que funcionan por absorción, es decir por reacciones químicas de contacto con el gas; y los sensores que funcionan en base a emisiones infrarrojas o ultrasónicas



Detector fijo de gas Metano Propano GD10P - Simtronics (Teledyne)



¿Son las Salvaguardas realmente efectivas ante un escenario accidental?

- *Depende de cada situación específica y su contexto.*
- *Si se involucra un ser humano, se desprende que los procedimientos operativos, (y como salvaguardas los programas de entrenamiento del personal, entre otros), el resultado (la eficacia) están sujetos a la posterior asimilación y acción humana. La acción Humana debe analizarse consistentemente al evaluarla como “salvaguarda”.*
- *Estas consideraciones involucran por ejemplo a:*
- *Experiencia, entrenamiento, supervisión y control, cumplimiento de los procedimientos, entre otros....*

Errores humanos. Ejemplos

Al setear los parámetros de control, o bien las alarmas, si se tiene acceso al sistema (SCADA –Sistema de supervisión y adquisición de datos).

No detectar las alarmas o anomalías provocadas por las fallas durante la evolución de las mismas.

O interpretarlas erróneamente. Confundir la causa de la falla y accionar equivocadamente. La dinámica de la falla se puede seguir (supervisión de procesos) mediante la secuencia de alarmas que se suceden durante la evolución de la anomalía.

Se denomina “diagnos de fallas” al área de la ingeniería de la confiabilidad que estima la propagación de las fallas críticas, a los efectos de entrenar al operador para dar respuestas ante tales escenarios. Especialmente los críticos.

Algunos factores generales acerca de la acción humana a tener en cuenta.

No debe asumirse que todos actuarán de la misma manera ante una emergencia, aún bajo el mismo entrenamiento general.

No debe asumirse que se actuará, reaccionará, de igual manera, en todo momento (tensión, ansiedad, cansancio, etc.)

Algunos eventos suelen ocurrir muy rápidamente, no dando tiempo a reaccionar adecuadamente. Más en una situación estresante. Esto puede suceder aún con los operadores más experimentados.

El entrenamiento puede no haber sido efectivo, las situaciones son cambiantes temporal y geográficamente.

La situación puede ser novedosa, por lo que la experiencia previa no ayuda

Algunos factores generales acerca de la acción humana

- ***Los procedimientos operativos (y los planos que acompañan) pueden haber sido escritos deficientemente, ser confusos, etc. Debe considerarse que en una sala de control el operador debe operar en muy poco tiempo tomando decisiones complicadas, por lo que los procedimientos ante situaciones de emergencia deben ser claros, precisos, concisos.***
- ***Los planes/procedimientos ante emergencia, las evacuaciones, deben ser practicadas periódicamente para evaluar la efectividad de los mismos.***
- ***Debe siempre evitarse que para situaciones críticas exista un humano como único responsable (por ejemplo, abrir o cerrar una válvula como única protección).***

Error Humano y Salvaguardas.

El caso del error humano es un factor crítico. En ambos sentidos.

Si las salvaguardas son basadas en acciones humanas exclusivamente o bien diseñamos salvaguardas enfocadas sobre errores potenciales cometidos por el operador.

En ambos casos, la eficacia es muy “débil”.

¿Manual o Automático?

La revolución tecnológica y la automatización/IA generan una tensión creciente.

En seguridad, se debe priorizar la eficacia.

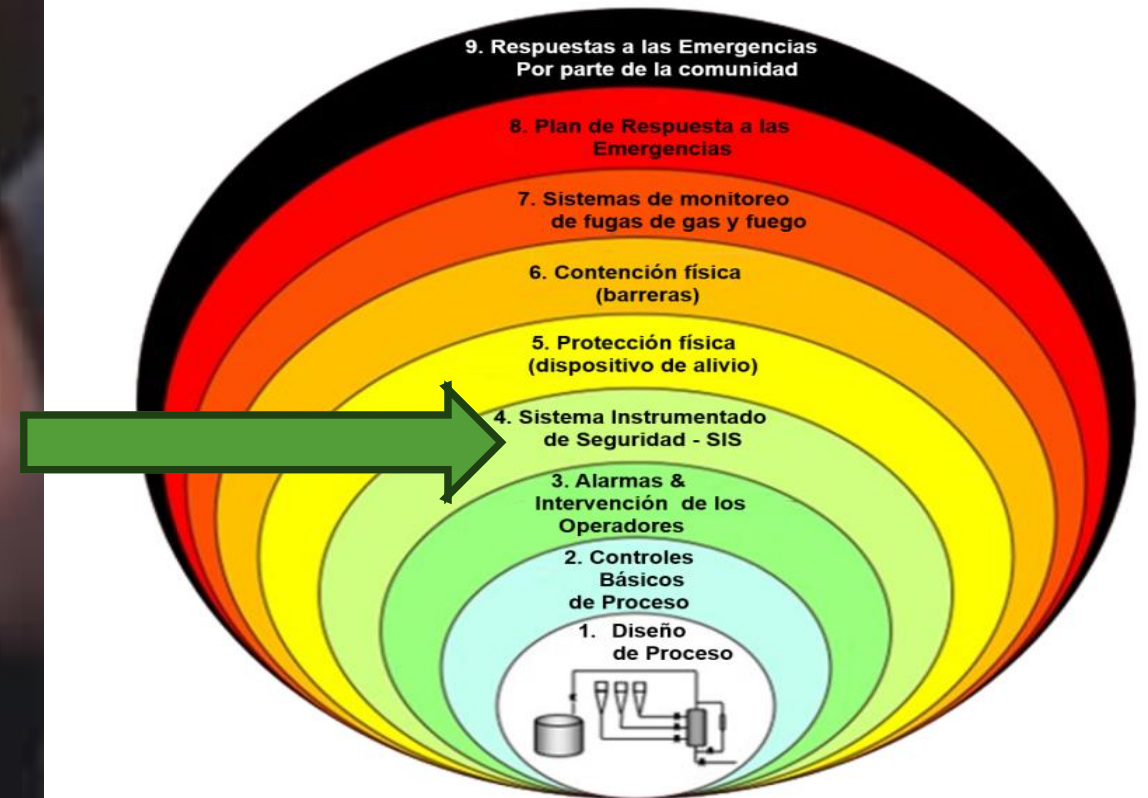


El operador supervisa, diagnostica anomalías y actúa los elementos de seguridad (los no automáticos)

Operador en Sala de Control



SIS (sistema instrumentado de Seguridad)

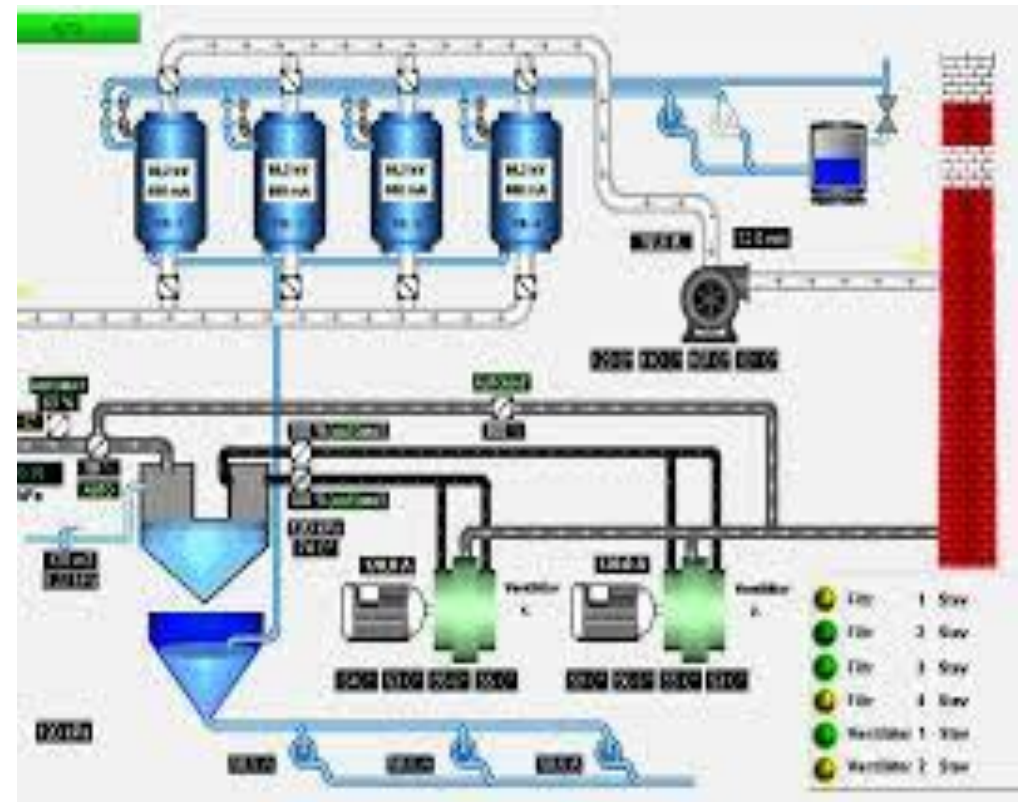


PLC (CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES), DCS (SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDOS), SCADA (SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS. CONTROL Y SUPERVISION)

Paneles PLC/DCS



INTERFAZ CON EL USUARIO



El cableado de cada controlador o sistema de seguridad conecta con toda la planta. Los paneles se distribuyen por bloques, algunos en planta y el resto en la sala de control

Se modulariza el diseño.

Se centraliza en la sala de control el control y la supervisión del proceso



Identificación y Evaluación de los Peligros

Introducidas brevemente algunas de las salvaguardas habituales en el diseño de procesos, estamos en condiciones de comenzar a desarrollar:

- *Por un lado, los métodos de identificación de peligros,*
- *Y, por el otro, la evaluación de los mismos, contemplando la frecuencia de ocurrencia, las consecuencias, y las salvaguardas existentes en el diseño.*

Métodos de Identificación de Peligros. Recordamos que suelen denominarse también “Análisis Cualitativo”

- ***Identificación de los peligros, sus causas y sus consecuencias de forma interdisciplinaria.***
- ***Suele además realizarse cálculo “cualitativo”, generalmente de la probabilidad y la severidad (gravedad) para confeccionar la matriz de riesgo cualitativa.***
- ***Se identifican y se evalúan los peligros, y se proponen recomendaciones para el mejoramiento.***

Que es un Análisis de Peligros de Procesos “PHA” (Process Hazard Análisis)

DEFINICION

Estudio sistemático, guiado, meticuloso e interdisciplinario, para identificar los posibles peligros (y eventualmente evaluar cualitativamente o cuantitativamente el riesgo asociado) de un proceso.

Análisis de RIESGOS

- **EN GENERAL, SE INCLUYE AL ANALISIS DE PELIGROS COMO UNA ETAPA PRELIMINAR DEL ANALISIS DE RIESGOS.**
- **O sea, un conjunto de metodologías que permiten identificar situaciones de peligros y evaluarlos.**
- **Los resultados del AR deben permitir una adecuada base para la toma de decisiones y el gerenciamiento del riesgo: Tecnológico, Ambiental, financiero, etc.**
- **En el AR ambiental, el análisis se focaliza en el aspecto ambiental, aunque la metodología y los objetivos, son los mismos.**

NECESIDAD DE TOMAR DECISIONES RACIONALES
Principios Básicos o Fundamentales

Para racionalizar el proceso de toma de decisiones, es necesario:

-Identificar todas las situaciones de peligro.

-Evaluarlas.

-Ordenarlas según importancia.

-Establecer una métrica y criterios de “aceptación” o tolerabilidad del riesgo resultante.

Identificar Peligros, Evaluar Riesgos Asociados

- *Caracterizar la naturaleza, las causas que lo originan, las consecuencias esperadas.*
- *Estimar la frecuencia de ocurrencia.*
- *La severidad de las consecuencias en el entorno natural, sobre las instalaciones, el personal, y la población del vecindario en particular.*

Métodos de identificación de los Peligros

¿Cómo asegurar completitud en la identificación de los peligros ?

¿ Y todos los eventos y escenarios asociados?

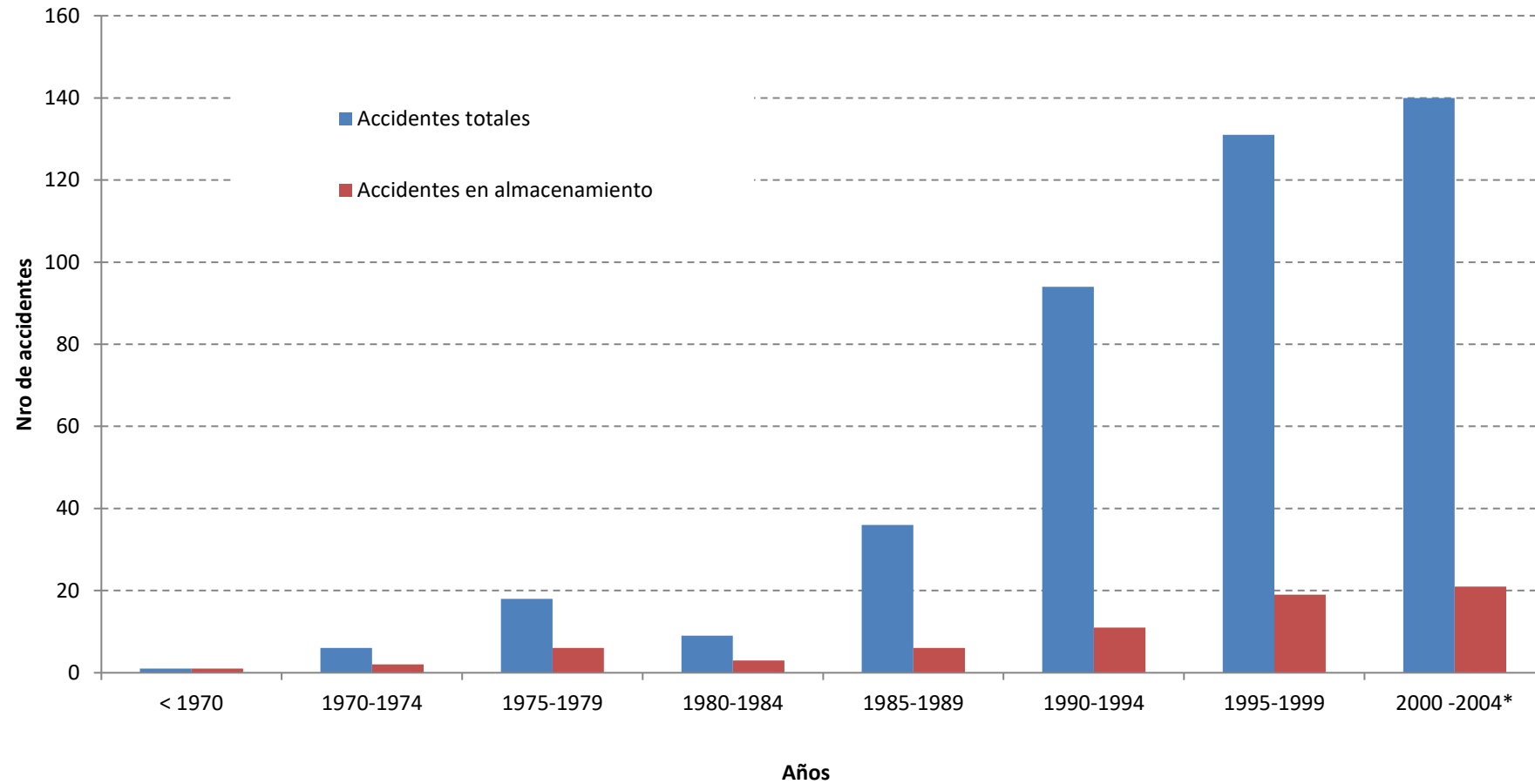
Desafío: Como detectar los peligros a priori?

Metodologías:

Ya sea a partir de un análisis *histórico del registro de fallas existentes (empírico, base de datos)* como de un análisis *inductivo–deductivo*, puede detectarse el conjunto de situaciones de peligros a las cuales está sometido un proceso u operación.

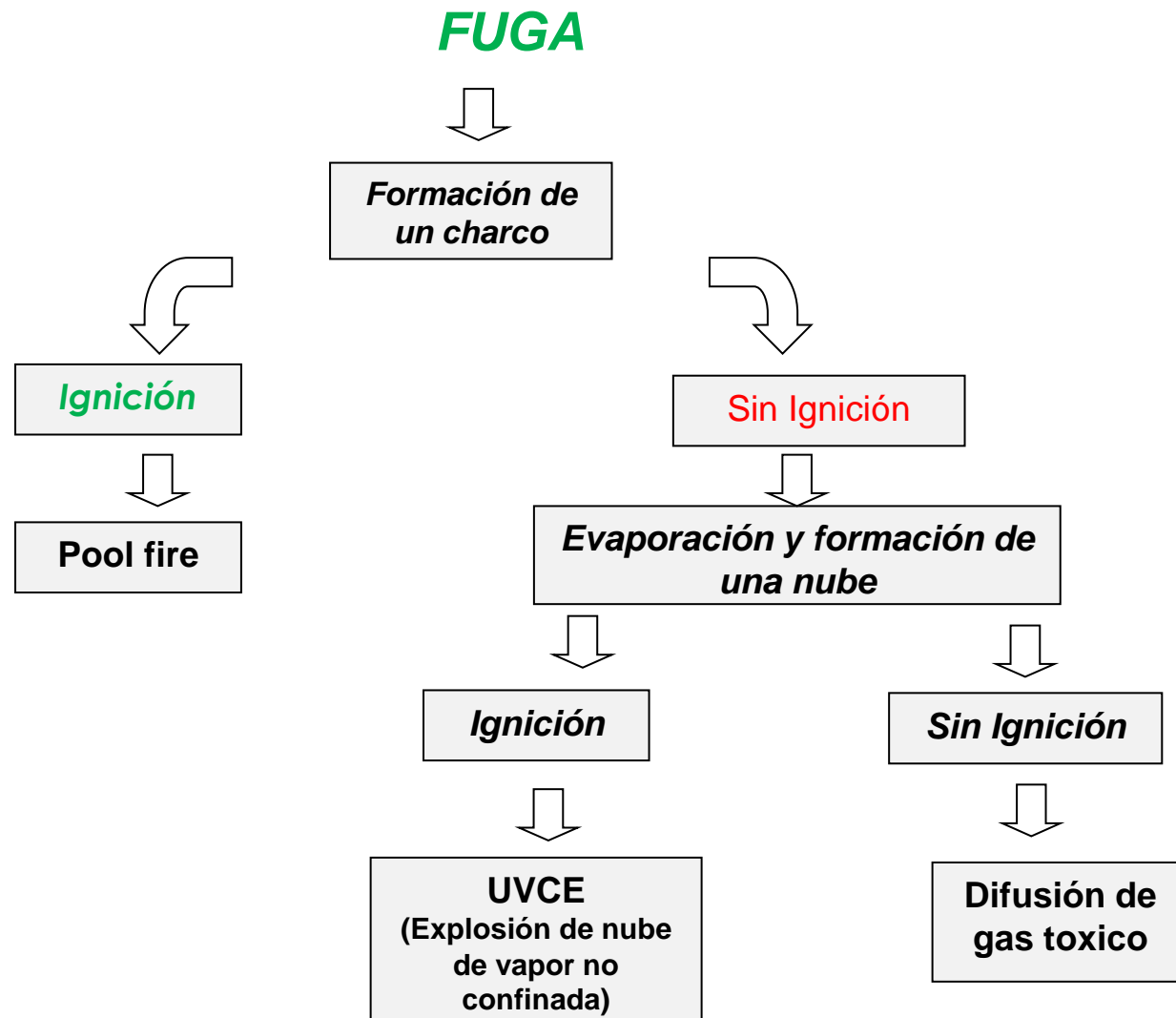
Todo método de análisis debe asegurar eficacia en detectar el *espacio completo de Peligros y potenciales Eventos accidentales Asociados* correspondientes a un sistema dado. Cualquiera sea la etapa del diseño u operación del mismo.

Almacenamiento de Diesel



ACCIDENTE - EVENTO DE FUGA Y ESCENARIOS ASOCIADOS

Árbol de eventos asociado a la fuga de un líquido.



Identificación de Situaciones de Peligro

Siempre resulta *una actividad cualitativa*, en el sentido que no puede mecanizarse o no es conveniente hacerlo

Métodos más conocidos: Listas de verificación, HAZOP, What IF, FMEA, HAZID, etc.

Métodos sistemáticos, por lo general tipo brainstorming, en los cuales participan distintos especialistas que cubren un amplio espectro de conocimientos respecto del proceso a evaluar.

Métodos de identificación (cualitativos)

Posibles métodos de análisis cualitativos:

- *What-if*
- *Check list*
- *FMECA*
- *Árbol de fallas/Árbol de consecuencias*
- *HAZOP*

HAZOP. DEFINICIÓN

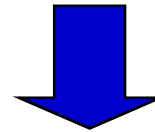
Estudio sistemático, guiado, interdisciplinario, para identificar y analizar cualitativamente o cuantitativamente los posibles riesgos de un proceso.

Técnica estructurada y sistemática de análisis de riesgos que permite identificar peligros potenciales y problemas operacionales en procesos químicos. Se basa en la premisa que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación.

-HAZOP - *Hazard and Operability Analysis*

Finalidad:

- ▶ *Identificación rigurosa y sistemática de peligros (asociados al proceso, carencias del diseño).*
- ▶ *Análisis de problemas en la operación.*



DEFINICION DE ACCIONES
CORRECTORAS

OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA

- ***Conocer los fundamentos de la Metodología HAZOP.***
- ***Conocer, a través de ejemplos reales, los resultados de la aplicación de la metodología.***
- ***Practicar, a través del análisis de casos, la aplicación de la metodología HAZOP.***

HAZOP – Campo de aplicación

Se puede aplicar indistintamente a todo tipo de instalaciones ya sean nuevas, existentes o en casos de modificaciones de unidades en operación.

En el caso de nuevas instalaciones, el estudio se puede realizar en cualquiera de las etapas del proyecto: diseño conceptual, la ingeniería básica o de detalle, o antes de la puesta en marcha.

La efectividad del método depende de los datos/ detalles disponibles. Los cambios resultantes del análisis tendrán distinto impacto en función del grado de avance del proyecto.

HAZOP

¿Qué puede fallar?



¿Cuál es la causa de esta variación o desvío?



¿Qué consecuencias tiene?



¿Qué recomendaciones ameritan y quién es el responsable de ejecutarlas?



Fallas/Alteraciones incontroladas (anomalías) sobre los parámetros fundamentales del proceso:

- ***Presión.***
- ***Temperatura.***
- ***Flujo, sentido del flujo.***
- ***Concentraciones.***
- ***Nivel / volúmenes.***
- ***Caudal.***
- ***Viscosidad, agitación.***
- ***Velocidad de reacción.***

- *Diseño inapropiado.*
- *Fallos de elementos tales como bombas, compresores, ventiladores, agitadores, etc.*
- *Fallos de sistemas de control (sensores de presión y temperaturas, controladores de nivel, reguladores de flujos, unidades de control computarizadas, etc.).*
- *Fallos de sistemas específicos de seguridad (válvulas de seguridad, discos de ruptura, sistemas de alivio de presiones, sistemas de neutralización, avisadores, etc.*
- *Fallos de juntas y conexiones.*
- *Error Humano*

Algunas Causas de las desviaciones

- *Fallos en los servicios: Insuficiente enfriamiento para reacciones exotérmicas, o insuficiente aporte del medio calefactor o vapor.*
- *Corte del suministro eléctrico.*
- *Ausencia de nitrógeno o agente inertizante.*
- *Ausencia de aire comprimido (de instrumentación o de agitación).*
- *Fallos en los procedimientos de parada o puesta en marcha.*
- *Formación de subproductos, residuos o impurezas, causantes de reacciones colaterales indeseadas.*

Causas de las desviaciones Errores humanos y de organización

- ***Errores de operación (válvula en posición errónea, set point erróneo, etc.).***
- ***Desconexión de sistemas de seguridad por causa de frecuentes falsas alarmas.***
- ***Confusión de instrucciones en procedimientos operativos.***
- ***Errores de comunicación.***

Causas de las desviaciones

- *Diseño inapropiado, corrosión.*
- *Fallos de bombas, compresores, ventiladores, agitadores, etc.*
- *Fallos de sistemas de control (sensores de presión y temperaturas, controladores de nivel, reguladores de flujos, unidades de control computarizadas, etc.).*
- *Fallos de sistemas específicos de seguridad (válvulas de seguridad, discos de ruptura, sistemas de alivio de presiones, sistemas de neutralización, etc.*
- *Fallos de juntas y conexiones.*
- *Error humano.*

Causas de las desviaciones Errores humanos y de organización

- ***Incorrecta reparación o trabajo de mantenimiento.***
- ***Realización de trabajos no autorizados (soldadura, entrada en espacios confinados).***
- ***Insuficiente formación y adiestramiento en el trabajo.***
- ***Carga psíquica excesiva ante situaciones anómalas.***

Algunos tipos de cambios -sin realizar un AR-

- ***En Hardware y software.***
- ***Cambios en los procedimientos operativos.***
- ***“Mejora” de los sistemas de contención/contingencia.***
- ***Cambios de diseño de válvulas de seguridad/venteo.***
- ***Cambios en la materia Prima, o aumento de producción, otros.***
- ***Cambio de procedimientos y falta de entrenamiento del personal.***

**GENERACIÓN SISTEMÁTICA Y
COMPLETA DE LOS DESVIOS O
FALLAS
SUS CAUSAS Y CONSECUENCIAS**



METODOLOGÍA HAZOP

OBJETIVOS DE HAZOP

- **Identificar los peligros, cuantificar la frecuencia de ocurrencia y las consecuencias.**
- **Evaluar el Riesgo cualitativamente. Analizar las salvaguardas existentes.**
- **Proponer recomendaciones si amerita.**
- **Realizar un informe con las recomendaciones a la gerencia, para que tome decisiones.**
- **Mejorar la operatividad desde el punto de vista de la seguridad general (personas, instalaciones y ambiente).**

OBJETIVOS DE HAZOP

- ***Definir prioridades para el tratamiento de las situaciones de riesgo.***
- ***Comprobación de la seguridad de los procedimientos de trabajo establecidos.***
- ***Verificación de la seguridad de los equipos, del proceso, del gerenciamiento, entre otros. Se aplica a Procesos continuos o Procesos discontinuos.***
- ***Analizar los servicios, sistemas computarizados de control y seguridad.***

Cómo se implementa

- *Equipo HAZOP (composición adecuada).*
- *Utilizando una Metodología Adecuada (generación sistemática de desvíos o anomalías).*
- *Datos Necesarios.*

DOCUMENTACIÓN NECESARIA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO

La información necesaria para la realización del análisis variará dependiendo de la complejidad de la planta y el proceso, y de los objetivos fijados.

- Lista de elementos de seguridad.***
- Planos (P&I & D) consolidados.***
- Layout.***
- Descripción del proceso en cuestión. Manuales descriptivos, puesta en marcha, parada, procedimientos operativos.***
- Lista de secuencias lógicas o instrucciones de planta.***
- Sistemas de supervisión y de elementos de seguridad remotos manipulados desde sala de control o automatizados.***
- Fichas de seguridad de las sustancias involucradas.***
- Descripción de los sistemas de seguridad y emergencia.***

DESARROLLO DEL MÉTODO HAZOP

EQUIPO HAZOP

El equipo para llevar a cabo el análisis HAZOP debe ser multidisciplinar, formado idealmente por entre 6 a 8 personas: Jefe de Planta, Jefe de Turno/Sup, Operadores, Ingeniería: Operaciones y Procesos, Mantenimiento Mecánico y Eléctrico, Instrumentista, Higiene ambiente y Seguridad Industrial. Guía/Responsable y Secretario HAZOP.

METODOLOGIA

Se basa en el torbellino de ideas. El responsable HAZOP deberá conducir las reuniones HAZOP, velar por la aplicación del método, organizar toda la documentación que se necesita. El secretario toma nota de las conclusiones realizadas por el grupo HAZOP,

LAS REUNIONES HAZOP

No más de cuatro horas, con un intervalo. Como máximo seis horas con intervalos. La frecuencia puede ser diaria, semanal, aunque no conviene superar intervalos de 14 días entre reuniones.

METODOLOGÍA HAZOP

EQUIPO HAZOP. METODOLOGÍA

**PARTICIÓN DEL PROCESO A
ANALIZAR EN SECTORES
MANEJABLES (NODOS).**

**GENERACIÓN DE LOS EVENTOS
ACCIDENTALES MEDIANTE LAS
PALABRAS GUÍAS (DESVIACIONES
DE LOS PARÁMETROS DE
PROCESO).**

ANÁLISIS DE LAS SALVAGUARDAS.

**ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA
FRECUENCIA Y CONSECUENCIAS DE
CADA EVENTO ACCIDENTAL.
ESTIMACIÓN DEL RIESGO.**

**PROPUESTA DE MEJORAS.
SECTORES RESPONSABLES PARA
EJECUTARLAS.**



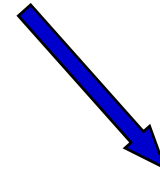
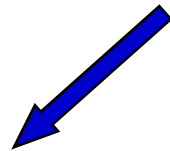
El análisis HAZOP identifica el conjunto de situaciones peligrosas y/o problemas operativos posibles. Propone una serie de medidas orientadas a la reducción del riesgo existente mediante la reducción de la frecuencia de ocurrencia de las fallas o subsidiariamente, la mitigación de las consecuencias.

Mediante Sugerencias:

- Cambios en las instalaciones, equipos, controles, medidas de seguridad, (nuevas salvaguardas).***
- Modificaciones de protocolos de operación.***
- Recomendaciones de estudios posteriores para una evaluación más detallada, entre otras.***

Siempre que sea posible eliminar las causas del peligro, y luego pensar en la reducción de sus consecuencias.

Además del personal de planta que integra el grupo HAZOP, es importante la participación de Analistas de riesgo, que actúan normalmente como apoyo logístico al estudio.



***LIDER O COORDINADOR
HAZOP***

***Conduce la aplicación de
la metodología y modera
las discusiones.***

SECRETARIO

***Documenta por escrito el
proceso y los resultados
de la aplicación.***

Seleccionar un líder y secretario ajenos a la empresa resulta de utilidad para introducir puntos de vista diferentes, e independientes.

Desarrollo del método HAZOP

- **El Coordinador/Líder HAZOP es quien conduce la reunión y el Secretario toma nota de lo hablado. Propone los nodos en que se divide el proceso antes de iniciar la sesión HAZOP.**
- **Se desarrollan paso a paso las desviaciones tomando cada parámetro y aplicándole las palabras guías.**
- **Se toma nota generando los informes parciales y el listado de causas y consecuencias, la frecuencia de ocurrencia, las salvaguardas, el riesgo resultante y las recomendaciones con la aprobación de todo el Grupo HAZOP.**

Desarrollo del método HAZOP: PLANILLAS HAZOP

- ▶ *EN LAS PLANILLAS, Se deberá identificar:*
 - ▶ *Nombre del nodo, y planos/p&id utilizados*
 - ▶ *Palabras guías y parámetros utilizados*
 - ▶ *Causas de la desviación (falla)*
 - ▶ *Consecuencias*
 - ▶ *Salvaguardas*
 - ▶ *Frecuencia de ocurrencia*
 - ▶ *Severidad de la consecuencia*
 - ▶ *Riesgo*
 - ▶ *Recomendaciones*

¿Qué es un NODO? Es el punto focal de análisis.
SELECCIÓN DE NODOS. PARTICION DE LOS P+I+D.

Se debe **realizar una segregación** de las instalaciones por sectores, líneas, equipos, sistemas del proceso. Cada parte resultante será un **NODO**.

Sobre estos NODOS se aplicarán las palabras guías a los parámetros de proceso generando las desviaciones respecto de los objetivos de diseño/operación. El objetivo: Identificar el conjunto de todas las fallas posibles, sus causas y consecuencias.

Es importante que los NODOS se agrupen y traten secuencialmente manteniendo una cierta continuidad en el orden en que se analicen.

En el caso de la aplicación del HAZOP a un proceso operativo, es importante tomar cada tarea/etapa y los sectores de los planos relacionados, como partes del mismo nodo.

Ejemplo de un P+I+D

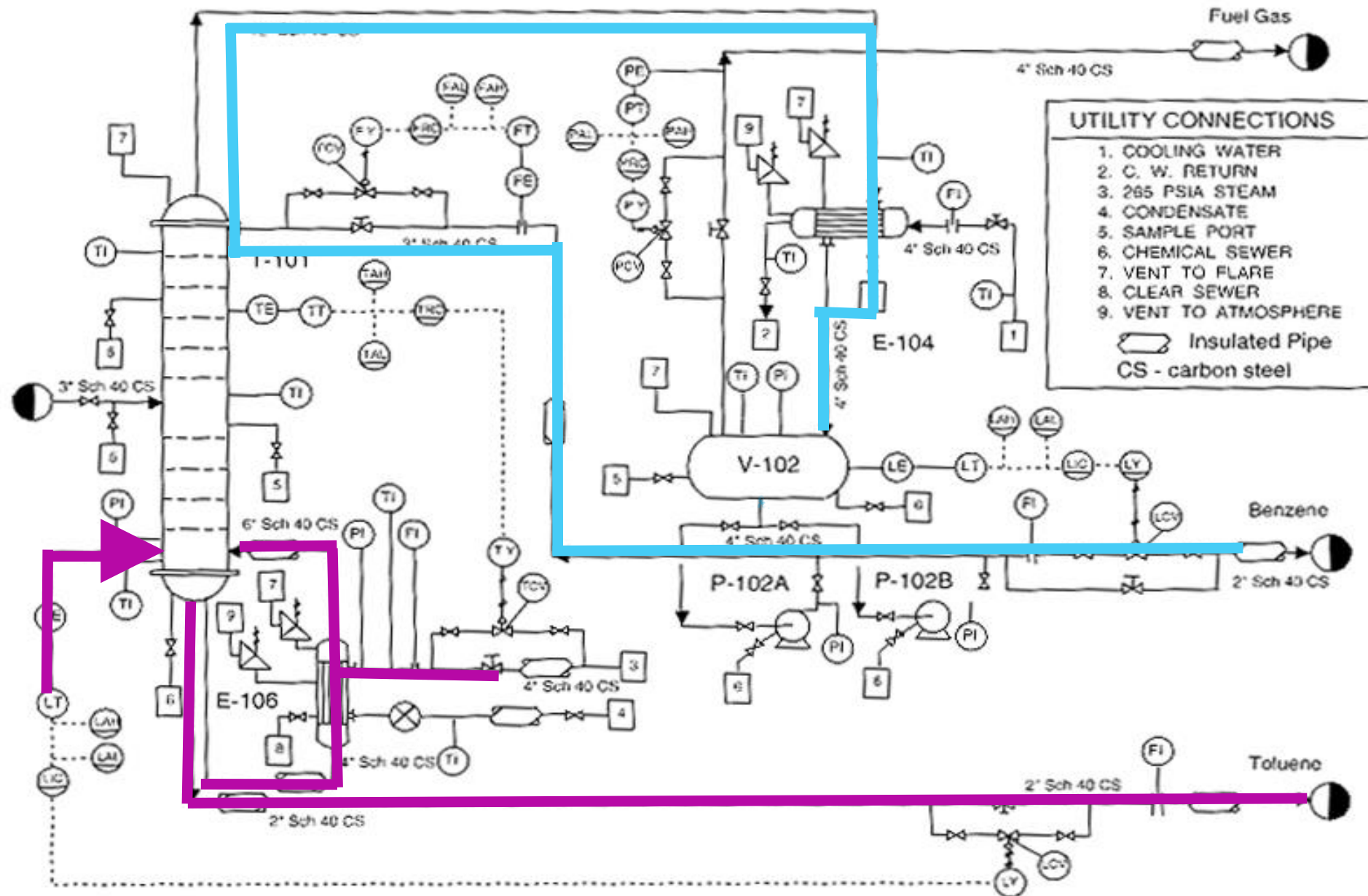


Figure 1.7 Preliminary piping and instrumentation diagram for benzene distillation. (Adapted from Kauffman, D., *Flow Sheets and Diagrams*, AIChE Modular Instruction, Series G: Design of Equipment, series editor J. Beckman, AIChE, New York, 1986, vol 1, Chapter G.1.5, AIChE copyright, © 1986 AIChE, all rights reserved)

¿Cómo se Generan las Desviaciones?

Se generan de forma sistemática las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable una a una todas las palabras guía consistentes.

De esta forma, se generan todas las combinaciones posibles -entre ellas y todas las variables de proceso-, descartándose las desviaciones que no tengan sentido para un nodo determinado.

HAZOP – Generación de las Desviaciones. Palabras Guía

Palabra guía	Significado	Palabra guía	Significado
No	<i>No ocurre lo diseñado</i>	Antes/Después	<i>El paso se realiza fuera de secuencia</i>
Más	<i>Aumento cuantitativo</i>	Además	<i>Se cumple lo esperado pero ocurre algo adicional</i>
Menos	<i>Disminución cuantitativa</i>	Rápido/Lento	<i>No se realiza el paso en el tiempo esperado</i>
Inverso	<i>Ocurre lo opuesto</i>	Inadvertido	<i>Funciona sin ser intencionado</i>
Fluctuación	<i>Solo se alcanza lo deseado por momentos</i>	Otro	<i>Ocurre la actividad pero no como se espera</i>

PALABRAS-GUÍA que se aplican sobre los parámetros del sistema (caudal, presión, temperatura, etc.).

PALABRA-GUÍA

- MÁS***
- MENOS***
- NO***
- INVERSO***
- OTRO***
- FALLO DE***
- ...***

PARÁMETRO

- CAUDAL***
- NIVEL***
- TEMPERATURA***
- PRESIÓN***
- COMPOSICIÓN***
- ...***

Ejemplo de desviación/falla

- MÁS temperatura***
- Caudal INVERSO***
- OTRA composición***
- FALLO DE nitrógeno***

Desarrollo del método HAZOP. Generación de las fallas

Resumiendo, la combinación DE TODAS las palabras guías y parámetros del proceso, generan las Desviaciones (fallas) mediante el “generador o motor de inferencia” (por ejemplo): nada de, inverso de, más de, menos de, parte de, además de, otra fase, nada de flujo, sentido del flujo (retroflujo), otra concentración (impurezas), más o menos concentración, viscosidad, velocidad de reacción, Agitación, antes de, distinto de, mantener, suspender, en lugar de, etc....

Listado de las salvaguardas existentes

Dada cada falla y sus características en función del contexto del nodo, el proceso, y la situación actual de operación de la planta, se listan todas las salvaguardas existentes, tanto para la reducción de la frecuencia como para la mitigación de las consecuencias para la falla en cuestión únicamente.

Se deben considerar todos los requisitos mencionados para la consideración como salvaguarda, en cada contexto de aplicación.

Para la evaluación cualitativa del Riesgo, generalmente se evalúan las frecuencias y consecuencias, considerando las salvaguardas existentes.

HAZOP

- ▶ ***MATRIZ DE RIESGOS.***
- ▶ ***Riesgo: producto de la severidad de las consecuencias por la frecuencia, según la matriz adoptada.***
- ▶ ***Recomendaciones: las modificaciones a realizar para disminuir el riesgo estimado para la falla y consecuencia bajo análisis.***
- ▶ ***En general disminuyendo su probabilidad de ocurrencia.***

Hemos destacado la Evaluación “cualitativa y la cuantitativa”

- Para la evaluación de la frecuencia y las consecuencias (vulnerabilidad) existen dos alternativas:
- **Cuantitativa:** valor de la probabilidad o frecuencia numérica del evento analizado.
- **Cualitativa:** Se discretiza el rango de valores en tres, cuatro, cinco o más niveles, a los cuales se los denota, rotula o etiqueta, por ejemplo: muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo.

Evaluación Cualitativa del Riesgo

Se discretiza el valor continuo del intervalo de valores de frecuencias y el que corresponde a las consecuencias.

Se definen intervalos (cuatro, cinco -no más-, ya que se complica el análisis).

En esencia, en lugar de cuantificar las frecuencias, o el valor de las consecuencias, se recurre a calificadores cualitativos -frecuencia (remota, Baja, alta, muy alta)-.

El problema, es definir adecuadamente cada intervalo introducido. Y como combinarlos para obtener los intervalos de valores del Riesgo de cada combinación posible.

Matriz de Riesgo

<i>Probabilidad (frecuencia)</i>	1	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
	2	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>I</i>
	3	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>N</i>
	4	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
		4	3	2	1
		<i>Severidad (consecuencias)</i>			

Frecuencia

- 1 Puede ocurrir una vez al año o más.*
- 2 Puede ocurrir una vez entre 1 y 10 años*
- 3 Puede ocurrir una vez entre 10 y 100 años*
- 4 Remota*

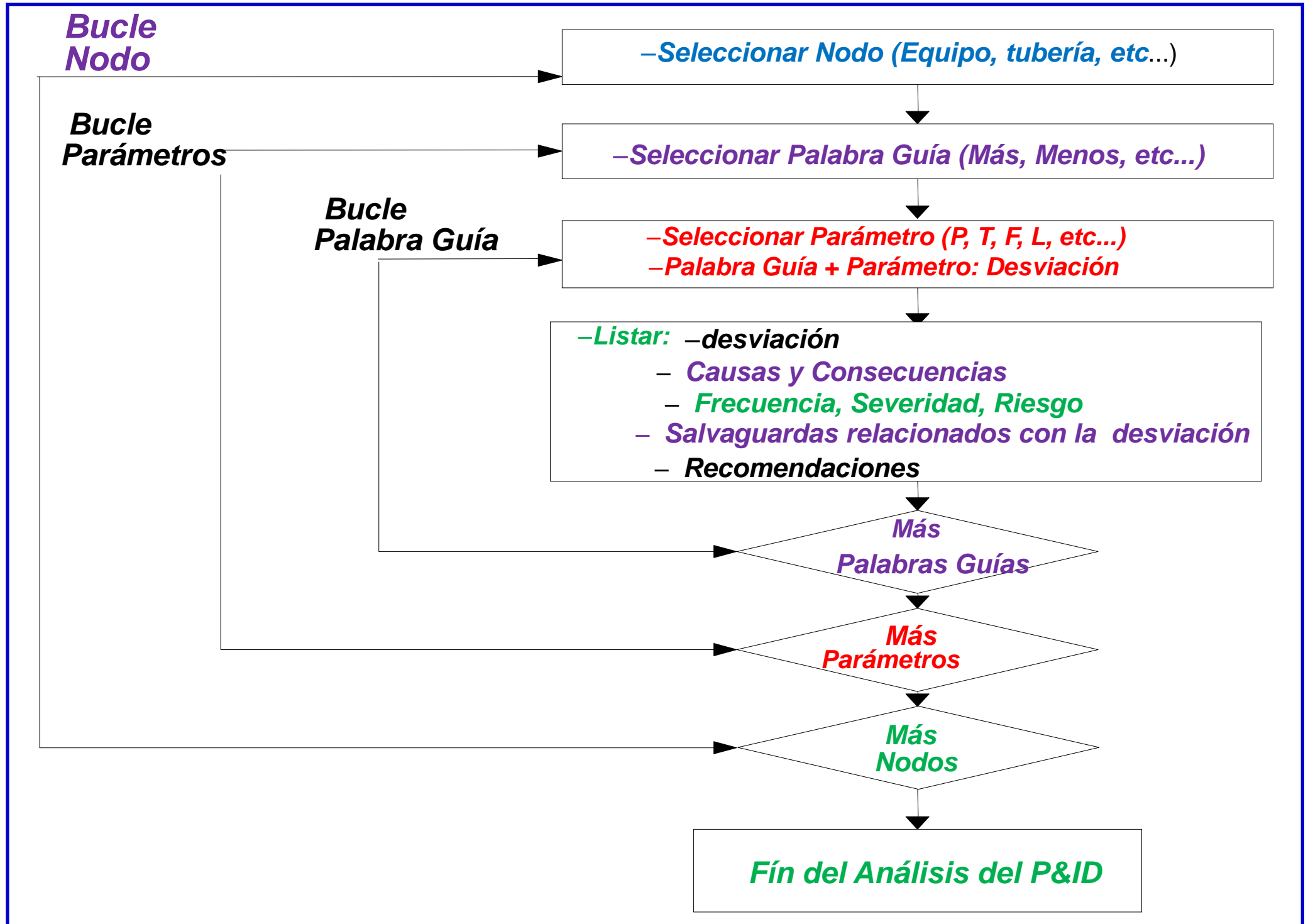
Severidad

- 1 Destrucción de la planta. Parada de producción que inviabiliza el negocio. Muertes y heridos muy relevantes dentro y fuera de la planta.***
- 2 Daños moderados. Parada de producción significativa/ muertes de trabajadores.***
- 3 Daños menores. Parada menor, lesiones menores.***
- 4 Sin daños a las personas o equipos. Parada de producción poco relevante.***

“Zonas ALARP” establecidas sobre una Matriz Cualitativa para evaluación del Riesgo

		Consequence					
		1	2	3	4	5	6
Likelihood	6	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
	5	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	4	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
	3	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red
	2	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
	1	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow

DESARROLLO DEL ANÁLISIS



Ejemplo de Tabla HAZOP

		ANALISIS DE RIESGOS - HAZOP						Revisión:	
		Documento N°:						Hoja: 2	
		Titulo:						Fecha:	
Nodo: 5 gas tope PV-1703-A-PV1704-A a reflujo PV-1703-A									
Desviación		Causa	Consecuencias	S	F	R	Protección Existente	Recomendaciones	
Palabra Guía	Parámetro								
Fujo	más	Baja presión por mayor succión de compresores mayor consumo o demanda aguas abajo	-Baja eficiencia de separación en PV-1704-A - Niebla en cte gas pobre salida (residual) -Posible daño compresor alternativo aguas abajo	2	2	N	-Protección máxima caudal- abre by pass de planta -hexanos en el cormatógrafo contaminan la medición -Registrador de caudal FR11 y FR10	-Analizar elemento separador de gotas o nieblas (analizar factibilidad de colocación de un filtro coalescedor)	
		Falla válvula de alivio PSV10 (intrínseca)	gas a antorcha- pérdida de producción	2	3	N	Mantenimiento e Inspección	-Verificar capacidad de alivio ante demanda -Se necesita respuesta humana- Ver Manual de Operación -Analizar/mejorar política de Inspección y Mantenimiento	
Temperatura	más	Falla compresor y/o circuito	Pérdida de eficiencia	4	1	C	Indicador de temperatura en Tablero Sala de Control TI14		

INFORME HAZOP. Contendrá:

Un resumen ejecutivo (para la gerencia).

Presenta las conclusiones. Principalmente un ordenamiento a clasificación según la magnitud del riesgo de todas las fallas identificadas. Las acciones recomendadas, los responsables de la ejecución, el plazo establecido y los comentarios aclaratorios en cada caso, si fueran necesarios.

El cuerpo del Informe.

Contiene todos los datos y el desarrollo del método que justifican las aseveraciones vertidas en el resumen ejecutivo. Descripción de la Matriz de Riesgos Utilizada.

Datos de la planta, los planos, los equipos y líneas identificados (nodos). Las tablas HAZOP. Participantes, fechas, referencias, la clasificación por severidad y riesgo, las acciones recomendadas según prioridades, responsables de la ejecución, plazos y comentarios.