

	Título: PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS LOPA	
Código: PG-1-DGSMS-80-B	Aprobador: GGL	Fecha de aprobación: 12/10/2022
	Gestor: GGL/DGSMS	Firma: Omar Alarcón Saigua

1. OBJETIVO

El presente procedimiento tiene como objetivo describir y dar pautas acerca de la metodología a seguir para elaborar el estudio LOPA para la asignación de los Niveles de Integridad de Seguridad (SIL) a las Funciones Instrumentadas de Seguridad (SIF) de acuerdo con la norma IEC 61511-1:2003 capítulo 9.

2. ALCANCE

Este procedimiento es de aplicación tanto a instalaciones existentes (planta, unidad de proceso, almacenamiento, carga y descarga, servicios técnicos, etc., propiedad de YPFB Refinación, S.A.) como para nuevos proyectos (nuevas plantas, nuevas unidades y/o modificación de existentes) que constituyan un riesgo de carácter significativo en la refinería.

3. DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS

3.1. NORMAS

ISO 9001: Sistema de Gestión de la Calidad.

ISO 14001: Sistema de Gestión de Medio Ambiente.

ISO 45001: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo

ISO 17776: Petroleum and natural gas industries—Offshore production installations—Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment.

IEC 61508: Seguridad funcional de los sistemas eléctricos / electrónicos / electrónicos programables relacionados con la seguridad.

IEC 61511: Seguridad funcional. Sistemas instrumentados de seguridad para el sector de las industrias de procesos.

3.2. PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

PG-3-ING-4 GESTION DE CAMBIOS DE INSTALACIONES Y TECNOLOGIA EN LA REFINERIA GUALBERTO VILLARROEL

PG-2-ING-2 GESTIÓN DE CAMBIOS DE INSTALACIONES Y TECNOLOGÍA

PG-1-DGSMS-86 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO

3.3. LEGISLACIÓN

Ley de Medio Ambiente 1333/96 y sus correspondiente Reglamentos.

Ley de Hidrocarburos 3058/05 y el Reglamento Ambiental para el Sector Hidrocarburos (RASH).

4. DEFINICIONES Y SIGLAS

4.1. DEFINICIONES

Evento: Cualquier suceso relevante para que se produzca un escenario. En un análisis LOPA se usan eventos iniciadores y eventos condicionantes a diferencia de un estudio de asignación del SIL donde un evento puede referirse a todo el escenario de accidente (desde su inicio hasta sus consecuencias finales).

Evento iniciador: El evento que actúa como punto de partida del escenario y que da lugar a las consecuencias indeseadas. No confundir con las causas o eventos básicos.

Se pueden distinguir tres tipos de eventos iniciadores

- a. Eventos externos
- b. Fallos en equipos
- c. Fallos humanos o acciones inapropiadas

Evento condicionante: Un evento es condicionante de un evento iniciador cuando es necesario para que dicho evento dé lugar a los diferentes eventos finales o consecuencias.

Los eventos condicionantes no son fallos ni capas de protección. Se expresan como probabilidades y sólo se usan si son necesarios. Se considerarán siempre antes del LoC

Consecuencia: Los resultados de la desviación en caso de que ocurra. Las consecuencias pueden abarcar tanto riesgos asociados al proceso, como problemas de operatividad, tal como parada de la planta o pérdida de calidad del producto. Pueden asociarse varias consecuencias para una misma causa y, a su vez, una sola consecuencia puede ser originada por varias causas. Ver **daño**

Daño: Perjuicio, lesión o detrimento que se produce sobre elementos vulnerables sometidos a los efectos derivados de situaciones de peligro. Los daños pueden ser: sobre la salud y seguridad de las personas (trabajadores o público en general), sobre el medio ambiente o sobre la propiedad (el patrimonio o cualquier activo intangible asociado a la imagen de YPFBR). Todo daño tiene asociado un riesgo que debe ser evaluado.

LoC: Pérdida de contención o fuga (*Loss of Containment*)

Evento superior: (*Top event*) en un árbol de fallos y punto de partida de un árbol de eventos. El nodo central en un modelo *BowTie*. El punto límite entre la prevención y la mitigación

Modificador condicional: Una condición que es necesaria para que, a partir de una pérdida de contención, la consecuencia ocurra

Los modificadores condicionales no son fallos ni capas de protección. Se expresan como probabilidades. Sólo se usan si son necesarios. Se considerarán siempre después del LoC

Frecuencia: Número de ocurrencias por unidad de tiempo

Es la unidad común para expresar escenarios, eventos y fallos de capas de protección

Probabilidad: Existen razones para creer que sucederá

Cuantificación de la posibilidad de ocurrencia de un evento o de una secuencia de acontecimientos durante un intervalo de tiempo, o posibilidad de éxito o fracaso de una actuación bajo demanda

La probabilidad se expresa de modo adimensional y comprendida entre 0 y 1

Riesgo: Es una medida o índice que combina la severidad y la probabilidad asociados a un peligro identificado

Causa básica (*root cause*): El sistema o causa más básica que posibilita una cadena de eventos y su efecto o resultado indeseado

Prevención: Reducción de riesgo mediante medidas destinadas a reducir la probabilidad de la causa básica o los eventos condicionantes. Por ejemplo: Buenas prácticas de diseño de procesos, el BPCS, SIS, sistemas de alivio de presión, alarmas, etc

Mitigación: Reducción de riesgo mediante medidas destinadas a reducir las consecuencias una vez ha ocurrido el incidente (Ej. pérdida de contención). Por ejemplo: Sistema Fire & Gas, alarmas, PPE, cubetos y diques, planes de emergencia, extintores de fuego, brigada de bomberos, etc

Efectos físicos: Resultado directo de una pérdida de contención o fuga

Los efectos físicos se expresan mediante variables tales como concentración en el aire, intensidad de la radiación térmica, pico de sobrepresión de una onda expansiva. Normalmente son función de la distancia

Peligro: Capacidad de un sistema o situación de causar daños. Por ejemplo: Fuga de producto tóxico, inflamable, etc

Causa: Condición o estado que da lugar directamente a una LoC

Capa de protección o salvaguarda: Una salvaguarda es un mecanismo, sistema o acción que puede interrumpir la cadena de eventos desencadenados desde el evento iniciador, evitando la materialización del peligro. Las salvaguardas se clasifican en técnicas y organizativas

Salvaguarda organizativa: Previenen la aparición de peligros derivados del error humano

Salvaguarda técnica: Previenen la aparición de peligros (Sistema Básico de Control de Proceso, Sistema Instrumentado de Seguridad, PSV, etc.) o mitigan sus efectos (Sistema Fire & Gas, cubetos y diques, red contra incendios, etc.).

Capa Independiente de Protección: Es una salvaguarda específicamente diseñada para reducir el riesgo. Para que una salvaguarda pueda ser considerada como una capa de protección independiente se deben cumplir los siguientes criterios: debe ser efectiva, debe ser independiente y debe ser auditable

Probabilidad de fallo en demanda (PFD): La probabilidad de que un sistema falle cuando se le requiere para ejecutar una función específica. Ver también probabilidad.

Probabilidad de fallo (PoF): La probabilidad que tiene un sistema de fallar mientras ejecuta una función específica durante un intervalo de tiempo. Ver también probabilidad

Escenario de peligro: Situación identificada en un proceso que puede ocasionar daño en caso de que se desarrolle completamente y sin control

Cada escenario es una única cadena '*evento iniciador - causa - LoC - consecuencia*'. Debe contener, como mínimo, dos elementos: evento iniciador y consecuencia.

Medidas críticas de seguridad: Medidas que son esenciales para reducir el riesgo desde un nivel inaceptable a un nivel aceptable

Las actividades críticas de seguridad o el equipo pueden ser una IPL por si misma o puede mejorar la fiabilidad de una IPL (Por ejemplo: reducir la PoF). Las actividades críticas de seguridad no se deben confundir con 'actividades peligrosas'.

SIL: Nivel de integridad de la seguridad. Una especificación o medida de la bondad con la que una SIF (o función instrumentada de seguridad) realiza correctamente una acción. El nivel SIL es el recíproco a la probabilidad de fallo en la ejecución de su función.

Recomendación: Es una medida correctiva resultante de un estudio ARP definida para reducir el riesgo de un posible escenario accidental

Comentarios: Cualquier aclaración a hacer a las recomendaciones o a aspectos surgidos durante las sesiones de asignación SIL.

4.2. SIGLAS

ARP: Análisis de Riesgos de Proceso
ASP: Administración de Seguridad de los Procesos
BPCS: Basic Process Control System (Sistema de control básico de procesos)
HAZOP: Hazard and Operability Analysis (Análisis de Peligros y Operabilidad)
IEC: International Electrotechnical Comisión
IPL: Independent Protection Layer (Capa de protección independiente)
LoC: Loss of Containment (Pérdida de contención o Fuga)
LOPA: Layers of Protection Analysis (Análisis de las capas de protección)
PFD: Process Flow Diagrams (Diagrama de flujo de proceso)
PFD: Probability of Failure on Demand (Probabilidad de fallo en demanda)
P&ID: Piping and instrumentation diagram/drawing
PSV: Process Safety Valve (Válvula de seguridad)
RAC: Risk Acceptance Criteria (Criterios de aceptabilidad de riesgo)
SIF: Safety Instrumented Function (Función instrumentada de seguridad)
SIL: Safety Integrity Level (Nivel de integridad de la seguridad)
SIS: Safety Instrumented System (Sistema instrumentado de seguridad)
SRS: Safety Requirement Specification (Especificación de los requerimientos de seguridad)
UFD: Utility Flow Diagrams (Diagramas de flujo de servicios)

5. RESPONSABILIDADES

5.1. GERENTES DE ÁREA / SECTORIAL O GERENTE DE PROYECTO

- En base a lo establecido en el **PG-1-DGSMS-86** Procedimiento general para la realización de estudios de riesgos, decidir cuándo se tiene que llevar a cabo el estudio LOPA.
- Designar el analista LOPA que debe realizar el estudio.
- Garantizar que las actividades bajo su control sean manejadas de acuerdo con este procedimiento

5.2. ANALISTA LOPA

- Aplicar el presente procedimiento.
- Plantear al Gerente de Área o Gerente de Proyecto la propuesta de SIF del proyecto, proceso o instalación a las que se debe aplicar el estudio LOPA.
- Acordar con el Gerente de Área o Gerente de Proyecto las hipótesis a emplear para el estudio LOPA.
- Asegurar que se realiza el registro de todos los hallazgos del estudio LOPA.

5.3. PERSONAL SST

- Asesorar acerca del uso de la metodología LOPA.

5.4. COMITÉ ASP

- Garantizar el desarrollo y mantenimiento del registro del estudio LOPA.
- Realizar seguimiento e implementación de las recomendaciones identificadas en el estudio LOPA.

Verificar mediante inspecciones el seguimiento de las recomendaciones establecidas en el estudio LOPA.

6. MEDIDAS DE SMS

No aplica

7. DESARROLLO

7.1. INTRODUCCIÓN

7.1.1. Introducción a la metodología LOPA

LOPA (Análisis de Capas de Protección) es una herramienta semi-cuantitativa para analizar y determinar riesgos de los escenarios de accidente.

El estudio LOPA se lleva a cabo después del estudio (cualitativo) de asignación SIL y consiste en un análisis detallado y cuantitativo del riesgo.

Este análisis incluye la preparación de árboles de fallos y/o eventos detallados y eventualmente un estudio de consecuencias. El valor de SIL de la SIF obtenido durante la asignación SIL quedará confirmado o por el contrario se modificará, al comparar el riesgo del “escenario protegido” con los criterios de referencia de aceptación de riesgo.

El análisis LOPA es una valoración más rigurosa del nivel SIL del escenario, con mayor profundidad y detalle que con las gráficas de riesgos. De este modo, se puede valorar más claramente la necesidad de medidas de seguridad adicionales y sus requisitos. No obstante, de igual manera que para los escenarios valorados con SIL 1, las medidas identificadas deben satisfacer los requisitos esenciales de las IPL. Véase **PG-1-DGSMS-81**- Asignación SIL a las Funciones Instrumentadas de Seguridad.

LOPA no es una herramienta adecuada para el análisis de escenarios en los que el evento iniciador es un fuego externo o una pérdida de contención.

7.1.2 Propósito de LOPA

La diferencia fundamental entre la asignación SIL mediante los gráficos de riesgos y el análisis LOPA es únicamente el grado de detalle. En el primer análisis, el grupo SIL tenía que decidir cualitativamente los parámetros de riesgo (consecuencias y probabilidad del evento), mientras que en LOPA el análisis es semi-cuantitativo, realizándose para ello cálculos de frecuencia y probabilidad.

El estudio LOPA parte de toda la información recabada sobre el escenario durante la asignación SIL, los parámetros de riesgo seleccionados por el grupo HAZOP / SIL, y las salvaguardas y medidas de reducción de riesgo presentes o propuestas.

El estudio LOPA considera las IPLs propuestas por el grupo de SIL (y si es necesario, recomienda otras), cuantifica los factores de reducción de riesgo de cada una de las capas de protección que se considere que satisfacen o pueden satisfacer los requisitos esenciales de las IPLs, y calcula la frecuencia del evento indeseado, para ver si se cumplen los criterios de aceptación del riesgo de YPF Refinación, S.A., incluidos en el **Anexo B** del presente procedimiento.

La característica práctica de LOPA es que simplifica la valoración de los riesgos empleando órdenes de magnitud para las frecuencias del evento iniciador, los factores de reducción de riesgos de las IPLs (o créditos IPL) y la severidad de las consecuencias (que vendrán determinadas por el grupo HAZOP / SIL).

7.2. PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LOPA

La planificación del estudio LOPA (definición del alcance, calendario, nivel de competencia del equipo de trabajo, asignación de responsable, documentación, etc.) es parte de la planificación del ciclo de vida del SIS.

7.2.1. Alcance

El alcance del estudio LOPA será el conjunto de Funciones Instrumentadas de Seguridad SIF con SIL ≥ 2 obtenidas durante el estudio de asignación de SIL, así como cualquier otra SIF, si se cree conveniente para lograr un cálculo más riguroso del nivel de integridad requerido.

7.2.2. Programación

La programación del estudio LOPA se realizará en conjunto con la del estudio de asignación SIL correspondiente. Normalmente, el estudio LOPA se lleva a cabo a continuación del estudio de asignación SIL pues para su realización se precisa la información y datos generados en el estudio de asignación SIL.

Conviene dejar un periodo de tiempo entre la finalización del estudio de asignación SIL y el inicio del estudio LOPA, al objeto de permitir la revisión del estudio de asignación SIL y, a partir de éste, elaborar las fichas LOPA (Registro RG-103-PG-1-DGSMS-80 FICHA DE ANÁLISIS LOPA) para llevar a cabo el análisis

7.2.3. Documentación e información requerida

Los siguientes documentos conformarán la información de partida para preparar el estudio, así como para llevar a cabo el desarrollo del mismo:

- Procedimiento para la realización de Estudios LOPA
- Diagramas de flujo de procesos (PFD) y diagramas de flujo de servicios (UFD)
- Diagramas de tuberías e instrumentación (P&IDs)
- Descripción del proceso y sus distintos modos de operación (puesta en marcha, operación normal y parada)
- Fichas de datos de seguridad de las sustancias
- Descripción del sistema de control.
- Informe del análisis de peligros y riesgos del proceso ARP (HAZOP, WHAT IF, HAZID)
- Informe de asignación SIL.
- Información del VENDOR sobre los escenarios a analizar
- APR, Estudio de Alcance de Consecuencias y/o Análisis Cuantitativo de Riesgo (ACR) si están disponibles.
- Estudio de impacto ambiental si está disponible
- Plano de implantación de la planta
- Reglas y supuestos que se vayan a emplear en el estudio SIL tales como:
 - Políticas de venteo y descargas a la antorcha,
 - Plantilla y ubicación del personal de operación y mantenimiento,
 - Etc.
- Descripción del sistema de enclavamientos
- Matriz causa / efecto
- Información sobre accidentes previos
- Información sobre tasas de fallos de equipos y de intervención humana

7.2.4. Preparación

A diferencia de otros estudios de identificación de peligros y análisis de riesgos, el estudio LOPA no se realiza en equipo, sino que lo elabora un analista LOPA, que normalmente es el facilitador del estudio de asignación SIL u otro experto en la metodología y en el proceso objeto de análisis, quien lleva a

cabo el estudio individualmente o con ayuda de otras personas según sea necesario, y envía los resultados y explicaciones pertinentes al resto del equipo de asignación SIL.

Antes de finalizar la última sesión de asignación SIL, si se ha obtenido alguna Función Instrumentada de Seguridad con $SIL \geq 2$, el facilitador SIL expone al resto del grupo de SIL la relación de SIF que van a requerir un estudio LOPA e indica, de modo resumido, aquellos eventos iniciadores, condicionantes o modificadores que intervendrán en los cálculos, al objeto de acordar los valores de frecuencia y probabilidad a emplear, teniendo en cuenta la experiencia del grupo SIL. Dichos valores pueden ser decididos en la misma sesión o en días posteriores. Así mismo, es posible emplear datos de fuentes bibliográficas de reconocida solvencia en el sector de petróleo y gas. Véase el **Anexo A**.

Con dichos datos y la documentación citada en la sección anterior, ya se puede proceder a la elaboración del estudio LOPA.

7.3. METODOLOGÍA LOPA

7.3.1. Descripción y conceptos generales

El estudio LOPA incluye:

- Los eventos que tienen que ocurrir para que se produzca el evento no deseado (fallo de instrumento o equipo, error humano, pérdida de contención, daños internos en un equipo, etc.), las posibles consecuencias e impactos finales (daños a las personas, el medio ambiente y/o económicos) y las distintas capas de protección que permiten prevenir el escenario o mitigar sus consecuencias;
- El cálculo de la probabilidad de ocurrencia de todas las posibles consecuencias finales mediante árboles de fallos y de eventos o mediante un árbol de eventos "tipo LOPA". Para ese efecto, se utilizarán datos de YPFBR o de bases de datos de fallos publicados y procedentes de la industria del petróleo y gas (Véase **Anexo A**);
- La evaluación de la severidad de las consecuencias mediante estimación o cálculos del alcance de las consecuencias y de sus impactos finales para todas las posibles consecuencias;
- En base a lo anterior, una evaluación del riesgo del escenario.

Comparando el riesgo del escenario con el criterio de aceptación del riesgo de YPFBR (Véase **Anexo B**), se puede valorar más claramente la necesidad de medidas de seguridad adicionales y sus requerimientos de integridad para la seguridad.

7.3.2. Selección de escenarios para estudio LOPA

Un escenario en LOPA consiste en una cadena causa - efecto, y habrá sido identificada durante el estudio de asignación SIL mediante los gráficos de riesgo.

Para cada una de las Funciones Instrumentadas de Seguridad seleccionadas se elabora una ficha de análisis LOPA como la incluida en el RG-103-PG-1-DGSMS-80 FICHA DE ANÁLISIS LOPA, tomando los datos de las correspondientes Fichas de Asignación SIL mediante gráficos de riesgo y completando los datos necesarios del estudio ARP (HAZID, HAZOP, WHAT IF).

Para poder visualizar completamente el escenario y todas las capas de protección independientes IPLs que pueden ser consideradas, es necesario que el analista LOPA elabore previamente árboles de fallos y eventos.

Cada combinación causa-consecuencia contiene eventos, IPLs y posibles modificadores condicionales. El primer evento en un escenario LOPA es el evento iniciador (por ejemplo, sobrepresión, error del operador, nivel alto). El evento final es la consecuencia final de toda la cadena de eventos. A veces se requieren unas condiciones o unos eventos condicionantes; por ejemplo, una campaña particular de la producción que ocurrirá solamente durante un periodo de tiempo determinado, o una puesta en marcha.

Para prevenir que ocurra un escenario se requiere, como mínimo, una IPL, y para que se den los eventos finales, todas las IPLs deben fallar. Las consecuencias pueden depender de varias condiciones (expresadas como modificadores condicionales), por ejemplo, la presencia de personal o la presencia de una fuente de ignición después de que haya ocurrido una pérdida de contención (LoC) (por ejemplo, un derrame de líquido inflamable).

Para iniciar LOPA, hay que determinar la frecuencia de ocurrencia del evento iniciador (1/año). Los eventos condicionantes y los modificadores condicionales se cuantificarán probabilísticamente dependiendo de su naturaleza. Por su parte, se le asignará una probabilidad de fallo en demanda (PFD) a cada IPL, tal y como se ha comentado.

Análogamente a las consideraciones para la selección de escenarios para los gráficos de riesgos de la asignación SIL, el analista LOPA deberá considerar:

- la causa más general inmediatamente anterior al accidente (como, por ejemplo, fallo de suministro eléctrico en vez de fallo de un fusible del transformador).
- todas las consecuencias que impliquen impacto sobre el personal, el medioambiente o sobre los bienes y producción.

7.3.3. Eventos iniciadores y eventos condicionantes

El análisis del árbol de eventos LOPA requerirá información adicional a la obtenida durante el paso de identificación de IPL y asignación de SIL.

Dependiendo de la cantidad de información disponible para un determinado escenario se determinará cual debe considerarse el punto de partida o evento iniciador de una cadena causa-consecuencia.

Para la aplicación de la metodología LOPA se puede tomar como evento iniciador el primer evento que permita la determinación de la frecuencia, moviéndose hacia atrás en el árbol de eventos, desde la consecuencia hacia el evento iniciador. No obstante, la identificación de los eventos subyacentes puede ser útil para determinar otros escenarios.

Por ejemplo, "fallo de refrigeración" puede ser el resultado de un fallo de la bomba, un corte del suministro de energía o un fallo en el lazo de control. Si puede determinarse directamente la probabilidad del evento "fallo de refrigeración" no es necesario cuantificar los eventos subyacentes. Ejemplos de eventos iniciadores: fallo de refrigeración, error adicionando el producto químico equivocado, cierre involuntario de una válvula....

La determinación de la frecuencia de los eventos iniciadores y de los créditos de las IPLs se puede basar en datos de YPFBR o de la industria recogida en publicaciones de reconocido prestigio en el sector del petróleo y gas, así como en la experiencia de YPFB Refinación, S.A. o en datos de los fabricantes. Véase **Anexo A**

La misión de las IPLs es proteger de un escenario. Sin embargo, en algunos casos, una IPL puede ser precisamente la causa del escenario. Por ello, los datos de frecuencias de fallo de estas IPLs se emplearán en estos casos como frecuencias del evento iniciador.

Normalmente, las probabilidades de los eventos condicionantes y de los modificadores condicionales, dependen de cada proceso, y por lo tanto, son tratadas caso por caso. Para algunos eventos (por ejemplo, probabilidad de ignición) puede encontrarse una guía en el **Anexo A**. Un ejemplo de evento condicionante es la probabilidad de que el proceso se encuentre a una determinada temperatura y ejemplo de modificador condicional es la probabilidad de presencia de una fuente de ignición o la probabilidad de presencia de personal.

Cuando una unidad o planta no está servicio todo el año se emplea el factor de uso, que se define como la fracción de tiempo en que el proceso se encuentra en operación o que el peligro analizado está presente en el sistema.

Todas las hipótesis consideradas en la elaboración del estudio LOPA, así como las frecuencias de los eventos iniciadores y las probabilidades de los eventos condicionantes, modificadores condicionales y, factores de uso se justificarán de forma detallada en el informe final.

La frecuencia del escenario sin mitigación es el resultado del producto de la frecuencia del evento iniciador por las probabilidades de los eventos condicionantes y/o los modificadores condicionales.

El **Anexo A** recoge algunos valores típicos de frecuencia de eventos iniciadores y de probabilidad de fallo para capas de protección que proceden de bases de datos genéricos. Se recomienda que el análisis LOPA se realice en base a estos valores. No obstante, se deberán revisar teniendo en cuenta la situación particular de cada planta. La selección de otros valores de créditos IPL que los indicados en el **Anexo A** deberá justificarse debidamente (p.ej. uso de datos de fallo de planta, etc.).

7.3.4. IPL Capas de protección independientes

Para prevenir que ocurra un escenario se requiere, como mínimo, una IPL, y para que se den los eventos finales, todas las IPLs deben fallar. Después de calcular la frecuencia del escenario sin mitigación, debe evaluarse la reducción del riesgo que aportan las capas de protección independientes que protegen el escenario.

A partir de la información de las correspondientes fichas de asignación SIL, se incluyen en la ficha de análisis LOPA (RG-103-PG-1-DGSMS-80) la probabilidad de fallo en demanda PFD de cada una de las IPL.

Si el analista LOPA opina que alguna de las IPLs consideradas como efectivas durante la asignación SIL no cumple los requerimientos esenciales de las IPLs, detallará los argumentos en la ficha de análisis LOPA.

7.3.5. Cálculo de frecuencia y probabilidad

Para cada escenario se debe calcular el número de ocurrencias por año (la frecuencia del escenario). El punto de partida es la frecuencia (f_{ie}) del evento iniciador que se multiplica por la probabilidad de los eventos condicionantes (p_{ee}) que sean relevantes y multiplicados por las PFD de las n IPL (p_{IPLn}) instaladas. Si además, existen modificadores condicionales deben tenerse en cuenta las probabilidades (p_{cm}) de estos eventos también.

Por lo tanto, la frecuencia del escenario (f_s) es el resultado del producto de la frecuencia del evento iniciador por la probabilidad de los eventos condicionantes y los modificadores condicionales y por la PFD de las IPL que protegen el escenario:

$$f_s = f_{ie} \cdot p_{ee} \cdot p_{cm} \cdot p_{IPL1} \cdot \dots \cdot p_{IPLn}$$

7.3.6. Evaluación de las consecuencias

Las consecuencias del escenario pueden ser muy diversas en tipo y severidad. Las consecuencias de un escenario se determinan por sus características (tóxico, inflamable), cantidad y condiciones (temperatura, presión) del producto, etc. Estos efectos pueden causar a su vez "efectos domino" o concatenación.

En general, se pueden distinguir los siguientes efectos físicos como resultado de una pérdida de contención (LoC):

- Dardo de fuego (*jet fire*), incendio de charco (*pool fire*), bola de fuego (*fire ball*).
- Llamorada (*flash fire*) o explosión de nube de vapor (VCE).
- Explosión de polvo.
- Nube tóxica.
- BLEVE.
- Proyección de fragmentos.

La valoración de las consecuencias realizada durante la asignación SIL a partir de los gráficos de riesgo (parámetros C, E y A) será la misma que se empleará en el estudio LOPA.

No obstante, si el analista LOPA lo cree conveniente, podrá realizar cálculos de efectos y consecuencias (caudal de fuga, evaporación, dispersión, sobrepresión, etc.), fundamentalmente para confirmar (o descartar) que las consecuencias establecidas por el grupo SIL son correctas.

❖ **Determinación de la probabilidad de Muerte**

Al igual que ALTRAN se plantea asociar la probabilidad de muerte a la consecuencia de un incendio o explosión, es decir siempre que un evento conlleve la presencia de incendio y/o explosión se deberá utilizar el siguiente método para el cálculo de la consecuencia de las explosiones.

MODELO BAKER-STREHLOW-TANG

Toma en cuenta tres aspectos para el cálculo de la consecuencia de las explosiones:

- Reactividad del combustibles (alta, media o baja basada en velocidad fundamental de quemado)
- Densidad de los obstáculos o Congestion (alta, media o baja).La presencia de obstáculos dentro de la nube inflamable genera turbulencia y acelera el frente de llama).
- Grado de Confinamiento(categorizado 1D, 2D, or 3D) presencia de superficies que evitan la propagación en una o más de las 3 direcciones

➤ **Reactividad del combustible**

Alta	Medio	Baja
Vel. Fundamental de Quemado > 75 cm/s	Vel. Fundamental de Quemado 45-75 cm/s	Vel. Fundamental de Quemado < 45 cm/s
Acetileno, vinil acetileno, metil acetileno, etileno, oxidoetileno, oxido propileno, hidrogeno (interior), hidrogeno criogénico, CS ₂ , propene, propadieno and mezcla HC más de 33% hydrogen (base molar)	Los químicos que no estan listado como alta o Baja. La mayoría de los hidrocarburos son de reactividad media.	Metano, amoniaco, algunos hidrocarburos clorinados Polvos Clase I

➤ **Densidad de obstáculos- Congestión**



Bajo–Solo 1-2 capas de obstáculos. Se puede caminar fácilmente por el área sin impedimento



Medio–2-4 capas de obstáculos. Uno puede caminar a través de un área, pero es complicado hacerlo. Común para la mayoría de las instalaciones.



Alto–Muchas capas repetitivas de obstáculos. Muy difícil caminar por el área.

➤ **Grado de confinamiento**



3D—El frente de llama está libre de expandirse en forma esférica en todas direcciones.	2D—El frente de llama está libre de expandirse en solo 2 direcciones espacio debajo de plataformas, entre dos recipientes próximos, o entre dos autos estacionados muy próximos	1D- El frente de llama está libre para expandirse en una sola dirección. Dentro de un túnel o cañería.
--	---	--

Matriz de riesgo de explosiones

Se asume el aspecto más crítico entre la Reactividad densidad y confinamiento para determinar la consecuencia de acuerdo a la siguiente matriz:

Consecuencia explosiones	Reactividad	Densidad	Confinamiento
Alta	< 45 m/s	Muchas capas	1D
Media	45-75 m/s	2-4 capas	2D
Baja	>75 m/s	1-2 capas	3D

La probabilidad de muerte en caso de explosiones se determina para YPFB refinación de acuerdo los valores de la siguiente tabla: **(El valor de estas probabilidades se debe evaluar y coordinar por grupo multidisciplinario de YPFB refinación)**

Consecuencia explosiones	Probabilidad de muerte
Alta	0,95
Media	0,75
Baja	0,65

En caso de que el evento conlleve la presencia de incendio la Probabilidad de muerte Será de 0.75 **(Valor considerado por ALTRAN para la asignación SIL realizada en RCBA)**, esto ya que se considerando que los incendios llevan a una explosión, sin embargo, en este caso la persona tiene la oportunidad de escapar.

❖ Determinación de la Probabilidad de presencia del personal en el área

En función a lo determinado en el desarrollo de la asignación SIL por grafo se determinan las siguientes probabilidades para el parámetro de presencia del personal: **(El valor de estas probabilidades se debe evaluar y coordinar por grupo multidisciplinario de YPFB refinación)**

F Probabilidad de presencia de personas	
F1 Exposición en la zona peligrosa de rara a ocasional (Parámetro por defecto).	0,1 (valor considerado para la asignación SIL de RCBA realizada por ALTRAN)
F2 Exposición frecuente o permanente en la zona peligrosa.	0,2

7.3.7. Criterios de aceptación del riesgo

Los criterios de aceptación del riesgo son las normas adoptadas para evaluar la idoneidad del riesgo referente a la protección del público, el personal de YPFBR (incluyendo a los contratistas), el medio ambiente y los bienes de la compañía.

Una vez se ha calculado la frecuencia del escenario y determinado las consecuencias del mismo, el analista de LOPA deberá determinar si el riesgo del escenario con capas de protección (IPLs) cumple con los criterios de aceptación del riesgo de YPFBR Refinación, S.A. o si es necesario mejorar la fiabilidad de las IPLs existentes, o bien implementar IPLs adicionales.

Los criterios de aceptación del riesgo de YPFBR se incluyen en el **Anexo B** del presente procedimiento. Los escenarios cuya frecuencia sea inferior a la frecuencia objetivo (zona verde) cumplen con los criterios de YPFBR Refinación, S.A. y, por lo tanto, para estos escenarios no son necesarias medidas adicionales.

Los escenarios cuya frecuencia sea superior a la frecuencia objetivo (zona roja) no cumplen con los criterios de YPFBR Refinación, S.A., y por lo tanto, para estos escenarios será necesario mejorar la fiabilidad de las IPLs existentes o implementar IPLs adicionales.

También es posible hacer que un escenario sea aceptable reduciendo la frecuencia del evento iniciador o reduciendo la probabilidad de los condicionantes o de los modificadores condicionales.

Cuando después de realizar un estudio LOPA al escenario, se requiera la implantación de una SIF con $SIL \leq 2$, el nivel de detalle del análisis justifica que no son necesarios estudios más detallados, a menos que el analista LOPA o el experto en seguridad responsable considere lo contrario,

Cuando los requerimientos de una SIF sean $SIL \geq 3$, se debe realizar un análisis cuantitativo de riesgo debido a que es necesario verificar que se requiere una SIF con ese nivel de SIL.

Cuando se obtengan valores de SIL de 4 o "h", se requiere rediseñar el proceso debido a que no se puede asignar un factor de reducción de riesgo de 4 órdenes de magnitud a un SIS. En este caso, es preciso realizar un análisis cuantitativo de riesgo para la confirmación del SIL.

7.4. INFORME FINAL

Los resultados del estudio semi-cuantitativo del riesgo LOPA deberán recogerse formalmente en un informe. Este informe contendrá como mínimo la siguiente información:

- Descripción de la metodología
- Descripción del criterio de referencia de riesgo
- Referencias a la documentación de soporte, incluyendo la revisión (Ver **Sección 7.2.3**)
- Sumario de datos de frecuencias y otros supuestos
- Lista de SIF estudiados con su SIL asignado
- Lista de recomendaciones
- Para cada escenario objeto del estudio (registro RG-103-PG-1-DGSMS-80):
 - Detalle de los cálculos de frecuencia
 - Detalle de los cálculos de alcance de consecuencias e impactos finales (sobre personal, medio ambiente e instalaciones)
 - Evaluación del riesgo del escenario, comparación con el criterio de referencia y asignación de SIL a la SIF

La ficha de asignación de SIL de cada SIF objeto del estudio se deberá actualizar conforme con los resultados obtenidos en el estudio LOPA ya que llegará a formar parte de la especificación de requisitos de seguridad SRS.

Además, se deberá generar una ficha de seguimiento para cada recomendación, del mismo modo que se hace a continuación de un estudio ARP o de asignación SIL conforme al registro

RG-136-PG-1-DGSMS-86 (Ver **PG-1-DGSMS-86** Procedimiento general para la realización de estudios de riesgo). Se deberá realizar un seguimiento de las recomendaciones hasta su resolución.

Todas las hipótesis empleadas para cada escenario durante el análisis LOPA deberán quedar perfectamente documentadas en las fichas y/o el informe final.

ANEXOS

NRO	ANEXO	TITULO DEL ANEXO
1	ANEXO A	ANEXO A FRECUENCIA DE EVENTOS INICIADORES Y PROBABILIDAD DE EVENTOS CONDICIONANTES.DOCX
2	ANEXO B	ANEXO B CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL RIESGO.DOCX

REGISTROS

NRO	REGISTRO	TITULO DEL REGISTRO
1	RG-103 A PG-1-DGSMS-80	FICHA DE ANÁLISIS LOPA

REGISTROS COMPLEMENTARIOS

No Aplica.

SUMARIO DE REVISIONES

REVISION	FECHA	DESCRIPCION
A	06/12/2021	Emisión original
B	12/10/2022	Se actualizó el Procedimiento con las siglas de DGSMS, los procedimientos integrados de PG-1-DGSMS-86-B PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS DE RIESGO y la enumeración de los Registros

LISTA DE DISTRIBUCION

DAL/PTO, DAL/SAL, DGSMS/MARSE, DGSMS/SSTLO, DGSMS/SSTSC, DTH/COBE, DTH/GETH, DTI/DES, DTI/INFRA, GAF/CONT, GAF/PRTE, GCO/COBI, GCO/COSE, GCO/GPYA, GDV/LUPE, GDV/OPDI, GDV/SERV, GDV/VENT, GGL, GGL/CEM, GGL/DAI, GGL/DAL, GGL/DGSMS, GGL/DTH, GGL/DTI, GGL/GAF, GGL/GCO, GGL/GDV, GGL/GPL, GGL/USP, GGL/UTR, GPL/DDN, GPL/PLES, GPL/PPRT, DGSMS/SSTCB, DTH/UTH, GAF/ADMC, GGL/GRCBA, GRCBA/CAR, GRCBA/INSP, GRCBA/LAB, GRCBA/LUB, GRCBA/LUB/LUT, GRCBA/SET, ING, MAN, MAN/MEC, MAN/MEI, GGL/GRSCZ, GRSCZ/CAR, GRSCZ/ING, GRSCZ/MAN, GRSCZ/MAN/MEC, GRSCZ/MAN/MEI, GRSCZ/SET, INSP, LAB

FECHA DE ANALISIS CRITICO

La próxima fecha de análisis crítico es **27/09/2024**