

## ANEXO C

### SELECCIÓN DEL MÉTODOPARA DETERMINAR EL NIVEL DE INTEGRIDAD DE SEGURIDAD (SIL)

#### 1. LOPA

El análisis de capas de protección es una de las mejores técnicas tanto para el análisis de capas de protección como para determinación del SIL. La técnica LOPA es un método que se puede aplicar a una planta por un equipo multidisciplinario para determinar una función instrumentada de seguridad SIL. El equipo debe consistir en:

- Una persona del equipo, que debe ser capacitado en la metodología LOPA.
- Operador con experiencia en el funcionamiento del proceso en cuestión;
- Ingeniero con experiencia en el proceso;
- Jefe de producción;
- Ingeniero de control de proceso;
- Operador de mantenimiento eléctrico con experiencia en el proceso específico;
- Especialista en análisis de riesgo.

El método comienza con la información necesaria para el LOPA, que está contenida en los datos recogidos y desarrollados en el análisis de peligros y operabilidad (HAZOP). Luego analiza los riesgos para determinar si el SIF es necesario y si es así, la seguridad requerida del nivel de integridad (SIL) de cada una de las SIF's.

La Tabla 1 muestra la relación entre los datos necesarios para la capa de Análisis de Protección (LOPA) y los datos desarrollados durante el estudio HAZOP, y la Tabla 2 muestra una hoja de cálculo típico que se puede utilizar para el LOPA.

<b>Información requerida por LOPA</b>	<b>Información desarrollada de HAZOP</b>
Evento de impacto	Consecuencia
Nivel de gravedad	Gravedad de consecuencia
Causa de iniciación	Causa
Probabilidad de iniciación	Frecuencia de Causa
Capas de protección	Salvuardas existentes
Mitigación adicional requerida	Nuevas salvuardas recomendadas

Tabla 1. Datos desarrollados de HAZOP para LOPA

Ref	1	2	3	4	5			6	7	8	9	10	11
#	Initial Event Description	Severity Level	Initiating Cause	Cause Likelihood	Protection Layers			Additional Mitigation Restricted acces	IPL additional Mitigation Dikes Pressure relief	Intermediate Event likelihood	SIF IL & PFD	Mitigated Event likelihood	Notes
					Process Design	BPCS	ALARMS etc						
1	Fire from Distillation Column Rupture	S	Loss of Cooling Water	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	PRV 01	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-9</sup>	High Pressure Causes Column Rupture
2	Fire from Distillation Column rupture	S	Steam Control loop failure	0.1	0.1		0.1	0.1	PRV 01	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-8</sup>	Sames as above
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2. Ejemplo de Reporte de análisis de capas de protección LOPA

### 1) EVENTO / IMPACTO

Es el resultado último potencial resultado de un evento peligroso, bien sea expresado como número de heridas, fatalidades, daño a la comunidad, instalación o negocio. Esto es relacionado de forma cercana a una consecuencia indeseada.

### 2) NIVEL DE GRAVEDAD

Es el nivel que puede causar una situación indeseada en una zona; los niveles son seleccionados para el evento de impacto y se definen como:

- **Pequeño (M):** impacto limitado inicialmente a la zona del evento con el potencial para una mayor consecuencia, si no las acciones correctivas tomadas.
- **Serio (S):** evento de impacto podría causar lesiones graves o la muerte en el sitio o fuera.
- **Extenso (E):** en caso de que el impacto es de cinco o más veces grave que un incidente grave.

### 3) CAUSA INICIAL

Son las que pueden generar una desviación en el proceso; éstas pueden ser:

- **EVENTOS EXTERNOS:** factores fuera de control como huracanes, terremotos, etc.
- **FALLAS EN LOS EQUIPOS:** fallas en los sistemas de control, los equipos, bombas, válvulas, sensores, etc.
- **FALLAS HUMANAS:** errores en el desarrollo de ingeniería, especificación de equipos, fallas por omisiones, fallas en las pruebas de los sistemas, fallas de operaciones, procedimientos de emergencia, etc.

### 4) PROBABILIDAD DE INICIO

Valores de probabilidad de las causas iniciales ocurriendo en eventos por año. La Tabla 3 muestra un ejemplo típico de probabilidad de inicio. La experiencia del equipo de trabajo es muy importante en la determinación de las probabilidades.

GRADO	CONSECUENCIA	FRECUENCIA
Bajo	Un fallo o una serie de fracasos con una probabilidad de ocurrencia muy baja en el tiempo de vida esperado de la planta. EJEMPLOS: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tres o más instrumentos simultáneos, o fallas humanas.</li> <li>• No espontánea de tanques aislados o los recipientes de proceso.</li> </ul>	$f < 10^{-4}/\text{año}$
Medio	Un fallo o una serie de fracasos con una baja probabilidad de ocurrencia en la vida útil de la planta. EJEMPLOS: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los fallos de doble instrumento o de la válvula.</li> <li>• La combinación de error es de operación y los errores del operador.</li> <li>• Los fallos individuales de pequeñas líneas de proceso y las piezas</li> </ul>	$10^{-4} < f < 10^{-2}/\text{año}$
Alto	Una falla puede razonablemente esperar que se produzcan dentro de la vida útil de la planta. EJEMPLOS: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las fugas del proceso</li> <li>• Instrumento único o fallos de las válvulas.</li> <li>• Los errores humanos que podrían resultar en la liberación de materiales.</li> </ul>	$10^{-2}/\text{año} < f$

**Tabla 3. Ejemplo de probabilidades de Inicio**

La probabilidad de causa inicial se puede determinar teniendo en cuenta la probabilidad de falla de los equipos relacionados, dada por el fabricante o de datos estándares como lo muestra las siguientes tablas:

Causa	Falla (eventos/año)
BPCS falla en lazo de control	$1 \times 10^{-1}$
Falla en regulador	$1 \times 10^{-1}$
Falla en un equipo fijo (ej. tubos de intercambiadores)	$1 \times 10^{-2}$
Bombas y equipos rotativos	$1 \times 10^{-1}$
Falla de Enfriadores	$1 \times 10^{-1}$
Pérdida de energía	$1 \times 10^{-1}$
Apertura errónea de una PSV	$1 \times 10^{-2}$
Falla en los sellos de bombas	$1 \times 10^{-1}$

**Tabla 4. Frecuencias de causas iniciadoras de evento**

Condición	Error
Operador bien entrenado con stress	1/año
Operador bien entrenado sin stress	$1 \times 10^{-1}/\text{año}$
Operador bien entrenado sin stress y con verificación de otro operador	$1 \times 10^{-2}/\text{año}$

**Tabla 5. Frecuencias de error humano para acciones tomadas por lo menos una vez al mes**

Medidas para reducción de riesgo	PFD	Comentarios
Diques	$1 \times 10^{-2}$	Reduce la frecuencia de consecuencias graves (derrame extendido)
Sistema de drenajes subterráneos	$1 \times 10^{-2}$	Reduce la frecuencia de consecuencias graves (derrame extendido)
Venteo abierto sin válvulas	$1 \times 10^{-2}$	Reduce la frecuencia de ocurrencia por sobrepresiones.
Contra incendio	$1 \times 10^{-2}$	Reduce la rata de transferencia de calor y provee tiempo adicional para despresurizar.
Bunker / Blast wall	$1 \times 10^{-3}$	Reduce la frecuencia de ocurrencia del evento fatal por confinamiento de la explosión.
Flame arrestor	$1 \times 10^{-2}$	Si está apropiadamente diseñado y mantenido elimina potencial formación de explosión.

**Tabla 6. PFD de sistemas pasivos**

Equipo	PFD	Comentarios
Válvula de Alivio	$1 \times 10^{-2}$	Servicio limpio y la PRV deberá estar dimensionada para mitigar completamente el escenario.
Válvula de Alivio	$1 \times 10^{-3}$	Varias PRV's a carga completa están disponibles para mitigar el escenario.
Válvula de Alivio	$1 \times 10^{-2}$	Varias PRV's a carga parcial están dimensionadas de tal manera que una PRV deberá fallar para que el escenario ocurra.
Válvula de Alivio	$1 \times 10^{-1}$	Varias PRV's a carga parcial están disponibles, pero más de una es necesaria para mitigar toda la carga.
Válvula de Alivio	1	Servicio sin protección
Válvula de Alivio	$1 \times 10^{-2}$	Servicio con protección basado en PRV's especiales ó discos de ruptura.
Disco de ruptura	$1 \times 10^{-2}$	Deberá estar diseñado para mitigar todo el escenario.

**Tabla 7 PFD para elementos mecánicos Activos**

Equipo	PFD	Comentarios
Basic process control system (BPCS) lazo de control	$1 \times 10^{-1}$	Se puede considerar una capa de protección independiente si no está asociado al evento iniciador en consideración.
Funciones Instrumentadas de Seguridad (Diseñado según ISA84 / IEC61511)		
SIL 1 SIS	$1 \times 10^{-2}$ to $1 \times 10^{-1}$	Típicamente consiste de un solo sensor, con lógica simple y un elemento final simple.
SIL 2 SIS	$1 \times 10^{-3}$ to $1 \times 10^{-2}$	Típicamente consiste de múltiples sensores (tolerancia a fallas), con lógica compuesta (tolerancia a fallas) y múltiples elementos finales
SIL 3 SIS	$1 \times 10^{-4}$ to $1 \times 10^{-3}$	Típicamente consiste de múltiples sensores (tolerancia a fallas), con lógica compuesta (tolerancia a fallas) y múltiples elementos finales Requiere constantemente supervisión de la lógica y comprobación.

**Tabla 8. PFD para protección con instrumentación activa**

## 5) Capas de protección

Cada capa de protección en un determinado momento podrá intervenir cuando el impacto/evento ocurre y se basa en su PFDavg (probabilidad media de fallo en demanda) para reivindicar impactos. En la Tabla 9 están los valores correspondientes a cada capa.

CAPAS DE PROTECCIÓN	PFD
Lazo de control	$1.0 \times 10^{-1}$
Rendimiento humano (entrenados, no estresados)	$1.0 \times 10^{-2}$ a $1.0 \times 10^{-4}$
Rendimiento humano (bajo estrés)	0.5 a 1.0
Respuesta del operador a alarmas	$1.0 \times 10^{-1}$
Recipiente a presión por encima del máximo desafío de las fuentes de presión interna y externa	$10^{-4}$ mejor, si la integridad del recipiente se mantiene (es decir, la corrosión, las inspecciones y el mantenimiento se llevan a cabo en la fechas previstas)

Tabla 9. Valores PFD de capas de protección

Capas de mitigación son normalmente mecánicas, estructurales algunos ejemplos serían:

- Diques
- Acceso restringido.

Las capas de mitigación pueden reducir la severidad del evento de impacto, pero no evitar que ocurran. Algunos ejemplos serían:

- Sistemas detectores de fuego.
- Las alarmas de humo, y
- Los procedimientos de evacuación.

## CAPAS DE PROTECCIÓN INDEPENDIENTES (IPL)

Los criterios para calificar una capa de protección (PL) como una IPL son los siguientes:

- La protección prevista reduce el riesgo identificado por una gran cantidad, es decir, un mínimo de una reducción de 100 veces.
- La función de protección cuenta con un alto grado de disponibilidad (0,9 o mayor).
- El sistema de control básico del proceso NO se puede considerar como capa independiente de protección al igual que

- Tiene las siguientes características importantes:
  - a) **Especificidad:** el IPL es el único objetivo de prevenir o mitigar las consecuencias de un evento potencialmente peligroso (por ejemplo, una reacción fuera de control, la liberación de materiales tóxicos, la pérdida de contención, o un incendio). Múltiples causas pueden dar lugar al mismo evento peligroso, y, por tanto, múltiples escenarios de eventos pueden iniciar una acción de una IPL.
  - b) **Independencia:** una IPL es independiente de las capas de protección asociadas con el peligro identificado.
  - c) **Confiabilidad:** se puede contar con ellos para hacer lo que fue diseñado para hacer. Modos de fallas tanto aleatoria y sistemática se abordan en el diseño.
  - d) **Capacidad de verificación:** se ha diseñado para facilitar la validación periódica de las funciones de protección. Prueba de carga y mantenimiento del sistema de seguridad son necesarios.

Sólo las capas de protección que cumplen las condiciones de disponibilidad, la especificidad, la independencia, confiabilidad, audibilidad se clasifican como capas independientes de protección.

## 6) PROBABILIDAD DE EVENTOS INTERMEDIOS

La probabilidad de eventos intermedios se calcula multiplicando la probabilidad de inicio por el PFD de las capas de protección y las capas de mitigación. El número se calcula en unidades de eventos por año.

Si la probabilidad de evento intermedio es menor que sus criterios empresariales para eventos de este nivel de gravedad, las capas de protección (PL's) adicionales no son necesarias. La reducción del riesgo debe seguir, sin embargo, se aplica si es económicamente adecuado.

Si la probabilidad del evento intermedio es mayor que sus criterios empresariales para eventos de este nivel de gravedad, la mitigación adicional es requerida. Inherentemente los métodos y las soluciones más seguros deben ser considerados antes de capas adicionales de protección en forma de sistemas instrumentados de seguridad (SIS) son aplicados. Si los cambios de diseño inherentemente seguro se puede hacer, se actualiza y la probabilidad de evento intermedio vuelve a calcular para determinar si está por debajo de los criterios corporativos. Si los intentos anteriores para reducir la probabilidad intermedia están por debajo de los criterios de riesgo empresarial, un SIS es necesario.

## **7) PROBABILIDAD DE EVENTOS MITIGADA**

La probabilidad de eventos mitigados ahora se calcula multiplicando probabilidad de eventos intermedios y el nivel de integridad de la SIF. Esto continúa hasta que el equipo ha calculado una probabilidad de eventos mitigado por cada evento de impacto que puede ser identificado.

## **8) RIESGO TOTAL**

El último paso es sumar todas las probabilidades de eventos mitigados para los eventos de impactos graves y extensos que se presentan en el mismo riesgo. Por ejemplo, la probabilidad de eventos mitigados para todos los eventos graves y extensos que hacen que el fuego aumente y se utiliza en fórmulas como la siguiente:

- Riesgo de muerte debido a un incendio = (probabilidad de sucesos mitigados de toda la liberación de material inflamable) X (la probabilidad de ignición) X (la probabilidad de una persona en el área) x (probabilidad de lesión mortal en el fuego).

Eventos de impactos graves y extensos que podrían causar un escape tóxico que se añade y se utiliza en las fórmulas como la siguiente:

- Riesgo de muerte debido a la liberación de tóxicos = (probabilidad de eventos mitigado de todas las emisiones de sustancias tóxicas) X (Probabilidad de que una persona este en el área) x (probabilidad de lesión mortal en el comunicado).

La experiencia del especialista analista de riesgo y el conocimiento del equipo son importantes en el ajuste de los factores en las fórmulas a las condiciones y prácticas de trabajo de la comunidad vegetal y afectada.

El riesgo total de la corporación de este proceso se puede determinar mediante la suma de los resultados obtenidos de la aplicación de las fórmulas.

Si éste cumple o es inferior a los criterios corporativos para la población afectada, LOPA se ha completado. Sin embargo, dado que la población afectada puede estar sujeta a los riesgos de otras unidades ya existentes o nuevos proyectos, es aconsejable proporcionar una mitigación adicional y la reducción del riesgo si se puede lograr económicamente.

## **2. MATRIZ DE CAPAS DE SEGURIDAD**

Se trata de un método cualitativo; es una alternativa atractiva para la determinación del SIL, ya que no está en la necesidad de los datos reales cuantitativos sobre las tasas de riesgo de la demanda, la frecuencia de los riesgos y las consecuencias.

El procedimiento general para el método de matriz de la capa de seguridad es el siguiente:

1. Establecer la seguridad a nivel de proceso objetivo.
2. Identificar todos los eventos peligrosos relevantes.
3. Establecer los escenarios de eventos peligrosos y estimar la probabilidad de eventos peligrosos utilizando datos de la empresa y directrices específicas.
4. Establecer clasificación de gravedad de los eventos peligrosos utilizando las directrices específicas de la empresa.
5. Identificar las capas de protección existentes. La probabilidad estimada de eventos peligrosos debe reducirse por un factor de 10 por cada capa de protección.
6. Identificar la necesidad de una posible nueva SIS y capas de protección mediante la comparación del riesgo que permanezca en el nivel objetivo de seguridad.
7. Identificación del SIL.

Los requisitos SIL se determinan a partir de una matriz de la capa de seguridad, como se muestra en la Figura 1. La probabilidad de que el evento sea peligroso, la clasificación de la severidad de eventos peligrosos y el número de capas de protección son parámetros esenciales que junto con la matriz de la capa de seguridad son capaces de identificar los requisitos SIL.

Number of PL's	SIL level required								
	3							c)	<u>1</u>
2	c)	c)	1	c)	1	2	1	2	3 <sup>b)</sup>
1	c)	1	2	1	2	3 <sup>b)</sup>	3 <sup>b)</sup>	3 <sup>b)</sup>	3 <sup>a)</sup>
Hazardous event likelihood	L o w	M e d	H i g h	L o w	M e d	H i g h	L o w	M e d	H i g h
	Minor			Serious			Extensive		
	Hazardous event severity rating								

Figura 1. Ejemplo Matriz se Capas de seguridad

- a) Una función instrumentada de seguridad nivel 3 no proporciona la suficiente reducción del riesgo en este nivel de riesgo. Las modificaciones adicionales se requieren con el fin de reducir el riesgo (ver d).
- b) Una función instrumentada de seguridad nivel 3 no pueden proporcionar suficiente reducción del riesgo en este nivel de riesgo. Revisión adicional se requiere (ver d).
- c) La capa de protección SIS independiente probablemente no sea necesaria.
- d) Este enfoque no se considera apto para SIL 4.

Este método no es adecuado para un análisis detallado y es un enfoque un tanto simplista. Se trata de un enfoque conservador y probablemente garantiza la protección adecuada, pero podría llevar a soluciones relativamente caras. Otra desventaja es que sólo proporciona una clasificación SIL sin un valor PFD, y como tal no hay indicios de que está dentro de la banda SIL.

### 3. MATRIZ DE RIESGO

Es uno de los métodos más populares porque es muy simple de utilizar; éste utiliza la frecuencia, y la consecuencia para determinar cualitativamente el nivel SIL, fijando una categoría para cada relación existente en la matriz; esto lo podemos ver en la Figura 2.

		Consecuencia (Severidad)		
		Menor	Serio	Extenso
Fr e- cu en cia	Alta	SIL2	SIL3	SIL3
	Me- dia	SIL1	SIL2	SIL3
	Baja	NR	SIL1	SIL3

Figura 2. Ejemplo Matriz de Riesgo simple

Las consecuencias pueden ser expresadas en términos de pérdidas humanas, económicas, ambientales o de imagen a la empresa, y la frecuencia puede ser expresada en términos de la frecuencia en que se presenta el evento indeseable, alto, mediano o bajo (es definido por cada grupo de trabajo).

El problema con las matrices de riesgos es que la selección del SIL objetivo está basada en términos de una evaluación cualitativa; algunas empresas han calibrado sus matrices de acuerdo con su experiencia y tipo de aplicación y pueden proveer una guía rápida en la evaluación del nivel SIL objetivo; sin embargo, dejar a criterio de personas la selección del SIL objetivo podría no ser una buena idea ya que pueden perderse de vista factores externos o experiencias externas en procesos similares que puedan representar un potencial problema, ya que podría presentarse combinaciones de eventos no previstas por el analista; las matrices de frecuencia contra consecuencia son muy utilizadas en el análisis de peligros y operación (HAZOP), el cual es un método analítico cualitativo para la determinación de los peligros en los procesos; tal vez por esta razón se ha extendido el uso de matrices calibradas para la determinación de los niveles de SIL objetivo.

#### 4. GRÁFICA DE RIESGO

Este método es cualitativo basado en categorías, que son consecuencias, frecuencias de un evento peligroso, la probabilidad de que una persona se encuentre en el área afectada y la posibilidad de que ésta pueda evadir el peligro. Cada organización debe definir los límites / clasificaciones con mayor precisión.

Uno empieza en el extremo izquierdo de la gráfica 3. En primer lugar, ¿cuáles son las consecuencias **(C)** para las personas involucradas en el evento peligroso que se están considerando? ¿Qué pasa si hay cuatro muertes? ¿Qué puede ser considerado "varios muertos" o "muchas muertes"? Una vez más, cada organización se espera para definir los límites con mayor precisión.

A continuación, ¿cuál es la frecuencia y la exposición del personal a los eventos peligrosos en particular **(F)**? Tenga en cuenta que a pesar de que un proceso puede ser continuo, el personal sólo puede estar en el área particular 10 minutos de la jornada, por lo que su exposición no sería continua. También se debe considerar la dotación mayor que pueda ocurrir durante la acumulación de eventos peligrosos. Con frecuencia la exposición continua puede ser rara.

A continuación, se tiene en cuenta la posibilidad de evitar el accidente **(P)**. Existen múltiples factores que uno puede tener en cuenta. Por ejemplo, ¿cuál es el "tiempo de proceso de seguridad", que se define esencialmente como el tiempo necesario para que un evento peligroso se produzca si todo el control se perdió? ¿Es el tiempo pausado de reacción del proceso lo suficiente para que la gente tome acción o la dinámica del proceso es tan rápido que la intervención del operador no es posible? ¿Los operadores disponen de información local para saber lo que está pasando en el proceso (para que puedan tomar medidas correctivas)? ¿Está el personal debidamente capacitado para saber qué hacer cuando una situación anormal se presenta (por lo que pueden tratar de evitarlo)? ¿Son las vías de evacuación accesibles con el fin de evacuar la zona en caso de que el evento peligroso llegara a ocurrir? Las diferencias entre "algunas veces es posible" y "casi imposible" deberían definirse con mayor claridad por cada organización.

Finalmente, se tiene en cuenta la probabilidad por año de que el evento realmente ocurra (**W**), asumiendo que el sistema de seguridad no está, es decir, ¿cuál es la probabilidad real de que este evento en particular ocurra?

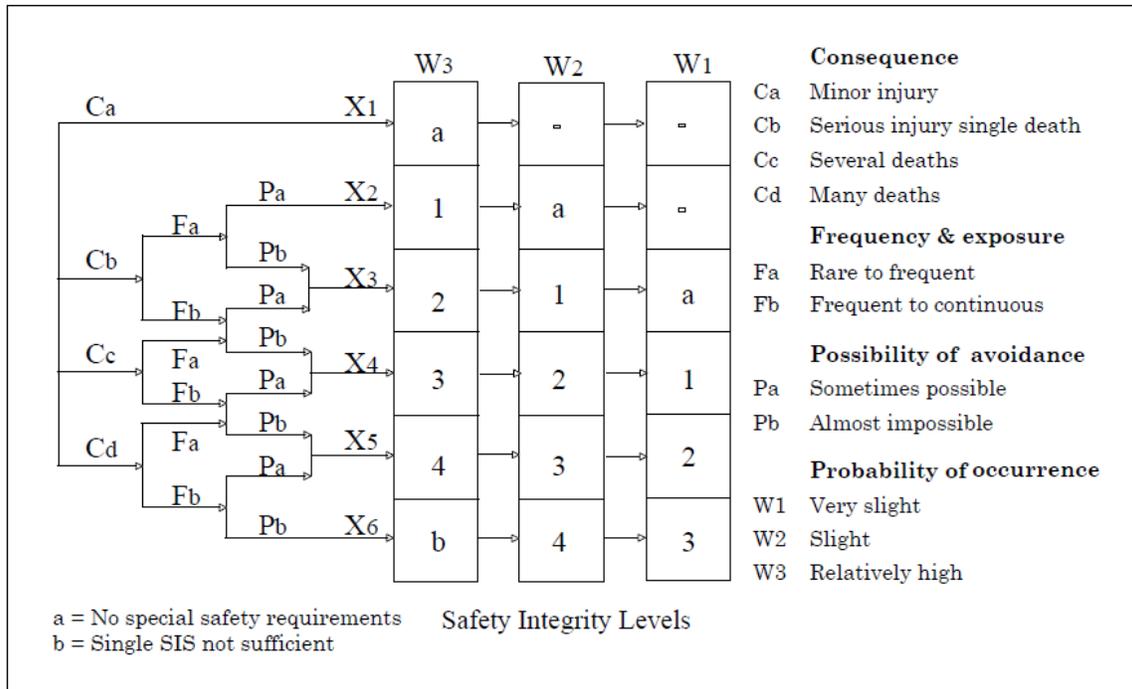


Figura 3. Grafica de Riesgo

## 5. GRÁFICA DE RIESGOS CALIBRADO

El método de gráfico de riesgo calibrado es un método semi-cuantitativo y utiliza los mismos parámetros utilizados en el gráfico de riesgos, pero asignando valores numéricos a los parámetros, permitiendo una determinación más precisa del SIL objetivo. La calibración depende de los valores que se tomen para el riesgo individual y social, así como los criterios corporativos de las empresas y regulaciones estatales de cada país.

Los valores de consecuencias pueden ser cualificados como el número de fatalidades, pero en muchas instancias una falla no causa una fatalidad inmediata, lo cual nos hace introducir un concepto de "Vulnerabilidad" (V), que es una función de la concentración de peligro y la duración a la exposición. Multiplicando la vulnerabilidad por el número de personas presentes en el área expuesta, la Tabla 10 muestra los valores para un gráfico de riesgos calibrado donde se muestran los valores de vulnerabilidad

PARÁMETROS DE RIESGO		CLASIFICACIÓN
<b>Consecuencias (C)</b> Número de fatalidades  Puede ser calculado como: Número de personas presentes en el área expuesta a un peligro es ocupada. Y la vulnerabilidad (V) dado el peligro identificado:  V = 0.01 Liberación pequeña cantidad de material tóxico o explosivo  V = 1 Liberación grande cantidad de material tóxico o explosivo  V = 0.5 Igual al anterior pero con alta probabilidad de ignición o afectación toxica  V = 1 Ruptura o explosión	Ca	Daño menor
	Cb	$0.01 < N^{\circ} \text{ de fatalidades} < 0.1$
	Cc	$0.1 < N^{\circ} \text{ de fatalidades} < 1.0$
	Cd	$N^{\circ} \text{ de fatalidades} > 1.0$
<b>Ocupación (F)</b> Porcentaje del tiempo que el área expuesta es ocupada durante un periodo de tiempo normal de trabajo	Fa	Ocupación $< 0.1$
	Fb	Frecuencia permanente a la exposición en la zona de peligro
<b>Posibilidad de evitar el peligro (P)</b>	Pa	El peligro puede ser prevenido por acciones que el operador realiza, después de que el Sistema de seguridad ha fallado.
	Pb	Si no hay acciones posibles porque está en un lugar lejano o porque el tiempo entre el operador y ser alertado que se produzca un evento peligroso sea superior a 1 hora.
<b>Relación de demandas W)</b>	W1	Relación demandas $< 0.1$ por año
	W2	$0.1D < \text{Relación demandas} < 10 D$ por año
	W3	Para relación de demandas $> 1D$

Tabla 10. Ejemplo para la creación de matriz de riesgo calibrado

Debemos tener en cuenta que la vulnerabilidad (V) y la posibilidad de evitar el peligro (P) son dos diferentes parámetros; V tiene que ver con la escala y P tiene que ver con la prevención del peligro por parte del operador.

El parámetro P tiene en cuenta:

- Operación del proceso [supervisado (operado por el personal entrenado o no entrenado) o no supervisada]
- Rapidez del desarrollo del evento peligroso (rápido, inmediato o lento).
- Facilidad de identificación del peligro: inmediatamente, detectado por medios técnicos o no detectado.
- Rutas de escape posibles: posible o imposible en ciertas circunstancias.

El parámetro F es generalmente una medición de porcentaje del tiempo que el personal puede estar expuesto en el área peligrosa y Fa deberá ser utilizada para valores menores de 0.1.

El factor de demanda W es el número de veces por año que ocurre el evento peligroso en ausencia de las funciones instrumentadas de seguridad SIF como se puede ver en la tabla 11. “D” es un factor de calibración que debe hacer que el resultado en el gráfico de riesgo se mantenga en niveles de riesgo tolerables.

TIPO DE EVENTO	FRECUENCIA (veces/años)	PROBABILIDAD DE FRECUENCIA
Eventos de muy baja probabilidad de ocurrencia, tales como fallas múltiples de instrumentos, errores humanos múltiples o fallas espontáneas de equipos.	$F \leq 10^{-4}$	W1 Muy baja.
Eventos de baja probabilidad de ocurrencia, incluyen la combinación de fallas de instrumentos con fallas humanas.	$10^{-4} < F \leq 10^{-2}$	W2 Media.
Eventos de probabilidad alta, se presenta en válvulas o de instrumentación.	$F > 10^{-2}$	W3 Alta.

Tabla 11. Frecuencia de ocurrencia de tipos de eventos

## BIBLIOGRAFIA

- [1]. ANSI/ISA-84.00.01-2004. "Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector - Part 3: Guidance for the Determination of the Required Safety Integrity Levels – Informative. Disponible en [www.isa.org](http://www.isa.org). [Acceso en Noviembre 15, 2010].
- [2]. GM International Technology for Safety. "Manual SIL - Safety Instrumented Systems". [Acceso 22 de Febrero de 2012].
- [3]. Gruhn Paul. "Safety instrumented systems. Design, analysis, and justification - (2005). (2nd ed., ISA)". [Acceso en Abril 23 de 2012]
- [4]. Rodríguez P., Oswaldo A. "Determinación de un sistema instrumentado de seguridad (SIS) y su nivel de integridad de seguridad (SIL)". Universidad Central de Venezuela. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/692>. [Acceso en Marzo 4 de 2012]
- [5]. Machiavelo Salinas Victor. "Método para la determinación del SIL objetivo". Risk Software S.A. de C.V. Disponible en <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/692>. [Acceso en Marzo 12 de 2012]