Ubicación de plantas de GNL basada en el rendimiento mediante análisis cuantitativo de riesgos (QRA)

19.1 Alcance.

**19.1.1**

Este capítulo incluye el cálculo de los riesgos individuales y sociales de una planta de gas natural licuado (GNL), derivados de posibles liberaciones de GNL y otras sustancias peligrosas almacenadas, transferidas o manipuladas en la planta.

**19.1.2**

Cuando se aprueben, se permitirá que los requisitos de este capítulo reemplacen al Capítulo  [**5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/5) de esta norma.

**19.1.3**

Los requisitos del Capítulo  [**5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/5) y del Capítulo 19 no se combinarán.

**19.1.4**

Las disposiciones de este capítulo se aplicarán a las instalaciones de nueva construcción y a las instalaciones existentes en las que se propongan modificaciones y mejoras significativas.

**19.1.5**

Los requisitos de este capítulo se aplicarán a toda la planta.

**19.1.6**

Se cuantificarán los riesgos de accidentes de transporte fuera de los límites de la planta que pudieran afectarla.

**19.1.7**

Se cuantificarán los riesgos de accidentes de transporte dentro de los límites de la planta que podrían afectar la seguridad de la misma.

19.2 Requisitos generales.

[**19.2.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002051)

Todos los insumos, supuestos, metodologías y evaluaciones de riesgos que se utilizarán dentro del QRA deberán estar completamente documentados y aprobados.

[**19.2.2\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A001670)

Los requisitos de este capítulo se utilizarán en el momento de la ubicación para cuantificar los niveles de riesgos individuales y sociales para garantizar que cumplan con los criterios de tolerabilidad de acuerdo con la Sección  [**19.9**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001568) .

**19.2.3**

El riesgo asociado a una planta existente deberá ser recuantificado para su ubicación cuando las condiciones cambien como consecuencia directa de acciones y modificaciones significativas realizadas por la planta.

**19.2.4**

La QRA deberá ser reevaluada cada cinco años o según lo requiera la AHJ para coordinar los procedimientos de respuesta a emergencias de acuerdo con [**18.4.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/18#ID00059A001280) .

19.3 Definiciones.

Las siguientes definiciones se aplicarán únicamente al uso en el Capítulo  [**19**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19) .

[**19.3.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A001671) **Tan bajo como sea razonablemente practicable (ALARP).**

El nivel de riesgo que representa el punto, evaluado objetivamente, en el que el tiempo, la dificultad y el coste de otras medidas de reducción se vuelven irrazonablemente desproporcionados en relación con la reducción adicional del riesgo obtenida.

**19.3.2 Evento.**

La combinación de resultados sucesivos de liberaciones de GNL o de materiales peligrosos y su consiguiente peligro para las personas expuestas.

**19.3.3 Riesgo individual.**

La frecuencia, expresada en número de realizaciones por año, en la que se puede esperar que un individuo, con exposición potencial continua, sufra lesiones fatales; y daños irreversibles si así lo requiere la autoridad competente.

**19.3.4 Riesgo social.**

El riesgo acumulativo de exposición de todas las personas a sufrir lesiones fatales y, si lo requiere la autoridad competente, daños irreversibles a partir de un evento en la planta de GNL.

19.4 Cálculos de riesgos y base de evaluación.

**19.4.1**

Los riesgos individuales se presentarán en forma de contornos de valores de riesgo individuales constantes.

**19.4.2**

El riesgo social se presentará en forma de diagrama de frecuencia anual acumulada y número de personas expuestas.

**19.4.3**

Los riesgos calculados se compararán con los valores de los riesgos a los que podría estar sujeta la población en las inmediaciones generales de la planta propuesta/existente debido a causas naturales o a otras actividades humanas.

19.5 Escenarios de liberación de GNL y otros materiales peligrosos.

**19.5.1 Selección del escenario de lanzamiento.**

**19.5.1.1**

Se desarrollará un conjunto completo de escenarios de liberación de GNL y otros materiales peligrosos desde contenedores de almacenamiento, sistemas de proceso y áreas de transferencia.

[**19.5.1.2\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002188)

Se deberá informar una lista de escenarios de peligro mediante el uso de un análisis de peligros del proceso (PHA).

**19.5.2 Especificaciones del escenario de lanzamiento.**

**19.5.2.1**

Se deberá especificar lo siguiente para cada escenario de liberación de fluidos peligrosos , según corresponda:

* (1)

Composición del flujo

* (2)

Presión y temperatura nominales de la corriente

* (3)

Estado físico del fluido

* (4)

Inventario seccionable

* (5)

Tamaño(s) del agujero

* (6)

Ubicación(es) y dirección(es) de lanzamiento

* (7)

Duración de la liberación de inventarios aislados exitosos y no exitosos

**19.5.2.1.1**

El caudal de liberación para cada escenario deberá tener en cuenta el agotamiento de la bomba, la fase del fluido y otros fenómenos aplicables.

**19.5.2.1.2**

Se deberá especificar la probabilidad anual de ocurrencia para cada escenario, de acuerdo con lo requerido en la Sección  [**19.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001528) .

**19.5.2.2**

Las características térmicas y físicas del sustrato expuesto a una liberación de líquido se deberán especificar y tener en cuenta en el modelado de consecuencias para ese escenario.

**19.5.2.3**

Se deberá considerar y documentar el espectro de comportamiento peligroso del fluido liberado debido a su interacción con el sustrato, el medio ambiente y las tendencias naturales.

**19.5.2.4**

Los modos de comportamiento que se deben considerar incluyen destellos, formación de aerosoles, chorros de líquido, formación y flujo de charcos, dispersión de vapores, incendios de chorros, incendios repentinos, explosiones de nubes de vapor, bolas de fuego, incendios de charcos, estallidos de recipientes a presión y BLEVES.

19.6 Probabilidades de liberación y probabilidades condicionales.

[**19.6.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A001674)

La probabilidad anual de liberaciones de fluidos peligrosos de diversos equipos para los escenarios identificados en la Sección  [**19.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001519) se basará en las tasas de falla especificadas a continuación o según lo aprobado por la AHJ :

* (1)

Para tanques de almacenamiento y sistemas de tanques, utilice [**la Tabla 19.6.1(a)**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002514) .

* (2)

Para los dispositivos de transferencia que incluyen brazos y mangueras, utilice [**la Tabla 19.6.1(b)**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002515) .

* (3)

Para los equipos de proceso, utilice [**la Tabla 19.6.1(c)**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002517) , donde se presentan las tasas de fallas para cinco rangos de tamaño de orificio nominal y el tamaño de orificio aplicado más grande está limitado por el diámetro máximo de la tubería en la parte del proceso que se está evaluando:

* + (a)

Agujeros muy pequeños, de 0,04 a 0,1 pulgadas (0,001 a 0,003 m)

* + (b)

Agujeros pequeños de 0,1 a 0,4 pulgadas (0,003 a 0,01 m)

* + (do)

Mediano, agujeros de 0,4 a 2 pulgadas (0,01 a 0,05 m)

* + (d)

Agujeros grandes de 2 a 6 pulgadas (0,05 a 0,15 m)

* + (mi)

Orificios extra grandes, de 6 pulg. (0,15 m) y más grandes, representados por un orificio equivalente al diámetro de la tubería

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tabla 19.6.1(a) Tasas de falla de los tanques de almacenamiento** | | | | |
| **Tipo de tanque de almacenamiento** | | **Tipo de falla** | **Tasa de fallas por año de operación por tanque o sistema de tanque** | |
| Sistema de tanque de almacenamiento de GNL de contención única | | Fallo catastrófico | 1.00E-6\* | |
| Falla catastrófica del techo del sistema de tanque (solo techo de acero) | 1.00E-04 | |
| Sistema de tanque de almacenamiento de GNL de doble contención | | Fallo catastrófico | 1.25 E-8\* | |
| Falla catastrófica del techo del sistema de tanque (solo techo de acero) | 1.00E-04 | |
| Sistema de tanque de almacenamiento de GNL de contención total y membrana (contención exterior de hormigón) | | Fallo catastrófico | 1.00E-8\* | |
| Falla catastrófica del techo del sistema de tanque (solo techo de acero) | 4.00E-05 | |
| Tanques de almacenamiento atmosférico | | Fallo catastrófico | 3.00E-06 | |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 12 pulgadas (0,3 m) | 2.50E-03 | |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 36 pulgadas (1 m) | 1.00E-04 | |
| Falla catastrófica del techo del tanque | 2.00E-03 | |
| Almacenamiento de productos o refrigerantes presurizados | | Fallo catastrófico | 4.70E-07 | |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 4 pulgadas (0,1 m) | 4.30E-06 | |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 1 pulg. (0,025 m) | 7.10E-06 | |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 0,20 pulg. (0,05 m) | 2.30E-05 | |
| \*Considere los efectos debidos a peligros externos al determinar la frecuencia de fallas. | | | | |
| **Tabla 19.6.1(b) Tasas de falla de los dispositivos de transferencia** | | | | |
| **Tipo de transferencia** | **Tipo de falla** | | | **Tasa de fallas por hora de operación por brazo o manguera** |
| Traslado de camiones | Rotura del brazo de transferencia | | | 3.00E-08 |
| Liberación desde un orificio en el brazo de transferencia con un diámetro efectivo del 10 % del diámetro del brazo de transferencia con un máximo de 2 pulg. (0,05 m) | | | 3.00E-07 |
| Rotura de la manguera de transferencia | | | 4.00E-06 |
| Liberación desde un orificio en la manguera de transferencia con un diámetro efectivo del 10 % del diámetro de la manguera de transferencia con un máximo de 2 pulg. (0,05 m) | | | 4.00E-05 |
| Transferencia de barco | Rotura del brazo de transferencia | | | 2.00E-9\* |
| Liberación desde un orificio en el brazo de transferencia con un diámetro efectivo del 10 % del diámetro del brazo de transferencia con un máximo de 2 pulg. (0,05 m) | | | 2.00E-8\* |
| \*Supone un sistema ESD con acoplamiento de liberación de emergencia motorizado (PERC) instalado | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tabla 19.6.1(c) Tasas de fallas de los equipos de proceso** | | | | | | |
| **Tipo de equipo** | **Diámetro nominal del equipo (pulg.)** | **Tasa de fallas por año de operación para tamaño de orificio [pulg.] Categoría** | | | | |
| **0,04 - 0,1** | **0,1 - 0,4** | **0,4 - 2** | **2 – 6\*** | **> 6\*** | **Tasa total de fallos** |
| Tubería de proceso de acero, tasa de fallas por metro | Hasta 2 | 1.49E-05 | 6.40E-06 | 2.79E-06 | 1.02E-06 |  | 2.51E-05 |
| 3 | 1.36E-05 | 5.77E-06 | 2.47E-06 | 8.80E-07 |  | 2.27E-05 |
| 4 | 1.23E-05 | 5.14E-06 | 2.17E-06 | 7.54E-07 |  | 2.03E-05 |
| 6 | 9.54E-06 | 3.89E-06 | 1.60E-06 | 3.24E-07 | 2.05E-07 | 1.56E-05 |
| 8 | 8.62E-06 | 3.64E-06 | 1.56E-06 | 3.30E-07 | 2.27E-07 | 1.44E-05 |
| 10 | 8.65E-06 | 3.91E-06 | 1.81E-06 | 4.17E-07 | 3.27E-07 | 1.51E-05 |
| 12 | 8.62E-06 | 4.16E-06 | 2.08E-06 | 5.22E-07 | 4.63E-07 | 1.58E-05 |
| 14 | 8.51E-06 | 4.39E-06 | 2.37E-06 | 6.49E-07 | 6.49E-07 | 1.66E-05 |
| 16 | 8.32E-06 | 4.59E-06 | 2.69E-06 | 7.98E-07 | 9.04E-07 | 1.73E-05 |
| 18 | 8.05E-06 | 4.75E-06 | 3.01E-06 | 9.71E-07 | 1.25E-06 | 1.80E-05 |
| >20 | 7.69E-06 | 4.85E-06 | 3.33E-06 | 1.17E-06 | 1.74E-06 | 1.88E-05 |
| Tubería flexible, tasa de fallos por metro | Hasta 2 | 5.81E-04 | 3.04E-04 | 1.67E-04 | 9.16E-05 |  | 1.14E-03 |
| 3 | 4.41E-04 | 2.45E-04 | 1.44E-04 | 9.01E-05 |  | 9.21E-04 |
| 4 | 3.13E-04 | 1.84E-04 | 1.16E-04 | 8.34E-05 |  | 6.98E-04 |
| 6 | 9.65E-05 | 6.38E-05 | 4.63E-05 | 1.72E-05 | 2.77E-05 | 2.52E-04 |
| 8 | 3.06E-05 | 2.16E-05 | 1.70E-05 | 6.86E-06 | 1.31E-05 | 8.93E-05 |
| 10 | 2.46E-05 | 1.81E-05 | 1.49E-05 | 6.30E-06 | 1.35E-05 | 7.74E-05 |
| 12 | 1.91E-05 | 1.46E-05 | 1.26E-05 | 5.60E-06 | 1.36E-05 | 6.56E-05 |
| 14 | 1.42E-05 | 1.13E-05 | 1.02E-05 | 4.76E-06 | 1.33E-05 | 5.37E-05 |
| 16 | 9.88E-06 | 8.17E-06 | 7.76E-06 | 3.79E-06 | 1.23E-05 | 4.19E-05 |
| 18 | 6.20E-06 | 5.34E-06 | 5.32E-06 | 2.72E-06 | 1.05E-05 | 3.00E-05 |
| >20 | 3.20E-06 | 2.86E-06 | 2.99E-06 | 1.61E-06 | 7.53E-06 | 1.82E-05 |
| Uniones con bridas† | Hasta 2 | 4.39E-06 | 1.97E-06 | 9.06E-07 | 3.79E-07 |  | 7.64E-06 |
| 3 | 5.05E-06 | 2.26E-06 | 1.04E-06 | 5.08E-07 |  | 8.85E-06 |
| 4 | 5.71E-06 | 2.55E-06 | 1.17E-06 | 6.36E-07 |  | 1.01E-05 |
| 6 | 7.03E-06 | 3.13E-06 | 1.42E-06 | 3.22E-07 | 5.67E-07 | 1.25E-05 |
| 8 | 8.67E-06 | 3.75E-06 | 1.64E-06 | 3.58E-07 | 7.92E-07 | 1.52E-05 |
| 10 | 1.06E-05 | 4.36E-06 | 1.81E-06 | 3.71E-07 | 1.03E-06 | 1.82E-05 |
| 12 | 1.26E-05 | 4.95E-06 | 1.94E-06 | 3.73E-07 | 1.27E-06 | 2.12E-05 |
| 14 | 1.47E-05 | 5.50E-06 | 2.03E-06 | 3.68E-07 | 1.50E-06 | 2.41E-05 |
| 16 | 1.69E-05 | 6.01E-06 | 2.10E-06 | 3.58E-07 | 1.73E-06 | 2.71E-05 |
| 18 | 1.91E-05 | 6.49E-06 | 2.14E-06 | 3.43E-07 | 1.96E-06 | 3.01E-05 |
| >20 | 2.14E-05 | 6.93E-06 | 2.16E-06 | 3.25E-07 | 2.19E-06 | 3.31E-05 |
| válvulas manuales | Hasta 2 | 1.50E-05 | 8.05E-06 | 4.58E-06 | 2.66E-06 |  | 3.03E-05 |
| 3 | 1.55E-05 | 8.06E-06 | 4.39E-06 | 2.36E-06 |  | 3.03E-05 |
| 4 | 1.61E-05 | 8.05E-06 | 4.19E-06 | 2.08E-06 |  | 3.04E-05 |
| 6 | 1.71E-05 | 7.97E-06 | 3.81E-06 | 9.15E-07 | 7.16E-07 | 3.06E-05 |
| 8 | 2.09E-05 | 9.85E-06 | 4.78E-06 | 1.16E-06 | 9.81E-07 | 3.77E-05 |
| 10 | 2.53E-05 | 1.24E-05 | 6.31E-06 | 1.62E-06 | 1.51E-06 | 4.71E-05 |
| 12 | 2.93E-05 | 1.50E-05 | 7.99E-06 | 2.16E-06 | 2.18E-06 | 5.65E-05 |
| 14 | 3.29E-05 | 1.75E-05 | 9.80E-06 | 2.78E-06 | 3.03E-06 | 6.60E-05 |
| 16 | 3.60E-05 | 2.00E-05 | 1.17E-05 | 3.51E-06 | 4.11E-06 | 7.54E-05 |
| 18 | 3.88E-05 | 2.24E-05 | 1.38E-05 | 4.34E-06 | 5.49E-06 | 8.48E-05 |
| >20 | 4.11E-05 | 2.47E-05 | 1.60E-05 | 5.29E-06 | 7.23E-06 | 9.42E-05 |
| válvulas actuadas | Hasta 2 | 1.45E-04 | 5.77E-05 | 2.30E-05 | 7.28E-06 |  | 2.33E-04 |
| 3 | 1.27E-04 | 5.28E-05 | 2.21E-05 | 7.59E-06 |  | 2.10E-04 |
| 4 | 1.11E-04 | 4.77E-05 | 2.09E-05 | 7.81E-06 |  | 1.87E-04 |
| 6 | 7.87E-05 | 3.68E-05 | 1.77E-05 | 4.26E-06 | 3.61E-06 | 1.41E-04 |
| 8 | 6.89E-05 | 3.25E-05 | 1.58E-05 | 3.87E-06 | 3.37E-06 | 1.25E-04 |
| 10 | 7.19E-05 | 3.28E-05 | 1.54E-05 | 3.60E-06 | 2.95E-06 | 1.27E-04 |
| 12 | 7.48E-05 | 3.31E-05 | 1.49E-05 | 3.34E-06 | 2.57E-06 | 1.29E-04 |
| 14 | 7.78E-05 | 3.32E-05 | 1.44E-05 | 3.10E-06 | 2.24E-06 | 1.31E-04 |
| 16 | 8.08E-05 | 3.34E-05 | 1.39E-05 | 2.87E-06 | 1.93E-06 | 1.33E-04 |
| 18 | 8.37E-05 | 3.35E-05 | 1.34E-05 | 2.65E-06 | 1.66E-06 | 1.35E-04 |
| >20 | 8.67E-05 | 3.35E-05 | 1.29E-05 | 2.45E-06 | 1.42E-06 | 1.37E-04 |
| Conexiones de instrumentos | Todo | 1.20E-04 | 5.00E-05 | 2.70E-05 |  |  | 1.97E-04 |
| Recipientes de proceso (a presión) | Entradas < 2 | 3.30E-04 | 1.70E-04 | 1.40E-04 |  |  | 6.42E-04 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 3.30E-04 | 1.70E-04 | 9.30E-05 | 4.90E-05 |  | 6.42E-04 |
| Entradas ≥ 6 | 3.30E-04 | 1.70E-04 | 9.30E-05 | 2.50E-05 | 2.40E-05 | 6.42E-04 |
| Bombas centrífugas | Entradas < 2 | 2.70E-03 | 6.40E-04 | 1.60E-04 |  |  | 3.50E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 2.70E-03 | 6.40E-04 | 1.40E-04 | 1.80E-05 |  | 3.50E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 2.70E-03 | 6.40E-04 | 1.40E-04 | 1.40E-05 | 4.00E-06 | 3.50E-03 |
| Bombas reciprocantes | Entradas < 2 | 8.10E-04 | 5.50E-04 | 8.60E-04 |  |  | 2.22E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 8.10E-04 | 5.50E-04 | 4.20E-04 | 4.40E-04 |  | 2.22E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 8.10E-04 | 5.50E-04 | 4.20E-04 | 1.60E-04 | 2.80E-04 | 2.22E-03 |
| Compresores centrífugos | Entradas < 2 | 3.40E-03 | 1.50E-03 | 9.20E-04 |  |  | 5.82E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 3.40E-03 | 1.50E-03 | 6.70E-04 | 2.50E-04 |  | 5.82E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 3.40E-03 | 1.50E-03 | 6.70E-04 | 1.50E-04 | 1.10E-04 | 5.83E-03 |
| Compresores alternativos | Entradas < 2 | 6.80E-03 | 3.10E-03 | 2.00E-03 |  |  | 1.19E-02 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 6.80E-03 | 3.10E-03 | 1.40E-03 | 5.60E-04 |  | 1.19E-02 |
| Entradas ≥ 6 | 6.80E-03 | 3.10E-03 | 1.40E-03 | 3.20E-04 | 2.40E-04 | 1.19E-02 |
| Intercambiadores de calor de carcasa y tubos; lado de carcasa HC | Entradas < 2 | 9.00E-04 | 4.30E-04 | 3.10E-04 |  |  | 1.64E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 9.00E-04 | 4.30E-04 | 2.10E-04 | 9.70E-05 |  | 1.64E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 9.00E-04 | 4.30E-04 | 2.10E-04 | 5.30E-05 | 4.40E-05 | 1.64E-03 |
| Intercambiadores de calor de carcasa y tubos; Intercambiadores de calor de carcasa y tubos | Entradas < 2 | 3.90E-04 | 2.30E-04 | 2.60E-04 |  |  | 8.80E-04 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 3.90E-04 | 2.30E-04 | 1.50E-04 | 1.10E-04 |  | 8.80E-04 |
| Entradas ≥ 6 | 3.90E-04 | 2.30E-04 | 1.50E-04 | 4.90E-05 | 6.20E-05 | 8.81E-04 |
| Intercambiadores de calor de placas | Entradas < 2 | 5.60E-03 | 2.00E-03 | 8.50E-04 |  |  | 8.45E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 5.60E-03 | 2.00E-03 | 6.80E-04 | 1.70E-04 |  | 8.45E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 5.60E-03 | 2.00E-03 | 6.80E-04 | 1.10E-04 | 5.80E-05 | 8.45E-03 |
| Intercambiadores de calor refrigerados por aire | Entradas < 2 | 8.90E-04 | 3.10E-04 | 1.40E-04 |  |  | 1.34E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 8.90E-04 | 3.10E-04 | 1.10E-04 | 2.80E-05 |  | 1.34E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 8.90E-04 | 3.10E-04 | 1.10E-04 | 1.80E-05 | 9.30E-06 | 1.34E-03 |
| Filtros | Entradas < 2 | 1.20E-03 | 4.40E-04 | 1.90E-04 |  |  | 1.83E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 1.20E-03 | 4.40E-04 | 1.50E-04 | 3.90E-05 |  | 1.83E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 1.20E-03 | 4.40E-04 | 1.50E-04 | 2.60E-05 | 1.30E-05 | 1.83E-03 |
| Trampas para cerdos | Entradas < 2 | 1.40E-03 | 7.40E-04 | 6.30E-04 |  |  | 2.77E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 1.40E-03 | 7.40E-04 | 4.10E-04 | 2.20E-04 |  | 2.77E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 1.40E-03 | 7.40E-04 | 4.10E-04 | 1.10E-04 | 1.10E-04 | 2.77E-03 |
| Desgasificadores | Entradas < 2 | 8.70E-04 | 5.50E-04 | 7.20E-04 |  |  | 2.14E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 8.70E-04 | 5.50E-04 | 3.80E-04 | 3.40E-04 |  | 2.14E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 8.70E-04 | 5.50E-04 | 3.80E-04 | 1.40E-04 | 2.00E-04 | 2.14E-03 |
| Expansores | Entradas < 2 | 2.30E-03 | 1.00E-03 | 6.20E-04 |  |  | 3.92E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 2.30E-03 | 1.00E-03 | 4.50E-04 | 1.70E-04 |  | 3.92E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 2.30E-03 | 1.00E-03 | 4.50E-04 | 9.90E-05 | 7.00E-05 | 3.92E-03 |
| Turbinas | Entradas < 2 | 6.90E-03 | 2.40E-03 | 1.10E-03 |  |  | 1.04E-02 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 6.90E-03 | 2.40E-03 | 7.90E-04 | 3.40E-04 |  | 1.04E-02 |
| Entradas ≥ 6 | 6.90E-03 | 2.40E-03 | 7.90E-04 | 1.30E-04 | 2.10E-04 | 1.04E-02 |
| Para unidades SI, 1 pulgada = 0,025 m.  \* Si el límite superior del rango de tamaño del orificio excede el diámetro de la tubería, utilice el diámetro de la tubería como el tamaño del orificio representativo para fines de modelado de consecuencias.  † Estas tasas de fallo no necesariamente representan fallos de juntas en las instalaciones de GNL. En todos los sistemas, las tuberías con juntas bridadas deben considerar las fugas debidas a fallos de juntas. Consulte A.‍19.6.1 para consultar las publicaciones que ofrecen orientación sobre las tasas de fallo. | | | | | | |

**19.6.2**

Las tuberías en todos los sistemas que incluyen uniones bridadas deben considerar las fugas debido a fallas en las juntas.

[**19.6.3\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002060)

Las probabilidades condicionales aplicadas al análisis deberán justificarse y documentarse.

19.7 Condiciones de modelado y probabilidades de ocurrencia.

[**19.7.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002061)

Los datos meteorológicos específicos del sitio se recopilarán mediante mediciones directas en el sitio durante períodos de tiempo aceptables para obtener datos estadísticamente significativos o desde la estación meteorológica más representativa.

**19.7.1.1**

Se aprobarán los períodos de recolección y promediación de datos.

[**19.7.1.2\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002321)

Los datos meteorológicos incluirán lo siguiente:

* (1)

Dirección del viento

* (2)

Velocidad del viento

* (3)

Temperatura ambiente

* (4)

Humedad relativa

**19.7.1.3**

Si no se dispone de datos meteorológicos representativos del sitio, se utilizará un conjunto aprobado de supuestos conservadores.

**19.7.2**

Las probabilidades condicionales de las condiciones ambientales se obtendrán a partir de los datos meteorológicos como se especifica en [**19.7.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001535) .

[**19.7.3\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002189)

Las características topográficas y estructurales dentro y en las proximidades del sitio de la planta que aumenten las consecuencias de los escenarios de liberación se deberán incluir en la evaluación de peligros.

**19.7.4**

En el caso de explosiones de nubes de vapor, se deberá considerar el confinamiento y la congestión debido a tuberías, equipos y vegetación.

**19.7.5**

Se evaluarán y documentarán las ubicaciones y características de las fuentes de ignición dentro y alrededor de la planta.

[**19.7.6\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002065)

Se evaluarán y documentarán las probabilidades de que haya fuentes de ignición activas durante la dispersión de una nube de vapor.

19.8 Evaluación de peligros y consecuencias.

**19.8.1**

Se calcularán las huellas de peligro de los escenarios de liberación identificados de conformidad con los requisitos de la Sección  [**19.5 .**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001519)

[**19.8.2\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002067)

Las huellas de peligro se cuantificarán para cada combinación de escenario de liberación, tipo de peligro y condición ambiental y operativa de la planta, identificadas de conformidad con los requisitos de las Secciones [**19.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001519) , [**19.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001528) y [**19.7**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001534) .

[**19.8.3\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002068)

Se evaluarán los siguientes tipos de huellas de peligro para cuantificar los efectos potencialmente fatales o, si lo requiere la autoridad competente, los daños irreversibles:

* (1)

Puntos finales de concentración derivados de la dispersión de gases o vapores inflamables

* (2)

Puntos finales de concentración derivados de la dispersión de gases o vapores tóxicos

* (3)

Puntos finales de sobrepresión derivados de explosiones de nubes de vapor, estallidos de recipientes a presión y BLEVE

* (4)

Puntos finales de flujo de calor o dosis de calor que surgen de incendios de charcos, incendios de chorro y bolas de fuego

* (5)

Gas asfixiante, si así lo requiere la autoridad competente

**19.8.3.1**

Se deberán evaluar los posibles daños en cascada de los escenarios de liberación primaria identificados en la Sección  [**19.5 dentro de los límites de la planta.**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001519)

**19.8.3.2**

Si la evaluación identifica una exacerbación de los peligros iniciales, el cálculo del riesgo incluirá los efectos en cascada.

**19.8.4**

Las huellas de peligro para los tipos de peligros especificados en [**19.8.3**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001544) se calcularán utilizando modelos aprobados de acuerdo con [**19.8.4.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001560) a [**19.8.4.3**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001562) .

[**19.8.4.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A001675)

Las huellas de riesgo de dispersión de nubes de vapor se calcularán utilizando modelos que cumplan los criterios especificados en [**5.3.2.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/5#ID00059A001863) o cualquier otro modelo que sea aceptable para la Autoridad competente.

[**19.8.4.1.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002085)

Los valores de riesgo umbral para la dispersión de nubes de vapor deberán ser los especificados en [**la Tabla 19.8.4.1.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002084)o mediante el uso de funciones probit aprobadas por la AHJ .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 19.8.4.1.1 Puntos finales de las consecuencias de la dispersión de vapor** | | |
| **Concentración de material liberado en el aire** | **Duración** | **Consecuencia** |
| LFL | N / A | Daños irreversibles y fatalidad para las personas dentro de una nube de gas o vapor inflamable encendida |
| AEGL-3 | Según la duración de la exposición, pero no más de 1 hora | Muerte de personas dentro de una nube de gas tóxico |
| AEGL-2 | Según la duración de la exposición, pero no más de 1 hora | Daños irreversibles a las personas dentro de una nube de gas tóxico |
| 40% | N / A | Muerte de personas dentro de una nube de gas que desplaza el aire a menos del 12,5% de oxígeno |
| 23% | N / A | Daño irreversible a las personas dentro de una nube de gas que desplaza el aire a menos del 16% de oxígeno |
| N/A: No aplicable. | | |

**19.8.4.2**

Las huellas de riesgo del flujo de calor radiante y la dosis térmica modificada se calcularán con modelos que cumplan los criterios especificados en [**5.3.2.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/5#ID00059A001863) o cualquier otro modelo que sea aceptable para la Autoridad competente.

**19.8.4.2.1**

Los valores de peligro umbral para el flujo de calor radiante serán los especificados en [**la Tabla 19.8.4.2.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002098) .

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 19.8.4.2.1 Puntos finales de las consecuencias del flujo de calor radiante** | | |
| **Nivel máximo de flujo de calor** | | **Consecuencias** |
| **Btu/hora/pie cuadrado** | **(kW/ m2 )** |
| 3000 | 9 | Mortalidad de personas al aire libre sin equipo de protección individual (EPI) |
| 1600 | 5 | Daños irreversibles a personas al aire libre sin EPI |
| 8000 | 25 | Daños irreversibles y muerte de personas dentro de un edificio con exterior combustible\*. |
| 10.000 | 30 | Daños irreversibles y muerte de personas en el interior de un edificio con exterior no combustible. |
| \*Entre los ejemplos de exteriores combustibles se incluyen estructuras con estructura de madera, tejas de asfalto, vegetación, etc. | | |

**19.8.4.2.2**

En el caso de bolas de fuego, la extensión de la exposición se calculará utilizando una dosis equivalente a 3000 Btu/hr/ft 2 ( 9  kW/m 2 ) y un tiempo de exposición de 30 segundos [1,3 × 10 6 (Btu/hr/ft 2 ) 4/3 s (646 (kW/m 2 ) ( 4/3 ) s ) ].

**19.8.4.3**

Las huellas de peligro de sobrepresiones se calcularán con modelos que cumplan los criterios especificados en [**5.3.2.6**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/5#ID00059A001863) o cualquier otro modelo que sea aceptable para la Autoridad competente.

[**19.8.4.3.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A002088)

Los valores de riesgo umbral por sobrepresiones serán los especificados en [**la Tabla 19.8.4.3.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002087) .

|  |  |
| --- | --- |
| **Tabla 19.8.4.3.1 Puntos finales de consecuencia de sobrepresión** | |
| **Sobrepresión lateral (psi )** | **Consecuencia** |
| 3.0 (20,7 kPa) | Mortalidad de personas al aire libre |
| 1.0 (6,9 kPa) | Daños irreversibles a personas en el exterior |
| 1.0 (6,9 kPa) | Daños irreversibles y fatalidad para las personas dentro de un edificio que no es resistente a explosiones |

**19.8.4.3.2**

En el caso de BLEVE o estallidos de recipientes a presión, la exposición al impacto de proyectiles se considerará utilizando un umbral de energía cinética de 11 ft-lbf (15 julios) para personas al aire libre, y 11 ft-lbf (15 julios) o un valor aprobado superior para personas en interiores.

**19.8.5**

Para cada escenario de liberación identificado y tipo de peligro identificado en la Sección  [**19.5**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001519) y los impactos de peligro evaluados en la Sección  [**19.8**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001541) , se deberá enumerar el número total de personas ubicadas dentro de cada huella de peligro única utilizando datos demográficos o censales públicos u otra metodología aprobada por la AHJ.

19.9 Presentación del Resultado del Riesgo.

**19.9.1 Riesgo individual específico de la ubicación.**

**19.9.1.1**

La huella de riesgo de cada evento se combinará con su probabilidad de ocurrencia y las probabilidades condicionales asociadas para calcular el riesgo que corre un individuo a partir de ese evento único.

**19.9.1.2**

El riesgo de cada evento en el QRA se combinará para cuantificar el riesgo general para un individuo.

**19.9.1.3**

El riesgo individual se mostrará gráficamente mediante isopleta de riesgo individual constante.

**19.9.1.4**

Se discutirán la incertidumbre y los supuestos en el cálculo de los riesgos individuales.

**19.9.2 Riesgos sociales.**

**19.9.2.1**

El número potencial de personas afectadas se determinará utilizando datos demográficos locales aprobados y las huellas de riesgo calculadas.

**19.9.2.2**

Los valores de riesgo social se presentarán en forma de frecuencia anual acumulada (F) de excedencia frente al número de personas afectadas (N).

**19.9.2.3**

Se discutirán la incertidumbre y los supuestos en el cálculo de los riesgos sociales.

**19.9.2.4**

La curva FN se construirá con todos los eventos únicos evaluados en el QRA y su respectiva frecuencia de ocurrencia.

19.10 Criterios de tolerabilidad del riesgo.

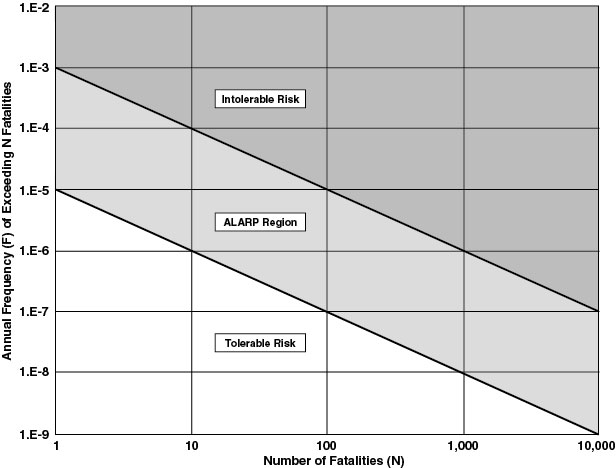
**19.10.1**

Se utilizarán los criterios de aceptabilidad de riesgo individual especificados en [**la Tabla 19.10.1(a)**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001580) y [**la Tabla 19.10.1(b) .**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002191)

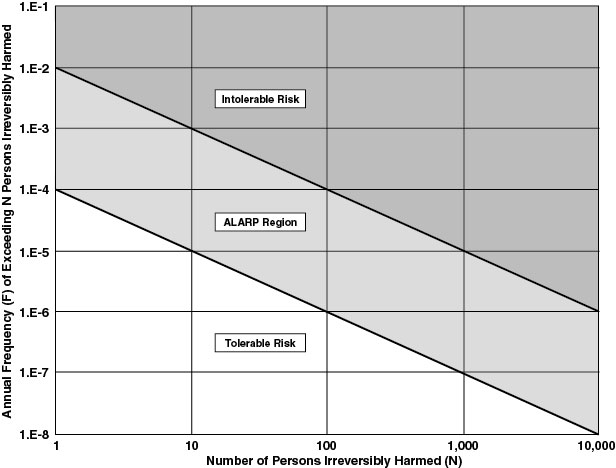
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 19.10.1(a) Criterios de tolerabilidad del riesgo individual (RI) de mortalidad** | | |
| **Criterio Frecuencia Anual** | **Desarrollos Permitidos** | |
| **Zona 1** IR > 5 × 10 −5 | Todos los usos de la tierra bajo el control del operador de la planta o sujetos a un acuerdo legal aprobado | |
| **Zona 2** 3 × 10 −7 ≤ IR ≤ 5 × 10 −5 | Áreas públicas generales excluyendo establecimientos sensibles\* | |
| **Zona 3** IR < 3 × 10 −7 | Sin restricciones | |
| \*Los establecimientos sensibles son instalaciones institucionales que podrían ser difíciles de evacuar. Algunos ejemplos incluyen, entre otros, escuelas, guarderías, hospitales, residencias de ancianos, cárceles y prisiones. | | |
| **Tabla 19.10.1(b) Criterios de tolerabilidad del riesgo individual (RI) de daño irreversible** | | |
| **Criterio Frecuencia Anual** | | **Desarrollos Permitidos** |
| **Zona 1** IR > 5 × 10 −4 | | Todos los usos de la tierra bajo el control del operador de la planta o sujetos a un acuerdo legal aprobado |
| **Zona 2** 3 × 10 −6 ≤ IR ≤ 5 × 10 −4 | | Áreas públicas generales excluyendo establecimientos sensibles\* |
| **Zona 3** IR < 3 × 10 −6 | | Sin restricciones |
| \*Los establecimientos sensibles son instalaciones institucionales que podrían ser difíciles de evacuar. Algunos ejemplos incluyen, entre otros, escuelas, guarderías, hospitales, residencias de ancianos, cárceles y prisiones. | | |

[**19.10.2\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A001677)

Se utilizarán los criterios de aceptabilidad del riesgo social especificados en [**la Figura 19.10.2(a)**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002199) y [**la Figura 19.10.2(b) .**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002200)



**Figura 19.10.2(a)**Regiones de tolerabilidad del riesgo de fatalidad social en el dominio FN.



**Figura 19.10.2(b)**Regiones de tolerabilidad del riesgo de daño irreversible social en el dominio FN.

**19.10.3**

Los criterios de tolerabilidad utilizados en [**19.10.1**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001579) y [**19.10.2**](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001581) sólo podrán modificarse con la aprobación de la Autoridad competente.

19.11 Enfoques de mitigación de riesgos.

[**19.11.1\***](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/annexes/A/groups/19#ID00059A001679)

Los riesgos individuales calculados en la región inaceptable se reducirán a niveles tolerables mediante la implementación de medidas de mitigación adicionales.

**19.11.2**

Los riesgos sociales calculados en la región inaceptable se reducirán a niveles tolerables o ALARP mediante la implementación de medidas de mitigación adicionales aprobadas.

**19.11.3**

En el caso de que los riesgos sociales calculados se encuentren en la región ALARP, se considerará la reducción del riesgo mediante la implementación de medidas de mitigación adicionales aprobadas.

Tablas del Capítulo 19: Ubicación de plantas de GNL basada en el rendimiento mediante análisis cuantitativo de riesgos (ARC)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 19.8.4.1.1 Puntos finales de las consecuencias de la dispersión de vapor** | | |
| **Concentración de material liberado en el aire** | **Duración** | **Consecuencia** |
| LFL | N / A | Daños irreversibles y fatalidad para las personas dentro de una nube de gas o vapor inflamable encendida |
| AEGL-3 | Según la duración de la exposición, pero no más de 1 hora | Muerte de personas dentro de una nube de gas tóxico |
| AEGL-2 | Según la duración de la exposición, pero no más de 1 hora | Daños irreversibles a las personas dentro de una nube de gas tóxico |
| 40% | N / A | Muerte de personas dentro de una nube de gas que desplaza el aire a menos del 12,5% de oxígeno |
| 23% | N / A | Daño irreversible a las personas dentro de una nube de gas que desplaza el aire a menos del 16% de oxígeno |
| N/A: No aplicable. | | |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002084)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 19.8.4.2.1 Puntos finales de las consecuencias del flujo de calor radiante** | | |
| **Nivel máximo de flujo de calor** | | **Consecuencias** |
| **Btu/hora/pie cuadrado** | **(kW/ m2 )** |
| 3000 | 9 | Mortalidad de personas al aire libre sin equipo de protección individual (EPI) |
| 1600 | 5 | Daños irreversibles a personas al aire libre sin EPI |
| 8000 | 25 | Daños irreversibles y muerte de personas dentro de un edificio con exterior combustible\*. |
| 10.000 | 30 | Daños irreversibles y muerte de personas en el interior de un edificio con exterior no combustible. |
| \*Entre los ejemplos de exteriores combustibles se incluyen estructuras con estructura de madera, tejas de asfalto, vegetación, etc. | | |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002098)

|  |  |
| --- | --- |
| **Tabla 19.8.4.3.1 Puntos finales de consecuencia de sobrepresión** | |
| **Sobrepresión lateral (psi )** | **Consecuencia** |
| 3.0 (20,7 kPa) | Mortalidad de personas al aire libre |
| 1.0 (6,9 kPa) | Daños irreversibles a personas en el exterior |
| 1.0 (6,9 kPa) | Daños irreversibles y fatalidad para las personas dentro de un edificio que no es resistente a explosiones |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002087)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 19.6.1(a) Tasas de falla de los tanques de almacenamiento** | | |
| **Tipo de tanque de almacenamiento** | **Tipo de falla** | **Tasa de fallas por año de operación por tanque o sistema de tanque** |
| Sistema de tanque de almacenamiento de GNL de contención única | Fallo catastrófico | 1.00E-6\* |
| Falla catastrófica del techo del sistema de tanque (solo techo de acero) | 1.00E-04 |
| Sistema de tanque de almacenamiento de GNL de doble contención | Fallo catastrófico | 1.25 E-8\* |
| Falla catastrófica del techo del sistema de tanque (solo techo de acero) | 1.00E-04 |
| Sistema de tanque de almacenamiento de GNL de contención total y membrana (contención exterior de hormigón) | Fallo catastrófico | 1.00E-8\* |
| Falla catastrófica del techo del sistema de tanque (solo techo de acero) | 4.00E-05 |
| Tanques de almacenamiento atmosférico | Fallo catastrófico | 3.00E-06 |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 12 pulgadas (0,3 m) | 2.50E-03 |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 36 pulgadas (1 m) | 1.00E-04 |
| Falla catastrófica del techo del tanque | 2.00E-03 |
| Almacenamiento de productos o refrigerantes presurizados | Fallo catastrófico | 4.70E-07 |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 4 pulgadas (0,1 m) | 4.30E-06 |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 1 pulg. (0,025 m) | 7.10E-06 |
| Liberación de producto desde un orificio con un diámetro efectivo de 0,20 pulg. (0,05 m) | 2.30E-05 |
| \*Considere los efectos debidos a peligros externos al determinar la frecuencia de fallas. | | |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002514)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 19.6.1(b) Tasas de falla de los dispositivos de transferencia** | | |
| **Tipo de transferencia** | **Tipo de falla** | **Tasa de fallas por hora de operación por brazo o manguera** |
| Traslado de camiones | Rotura del brazo de transferencia | 3.00E-08 |
| Liberación desde un orificio en el brazo de transferencia con un diámetro efectivo del 10 % del diámetro del brazo de transferencia con un máximo de 2 pulg. (0,05 m) | 3.00E-07 |
| Rotura de la manguera de transferencia | 4.00E-06 |
| Liberación desde un orificio en la manguera de transferencia con un diámetro efectivo del 10 % del diámetro de la manguera de transferencia con un máximo de 2 pulg. (0,05 m) | 4.00E-05 |
| Transferencia de barco | Rotura del brazo de transferencia | 2.00E-9\* |
| Liberación desde un orificio en el brazo de transferencia con un diámetro efectivo del 10 % del diámetro del brazo de transferencia con un máximo de 2 pulg. (0,05 m) | 2.00E-8\* |
| \*Supone un sistema ESD con acoplamiento de liberación de emergencia motorizado (PERC) instalado | | |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002515)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tabla 19.6.1(c) Tasas de fallas de los equipos de proceso** | | | | | | | |
| **Tipo de equipo** | **Diámetro nominal del equipo (pulg.)** | **Tasa de fallas por año de operación para tamaño de orificio [pulg.] Categoría** | | | | | |
| **0,04 - 0,1** | **0,1 - 0,4** | **0,4 - 2** | **2 – 6\*** | **> 6\*** | **Tasa total de fallos** |
| Tubería de proceso de acero, tasa de fallas por metro | Hasta 2 | 1.49E-05 | 6.40E-06 | 2.79E-06 | 1.02E-06 |  | 2.51E-05 |
| 3 | 1.36E-05 | 5.77E-06 | 2.47E-06 | 8.80E-07 |  | 2.27E-05 |
| 4 | 1.23E-05 | 5.14E-06 | 2.17E-06 | 7.54E-07 |  | 2.03E-05 |
| 6 | 9.54E-06 | 3.89E-06 | 1.60E-06 | 3.24E-07 | 2.05E-07 | 1.56E-05 |
| 8 | 8.62E-06 | 3.64E-06 | 1.56E-06 | 3.30E-07 | 2.27E-07 | 1.44E-05 |
| 10 | 8.65E-06 | 3.91E-06 | 1.81E-06 | 4.17E-07 | 3.27E-07 | 1.51E-05 |
| 12 | 8.62E-06 | 4.16E-06 | 2.08E-06 | 5.22E-07 | 4.63E-07 | 1.58E-05 |
| 14 | 8.51E-06 | 4.39E-06 | 2.37E-06 | 6.49E-07 | 6.49E-07 | 1.66E-05 |
| 16 | 8.32E-06 | 4.59E-06 | 2.69E-06 | 7.98E-07 | 9.04E-07 | 1.73E-05 |
| 18 | 8.05E-06 | 4.75E-06 | 3.01E-06 | 9.71E-07 | 1.25E-06 | 1.80E-05 |
| >20 | 7.69E-06 | 4.85E-06 | 3.33E-06 | 1.17E-06 | 1.74E-06 | 1.88E-05 |
| Tubería flexible, tasa de fallos por metro | Hasta 2 | 5.81E-04 | 3.04E-04 | 1.67E-04 | 9.16E-05 |  | 1.14E-03 |
| 3 | 4.41E-04 | 2.45E-04 | 1.44E-04 | 9.01E-05 |  | 9.21E-04 |
| 4 | 3.13E-04 | 1.84E-04 | 1.16E-04 | 8.34E-05 |  | 6.98E-04 |
| 6 | 9.65E-05 | 6.38E-05 | 4.63E-05 | 1.72E-05 | 2.77E-05 | 2.52E-04 |
| 8 | 3.06E-05 | 2.16E-05 | 1.70E-05 | 6.86E-06 | 1.31E-05 | 8.93E-05 |
| 10 | 2.46E-05 | 1.81E-05 | 1.49E-05 | 6.30E-06 | 1.35E-05 | 7.74E-05 |
| 12 | 1.91E-05 | 1.46E-05 | 1.26E-05 | 5.60E-06 | 1.36E-05 | 6.56E-05 |
| 14 | 1.42E-05 | 1.13E-05 | 1.02E-05 | 4.76E-06 | 1.33E-05 | 5.37E-05 |
| 16 | 9.88E-06 | 8.17E-06 | 7.76E-06 | 3.79E-06 | 1.23E-05 | 4.19E-05 |
| 18 | 6.20E-06 | 5.34E-06 | 5.32E-06 | 2.72E-06 | 1.05E-05 | 3.00E-05 |
| >20 | 3.20E-06 | 2.86E-06 | 2.99E-06 | 1.61E-06 | 7.53E-06 | 1.82E-05 |
| Uniones con bridas† | Hasta 2 | 4.39E-06 | 1.97E-06 | 9.06E-07 | 3.79E-07 |  | 7.64E-06 |
| 3 | 5.05E-06 | 2.26E-06 | 1.04E-06 | 5.08E-07 |  | 8.85E-06 |
| 4 | 5.71E-06 | 2.55E-06 | 1.17E-06 | 6.36E-07 |  | 1.01E-05 |
| 6 | 7.03E-06 | 3.13E-06 | 1.42E-06 | 3.22E-07 | 5.67E-07 | 1.25E-05 |
| 8 | 8.67E-06 | 3.75E-06 | 1.64E-06 | 3.58E-07 | 7.92E-07 | 1.52E-05 |
| 10 | 1.06E-05 | 4.36E-06 | 1.81E-06 | 3.71E-07 | 1.03E-06 | 1.82E-05 |
| 12 | 1.26E-05 | 4.95E-06 | 1.94E-06 | 3.73E-07 | 1.27E-06 | 2.12E-05 |
| 14 | 1.47E-05 | 5.50E-06 | 2.03E-06 | 3.68E-07 | 1.50E-06 | 2.41E-05 |
| 16 | 1.69E-05 | 6.01E-06 | 2.10E-06 | 3.58E-07 | 1.73E-06 | 2.71E-05 |
| 18 | 1.91E-05 | 6.49E-06 | 2.14E-06 | 3.43E-07 | 1.96E-06 | 3.01E-05 |
| >20 | 2.14E-05 | 6.93E-06 | 2.16E-06 | 3.25E-07 | 2.19E-06 | 3.31E-05 |
| válvulas manuales | Hasta 2 | 1.50E-05 | 8.05E-06 | 4.58E-06 | 2.66E-06 |  | 3.03E-05 |
| 3 | 1.55E-05 | 8.06E-06 | 4.39E-06 | 2.36E-06 |  | 3.03E-05 |
| 4 | 1.61E-05 | 8.05E-06 | 4.19E-06 | 2.08E-06 |  | 3.04E-05 |
| 6 | 1.71E-05 | 7.97E-06 | 3.81E-06 | 9.15E-07 | 7.16E-07 | 3.06E-05 |
| 8 | 2.09E-05 | 9.85E-06 | 4.78E-06 | 1.16E-06 | 9.81E-07 | 3.77E-05 |
| 10 | 2.53E-05 | 1.24E-05 | 6.31E-06 | 1.62E-06 | 1.51E-06 | 4.71E-05 |
| 12 | 2.93E-05 | 1.50E-05 | 7.99E-06 | 2.16E-06 | 2.18E-06 | 5.65E-05 |
| 14 | 3.29E-05 | 1.75E-05 | 9.80E-06 | 2.78E-06 | 3.03E-06 | 6.60E-05 |
| 16 | 3.60E-05 | 2.00E-05 | 1.17E-05 | 3.51E-06 | 4.11E-06 | 7.54E-05 |
| 18 | 3.88E-05 | 2.24E-05 | 1.38E-05 | 4.34E-06 | 5.49E-06 | 8.48E-05 |
| >20 | 4.11E-05 | 2.47E-05 | 1.60E-05 | 5.29E-06 | 7.23E-06 | 9.42E-05 |
| válvulas actuadas | Hasta 2 | 1.45E-04 | 5.77E-05 | 2.30E-05 | 7.28E-06 |  | 2.33E-04 |
| 3 | 1.27E-04 | 5.28E-05 | 2.21E-05 | 7.59E-06 |  | 2.10E-04 |
| 4 | 1.11E-04 | 4.77E-05 | 2.09E-05 | 7.81E-06 |  | 1.87E-04 |
| 6 | 7.87E-05 | 3.68E-05 | 1.77E-05 | 4.26E-06 | 3.61E-06 | 1.41E-04 |
| 8 | 6.89E-05 | 3.25E-05 | 1.58E-05 | 3.87E-06 | 3.37E-06 | 1.25E-04 |
| 10 | 7.19E-05 | 3.28E-05 | 1.54E-05 | 3.60E-06 | 2.95E-06 | 1.27E-04 |
| 12 | 7.48E-05 | 3.31E-05 | 1.49E-05 | 3.34E-06 | 2.57E-06 | 1.29E-04 |
| 14 | 7.78E-05 | 3.32E-05 | 1.44E-05 | 3.10E-06 | 2.24E-06 | 1.31E-04 |
| 16 | 8.08E-05 | 3.34E-05 | 1.39E-05 | 2.87E-06 | 1.93E-06 | 1.33E-04 |
| 18 | 8.37E-05 | 3.35E-05 | 1.34E-05 | 2.65E-06 | 1.66E-06 | 1.35E-04 |
| >20 | 8.67E-05 | 3.35E-05 | 1.29E-05 | 2.45E-06 | 1.42E-06 | 1.37E-04 |
| Conexiones de instrumentos | Todo | 1.20E-04 | 5.00E-05 | 2.70E-05 |  |  | 1.97E-04 |
| Recipientes de proceso (a presión) | Entradas < 2 | 3.30E-04 | 1.70E-04 | 1.40E-04 |  |  | 6.42E-04 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 3.30E-04 | 1.70E-04 | 9.30E-05 | 4.90E-05 |  | 6.42E-04 |
| Entradas ≥ 6 | 3.30E-04 | 1.70E-04 | 9.30E-05 | 2.50E-05 | 2.40E-05 | 6.42E-04 |
| Bombas centrífugas | Entradas < 2 | 2.70E-03 | 6.40E-04 | 1.60E-04 |  |  | 3.50E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 2.70E-03 | 6.40E-04 | 1.40E-04 | 1.80E-05 |  | 3.50E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 2.70E-03 | 6.40E-04 | 1.40E-04 | 1.40E-05 | 4.00E-06 | 3.50E-03 |
| Bombas reciprocantes | Entradas < 2 | 8.10E-04 | 5.50E-04 | 8.60E-04 |  |  | 2.22E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 8.10E-04 | 5.50E-04 | 4.20E-04 | 4.40E-04 |  | 2.22E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 8.10E-04 | 5.50E-04 | 4.20E-04 | 1.60E-04 | 2.80E-04 | 2.22E-03 |
| Compresores centrífugos | Entradas < 2 | 3.40E-03 | 1.50E-03 | 9.20E-04 |  |  | 5.82E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 3.40E-03 | 1.50E-03 | 6.70E-04 | 2.50E-04 |  | 5.82E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 3.40E-03 | 1.50E-03 | 6.70E-04 | 1.50E-04 | 1.10E-04 | 5.83E-03 |
| Compresores alternativos | Entradas < 2 | 6.80E-03 | 3.10E-03 | 2.00E-03 |  |  | 1.19E-02 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 6.80E-03 | 3.10E-03 | 1.40E-03 | 5.60E-04 |  | 1.19E-02 |
| Entradas ≥ 6 | 6.80E-03 | 3.10E-03 | 1.40E-03 | 3.20E-04 | 2.40E-04 | 1.19E-02 |
| Intercambiadores de calor de carcasa y tubos; lado de carcasa HC | Entradas < 2 | 9.00E-04 | 4.30E-04 | 3.10E-04 |  |  | 1.64E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 9.00E-04 | 4.30E-04 | 2.10E-04 | 9.70E-05 |  | 1.64E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 9.00E-04 | 4.30E-04 | 2.10E-04 | 5.30E-05 | 4.40E-05 | 1.64E-03 |
| Intercambiadores de calor de carcasa y tubos; Intercambiadores de calor de carcasa y tubos | Entradas < 2 | 3.90E-04 | 2.30E-04 | 2.60E-04 |  |  | 8.80E-04 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 3.90E-04 | 2.30E-04 | 1.50E-04 | 1.10E-04 |  | 8.80E-04 |
| Entradas ≥ 6 | 3.90E-04 | 2.30E-04 | 1.50E-04 | 4.90E-05 | 6.20E-05 | 8.81E-04 |
| Intercambiadores de calor de placas | Entradas < 2 | 5.60E-03 | 2.00E-03 | 8.50E-04 |  |  | 8.45E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 5.60E-03 | 2.00E-03 | 6.80E-04 | 1.70E-04 |  | 8.45E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 5.60E-03 | 2.00E-03 | 6.80E-04 | 1.10E-04 | 5.80E-05 | 8.45E-03 |
| Intercambiadores de calor refrigerados por aire | Entradas < 2 | 8.90E-04 | 3.10E-04 | 1.40E-04 |  |  | 1.34E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 8.90E-04 | 3.10E-04 | 1.10E-04 | 2.80E-05 |  | 1.34E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 8.90E-04 | 3.10E-04 | 1.10E-04 | 1.80E-05 | 9.30E-06 | 1.34E-03 |
| Filtros | Entradas < 2 | 1.20E-03 | 4.40E-04 | 1.90E-04 |  |  | 1.83E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 1.20E-03 | 4.40E-04 | 1.50E-04 | 3.90E-05 |  | 1.83E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 1.20E-03 | 4.40E-04 | 1.50E-04 | 2.60E-05 | 1.30E-05 | 1.83E-03 |
| Trampas para cerdos | Entradas < 2 | 1.40E-03 | 7.40E-04 | 6.30E-04 |  |  | 2.77E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 1.40E-03 | 7.40E-04 | 4.10E-04 | 2.20E-04 |  | 2.77E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 1.40E-03 | 7.40E-04 | 4.10E-04 | 1.10E-04 | 1.10E-04 | 2.77E-03 |
| Desgasificadores | Entradas < 2 | 8.70E-04 | 5.50E-04 | 7.20E-04 |  |  | 2.14E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 8.70E-04 | 5.50E-04 | 3.80E-04 | 3.40E-04 |  | 2.14E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 8.70E-04 | 5.50E-04 | 3.80E-04 | 1.40E-04 | 2.00E-04 | 2.14E-03 |
| Expansores | Entradas < 2 | 2.30E-03 | 1.00E-03 | 6.20E-04 |  |  | 3.92E-03 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 2.30E-03 | 1.00E-03 | 4.50E-04 | 1.70E-04 |  | 3.92E-03 |
| Entradas ≥ 6 | 2.30E-03 | 1.00E-03 | 4.50E-04 | 9.90E-05 | 7.00E-05 | 3.92E-03 |
| Turbinas | Entradas < 2 | 6.90E-03 | 2.40E-03 | 1.10E-03 |  |  | 1.04E-02 |
| 2 ≤ Entradas < 6 | 6.90E-03 | 2.40E-03 | 7.90E-04 | 3.40E-04 |  | 1.04E-02 |
| Entradas ≥ 6 | 6.90E-03 | 2.40E-03 | 7.90E-04 | 1.30E-04 | 2.10E-04 | 1.04E-02 |
| Para unidades SI, 1 pulgada = 0,025 m.  \* Si el límite superior del rango de tamaño del orificio excede el diámetro de la tubería, utilice el diámetro de la tubería como el tamaño del orificio representativo para fines de modelado de consecuencias.  † Estas tasas de fallo no necesariamente representan fallos de juntas en las instalaciones de GNL. En todos los sistemas, las tuberías con juntas bridadas deben considerar las fugas debidas a fallos de juntas. Consulte A.‍19.6.1 para consultar las publicaciones que ofrecen orientación sobre las tasas de fallo. | | | | | | | |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002517)

|  |  |
| --- | --- |
| **Tabla 19.10.1(a) Criterios de tolerabilidad del riesgo individual (RI) de mortalidad** | |
| **Criterio Frecuencia Anual** | **Desarrollos Permitidos** |
| **Zona 1** IR > 5 × 10 −5 | Todos los usos de la tierra bajo el control del operador de la planta o sujetos a un acuerdo legal aprobado |
| **Zona 2** 3 × 10 −7 ≤ IR ≤ 5 × 10 −5 | Áreas públicas generales excluyendo establecimientos sensibles\* |
| **Zona 3** IR < 3 × 10 −7 | Sin restricciones |
| \*Los establecimientos sensibles son instalaciones institucionales que podrían ser difíciles de evacuar. Algunos ejemplos incluyen, entre otros, escuelas, guarderías, hospitales, residencias de ancianos, cárceles y prisiones. | |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A001580)

|  |  |
| --- | --- |
| **Tabla 19.10.1(b) Criterios de tolerabilidad del riesgo individual (RI) de daño irreversible** | |
| **Criterio Frecuencia Anual** | **Desarrollos Permitidos** |
| **Zona 1** IR > 5 × 10 −4 | Todos los usos de la tierra bajo el control del operador de la planta o sujetos a un acuerdo legal aprobado |
| **Zona 2** 3 × 10 −6 ≤ IR ≤ 5 × 10 −4 | Áreas públicas generales excluyendo establecimientos sensibles\* |
| **Zona 3** IR < 3 × 10 −6 | Sin restricciones |
| \*Los establecimientos sensibles son instalaciones institucionales que podrían ser difíciles de evacuar. Algunos ejemplos incluyen, entre otros, escuelas, guarderías, hospitales, residencias de ancianos, cárceles y prisiones. | |

[Ver en publicación](https://link.nfpa.org/publications/59A/2023/chapters/19#ID00059A002191)