

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS

**DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE
INTEGRIDAD DE SEGURIDAD
REQUERIDO (SIL) PARA UNA
PLANTA DE HIDRÓGENO**

**INFORME DE LA PRÁCTICA
PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

ELSA GARCÍA ALARCÓN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE Prof. José Antonio Ortiz Ramírez

VOCAL Prof. Humberto Ragel Dávalos

SECRETARIO Prof. Mirna Rosa Estrada Yáñez


1er. SUPLENTE Prof. Ezequiel Millán Velasco

2do. SUPLENTE PROF. Ramón Ramírez Martinel

Sitio de Desarrollo del Tema: Empresa: TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE S.A.
DE C.V.

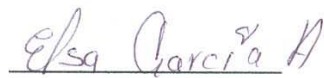
Dom.: Puebla No. 151-11 CASA "L" P.B. Col. Roma, C.P. 06700 México D.F.

ASESOR DEL TEMA



Ing. J. Antonio Ortiz Ramírez

SUSTENTANTE



Elsa García Alarcón

TESIS

**DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE
INTEGRIDAD DE SEGURIDAD
REQUERIDO (SIL) PARA UNA
PLANTA DE HIDRÓGENO**

ÍNDICE

| | |
|---|--------------------------------------|
| 1. INTRODUCCIÓN | ¡Error! Marcador no definido. |
| 2. OBJETIVO | ¡Error! Marcador no definido. |
| 3. DESCRIPCIÓN GENERAL..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5. METODOLOGÍA EMPLEADA | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6. DESARROLLO DE LA DETERMINACIÓN DEL SIL REQUERIDO | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.1. DETERMINACIÓN DE EVENTOS PELIGROSOS Y DE LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2. DETERMINACIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE OCURRENCIA DE LOS EVENTOS PELIGROSOS (F evento) | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2.1. Método de Árboles de Fallos ⁸ | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2.2. Método de los árboles de sucesos ⁹ | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.2.3. Desarrollo de los árboles de fallos y árboles de sucesos | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.3. DETERMINACIÓN DE LAS FRECUENCIAS OBJETIVO (F _{objetivo}) DE LOS EVENTOS PELIGROSOS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4. DETERMINACIÓN DEL SIL REQUERIDO | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.1. Tabla causa efecto de los enclavamientos analizados | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.2. Tabla causa efecto de los enclavamientos analizados | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.3. SIL requerido para el enclavamiento No. 3 (FFSL-602A) DTI PA-A40-011 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.4. SIL requerido para los enclavamientos No. 4,5 (PSL-851) y (PSH-851), DTI PA-A40-006 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.5. SIL requerido para el enclavamiento No 6 (PSL-801A) DTI PA-A40-006 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.6. SIL requerido para los enclavamientos No. 7,8 (PSL-504/5/6) y (PSH-504/5/6), DTI PA-A40-007 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.7. SIL requerido para los enclavamientos No. 9, 10 (PSL-507/8/9) y (PSH-507/8/9), DTI PA-A40-007 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.8. SIL requerido para el enclavamiento No. 11 (BSL-531/4), DTI PA-A40-008..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.9. SIL requerido para el enclavamiento No. 12 (FSL-801A) DTI PA-A40-012 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.10. SIL requerido para el enclavamiento No. 13 (LSHH-309), DTI PA-A40-015..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.11. SIL requerido para los enclavamientos No. 14,15 (LSL-708/9/10) y (LSHH-708/9/10), DTI PA-A40-004..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.12. SIL para el enclavamiento No. 16 (TDSHH-201), DTI PA-A40-006 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.13. SIL requerido para el enclavamiento No. 17 (FSL-103), DTI PA-A40-005 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.14. SIL requerido para el enclavamiento No. 18 (TSL-620), DTI PA-A40-101/1 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.15. | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.16. SIL requerido para el enclavamiento No. 19 (LSLL-310), DTI PA-A40-016 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.17. SIL requerido para el enclavamiento No. 20 (LSLL-311), DTI PA-A40-017 | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.18. SIL requerido para el enclavamiento No. 21 (LSLL-312), DTI PA-A40-017 | ¡Error! Marcador no definido. |

| | | |
|------------|--|-------------------------------|
| 6.4.19. | SIL requerido para los enclavamientos No. 23 (PSL-403), DTI PA-A40-018..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 6.4.20. | SIL requerido para los enclavamientos No. 24 (LSHH-304), DTI PA-A40-017..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 7. | RESUMIENDO | ¡Error! Marcador no definido. |
| 8. | ABREVIATURAS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 9. | REFERENCIAS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 10. | ANEXOS | ¡Error! Marcador no definido. |

1. INTRODUCCIÓN

Con base en la opción de titulación a través de la presentación de un informe de práctica profesional, a continuación se presentan en forma descriptiva e introductoria las actividades en las que se ha venido participando, en el área de análisis de riesgo, realizado a diferentes instalaciones de PEMEX Refinación y PEMEX Exploración Producción, dentro de las cuales se desarrollo un análisis de riesgo aplicando la metodología de análisis de peligro y operabilidad HAZOP el cual es uno de los documentos base para determinar el Nivel de Integridad de Seguridad Requerido (SIL) o NIS, por sus siglas en ingles y español, de los Sistemas Instrumentados de Seguridad SIS, en diversas plantas de proceso.

Esta metodología se aplicará a una Planta de Hidrógeno en la etapa de Ingeniería Básica ya que de manera general los accidentes, deben prevenirse como un objetivo inicial del diseño en una instalación y deben ser mitigados para reducir el riesgo al personal, al medio ambiente y a las instalaciones. Por lo tanto, los Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS) cumplen una función primordial evitando los eventos de riesgo o minimizando la severidad de las consecuencias sobre el personal, el medio ambiente y sobre las instalaciones.

2. OBJETIVO

El presente estudio tiene por objetivo, determinar el Nivel de Integridad de Seguridad Requerido (NIS) de los Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS) para una Planta de Hidrógeno tipo.

Para dicho estudio, se tiene como base la siguiente documentación:

- Diagramas de tubería e instrumentación de la Ingeniería Básica
- Análisis de Peligro y Operabilidad HAZOP (*Hazard and Operability*)
- Matriz Causa-Efecto derivada del Análisis de Peligro y Operabilidad

Este estudio servirá de base para complementar la Ingeniería Básica del proyecto, lo que redundará en minimizar los riesgos asociados.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

3.1 Propiedades del hidrógeno^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.}

El hidrógeno, es el elemento más ligero y abundante en la naturaleza, presenta propiedades que hacen delicada su utilización, en condiciones seguras. Es altamente inflamable, tiene una alta detonabilidad en el medio ambiente, presenta un bajo calor de vaporización, una baja energía de ignición y posee la más grande energía de combustión por unidad de masa.

3.2 Obtención del hidrógeno^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.} ^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.}

Actualmente hay varios caminos para obtener el hidrógeno, algunos de ellos se encuentran en etapa de desarrollo y otros en etapa de experimentación:

3.2.1. Reformado de vapor a partir de gas natural

La reacción entre vapor de agua y metano se aplicó por primera vez en 1941. En 1953, la M. W. Kellogg¹ diseñó el primer reformador a baja presión, 4,053 MPa¹. La reformación de vapor se realiza en equipos llamados reformadores mismos que están diseñados para hacer reaccionar el gas natural con vapor para producir una mezcla de gases cuyos componentes son: hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO).

En el reformado de vapor la conversión de gas natural puede llevarse a cabo por diferentes procesos o por la combinación de éstos, las opciones más importantes son:

3.2.1.1 Reformación tubular (steam reforming). También se le conoce como reformación primaria y consiste en la generación de hidrógeno por oxidación del gas natural conteniendo metano con vapor de agua, y donde el

¹ Mega pascales

calentamiento se lleva a cabo en un reformador a fuego directo, debido a que la reacción es altamente endotérmica, es usada sola o en combinación con otros pasos de reformación tales como la prereformación adiabática o la reformación secundaria.

3.2.1.2 Reformación por intercambio de calor. En este tipo de proceso parte o todo el calor requerido en la reacción para producir hidrógeno se suministra por intercambio de calor con el gas del mismo proceso, éste varía con la reacción tubular convencional donde todo el calor es suministrado por combustión externa.

3.2.1.3 Prerreformación adiabática. Este proceso es utilizado para la reacción de carga de hidrocarburos, que van desde gas natural hasta nafta pesada, donde los hidrocarburos son convertidos a monóxido de carbono, hidrógeno y metano.

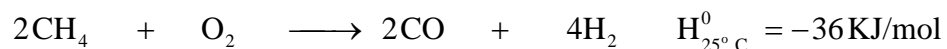
3.2.1.4 Reformación secundaria y autotérmica. Es un proceso en el cual la conversión completa del hidrocarburo se lleva a cabo en un reactor por combustión interna mediante el uso de oxígeno.

3.2.2. Oxidación parcial catalítica de hidrocarburos

La oxidación parcial catalítica es un proceso que consiste en oxidar parcialmente el metano, pudiendo aplicar a otros hidrocarburos fósiles en presencia de catalizadores por impregnación húmeda, tales como óxidos comerciales La_2O_3 , MgO , ZrO_2 , en donde el agente oxidante puede ser el aire, aire enriquecido con oxígeno u oxígeno puro.

El problema que presenta este proceso es la deposición de carbón en el catalizador ocasionando la desactivación térmica del catalizador.

Este proceso consiste en una reacción catalítica de oxidación del metano



La reacción está favorecida a altas temperaturas ($T > 930^\circ\text{C}$) en exceso de metano. La relación molar O_2/CH_2 de la alimentación suele estar comprendida entre 0.5 y 1.

3.2.3. Electrólisis del agua

Otra tecnología común para la producción de hidrógeno es la electrólisis del agua. Aunque el elevado consumo eléctrico hace que esta alternativa no sea muy atractiva para la mayoría de los usuarios industriales, algunas ventajas específicas de este proceso lo convierten en un buen candidato para su utilización en regiones aisladas donde el suministro eléctrico se encuentre disponible a bajos precios.

3.2.4 Gasificación de los fondos de barril, coque, carbón y biomasa

Uno de procesos que ha cobrado importancia en los últimos años en el ámbito mundial, ha sido la gasificación de diversos tipos de carbón, los productos residuales de los fondos de barril, como coque e hidrocarburos líquidos pesados e incluso la biomasa.

La tecnología consiste en generar un gas de síntesis que podría no sólo usarse como combustible para la cogeneración de vapor y generación de energía eléctrica, sino también para la producción de hidrógeno.

Se conocen diversas tecnologías, la denominada primera generación a partir de la gasificación de carbón que incluye el lecho móvil que es el proceso de gasificación presurizado de Lurgi (1930); el lecho de flujo de arrastre para los procesos Texaco (1940) y Koppers Totzek (1950), y el lecho fluidizado del proceso Winkler (1920).

En los procesos de gasificación de lecho de flujo de arrastre se pueden tener dos variantes, puede procesar combustibles sólidos o líquidos, si se trata de un combustible sólido éste tiene que ser pulverizado finamente antes de entrar al gasificador, o si el combustible es líquido tiene que ser atomizado, en ambos casos se alimentan junto con el o los agentes gasificantes.

Los procesos de lecho fluidizado y lecho móvil únicamente pueden procesar combustibles sólidos, incluyendo la biomasa.

3.2.5 Fotoproducción de hidrógeno

En la fotoproducción del hidrógeno se utiliza como fuente energética la luz solar.

El proceso denominado en forma genérica como fotoproducción de hidrógeno, incluye los procesos: fotoelectroquímico, fotoquímico y fotobiológico.

La tecnología foto electroquímica inició en el año de 1972 cuando se pudo obtener hidrógeno en pequeñas cantidades iluminando celdas de bióxido de titanio (TiO_2) a partir de la luz solar. Con esta tecnología se podría llevar a cabo la conversión de energía luminosa a energía eléctrica, mediante el uso de paneles fotovoltaicos.

La tecnología del proceso fotoquímico es aprovechando la propiedad que tiene el vapor de agua de absorber en el espectro infrarrojo, donde la energía de los fotones es insuficiente para producir la hidrólisis, siendo necesario adicionar alguna molécula o semiconductor capaz de absorber en otra región y permitir que se lleve a cabo la separación del hidrógeno y el oxígeno.

El proceso fotobiológico es objeto de estudio por parte de la biotecnología, que se ha consolidado en los últimos años como el conjunto de tecnologías encaminadas a la búsqueda de nuevas fuentes de energía conduciendo a la producción de biocombustibles (biodiesel, metano, etanol e hidrógeno). Se investiga la posibilidad de producir el hidrógeno a partir de las algas verdes, las que después de haber sido sometidas a condiciones anaerobias y oscuridad se les induce la síntesis y actividad de la hidrogenasa. Cuando estas algas son sometidas nuevamente a la luz, producen hidrógeno y oxígeno.

Para este estudio se tomara la obtención de hidrógeno a partir de gas natural por medio de catálisis de vapor reformado.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

De los procesos antes descritos el que se utilizará para la producción de hidrógeno corresponde a la combinación de la reacción de vapor de agua con gas natural y oxidación parcial catalítica de hidrocarburos, a través de los siguientes procesos:



4.1. Desulfuración

La reformación¹ catalítica es sensible a envenenamiento de sulfuro, el gas natural considerado para el proyecto como alimentación contendría arriba de 7 ppm² de sulfuro, 5 ppm máximo en forma de sulfuro de hidrógeno (H₂S) y 2 ppm máximo de sulfuro orgánico como mercaptano, el cual es procesado en un Reactor de Hidrogenación y finalmente adsorbido y convertido a ZnS en un reactor que contiene ZnO como adsorbente.

¹ Proceso de separación del hidrogeno del gas natural

² Partes por millón

4.2. Reformación de Vapor

En el Reformador de Vapor la mezcla de gas natural desulfurado y vapor de proceso es removido por aplicación de calor externo, el cual convierte vapor y gas natural a los productos gaseosos CO y H₂. Los efluentes del Reformador contienen además como productos finales CO₂ y residual CH₄ y H₂O.

El monóxido de carbono, el cual es producido en el reformador de vapor, es convertido por medio de vapor de agua y una catálisis a alta temperatura en hidrógeno y bióxido de carbono, la cual es altamente exotérmica.

El calor sobrante contenido en el tubo de escape del horno es utilizado para sobrecalentamiento de la alimentación de reformación, generando vapor de media presión, sobrecalentando el vapor de media presión y precalentando el aire de combustión.

4.3. Conversión de CO

La finalidad de la conversión de CO en presencia de agua contenido en alguno de los procesos de vapor no convertidos, es la recuperación de H₂ y CO₂, cuya reacción es altamente exotérmica. El contenido de CO a la salida del reactor es menor.

4.4. Unidad PSA (Pressure Swit Absortion)

El resto de componentes no deseados son removidos de la corriente de hidrógeno por medio de adsorción en un tamiz molecular usando un Proceso PSA. La purificación de hidrógeno esta basada en una adsorción selectiva de componentes de gas tal como CH₄, CO, CO₂, N₂ y H₂O. El hidrógeno no es adsorbido lo cual permite a la unidad de adsorción obtener un gas de alta purificación. Subsecuentemente el hidrógeno puro es comprimido en el Compresor de Hidrógeno; una pequeña cantidad es reciclado

corriente arriba del Reactor de Hidrogenación y la mayor parte es retornada a límite de batería a la presión deseada.

Durante la regeneración de adsorción en la unidad PSA, los gases adsorbidos son liberados y retornados como gases de desecho al sistema de desfogue, lo cual asegura un constante y estable abastecimiento de gas combustible al quemador del reformador.

El gas combustible y gas natural son usados como combustibles en el reformador de vapor, solo durante el arranque, paro y balance de calor requerido.

El calor residual es recuperado del flujo de gas, así como del gas reformado a precalentamiento y sobrecalentamiento para corriente de proceso y producción de vapor.

1. METODOLOGÍA EMPLEADA

Como menciona expresamente la norma NRF-045-PEMEX-2002^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.} (“Determinación del Nivel de Seguridad de los Sistemas Instrumentados de Seguridad”) en su apartado 8.1.2 para la determinación del SIL objetivo, se debe contar previamente con un Análisis y Evaluación del Riesgo.

El objetivo de dicho Análisis es la identificación de los riesgos del proceso, la valoración de los mismos (frecuencia/consecuencia) y la decisión de la tolerancia o no del riesgo. Si los riesgos identificados son tolerables o pueden ser controlados hasta un nivel aceptable con aplicación de recomendaciones “NO SIS” se finaliza el proceso.

En cambio, si los riesgos identificados requieren un SIS para alcanzar un nivel del riesgo tolerable, entonces es necesario definir el Nivel de Integridad de Seguridad objetivo (SIL objetivo) el cual debe cumplir dicho SIS. Cada SIS planteado debe cumplir con la función de seguridad para la que ha sido diseñado, que no es otra que la protección frente al riesgo identificado como no tolerable.

El propósito de seleccionar un SIL objetivo es especificar la reducción de riesgo requerido, es decir, la diferencia entre los niveles de riesgo existente y tolerable, en términos de SIL.

La tabla 5.1 muestra los niveles de frecuencias objetivo para eventos peligrosos de diferentes severidades. Basándose en los criterios mostrados en la tabla, cada evento peligroso específico con una severidad definida debe tener una frecuencia menor a la indicada. Por ejemplo, la frecuencia de algún evento peligroso específico con severidad sería debe ser menor a 10^{-4} eventos por año.

Tabla 5.1 Frecuencias Objetivo

| NIVEL DE IMPACTO DEL EVENTO | CONSECUENCIA | FRECUENCIA OBJETIVO POR AÑO |
|-----------------------------|---|-----------------------------|
| Menor | Impacto inicialmente limitado a un área local del evento con un potencial para una consecuencia más amplia si no se toman acciones correctivas. Fugas dentro de barreras de contención cuyas consecuencias al ambiente son conocidas (ruido, olores e impacto visual detectable, derrame externo controlable en un día) | $1,0 \times 10^{-3}$ |
| Serio | Es aquella consecuencia que podría causar cualquier lesión o fatalidad seria en el sitio o fuera de el, o bien, daño a la propiedad de \$ 1 MM en sitio y de "5 MM fuera de el. Fugas fuera de los límites sin efectos adversos (el derrame externo se puede controlar en pocos días) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Catastrófico | Es aquella consecuencia que es 5 o más veces severas que un accidente SERIO. Fuga fuera de los límites de contención con efectos adversos (derrame no controlable en pocos días) | $1,0 \times 10^{-6}$ |

* NRF-045-PEMEX-2002¹ Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Una vez definidas las frecuencias objetivo se procede a calcular la reducción del riesgo requerida para cada una de las frecuencias, la cuál es una función de la frecuencia del evento no mitigado y de la frecuencia objetivo:

$${}^{obj}PFD_{prom} = F_{objetivo} / F_{evento}$$

Donde:

- ${}^{obj}PFD_{prom}$ = Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio.
- $F_{objetivo}$ = Frecuencia objetivo. (Apartado 6.2.)
- F_{evento} = Frecuencia del evento no mitigado. (Apartado 6.3.)

La asignación del SIL se hace basándose en la PFD requerida (tabla 5.2). La PFD objetivo se expresa en términos de SIL sobre la base de la tabla especificada por ISA S84¹ Error! No se encuentra el origen de la referencia. y EIC 61511¹ Error! No se encuentra el origen de la referencia. El SIL seleccionado debe proporcionar un mayor factor de reducción del riesgo (FRR) de lo requerido.

Si la PFD calculada para cada una de las frecuencias objetivos es mayor que 10^{-1} , no se requiere un SIS. Si se cumplen ambas condiciones (PFD y FFR) es posible realizar la asignación de SIL correspondiente de acuerdo con la tabla 5.2:

Tabla 5.2 Asignación del (SIL) sobre la base de PFD y FRR

| (NIS, SIL) | PFD | FRR |
|-------------------|-------------------|--------------|
| 1 | 10-1 > PFD > 10-2 | 10 – 100 |
| 2 | 10-2 > PFD > 10-3 | 100 – 1000 |
| 3 | 10-3 > PFD > 10-4 | 1000 – 10000 |

NRF-045-PEMEX-2002.

DESARROLLO DE LA DETERMINACIÓN DEL SIL REQUERIDO

1.1. DETERMINACIÓN DE EVENTOS PELIGROSOS Y DE LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD.

El SIL de un enclavamiento es la medida de la reducción del riesgo que se incorporará a los instrumentos que conforman el SIS de la Planta de Hidrógeno

Una de las etapas de la Gestión del SIS de la planta establecida por la norma EIC 61508^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.}/61511^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.} es la Asignación del SIL Requerido para cada una de las funciones de seguridad. Dicha asignación se realiza empleando la norma PEMEX NRF-045-PEMEX-2002^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.} que está basada en una de las metodologías indicadas en la parte 3 de la EIC 51661, identificada como “Método Cuantitativo”.

Derivado del HAZOP^{Error! No se encuentra el origen de la referencia.} (Ver Anexo 1) de la planta se tuvieron en cuenta los enclavamientos indicados en la matriz causa–efecto propuestos por la ingeniería básica, los cuales forman parte de una capa de protección adicional para reducir el riesgo.

Para la asignación del SIL requerido se estableció la severidad de cada una de las consecuencias del fallo de los lazos de control que fueron estudiados en el HAZOP y que junto con la elaboración de los árboles de fallo y de eventos, permitirán desarrollar la determinación del nivel de integridad de cada enclavamiento de la matriz causa-efecto.

A continuación, en la Tabla 6.1-1 se muestra la selección de los veinte nodos que fueron analizados en el HAZOP (Ver Anexo 1), los cuales han ayudado a establecer las causas y consecuencias de los fallos que se estudiaron en el mencionado estudio.

Tabla 6.1-1 Lista de nodos para la Planta de Hidrógeno

| NODOS |
|--|
| NODO 1: Interior del Separador de Gas de Alimentación |
| NODO 2: Colector 8"-GN-0605-150B01 de entrada de gas combustible al Reformador de vapor. |
| NODO 3: Línea 20"-GCO-1814-150B01-P de entrada del gas de la unidad paquete PSA al Reformador con vapor H-1A. |
| NODO 4: 8"-P-0204-600C01-H de salida del Reactor de Hidrogenación. |
| NODO 5: Línea 6"-P-0206-600C01-H de salida del Reactor de Desulfurización a la entrada del Mezclador de Vapor-Gas. |
| NODO 6: Interior del Tambor de vapor |
| NODO 7: Línea 10"-VM-0506-600C02-H de salida de vapor del sobrecalentador de vapor E-3A, a la entrada del Mezclador de vapor-gas |
| NODO 8: Línea 12"-P-0503-600N01-H de entrada al Reformador con vapor, aguas abajo de E-1A, E-2A y E-3A |
| NODO 9: Línea 18"-P-0201-300E01-H de salida del Mutador de CO de Alta Temperatura R-3, aguas abajo de la descarga de las PSV-201A/B. |
| NODO 10: Interior del Separador Final de Condensado de Proceso D-7. |
| NODO 11: Línea 6"-H-200-H300, a la salida de la unidad paquete PSA |
| NODO 12: Línea 18"-TG-400H300 de salida de la PSA. |
| NODO 13: Línea 8"-P-1802-900E02, de descarga del compresor de hidrógeno C-3A. |
| NODO 14: Línea de entrada de aire de combustión al Reformador de vapor. |
| NODO 15: Línea de entrada de gases de combustión a la Chimenea de gases de combustión HC-1. |
| NODO 16: Interior del Tanque de Agua a Calderas y Desaerador D-3 |
| NODO 17: Línea de envío de vapor de BP a / de L.B. |
| NODO 18: Línea de envío de vapor de MP a L.B, aguas arriba de la PV-605. |
| NODO 19: Interior del Separador de líquidos de gases al desfogue de alta presión D-4. |
| NODO 20: Interior del Separador de líquidos de gases al desfogue de baja presión D-9. |

De manera simultánea a la realización del análisis HAZOP, se procedió a valorar la severidad, probabilidad y nivel del riesgo de los diferentes eventos peligrosos (identificados en la columna de posibles consecuencias), tal y como requiere la norma NRF-045-PEMEX-2002³ en su apartado 8.1.2.

A tal efecto se utilizó la matriz mostrada en la Tabla 6.1-2.

Tabla 6.1-2 Matriz de Jerarquización de Riesgos.

| CATEGORÍA DE SEVERIDAD | | CATEGORÍA DE PROBABILIDAD | PROBABILIDAD | | | | |
|------------------------|---|--|---------------------------------------|--|--|--|----------------|
| | | | FRECUENTE | PROBABLE | POCO PROBABLE | IMPROBABLE | MUY IMPROBABLE |
| | | | Ocurre una vez en un año de operación | Ocurre entre una vez en un año y una vez en diez años. | Ocurre entre una vez en diez años y una vez en el tiempo de vida de la planta. | Ocurre menos de una vez en el tiempo de vida de la planta. | |
| SEVERIDAD | A | CATASTRÓFICO Muerte de personas. Exposición pública a accidente con amenaza a la vida. Medio ambiente: gran emisión no contenida. Muy grandes pérdidas financieras. | 1 | 1 | NP | 2 | NP |
| | B | SEVERO Daños severos con invalidez a personas. Exposición pública a un accidente que puede causar daños. Medio ambiente: emisión moderada no contenida. Grandes pérdidas financieras. | 1 | 2 | NP | 3 | NP |
| | C | MODERADO Daños sin invalidez a personas. No impacto público. Medio ambiente: emisión pequeña no contenida. Pérdidas financieras moderadas. | 2 | 2 | NP | 3 | NP |
| | D | DESPRECIABLE Daños a personas que requieren sólo primeros auxilios. Medio ambiente: pequeña emisión peligrosa que permanece contenida. Pequeñas pérdidas financieras. | 3 | 3 | NP | 3 | NP |
| | E | NO IMPACTO | NP | NP | NP | NP | NP |

1: Intolerable

2: Incorporar medidas reductoras del riesgo adicionales

3: Trabajar para la mejora continua.

NP: No ocurre nada

A partir de los nodos enlistados en 6.1.1 y estudiados en el HAZOP^{iError! No se encuentra el origen de la referencia.} (Ver Anexo 1) se consideraron los posibles eventos peligrosos de mayor riesgo (de acuerdo a la asignación de F (Frecuencia) y C (Consecuencia) realizada), se obtiene la Tabla 6.1-3 un resumen, donde se define lo siguiente:

- a) El número de enclavamiento asociado, basándose en la matriz causa efecto (columna 1)
- b) El instrumento base del enclavamiento asociado (columna 2)
- c) Nodo del HAZOP en el que se identificó el enclavamiento (columna 3)
- d) Causa que puede ocasionar el evento peligroso (columna 4)
- e) El Evento peligroso a considerar o posible consecuencia en caso de no existir el enclavamiento objeto de estudio (columna 5)
- f) La función de seguridad que debe cumplir el sistema para protegerlo del evento peligroso (columna 6)

Tabla 6.1-3 Eventos Peligrosos y Funciones de Seguridad

| Nº ENCLAVAMIENTO ASOCIADO | ENCLAVAMIENTO | NODO | CAUSA | CONSECUENCIA (EVENTO PELIGROSO) | FUNCIÓN DE SEGURIDAD |
|---------------------------|---------------|---------|---|---|---------------------------------------|
| 1 | HS-101A/B | * | - Cualquier fallo del tren que active el ESD correspondiente | Incendio/llamarada/deflagración de nube inflamable/explosión/Nube tóxica. | Paro de emergencia común trenes A y B |
| 2 | HS-101C/D/E | * | - Cualquier fallo del tren que active el ESD correspondiente | Incendio/llamarada/deflagración de nube inflamable/explosión/nube tóxica. | Paro de emergencia |
| 3 | FFSL-602 | 6,9 | - Fallo FV-602A, cierra. - Fallo FV-601A, cierra. | Más presión en el tambor de vapor ocasionando daños a los tubos del reformador | Interruptor por bajo flujo |
| 4 | PSL-851 | 9,14,15 | - Fallo FV-801A, abre totalmente el aire de combustión. - Apertura de alabes del tiro inducido C-2A / Fallo PV-852A, abre. | Menor presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | Interruptor por baja presión |
| 5 | PSH-851 | 9,14,15 | - Cierre de alabes del tiro inducido C-20102A/ Fallo PV-852A - Apertura de alabes del tiro forzado C-1A / Fallo PV-801A, abre. | Más presión en reformador debido al aumento de temperatura por falla en la circulación de los humos, con riesgo de daños a los tubos. | Interruptor por alta presión |

| Nº ENCLAVAMIENTO ASOCIADO | ENCLAVAMIENTO | NODO | CAUSA | CONSECUENCIA (EVENTO PELIGROSO) | FUNCIÓN DE SEGURIDAD |
|---------------------------|---------------|-------|---|--|--------------------------------|
| 6 | PSL-801A | 14,15 | - Fallo FV-801A, abre totalmente el aire de combustión. - Apertura de álabes del tiro inducido C-2A / Fallo PV-852A, abre. | Menos presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | Interruptor por baja presión |
| 7 | PSL-504/5/6 | 3,12 | - Fallo FV-501 A, cierra. - Bloqueo manual en la línea. | Menos presión en línea de gas combustible 20" GCO-1814-150-BO1P, con fallo de quemadores y riesgo de explosión | Interruptor por baja presión |
| 8 | PSH-504/5/6 | 3,12 | - Fallo FV-501 A, abre. | Mas presión en línea 20" GCO-1814-150-BO1P de salida de la Unidad PSA con riesgo de apagado de alguna llama y daños a los tubos | Interruptor por alta presión |
| 9 | PSL-507/8/9 | 1,2 | - Fallo FV-521 A/A1, cierra. - Taponamiento de filtros FG-1A/B. - Ensuciamiento o taponamiento del Demister Fallo PCV-521A/B, cierra. - Mala operación en alinear las válvulas de los filtros. -Fallo PV-518A, abre. | Baja presión en línea 6" GN-0704-150BO1P con falla de suministro de GCO y GN a reformador con riesgo de explosión. | Interruptor por baja presión |
| 10 | PSH-507/8/9 | 2 | - Fallo FV-521 A/A1, abre. | Mas presión en colector de gas combustible con riesgo de apagado de quemadores y daños a los tubos del reformador | Interruptor por alta presión |
| 11 | BSL-531/4 | 2 | - Baja presión en línea 6"-GN-0704-05B01-P. -Menos presión en línea GCO 20"-GCO-1814-150B01-P | Apagado del reformador con riesgo de explosión. | Interruptor por baja flama |
| 12 | FSL-801A | 14,15 | - Fallo FV-801A, abre totalmente el aire de combustión. - Apertura de alabes del tiro inducido C-2A / Fallo PV-852A, abre. | Menor presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | Interruptor por bajo nivel |
| 13 | LSHH-309 | 1 | -Fallo LIC-305, cierra LV-305. | Mas nivel en el separador de gas de alimentación D-5 con riesgo de sobrepresión por taponamiento del demister | Interruptor por muy alto nivel |
| 14 | LSL-708/9/10 | 6,7 | - Fallo LIC-701, cierra LV-701. | Menos nivel en el tambor de vapor D-1A con daños en las calderas E-4A/E-6A con posible daños a los tubos del Generador y Reformador por falta de vapor | Interruptor por bajo nivel |
| 15 | LSHH-708/9/10 | ** | - Fallo LIC-701, abre LV-701. - - Fallo FV-602A, cierra. | Mas nivel en el tambor de vapor D-1A con riesgo de fugas en tubería y posible daños a los tubos del generador y reformador | Interruptor por muy alto nivel |

| Nº ENCLAVAMIENTO ASOCIADO | ENCLAVAMIENTO | NODO | CAUSA | CONSECUENCIA (EVENTO PELIGROSO) | FUNCIÓN DE SEGURIDAD |
|---------------------------|---------------|---------|--|---|--------------------------------------|
| 16 | TDSHH-201 | ** | - Fallo FV-521 A/A1, abre. - Fallo FV-511 A, abre. - Fallo TV-110 A, abre. | Mas temperatura en la línea de 18"-P-0201-300-E01H del mutador R-3 con riesgo de daños a los tubos del reformador con pérdida de producción | Interruptor por muy alta temperatura |
| 17 | FSL-103 | 4,5,8,9 | - Fallo FV-103A, cierra - Fallo PV-402 | Mas presión en línea de 8"-P-0204-600C01-H de salida del reactor de hidrogenación R-1 con riesgo de presurización del R-1 fugas | Interruptor por bajo flujo |
| 18 | TSL-620 | ** | - Fallo TV-604 abre, - Fallo PT-601A cierra | Menor temperatura en la línea 6"-VM-10102-600C02-H con daños a líneas y a equipos | Interruptor por baja temperatura |
| 19 | LSLL-310 | 16 | - Fallo LV-301 abre, LV-302, LV-303. - Cierre VV deareacion. | Menos nivel en el precalentador de agua a calderas E-8 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada. | Interruptor por muy bajo nivel |
| 20 | LSLL-311 | 16 | - Fallo LV-301 abre, LV-302, LV-303. - Cierre VV deareacion. | Menos nivel en el separador de condensados D-6 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada | Interruptor por muy bajo nivel |
| 21 | LSLL-312 | 16 | - Fallo LV-301 abre, LV-302, LV-303. - Cierre VV deareacion. | Menos nivel en el separador de condensados D-7 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada | Interruptor por muy bajo nivel |
| 22 | LSL-705 | 16 | - Fallo LIC-706, cierra LV-706. | Menos nivel en tanque de agua a calderas y desaareador D-3 con daños al reformador | Interruptor por muy bajo nivel |
| 23 | PSL-403 | 11,13 | -Fallo PIC-204, abre PV-204 - Fallo de la PSA. | Menos presión en línea 10"-P-1801-300B01 con riesgo de daños al compresor | Interruptor por baja presión |
| 24 | LSHH-304 | 10 | - Fallo LV-301 cierra, LV-302, LV-303. | Sobrellenado del D-7. Riesgo de sobrepresión aguas arriba. Riesgo de paro de planta. | Interruptor por muy alto nivel |

** Para estos enclavamientos* se supusieron fallas ya que no se localizaron en el Estudio HAZOP⁷

De la tabla anterior se obtiene directamente la siguiente lista de eventos peligrosos identificados (Tabla 6.1-4), cuya frecuencia de ocurrencia definirá la necesidad de alcanzar un determinado nivel SIL del SIS que se asocie.

* Enclavamiento es un interruptor seguridad que se va activar en el caso de que se registre una señal de mal funcionamiento ya se por alta o baja tanto en presión, temperatura o flujo.

Tabla 6.1-4 Eventos Peligrosos Identificados

| Nº ENCLAVAMIENTO ASOCIADO | ENCLAVAMIENTO | EVENTO PELIGROSO IDENTIFICADO |
|----------------------------------|----------------------|--|
| 1 | HS-101A/B | Incendio/llamarada/deflagración de nube inflamable/explosión/nube tóxica. |
| 2 | HS-101C/D/E | Incendio/llamarada/deflagración de nube inflamable/explosión/nube tóxica. |
| 3 | FFSL-602 | Mas presión en el tambor de vapor ocasionando daños a los tubos del reformador |
| 4 | PSL-851 | Menor presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo |
| 5 | PSH-851 | Más presión en reformador debido al aumento de temperatura por falla en la circulación de los humos, con riesgo de daños a los tubos. |
| 6 | PSL-801A | Menos presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo |
| 7 | PSL-504/5/6 | Menos presión en línea de gas combustible 20" GCO-1814-150-BO1P, con fallo de quemadores y riesgo de explosión |
| 8 | PSH-504/5/6 | Mas presión en línea 20" GCO-1814-150-BO1P de salida de la Unidad PSA con riesgo de apagado de alguna llama y daños a los tubos |
| 9 | PSL-507/8/9 | Baja presión en línea 6" GN-0704-150BO1P con falla de suministro de GCO y GN a reformador con riesgo de explosión. |
| 10 | PSH-507/8/9 | Mas presión en colector de gas combustible con riesgo de apagado de quemadores y daños a los tubos del reformador |
| 11 | BSL-531/4 | Apagado del reformador con riesgo de explosión. |
| 12 | FSL-801A | Menor presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo |
| 13 | LSHH-309 | Mas nivel en el separador de gas de alimentación D-5 con riesgo de sobrepresión por taponamiento del Demister |
| 14 | LSL-708/9/10 | Menos nivel en el tambor de vapor D-1A con daños en las calderas E-4A/E-6A con posible daños a los tubos del generador y reformador por falta de vapor |
| 15 | LSHH-708/9/10 | Mas nivel en el tambor de vapor D-1A con riesgo de fugas en tubería y posible daños a los tubos del generador y reformador |
| 16 | TDSHH-201 | Mas temperatura en la línea de 18"-P-0201-300-E01H del mutador R-3 con riesgo de daños a los tubos del reformador con pérdida de producción |
| 17 | FSL-103 | Mas presión en línea de 8"-P-0204-600C01-H de salida del reactor de hidrogenación R-1 con riesgo de presurización del R-1 fugas |
| 18 | TSL-620 | Menor temperatura en la línea 6"-VM-10102-600C02-H con daños a líneas y a equipos |
| 19 | LSLL-310 | Menos nivel en el Precaentador de agua a calderas E-8 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada. |
| 20 | LSLL-311 | Menos nivel en el separador de Condensados D-6 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada |
| 21 | LSLL-312 | Menos nivel en el separador de condensados D-7 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada |
| 22 | LSL-705 | Menos nivel en tanque de agua a calderas y desaereador D-3 con daños al reformador |
| 23 | PSL-403 | Menos presión en línea 10"-P-1801-300B01 con riesgo de daños al compresor |
| 24 | LSHH-304 | Sobrellenado del D-7. Riesgo de sobrepresión aguas arriba. Riesgo de paro de planta. |

1.2. DETERMINACIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE OCURRENCIA DE LOS EVENTOS PELIGROSOS (F evento)

El objetivo de este apartado es el de cuantificar la frecuencia de ocurrencia para cada uno de los eventos identificados en el capítulo anterior, utilizando datos bibliográficos, o bien la técnica de árbol de fallos. Asimismo, se definirán las posibles secuencias accidentales desencadenadas por un determinado suceso iniciador mediante el empleo de la técnica del árbol de sucesos.

1.2.1. Método de Árboles de Fallos^{iError! No se encuentra el origen de la referencia.}

Los árboles de fallos constituyen una técnica ampliamente utilizada en los análisis de riesgos en la medida que proporcionan resultados cualitativos y cuantitativos.

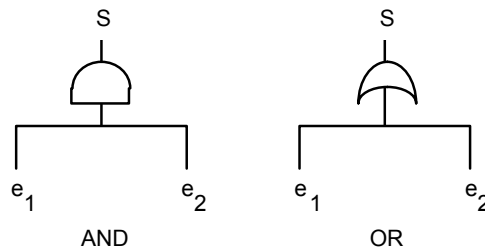
Esta técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole que permite determinar la expresión de un suceso estudiado en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en él.

El primer paso consiste en identificar el suceso “no deseado” o suceso TOP que ocupará la cúspide de la estructura gráfica representativa del árbol. De la definición clara y precisa del TOP depende todo el desarrollo del árbol.

Con este TOP se establecen de forma sistemática todas las causas inmediatas que contribuyen a su ocurrencia. Se han definido de esta forma los llamados sucesos intermedios que, a su vez, pueden ser descompuestos en sus causas directas. En la representación del árbol estos sucesos intermedios se reseñan en los recuadros rectangulares. La unión entre dos distintos sucesos se realiza mediante puertas lógicas.

Los dos tipos más elementales corresponden a las puertas AND y OR. La puerta OR se utiliza para indicar un “O” lógico. El símbolo es el indicado más abajo y significa que la salida lógica S ocurrirá siempre y cuando ocurra por lo menos una de las dos entradas lógicas e_1 , e_2 .

La puerta AND se utiliza para indicar un “Y” lógico. El símbolo es el indicado más abajo. Para que ocurra la salida lógica S es necesario que ocurran conjuntamente las dos entradas lógicas e_1 , e_2 .



Se suelen numerar las puertas del árbol para facilitar su identificación.

El proceso de descomposición de un suceso intermedio se repite sucesivas veces hasta llegar a los sucesos básicos o componentes del árbol. Estos son eventos que no requieren mayor desglose, bien porque su análisis no proporcionará información adicional, o bien porque su tasa de fallo se puede encontrar directamente en los bancos de datos de fiabilidad disponibles. Los sucesos básicos representan indistintamente un fallo de un equipo, un error humano de operación o incluso la ocurrencia de un suceso externo (incendio, terremoto, etc.), en cuyo caso, el dato utilizado es una frecuencia de aparición. En la representación del árbol se suelen indicar en círculos y se numeran para mayor comodidad.

En el análisis cabe destacar dos fases bien diferenciadas. La primera consiste en la elaboración del árbol sucesos (eventos), y es donde se deben integrar todos los conocimientos sobre el funcionamiento y operación de la instalación.

La segunda fase consiste en cuantificar el árbol de fallos. Para ello se reduce la lógica del árbol hasta obtener las combinaciones mínimas de sucesos primarios cuya ocurrencia simultánea garantiza la ocurrencia del propio TOP. Cada una de estas combinaciones, también llamadas conjunto mínimo de fallos ("minimal cut-set" en la nomenclatura anglosajona), corresponde a la intersección lógica (en Álgebra de Boole) de varios sucesos elementales. Como por hipótesis de los árboles de fallos se supone que los sucesos básicos son mutuamente independientes (es decir que la ocurrencia de uno de ellos no tiene influencia sobre la ocurrencia de otro), la probabilidad de un conjunto mínimo de fallos viene dada por el producto de las probabilidades de los sucesos elementales que los componen.

A su vez el suceso TOP viene representado por la unión lógica de todos los N conjuntos mínimos de fallos y se evalúa su probabilidad $P(TOP)$ aplicando la fórmula correspondiente:

$$P(TOP) = \sum_{i=1}^N C_i - \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N C_i * C_j + \sum_{i=1}^{N-2} \sum_{j=i+1}^{N-1} \sum_{k=i+2}^N C_i * C_j * C_k + \dots$$

$$\dots + (-1)^{N-1} * C_1 * C_2 * \dots * C_N$$

Donde C_i designa la probabilidad de un conjunto mínimo de fallos:

$$C_i = \prod_{s=1}^P a_s$$

Siendo a_s la probabilidad de s-ésimo suceso básico del conjunto mínimo de P sucesos (o de orden P)

El cálculo de frecuencia obtenido de los árboles de fallos, se ha basado en la bibliografía existente, concretamente se ha utilizado el OREDA ^{iError! No se encuentra el origen de la referencia.} Los criterios utilizados para determinar las probabilidades de fallo de los instrumentos, equipos y válvulas, son los siguientes:

- Para los lazos de control se han utilizado tasas de fallo crítico medio, ya que incluyen fallo espúreo, fallo al operar, fallo desconocido, etc.
- Para las válvulas se han utilizado tasas de fallo al operar medio (abierto o cerrado)
- Para el caso de filtros, damper y ventiladores se han utilizado tasas de fallo desconocido medio, en el que se supone el fallo del instrumento.

Por otra parte, el cálculo de frecuencias para un determinado evento se encuentra asociado al tipo de elemento que origina el fallo es decir, como criterio general para el desarrollo del mismo se considera lo siguiente:

Para el cálculo de frecuencia para una determinada válvula (LV, FV, PV, etc.) o cualquier otro tipo de componente que está en stand-by y sólo opera en caso de demanda, se considera la obtención de PFD, así también dicho criterio fue aplicable para el caso de fallo de bombas cuya operación se encuentre asociada al fallo al arrancar, considerando para estos tipos de elementos la MTTR (intervalo medio para reparar)

Dicho cálculo se realiza considerando la siguiente formula:

$$(PFD)_{average} = \lambda_d(MTTR + TI_a / 2) + \lambda_d(TI_M / 2)$$

donde:

λ_d = Ratio fallo (Base de datos OREDA)

$MTTR$ = Tiempo medio de reparación

TI_a = Intervalo de diagnóstico automático

TI_M = Intervalo de prueba manual

En caso contrario para aquellos elementos que se encuentran operando en continuo la consideración directa para la obtención de la frecuencia fue a través de la tasa de fallos λ .

1.2.2. Método de los árboles de sucesos ⁱError! No se encuentra el origen de la referencia.

El árbol de sucesos o análisis de secuencia de sucesos es un método inductivo que describe de forma cualitativa y cuantitativa la evaluación de un suceso iniciador hasta el accidente final en función de las características del iniciador, del entorno y de los sistemas de protección.

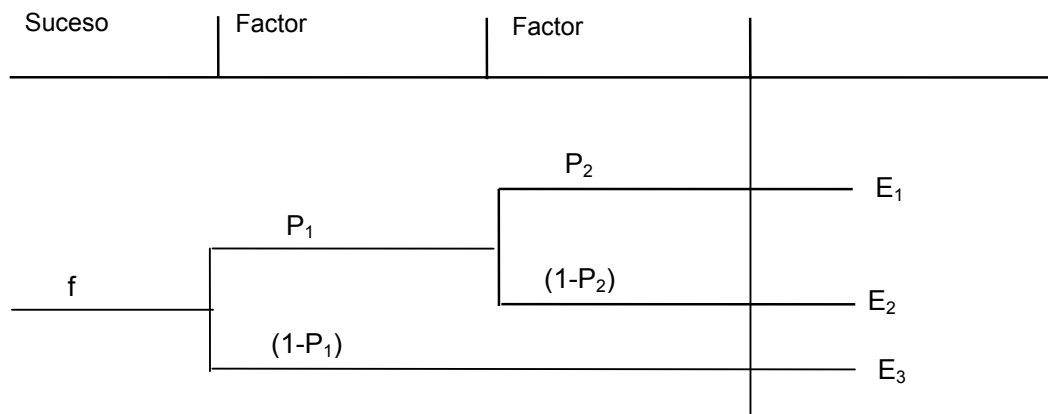
Partiendo del fallo inicial o iniciador y considerando los factores condicionantes involucrados, el árbol describe las secuencias accidentales que conducen a los posibles eventos. La construcción y evaluación del árbol comienza por la identificación de los factores condicionantes y sus probabilidades de ocurrencia (éxito/fallo) de cada uno de

ellos (incluso, si es preciso, recurriendo a un árbol de fallos). A continuación se colocan cada uno de los N factores identificados como cabezales y partiendo del iniciador se plantea sistemáticamente para cada uno de ellos dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso (con probabilidad P) y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del suceso (probabilidad 1-P)

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

La disposición horizontal de los “cabezales” se suele hacer por orden cronológico de evolución del accidente, si bien este criterio es difícil de aplicar en algunos casos.

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



Donde:

- f = frecuencia del suceso iniciador
- P_i = probabilidad de ocurrencia (éxito) del suceso i
- $1-P_i$ = probabilidad de no ocurrencia (fallo) del suceso i
- f_{E_i} = frecuencia del evento E_i , con

$$f_{E_1} = f \cdot P_1 \cdot P_2$$

$$f_{E_2} = f \cdot P_1 \cdot (1-P_2)$$

$$f_{E_3} = f \cdot (1-P_1)$$

Para un determinado evento se suman las frecuencias de las distintas secuencias que conducen a él.

1.2.3. Desarrollo de los árboles de fallos y árboles de sucesos

En los Anexos 2 y 3 se incluye el desarrollo de los árboles de fallos y árboles de sucesos asociados a cada uno de los Eventos peligrosos identificados.

La frecuencia final del evento peligroso (F_{evento}), a efectos de la identificación final del SIL, se calcula multiplicando la frecuencia obtenida del árbol de fallos por la obtenida del árbol de sucesos, tal y como se muestra en la tabla resumen siguiente.

Los árboles de fallos dan la frecuencia del suceso TOP o iniciador (por ejemplo fallo del lazo de control, rotura de sello de bomba, etc.) Los árboles de eventos dan la probabilidad del suceso final o consecuencia del accidente (por ejemplo incendio de charco, flash fire, deflagración, etc.)

Luego la frecuencia del evento final es el producto de la frecuencia del suceso TOP por la correspondiente a la frecuencia de la consecuencia final (fallo de sello de bomba, derrame e incendio de charco, que sería el suceso final)

Tabla 6.2.3-1. Frecuencias de los eventos peligrosos (F_{evento})

| Nº ENCLAVAMIENTO | ENCLAVAMIENTO | EVENTO PELIGROSO | FRECUENCIA DEL SUCESO INICIADOR (ocasiones/año) Árbol de fallos | FRECUENCIA DEL ACCIDENTE FINAL (ocasiones/año) Árbol de sucesos | FRECUENCIA FINAL DEL EVENTO PELIGROSO F_{evento} (ocasiones/año) |
|------------------|---------------|--|---|---|---|
| 1 | HS-101A/b | Incendio/llamarada/deflagración de nube inflamable/explosión/nube tóxica. | * | * | * |
| 2 | HS-101c/d/e/ | Incendio/llamarada/Deflagración de nube inflamable/Explosión/Nube tóxica. | * | * | * |
| 3 | FFSL-602 | Más presión en el tambor de vapor ocasionando daños a los tubos del reformador | $8,64 \times 10^{-2}$ (figura 1) | $3,76 \times 10^{-2}$ (figura 1) | $3,25 \times 10^{-3}$ |

| Nº ENCLAVAMIENTO | ENCLAVAMIENTO | EVENTO PELIGROSO | FRECUENCIA DEL SUCESO INICIADOR (ocasiones/año) Árbol de fallos | FRECUENCIA DEL ACCIDENTE FINAL (ocasiones/año) Árbol de sucesos | FRECUENCIA FINAL DEL EVENTO PELIGROSO F_{evento} (ocasiones/año) |
|------------------|---------------|---|---|---|---|
| 4 | PSL-851 | Menor presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | 6,21 E-2 (figura 2) | $3,76 \times 10^{-2}$ (figura 2) | $2,33 \times 10^{-3}$ |
| 5 | PSH-851 | Más presión en reformador debido al aumento de temperatura por falla en la circulación de los humos, con riesgo de daños a los tubos. | 1,34 E-1 (figura 3) | $3,76 \times 10^{-2}$ (figura 3) | $5,03 \times 10^{-3}$ |
| 6 | PSL-801A | Menos presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | 6,21 E-2 (figura 2) | $3,76 \times 10^{-2}$ (figura 2) | $2,33 \times 10^{-3}$ |
| 7 | PSL-504/5/6 | Menos presión en línea de gas combustible 20" GCO-1814-150-BO1P, con fallo de quemadores y riesgo de explosión | 5,75 E-2 (figura 4) | $4,94 \times 10^{-1}$ (figura 4) | $2,84 \times 10^{-2}$ |
| 8 | PSH-504/5/6 | Mas presión en línea 20" GCO-1814-150-BO1P de salida de la unidad PSA con riesgo de apagado de alguna llama y daños a los tubos | 5,23 E-2 (figura 5) | $3,76 \times 10^{-2}$ (figura 5) | $1,96 \times 10^{-3}$ |
| 9 | PSL-507/8/9 | Baja presión en línea 6" GN-0704-150BO1P con falla de suministro de GCO y GN a reformador con riesgo de explosión. | 1,41 E-1 (figura 6) | $4,94 \times 10^{-1}$ (figura 6) | $6,96 \times 10^{-2}$ |
| 10 | PSH-507/8/9 | Mas presión en colector de gas combustible con riesgo de apagado de quemadores y daños a los tubos del reformador | 6,07 E-2 (figura 7) | $3,76 \times 10^{-2}$ (figura 7) | $2,28 \times 10^{-3}$ |
| 11 | BSL-531/4 | Apagado del reformador con riesgo de explosión. | 1,48 E-5 (figura 8) | $4,94 \times 10^{-1}$ (figura 8) | $7,31 \times 10^{-6}$ |
| 12 | FSL-801A | Menor presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | 6,21 E-2 (figura 2) | $3,76 \times 10^{-2}$ (figura 2) | $2,33 \times 10^{-3}$ |

| Nº ENCLAVAMIENTO | ENCLAVAMIENTO | EVENTO PELIGROSO | FRECUENCIA DEL SUCESO INICIADOR (ocasiones/año) Árbol de fallos | FRECUENCIA DEL ACCIDENTE FINAL (ocasiones/año) Árbol de sucesos | FRECUENCIA FINAL DEL EVENTO PELIGROSO F_{evento} (ocasiones/año) |
|------------------|---------------|--|---|---|---|
| 13 | LSHH-309 | Mas nivel en el separador de gas de alimentación D-5 con riesgo de sobrepresión por taponamiento del demister | 2,57 E-2 (figura 9) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 9) | 9,66 x 10 ⁻⁴ |
| 14 | LSL-708/9/10 | Menos nivel en el tambor de vapor D-1A con daños en las calderas E-4A/E-6A con posible daños a los tubos del generador y reformador por falta de vapor | 2,95 E-2 (figura 10) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 10) | 1,09 x 10 ⁻³ |
| 15 | LSHH-708/9/10 | Mas nivel en el tambor de vapor D-1A con riesgo de fugas en tubería y posible daños a los tubos del generador y reformador | 7,47 E-2 (figura 11) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 11) | 2,80 x 10 ⁻³ |
| 16 | TDSHH-201 | Mas temperatura en la línea de 18"-P-0201-300-E01H del mutador R-3 con riesgo de daños a los tubos del reformador con perdida de producción | 1,39 E-1 (figura 12) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 12) | 5,22 x 10 ⁻³ |
| 17 | FSL-103 | Mas presión en línea de 8"-P-0204-600C01-H de salida del reactor de hidrogenación r-1 con riesgo de presurización del R-1 fugas | 4,62 E-2 (figura 13) | 8,12 x 10 ⁻⁴ (figura 13) | 3,75 x 10 ⁻⁵ |
| 18 | TSL-620 | Menor temperatura en la línea 6"-VM-10102-600C02-H con daños a líneas y a equipos | 4,43 E-2 (figura 14) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 14) | 1,66 x 10 ⁻³ |
| 19 | LSLL-310 | Menos nivel en el Pre calentador de agua a calderas E-8 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada. | 5,76 E-9 (figura 15) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 15) | 2,16 x 10 ⁻¹⁰ |
| 20 | LSLL-311 | Menos nivel en el separador de condensados D-6 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada | 5,76 E-9 (figura 16) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 16) | 2,16 x 10 ⁻¹⁰ |
| 21 | LSLL-312 | Menos nivel en el separador de condensados D-7 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada | 5,76 E-9 (figura 17) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 17) | 2,16 x 10 ⁻¹⁰ |

| Nº ENCLAVAMIENTO | ENCLAVAMIENTO | EVENTO PELIGROSO | FRECUENCIA DEL SUCESO INICIADOR (ocasiones/año) Árbol de fallos | FRECUENCIA DEL ACCIDENTE FINAL (ocasiones/año) Árbol de sucesos | FRECUENCIA FINAL DEL EVENTO PELIGROSO F _{evento} (ocasiones/año) |
|------------------|---------------|--|--|--|--|
| 22 | LSL-705 | Menos nivel en tanque de agua a calderas y desaereador D-3 con daños al reformador | 2,16 E-2 (figura 18) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 18) | 8,12 x 10 ⁻⁴ |
| 23 | PSL-403 | Menos presión en línea 10"-P-1801-300B01 con riesgo de daños al compresor | 8,90 E-2 (figura 19) | 1,0 x 10 ⁻² (figura 19) | 8,90 x 10 ⁻⁴ |
| 24 | LSHH-304 | Sobrellenado del D-7. Riesgo de sobrepresión aguas arriba. riesgo de paro de planta. | 6,48 E-2 (figura 20) | 3,76 x 10 ⁻² (figura 20) | 2,43 x 10 ⁻³ |

1.3. DETERMINACIÓN DE LAS FRECUENCIAS OBJETIVO (F_{objetivo}) DE LOS EVENTOS PELIGROSOS

En función de la severidad de las consecuencias, se han seleccionado, mediante el uso de la tabla 5.1, las frecuencias objetivo para cada uno de los escenarios identificados en la tabla 6.1-3.

Tabla 6.3-1. Frecuencias objetivo para los eventos peligrosos identificados

| Nº ENCLAVAMIENTO | ENCLAVAMIENTO | EVENTO PELIGROSO | SEVERIDAD | FRECUENCIA OBJETIVO POR AÑO |
|------------------|---------------|---|-----------|-----------------------------|
| 1 | HS-101A/b | Incendio/llamarada/deflagración de nube inflamable/explosión/nube tóxica. | * | * |
| 2 | HS-101c/d/e/ | Incendio/llamarada/Deflagración de nube inflamable/Explosión/Nube tóxica. | * | * |
| 3 | FFSL-602 | Mas presión en el tambor de vapor ocasionando daños a los tubos del reformador | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 4 | PSL-851 | Menor presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 5 | PSH-851 | Más presión en reformador debido al aumento de temperatura por falla en la circulación de los humos, con riesgo de daños a los tubos. | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 6 | PSL-801A | Menos presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | MENOR | 1,0 X 10 ⁻³ |

| Nº ENCLAVAMIENTO | ENCLAVAMIENTO | EVENTO PELIGROSO | SEVERIDAD | FRECUENCIA OBJETIVO POR AÑO |
|------------------|---------------|--|--------------|-----------------------------|
| 7 | PSL-504/5/6 | Menos presión en línea de gas combustible 20" GCO-1814-150-BO1P, con fallo de quemadores y riesgo de explosión | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 8 | PSH-504/5/6 | Mas presión en línea 20" GCO-1814-150-BO1P de salida de la unidad PSA con riesgo de apagado de alguna llama y daños a los tubos | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 9 | PSL-507/8/9 | Baja presión en línea 6" GN-0704-150BO1P con falla de suministro de GCO y GN a reformador con riesgo de explosión. | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 10 | PSH-507/8/9 | Mas presión en colector de gas combustible con riesgo de apagado de quemadores y daños a los tubos del reformador | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 11 | BSL-531/4 | Apagado del reformador con riesgo de explosión. | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 12 | FSL-801A | Menor presión de aire de combustión hacia el reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo | MENOR | 1,0 X 10 ⁻³ |
| 13 | LSHH-309 | Mas nivel en el separador de gas de alimentación D-5 con riesgo de sobrepresión por taponamiento del demister | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 14 | LSL-708/9/10 | Menos nivel en el tambor de vapor D-1A con daños en las calderas E-4A/E-6A con posible daños a los tubos del generador y reformador por falta de vapor | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 15 | LSHH-708/9/10 | Mas nivel en el tambor de vapor D-1A con riesgo de fugas en tubería y posible daños a los tubos del generador y reformador | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 16 | TDSHH-201 | Mas temperatura en la línea de 18"-P-0201-300-E01H del mutador R-3 con riesgo de daños a los tubos del reformador con perdida de producción | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 17 | FSL-103 | Mas presión en línea de 8"-P-0204-600C01-H de salida del reactor de hidrogenación r-1 con riesgo de presurización del R-1 fugas | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 18 | TSL-620 | Menor temperatura en la línea 6"-VM-10102-600C02-H con daños a líneas y a equipos | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 19 | LSLL-310 | Menos nivel en el Precalentador de agua a calderas E-8 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada. | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 20 | LSLL-311 | Menos nivel en el separador de condensados D-6 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 21 | LSLL-312 | Menos nivel en el separador de condensados D-7 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada | CATASTRÓFICO | 1,0 X 10 ⁻⁶ |
| 22 | LSL-705 | Menos nivel en tanque de agua a calderas y desaerador D-3 con daños al reformador | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 23 | PSL-403 | Menos presión en línea 10"-P-1801-300B01 con riesgo de daños al compresor | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |
| 24 | LSHH-304 | Sobrellenado del D-7. Riesgo de sobrepresión aguas arriba. riesgo de paro de planta. | SERIO | 1,0 X 10 ⁻⁴ |

1.4. DETERMINACIÓN DEL SIL REQUERIDO

A partir del valor de la F_{evento} calculada en el apartado 6.2 y la F_{objetivo} obtenida en el capítulo 6.3, se determina la PFD_{objetivo} , de acuerdo a la fórmula:

$${}^{obj}PFD_{prom} = F_{\text{objetivo}} / F_{\text{evento}}$$

Dicha PFD_{objetivo} determina directamente el valor del SIL requerido a partir de la utilización de la Tabla 5.2 del capítulo 5.

A continuación se muestra un esquema general de la matriz causa-efecto de los enclavamientos analizados.

1.4.1. Tabla causa efecto de los enclavamientos analizados

| No. | TAG | CAUSA | COMENTARIO | EFECTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | No. | TAG. | DESCRIPCIÓN DEL EFECTO | |
|-----|-------------|--|------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|------|------------------------|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | | | | 24 |
| 1 | HS-101A | Paro de emergencia desde el cuarto de control | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | x | x | x | | | | 1 | | Alarma en DCS |
| 2 | HS-101B | Paro de emergencia de la psa desde el área | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | x | x | x | | | | 2 | PV-103 | Cierre de la válvula de control de gas natural |
| 3 | HS-101C | Botón de paro de emergencia desde el cuarto de control | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | x | x | | | | | 3 | | |
| 4 | HS-101D | Botón de paro de emergencia local | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | x | x | | | | | 4 | FV-103 | Cierre de la válvula de gas de proceso |
| 5 | HS-101E | Botón de paro de emergencia local | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | x | | | | | | 5 | UV-501/503 | Cierre del bloque de válvulas de gas de desecho |
| 6 | FFSL-602 | Producción de gas natural y vapor | <Muy bajo | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | x | x | x | | x | | x | x | | | | 6 | UV-502 | Abren el bloque de válvulas de gas de desecho |
| 7 | PSL-851/852 | Presión de gas combustible dentro del refmador | <Muy bajo | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | x | x | | | | | 7 | UV-512/514 | Cierre del bloque de válvulas de gas natural |
| 8 | PSH-851/852 | Presión de gas combustible dentro del refmador | <Muy alto | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | x | | x | x | | | | | 8 | UV-513 | Abre el bloque de válvulas de gas natural |

| No. | TAG | CAUSA | | COMENTARIO | EFECTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DESCRIPCIÓN DEL EFECTO | | | | | |
|-----|-----------------|---|----|------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------------------|------|--------|----------|---|--|
| | | CAUSA | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | No. | TAG. | EFECTO | | | |
| 9 | PSL-801 | Presión de aire de combustión | de | <Muy bajo | x | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | | X | | X | X | | | | | | | | | 9 | FV-501 | Cierre de válvula de gas de desechos a que madores |
| 10 | PSL-504/505/506 | Presión del gas de recirculación a los quemadores | de | <Muy bajo | x | X | | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | | X | | X | X | | | | | | | | | 10 | FV-521 | Cierre de la válvula de gas natural combustible | |
| 11 | PSH-504/505/506 | Presión del gas de recirculación a los quemadores | de | <Muy alto | x | X | | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | | X | | X | X | | | | | | | | | 11 | HV-201 | Cierre de la válvula de asila miento a la PSA | |
| 12 | PSL-507/508/509 | Presión de gas natural a los quemadores | de | <Muy bajo | x | | | | | | | X | X | | X | | X | | | | | | | X | | | | | | | | | 12 | C-101/C | Paro de los ventiladores de aire de cumbustión | |
| 13 | PSH-507/508/509 | Presión de gas natural a los quemadores | de | <Muy alto | x | X | | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | | X | | X | X | | | | | | | | | 13 | C-102 | Paro de los ventiladores de gas combustibles | |
| 14 | BSL-531/534 | Apagado de la flama | | | x | X | | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | | X | | X | X | | | | | | | | | 14 | FFIC-602 | Control manual de flujo vapor / gas natural | |
| 15 | FSL-801 | Flujo de aire de combustión | | <Muy bajo | x | X | | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | | X | | X | X | | | | | | | | | 15 | FY-501 | Control manual de la demanda de calor | |
| 16 | LSHH-305 | Separador de gas natural D-05 | | <Muy alto | x | X | | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | | | X | | X | X | | | | | | | | | 16 | FV-801C | Cierre de la vena guía | |
| 17 | LSL-701/702/703 | Nivel en el tambor de vapor | | <Muy bajo | x | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | | X | X | | | | | | | | | 17 | PV-852 | Cierre de la vena guía | |

| No. | CAUSA | | COMENTARIO | EFECTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DESCRIPCIÓN DEL EFECTO | | | | | |
|-----|--------------|--|------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------------------|----|----|--------|---|---|
| | TAG | CAUSA | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | No. | TAG. | EFEECTO |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 | FV-521 | Colocar la válvula de control en el valor calculado |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 19 | KS-002 | Paro de la PSA |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 20 | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 21 | FV-511 | Cierra el suministro de gas combustible proveniente de la Refinería |
| 22 | PSLL-912 | Aire de instrumentos | <Muy bajo | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | x | | x | x | | | | 22 | FV-402 | Cierre de la válvula de recirculación de hidrogeno | |
| 23 | FSL-103 | Flujo de gas natural al reformador | <Muy bajo | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | | | x | x | | | | | x | | x | x | | | | 23 | UV-101 | Cierre de la válvula de aislamiento de gas natural de la planta | |
| 24 | ESL-853 II | Paro del ventilador C-02 de gas combustible | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | x | | x | x | | | | 24 | | | |
| 25 | ESL-811 II/C | Paro del ventilador C-01 para aire de combustión | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | x | | x | x | | | | 25 | | | |
| 26 | SAL-852 | Paro de la turbina C-02T de gas combustible | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | | | x | | x | x | | | | 26 | | | |

1.4.2. Tabla causa efecto de los enclavamientos analizados

| No. | TAG | CAUSA | | EFECTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DESCRIPCIÓN DEL EFECTO | | | | | |
|-----|----------|---|------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------------------|----|----|-----|------------|--|
| | | CAUSA | COMENTARIO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | No. | TAG. | EFEECTO |
| 1 | KS-002 | Paro de la planta PSA | Paro | X | X | X | X | X | X | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | Alarma en DCS |
| 2 | LSLL-301 | Nivel en E-08 | <Muy bajo | X | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | |
| 3 | LSLL-302 | Nivel en el Separador D-06 | <Muy bajo | X | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | C-03 | Paro del compresor |
| 4 | LSLL-303 | Nivel en el Separador D-07 | <Muy bajo | X | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | F-402 | Cierre de la válvula de recirculación de hidrogeno |
| 5 | LSHH-501 | Separador del gas de Refinería D-08 | < muy alto | X | | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | 5 | HV-201 | Cierre de la válvula de aislamiento de la PSA |
| 6 | LSLL-305 | Separador D-05 | <Muy bajo | X | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | FV-512 A/B | Colocar la válvula de control en el valor calculado |
| 7 | PSL-706 | Presión de alimentación de agua al calentador | < bajo | X | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | 7 | PV-204 | Apertura adelantada dula de la válvula control de arranque |
| 8 | LSL-705 | Tanque de nivel BFW | <bajo | X | | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | 8 | LV-305 | Cierre de la válvula de control |
| 9 | PSL-403 | Presión de succión C-03 | < bajo | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | LV-301 | Cierre de la válvula de control |
| 10 | EAL-401 | Compresor de hidrogeno | Paro | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | LV-302 | Cierre de la válvula |

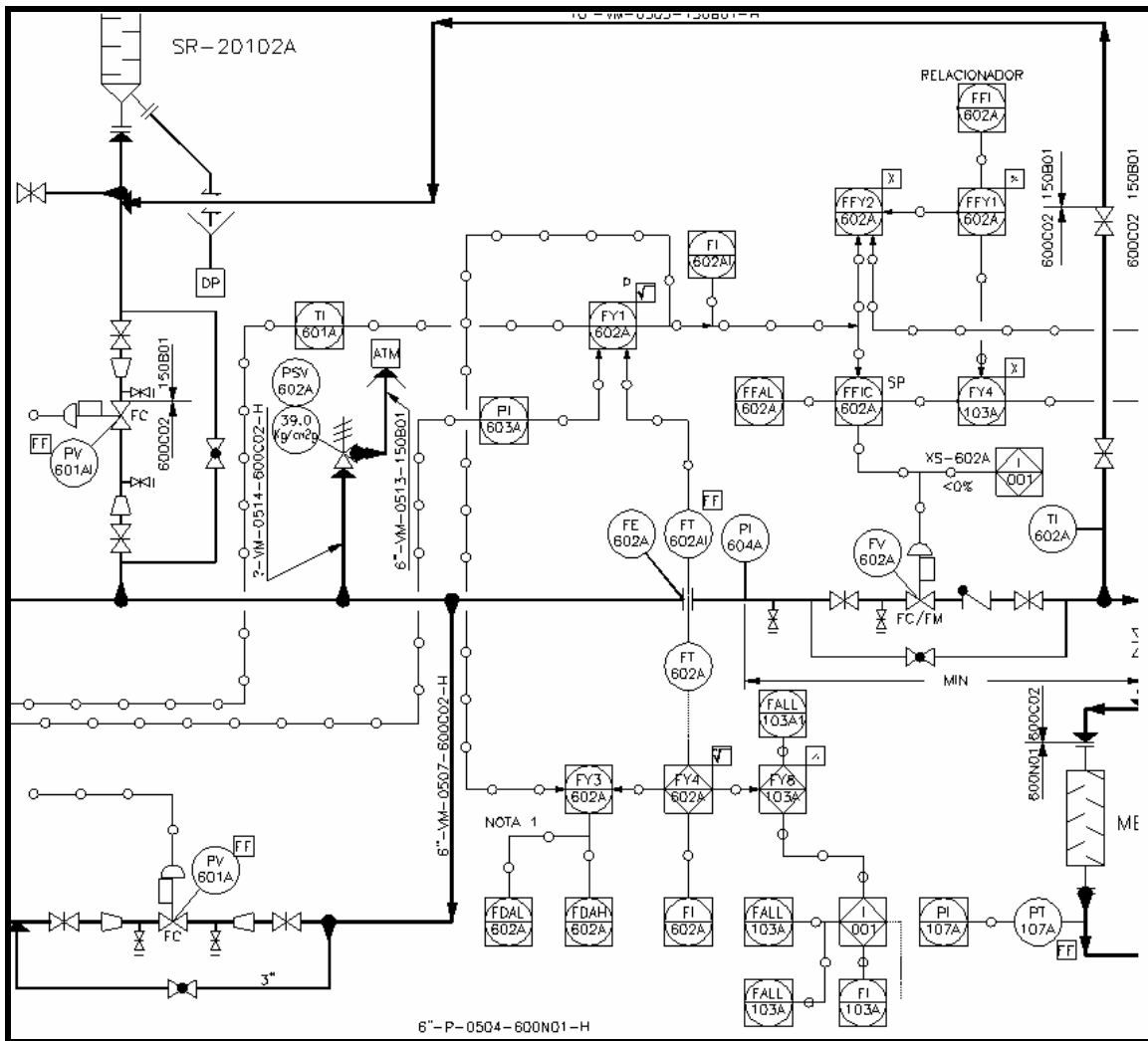
| No. | TAG | CAUSA | COMENTARIO | EFECTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | DESCRIPCIÓN DEL EFECTO | | |
|-----|----------|----------------------------|------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------------------|--|---------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | No. | TAG. | EFEECTO |
| | | C-03 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | de control | |
| 11 | LSHH-304 | Nivel en el Separador D-07 | <Muy alto | X | | | X | X | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | 11 | LV-303 | Cierre de la válvula de control | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12 | FV-501A | Cierre de válvula de gas de desechos | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13 | FV-501B | Cierre de válvula de gas de desechos | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 14 | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 15 | P-101B | Arranque automático de la bomba P-101B | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 16 | P-102A/B | Paro de las bombas P-101A/B | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 17 | FV-511A/B | Cierre de la válvula de control de gas de la Refinería | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 19 | KS-002 | Paro de la Planta PSA | |

De manera general en los apartados siguientes se incluye para todos los enclavamientos la siguiente información:

- Localización del enclavamiento en los DTI'S (Ver Anexo 4).
- Tabla final resumen del calculo del SIL requerido.

1.4.3. SIL requerido para el enclavamiento No. 3 (FFSL-602A) DTI PA-A40-011

a) Esquema de actuación del FFSL-602A

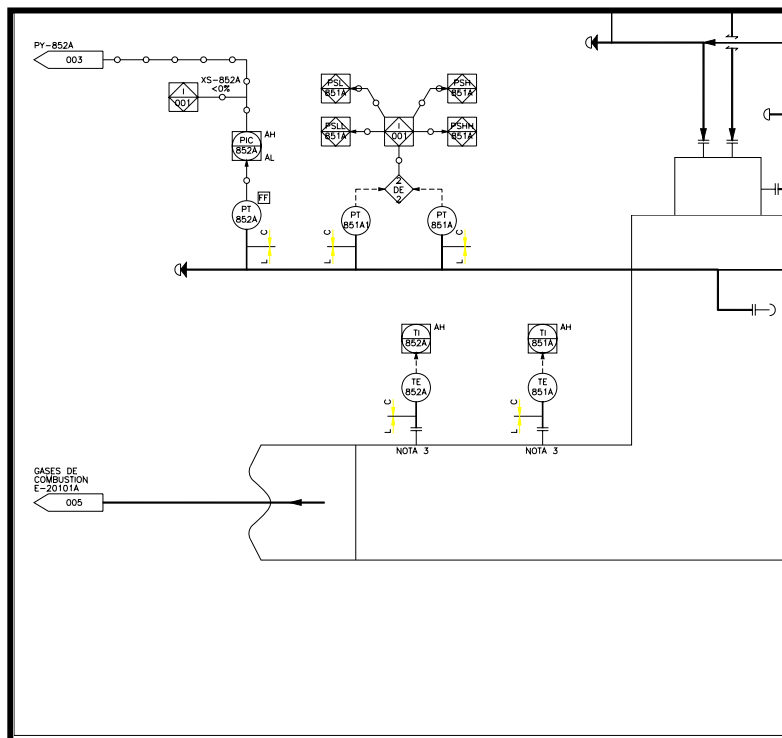


b) Determinación del SIL requerido para el FFSL-602A

| | |
|---|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por bajo flujo |
| Evento peligroso | Mas presión en el Tambor de Vapor ocasionando daños a los tubos del Reformador |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $3,25 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | Serio |
| Frecuencia objetivo por año ($F_{objetivo}$) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{prom}$) | $3,07 \times 10^{-2}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 1 |

1.4.4. SIL requerido para los enclavamientos No. 4,5 (PSL-851) y (PSH-851), DTI PA-A40-006

a) Esquema de actuación del PSL-851 y PSH-851



b) Determinación del SIL requerido para el PSL-851

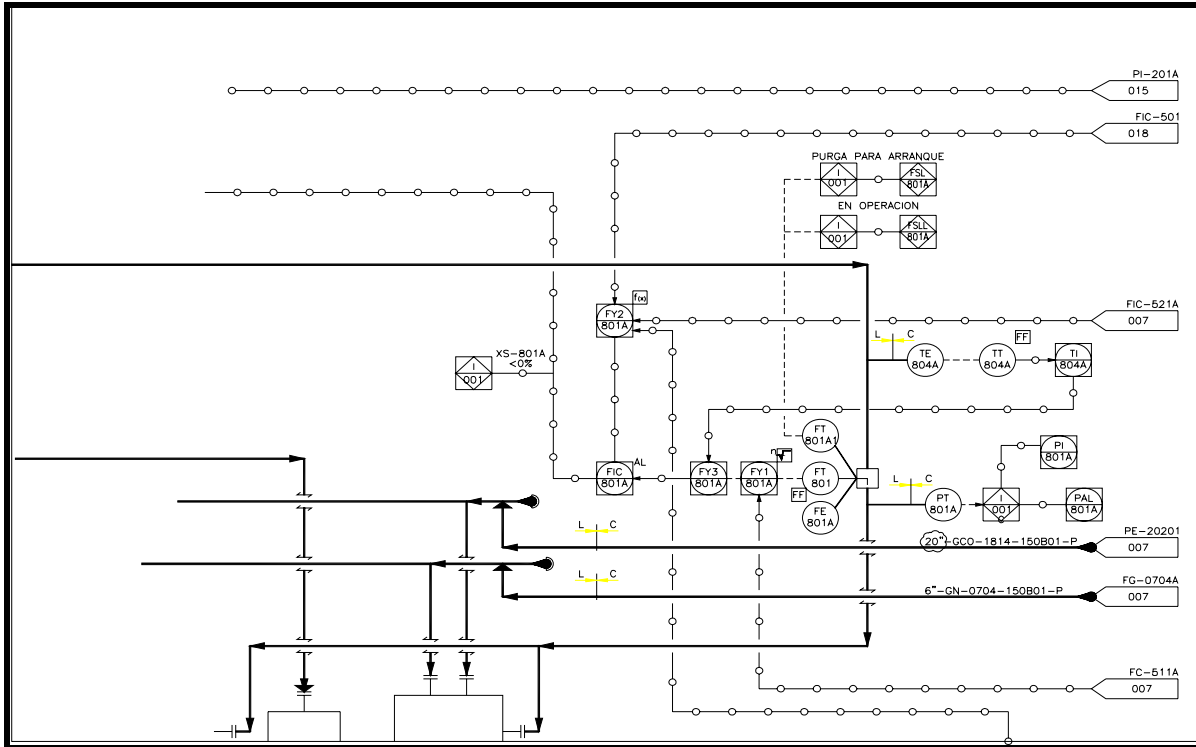
| | |
|--|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por baja presión |
| Evento peligroso | Menor presión de aire de combustión hacia el Reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,33 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | SERIO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio (${}^{\text{obj}}\text{PFD}_{\text{prom}}$) | $4,29 \times 10^{-2}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 1 |

c) Determinación del SIL requerido para el PSH-851

| | |
|--|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por alta presión |
| Evento peligroso | Más presión en Reformador debido al aumento de temperatura por falla en la circulación de los humos, con riesgo de daños a los tubos. |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $5,03 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | SERIO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio (${}^{\text{obj}}\text{PFD}_{\text{prom}}$) | $2,0 \times 10^{-2}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 1 |

1.4.5. SIL requerido para el enclavamiento No 6 (PSL-801A) DTI PA-A40-006

a) Esquema de actuación del PSL-801A

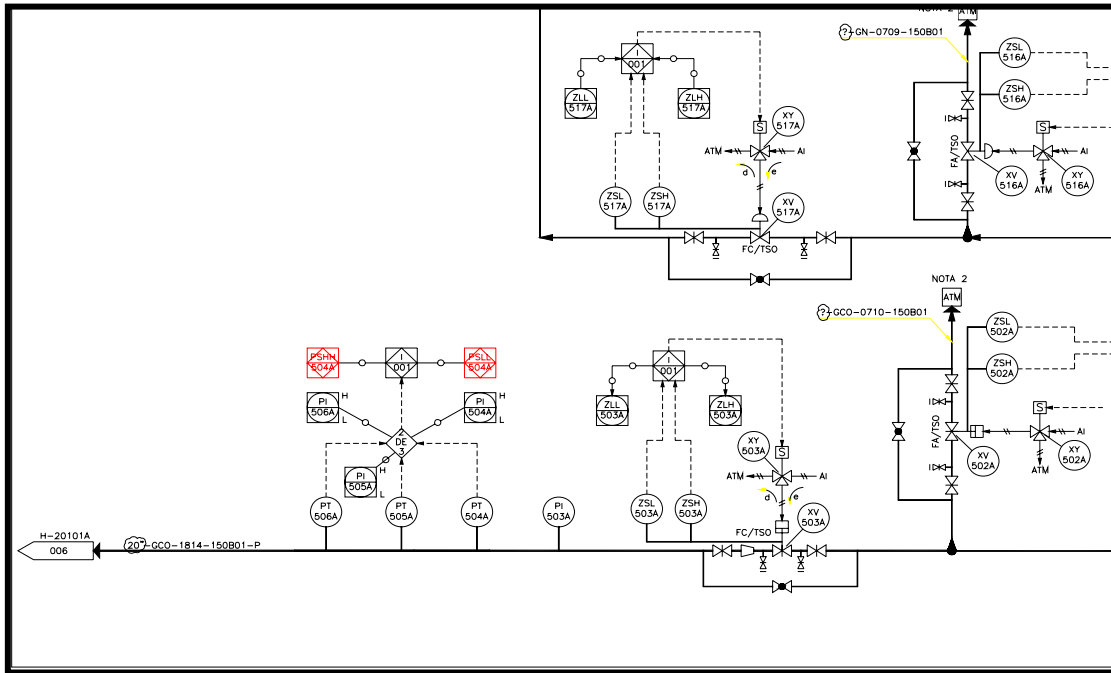


b) Determinación del SIL requerido para el PSL-801A

| | |
|--|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por baja presión |
| Evento peligroso | Menor presión de aire de combustión hacia el Reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,33 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | MENOR |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-3}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio (${}^{\text{obj}}\text{PFD}_{\text{prom}}$) | Fuera de rango |
| SIL requerido para la función de seguridad | No procede (SIL < 1) |

1.4.6. SIL requerido para los enclavamientos No. 7,8 (PSL-504/5/6) y (PSH-504/5/6), DTI PA-A40-007

a) Esquema de actuación del PSL-504/5/6 y PSH-504/5/6



b) Determinación del SIL requerido para el PSL-504/5/6

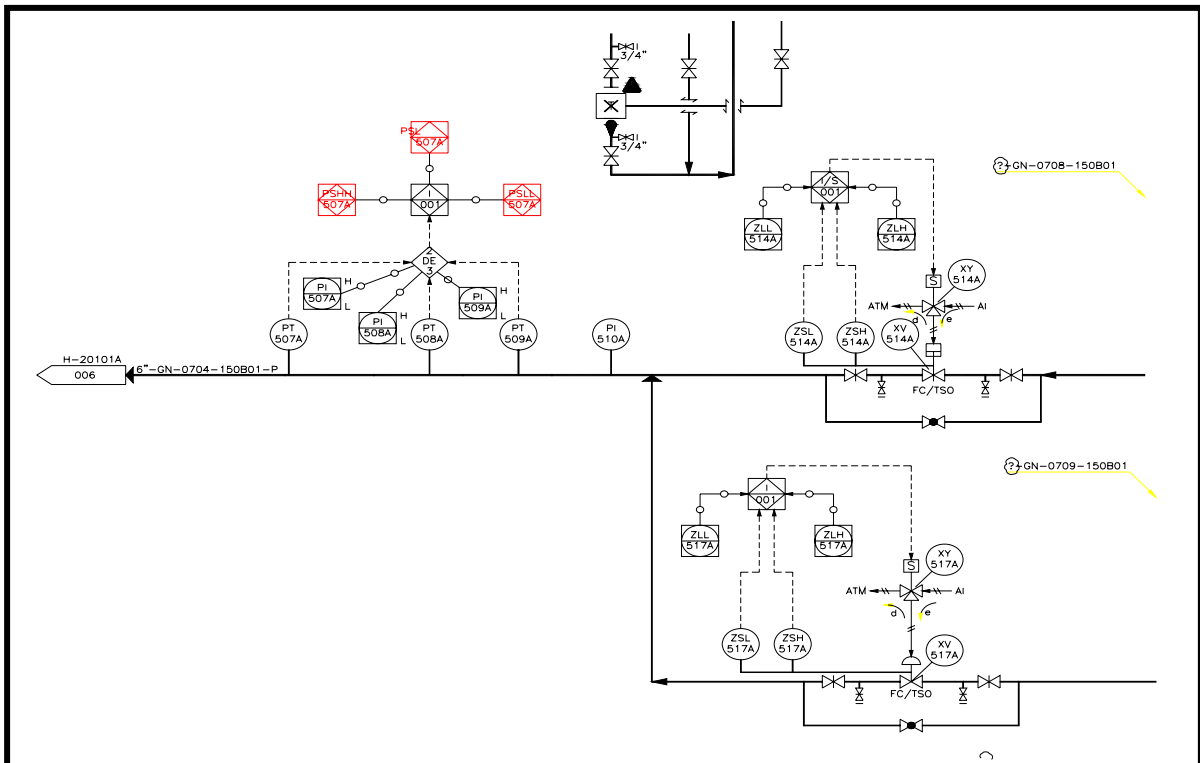
| | |
|--|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por baja presión |
| Evento peligroso | Menos presión en línea de gas combustible 20" GCO-1814-150-BO1P, con fallo de quemadores y riesgo de explosión |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,84 \times 10^{-2}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | CATASTRÓFICO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-6}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{\text{prom}}$) | $3,52 \times 10^{-5}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 3 |

c) Determinación del SIL requerido para el PSH-504/5/6

| | |
|---|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por alta presión |
| Evento peligroso | Mas presión en línea 20" GCO-1814-150-BO1P de salida de la Unidad PSA con riesgo de apagado de alguna llama y daños a los tubos |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $1,96 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | CATASTRÓFICO |
| Frecuencia objetivo por año ($F_{objetivo}$) | $1,0 \times 10^{-6}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{prom}$) | $5,10 \times 10^{-4}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 3 |

1.4.7. SIL requerido para los enclavamientos No. 9, 10 (PSL-507/8/9) y (PSH-507/8/9), DTI PA-A40-007

a) Esquema de actuación del PSL-507/8/9 y PSH-507/8/9



b) Determinación del SIL requerido para el PSL-507/8/9

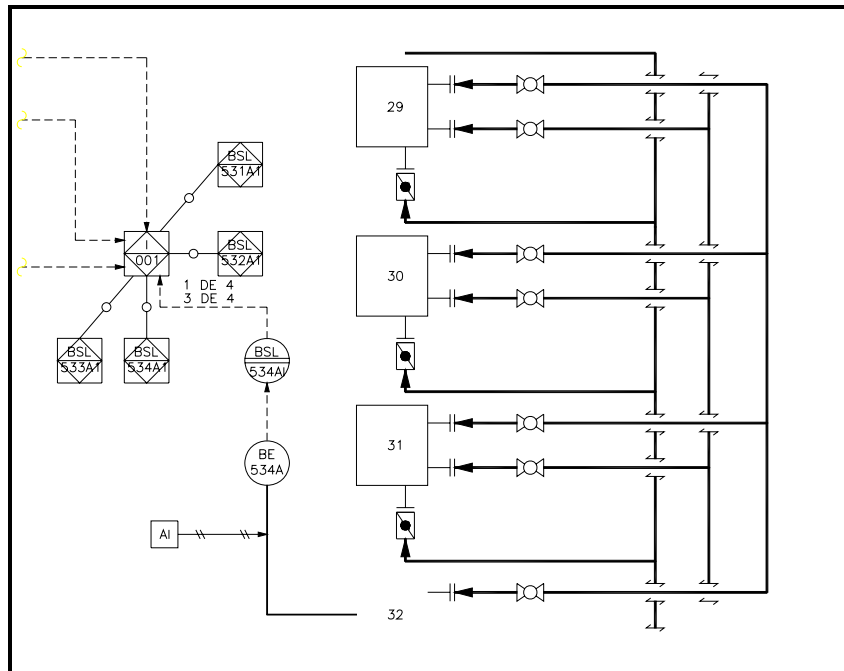
| | |
|--|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por baja presión |
| Evento peligroso | Baja presión en línea 6" GN-0704-150BO1P con falla de suministro de GCO y GN a Reformador con riesgo de explosión. |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $6,96 \times 10^{-2}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | CATASTRÓFICO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-6}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio (${}^{\text{obj}}\text{PFD}_{\text{prom}}$) | $1,43 \times 10^{-5}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 3 |

d) Determinación del SIL requerido para el PSH-507/8/9

| | |
|--|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por alta presión |
| Evento peligroso | Mas presión en colector de gas combustible con riesgo de apagado de quemadores y daños a los tubos del Reformador |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,28 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | CATASTRÓFICO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-6}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio (${}^{\text{obj}}\text{PFD}_{\text{prom}}$) | $4,38 \times 10^{-4}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 3 |

1.4.8. SIL requerido para el enclavamiento No. 11 (BSL-531/4), DTI PA-A40-008

a) Esquema de actuación del BSL-531/4

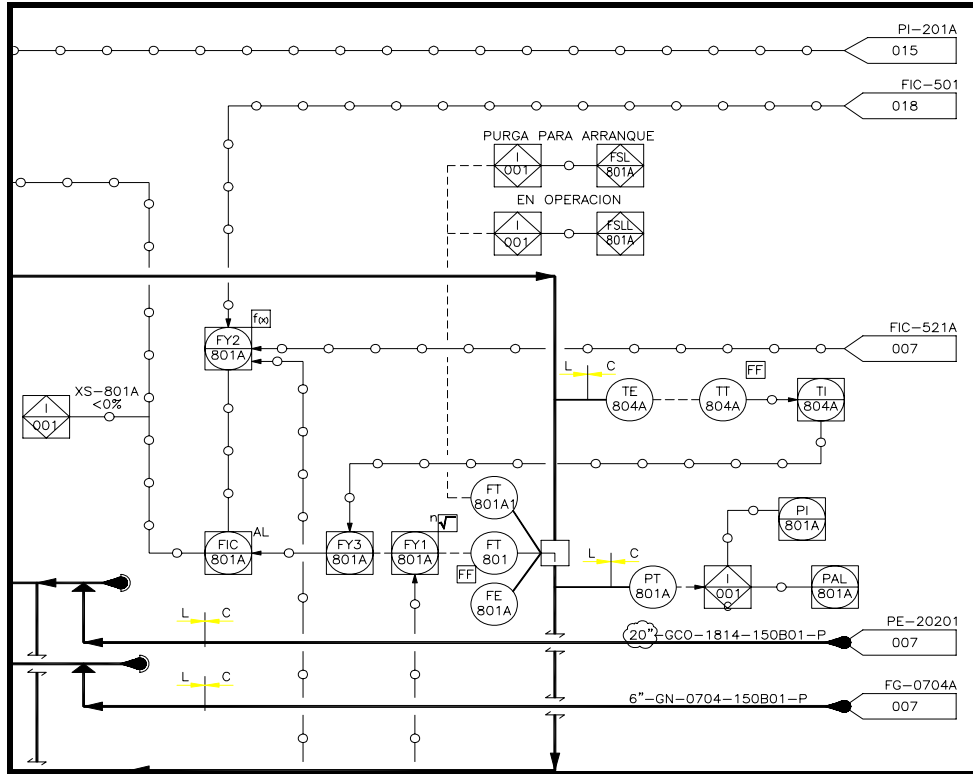


b) Determinación del SIL requerido para el BSL-531/4

| | |
|---|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por baja flama |
| Evento peligroso | Apagado del reformador con riesgo de explosión. |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $7,31 \times 10^{-6}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | CATASTRÓFICO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-6}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj} PFD_{\text{prom}}$) | Fuera de rango |
| SIL requerido para la función de seguridad | No procede (SIL < 1) |

1.4.9. SIL requerido para el enclavamiento No. 12 (FSL-801A) DTI PA-A40-012

a) Esquema de actuación del FSL-801A

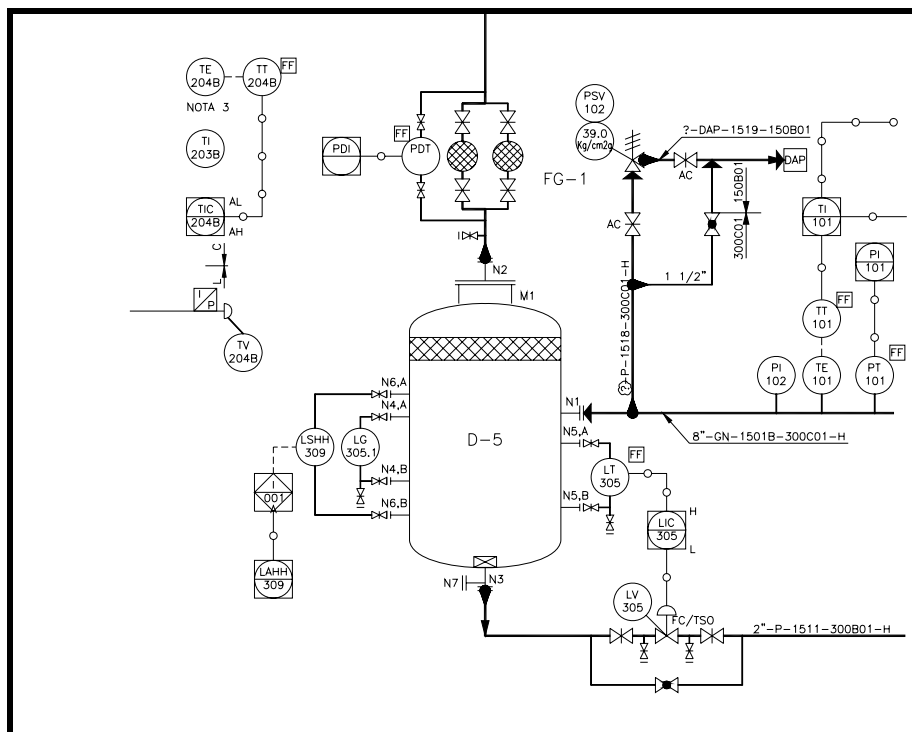


b) Determinación del SIL requerido para el FSL-801A

| | |
|---|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por bajo nivel |
| Evento peligroso | Menor presión de aire de combustión hacia el Reformador, ocasionando dificultad de combustión con posible paro del mismo |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,33 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | MENOR |
| Frecuencia objetivo por año ($F_{objetivo}$) | $1,0 \times 10^{-3}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{prom}$) | Fuera de rango |
| SIL requerido para la función de seguridad | No procede (SIL < 1) |

1.4.10. SIL requerido para el enclavamiento No. 13 (LSHH-309), DTI PA-A40-015

a) Esquema de actuación del LSHH-309

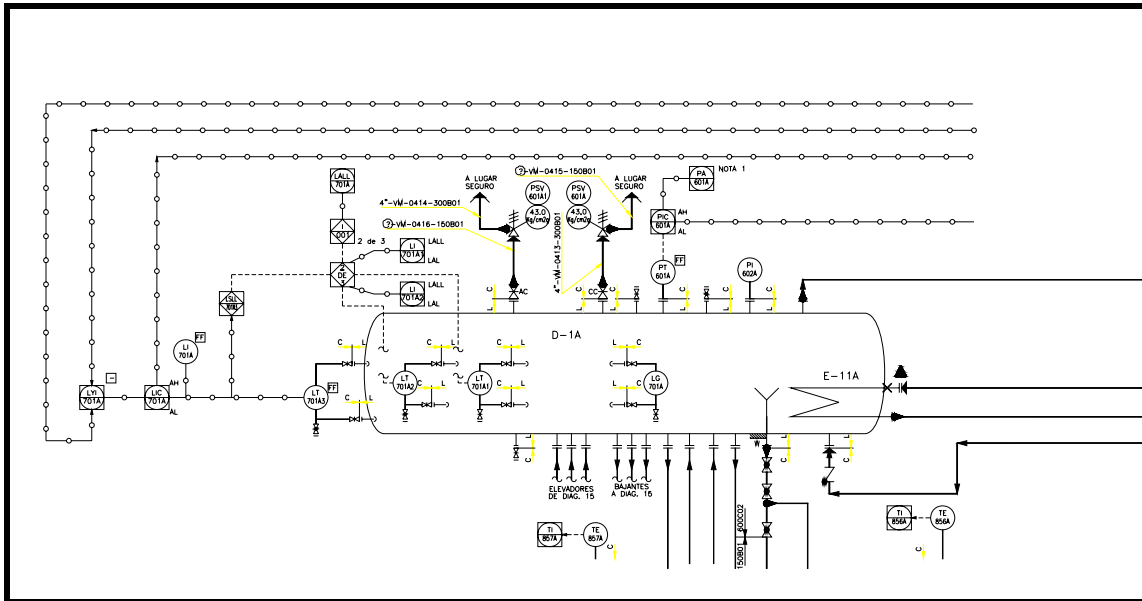


b) Determinación del SIL requerido para el LSHH-309

| | |
|--|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por muy alto nivel |
| Evento peligroso | Mas nivel en el separador de gas de alimentación D-5 con riesgo de sobre presión por taponamiento del Demister |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $9,66 \times 10^{-4}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | CATASTRÓFICO |
| Frecuencia objetivo por año ($F_{objetivo}$) | $1,0 \times 10^{-6}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj} PFD_{prom}$) | $1,03 \times 10^{-3}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 2 |

1.4.11. SIL requerido para los enclavamientos No. 14,15 (LSL-708/9/10) y (LSHH-708/9/10), DTI PA-A40-004

a) Esquema de actuación del (LSL-708/9/10) y (LSHH-708/9/10)



b) Determinación del SIL requerido para el LSL-708/9/10

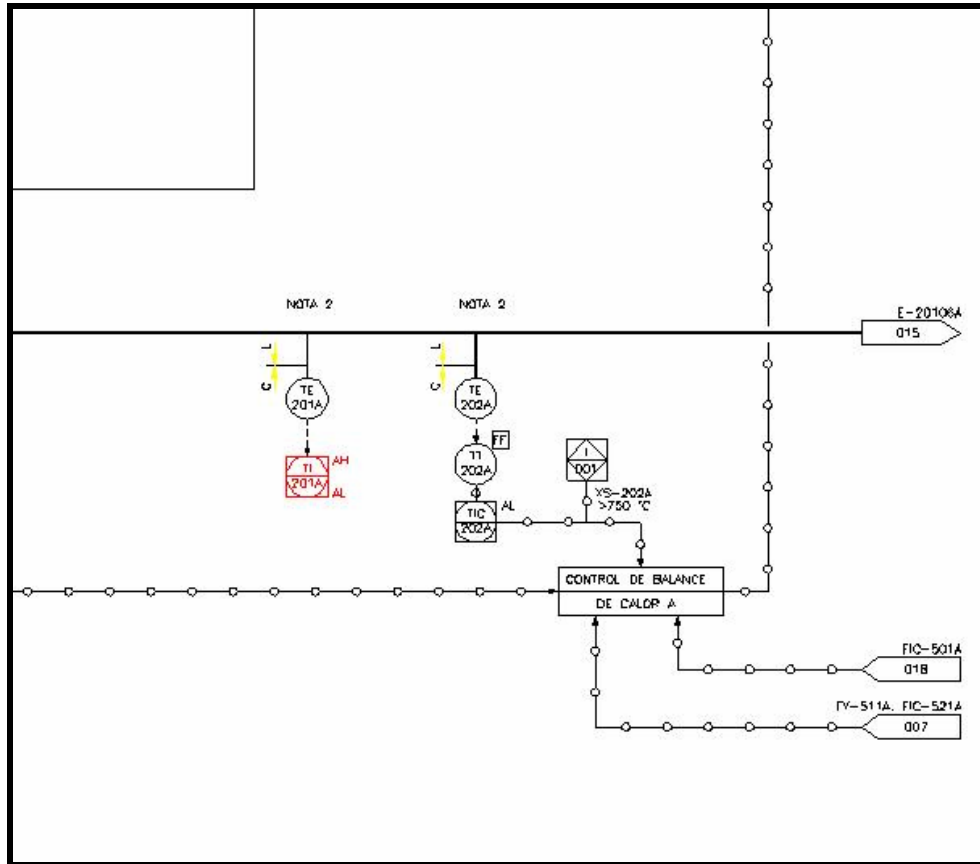
| | |
|--|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por bajo nivel |
| Evento peligroso | Menos nivel en el Tambor de Vapor D-1A con daños en las calderas E-4A/E-6A con posible daños a los tubos del Generador y Reformador por falta de vapor |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $1,09 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | SERIO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{\text{prom}}$) | $9,17 \times 10^{-2}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 1 |

c) Determinación del SIL requerido para el LSHH-708/9/10

| | |
|--|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por muy alto nivel |
| Evento peligroso | Mas nivel en el Tambor de Vapor D-1A con riesgo de fugas en tubería y posible daños a los tubos del Generador y Reformador |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,80 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | SERIO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio (${}^{\text{obj}}\text{PFD}_{\text{prom}}$) | $3,53 \times 10^{-2}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 1 |

1.4.12. SIL para el enclavamiento No. 16 (TDSHH-201), DTI PA-A40-006

a) Esquema de actuación del TDSHH-201



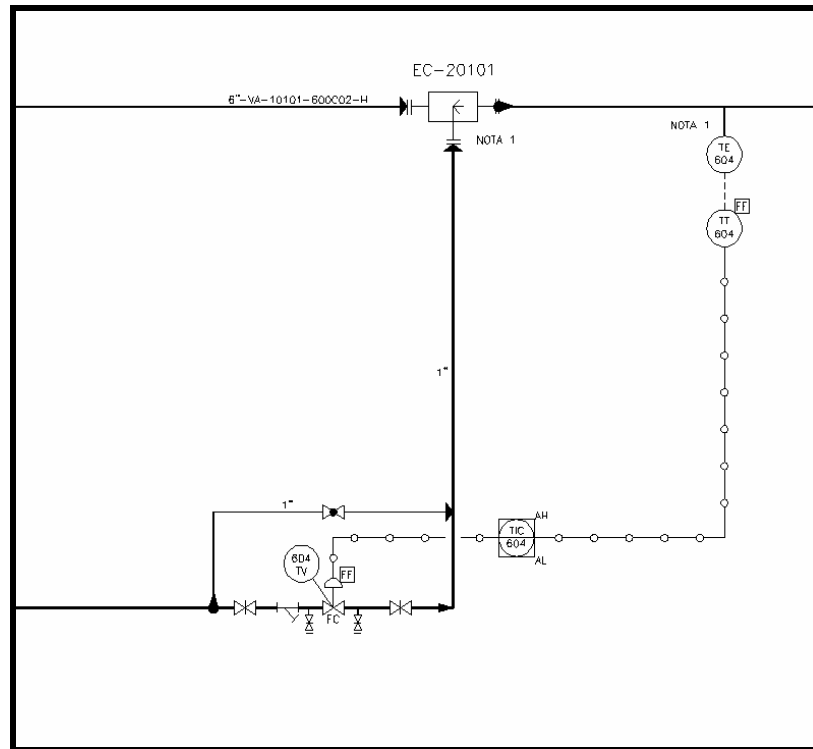
b) Determinación del SIL requerido para el TDSHH-201

| | |
|--|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por muy alta temperatura |
| Evento peligroso | Mas temperatura en la línea de 18"-P-0201-300-E01H del mutador R-3 con riesgo de daños a los tubos del Reformador con perdida de producción |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $5,22 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | SERIO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{\text{prom}}$) | $1,91 \times 10^{-2}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 1 |

1.4.14. SIL requerido para el enclavamiento No. 18 (TSL-620), DTI PA-A40-101/1

1.4.15.

a) Esquema de actuación del TSL-620

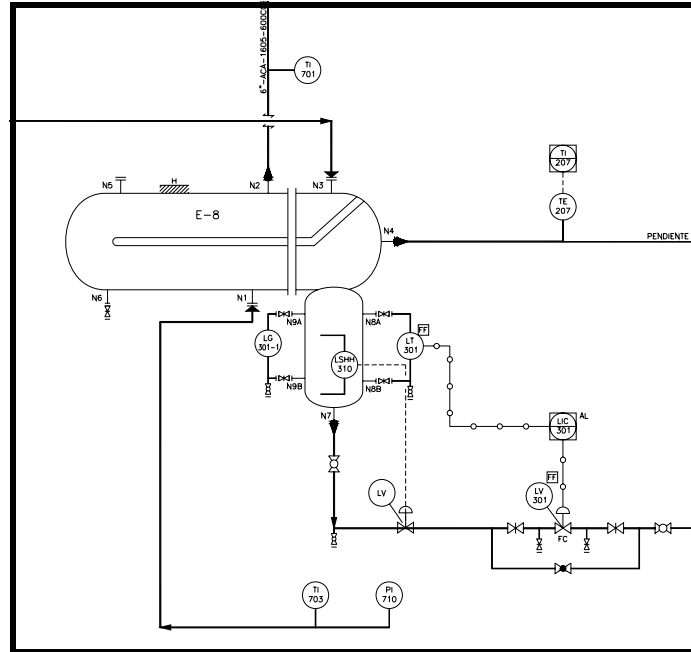


b) Determinación del SIL requerido para el TSL-620

| | |
|---|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por baja temperatura |
| Evento peligroso | Menor temperatura en la línea 6"-VM-10102-600C02-H con daños a líneas y a equipos |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $1,66 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | SERIO |
| Frecuencia objetivo por año ($F_{objetivo}$) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{prom}$) | Fuera de rango |
| SIL requerido para la función de seguridad | No procede (SIL < 1) |

1.4.16. SIL requerido para el enclavamiento No. 19 (LSLL-310), DTI PA-A40-016

a) Esquema de actuación del LSLL-310

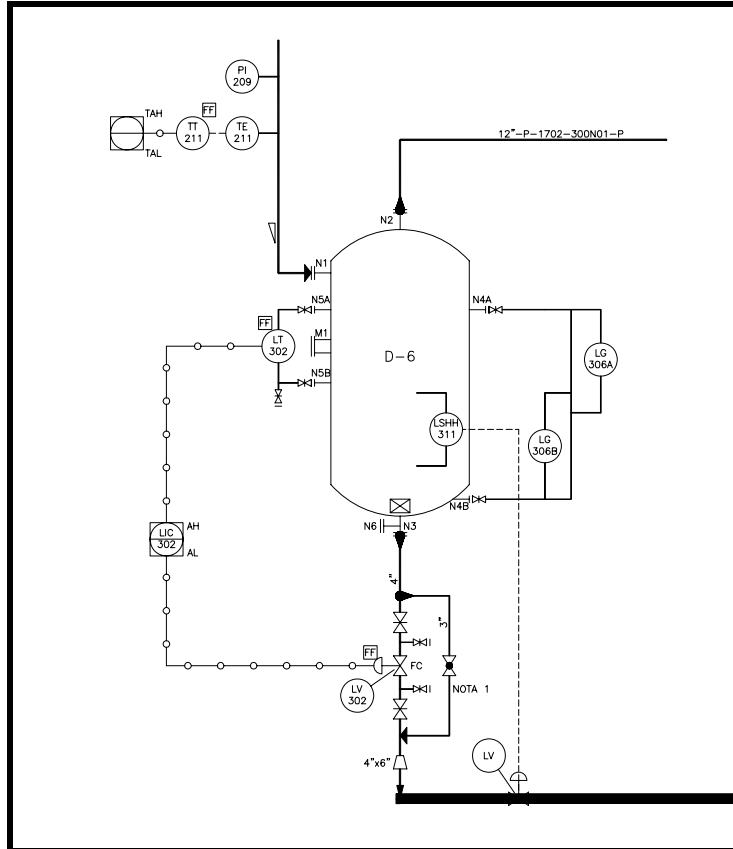


b) Determinación del SIL requerido para el LSLL-310

| | |
|---|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por muy bajo nivel |
| Evento peligroso | Menos nivel en el separador de Condensados D-8 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,16 \times 10^{-10}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | CATASTRÓFICO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-6}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj} PFD_{\text{prom}}$) | Fuera de rango |
| SIL requerido para la función de seguridad | No procede (SIL < 1) |

1.4.17. SIL requerido para el enclavamiento No. 20 (LSLL-311), DTI PA-A40-017

a) Esquema de actuación del LSLL-311

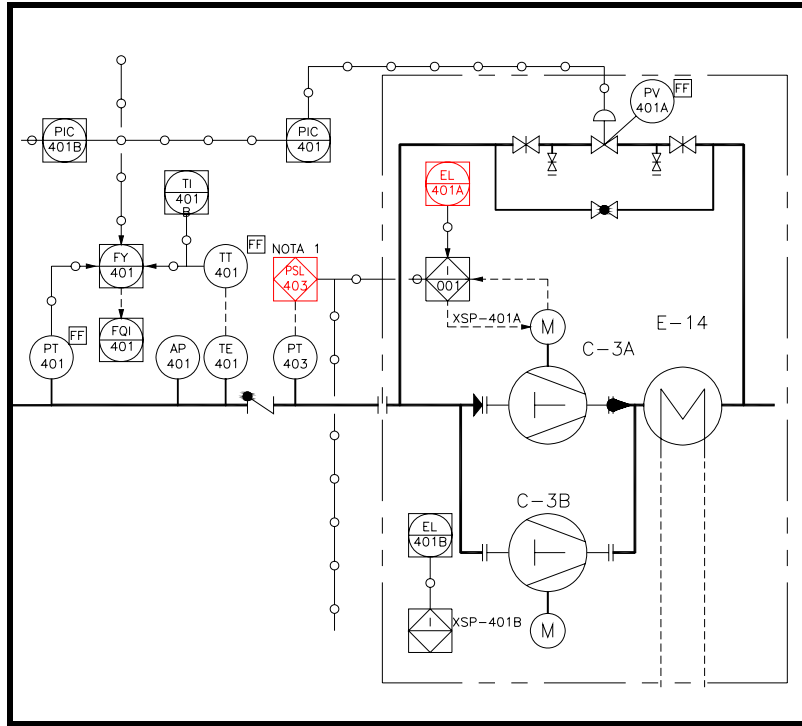


b) Determinación del SIL requerido para el LSLL-311

| | |
|--|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por muy bajo nivel |
| Evento peligroso | Menos nivel en el separador de Condensados D-6 con riesgo de sobre presión en D-3 y explosión confinada |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,16 \times 10^{-10}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | CATASTRÓFICO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-6}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{\text{prom}}$) | Fuera de rango |
| SIL requerido para la función de seguridad | No procede (SIL < 1) |

1.4.19. SIL requerido para los enclavamientos No. 23 (PSL-403), DTI PA-A40-018

a) Esquema de actuación de PSL-403

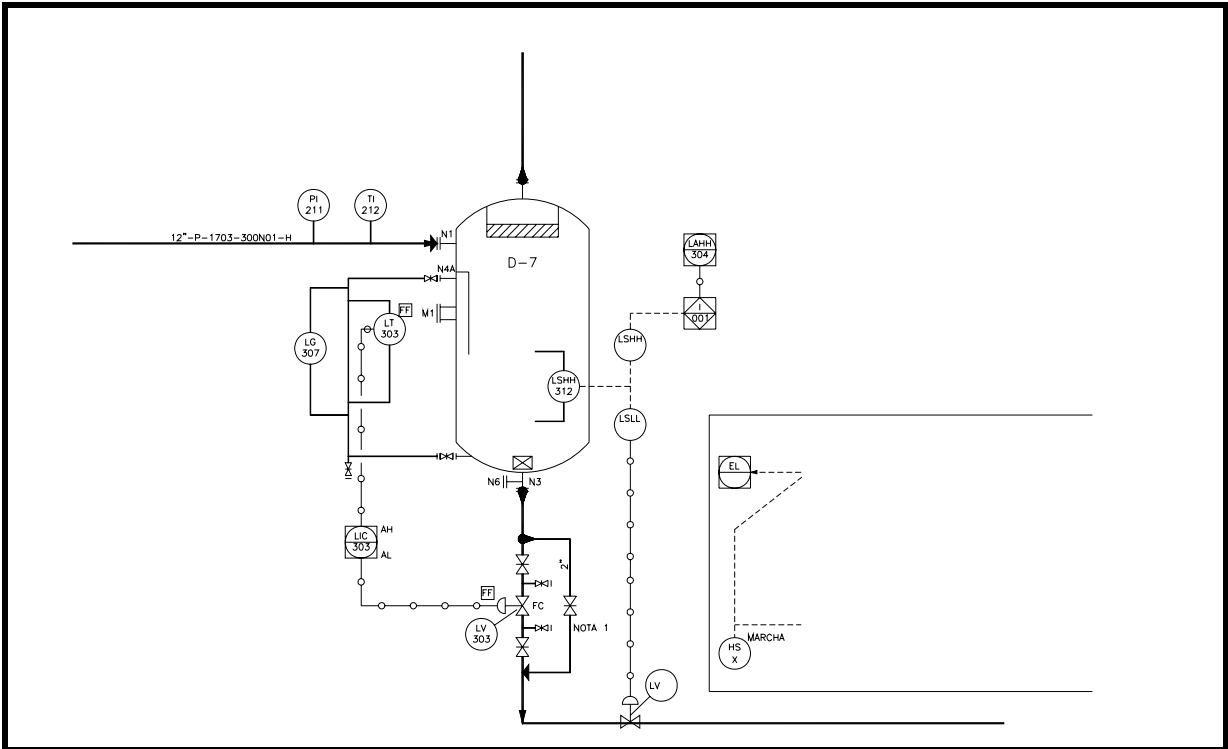


b) Determinación del SIL requerido para el PSL-403

| | |
|--|--|
| Función de seguridad: | Interruptor por baja presión |
| Evento peligroso | Menos presión en línea de 10"-P-1801-300B01 con riesgo de daños al compresor |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $8,90 \times 10^{-4}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | SERIO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio (${}^{\text{obj}}\text{PFD}_{\text{prom}}$) | Fuera de rango |
| SIL requerido para la función de seguridad | No procede (SIL < 1) |

1.4.20. SIL requerido para los enclavamientos No. 24 (LSHH-304), DTI PA-A40-017

a) Esquema de actuación de LSHH-304



b) Determinación del SIL requerido para el LSHH-304

| | |
|--|---|
| Función de seguridad: | Interruptor por muy alto nivel |
| Evento peligroso | Sobrellenado del D-7. Riesgo de sobrepresión aguas arriba. Riesgo de paro de planta. |
| Frecuencia del evento peligroso, por año (F_{evento}): | $2,43 \times 10^{-3}$ |
| Nivel de impacto del evento indeseado: | SERIO |
| Frecuencia objetivo por año (F_{objetivo}) | $1,0 \times 10^{-4}$ |
| Probabilidad objetivo de falla en demanda promedio ($^{obj}PFD_{\text{prom}}$) | $4,11 \times 10^{-2}$ |
| SIL requerido para la función de seguridad | 1 |

1. RESUMIENDO

De manera general para el desarrollo y cálculo del Nivel de Integridad de Seguridad requerido NIS para la planta de hidrógeno, fue necesaria la utilización de las normas NRF-045-PEMEX-2002¹, ANSI/ISA S84.01², IEC D61511⁴ e IEC 61508⁵.

Por otro lado se puede decir que el objetivo primordial para la determinación del Nivel de Integridad de Seguridad en la Planta Hidrógeno, es aumentar la seguridad en el proceso, aunado a un adecuado desempeño en la operación, el cual se encuentra enfocado directamente a la seguridad de las personas, del medioambiente y de las instalaciones.

De acuerdo con lo indicado en las normas anteriormente mencionadas la asignación del NIS en esta etapa del proyecto nos permite determinar si se requiere de algún sistema de seguridad adicional o con los que cuenta podemos considerar que la planta es segura.

La asignación del SIL requerido nos indica que para un SIL:

- “3” Indica una protección a empleados y a la comunidad sin ser catastrófico.
- “2” Indica mayor protección a la propiedad a la producción, con posibles lesiones a los empleados.
- “1” Indica protección menor a la propiedad a la producción.
- “No SIS” indica que tenemos una planta segura

Para lograr esto, fue necesaria la identificación de los eventos peligrosos, tomando como referencia lo obtenido de la aplicación de la metodología de identificación de riesgos HAZOP⁷ previamente realizada y asociarlos a la vez a un determinado enclavamiento, estas causas identificadas para un determinado evento serian las que pueden propiciar la activación del interruptor de seguridad al que se encuentre asociado.

Para este análisis se obtuvieron cinco enclavamientos con NIS 3 lo que nos indica que se necesita la adición de un sistema de seguridad para evitar que se active el

interruptor por alta o baja presión de gas natural y gas combustible al reformador de vapor, evitando un daño a la comunidad y a los empleados, pero en el análisis HAZOP se muestra que solo habrá pérdida de producción y dificultad en la operación sin causar daño a la población.

Con NIS 2 se obtuvieron dos, uno de los cuales se encuentra ubicado en el separador de gas de alimentación proveniente del límite de batería, por lo que es improbable que haya muchos pesados en el gas, lo que ocasionaría la activación del interruptor por alto nivel en el separador y por consecuencia una pérdida de producción, derivado del HAZOP nos indica que esto es improbable que se de ya que el tanque cuenta con sistemas de alarma antes de activarse el sistema de seguridad asociado.

Con SIL 1 se tienen 7 enclavamientos los cuales están relacionados entre si ya que se encuentran aguas abajo del tambor de vapor en el que se localizan interruptores por alto y bajo nivel lo que ocasionaría daños al reformador. Para evitar esto se cuenta con alarmas que permiten que se actúe antes de que se de la activación de los enclavamientos involucrados con lo cual se evitaría una pérdida en la producción y daños a los equipos involucrados.

Con No SIS tenemos 10 enclavamientos los cuales muestran que se cuenta con sistemas seguros dentro de la planta.

Para los enclavamientos cuya función se activa mediante botones de paro diversos, se les ha asignado el SIL máximo de los enclavamientos involucrados en los anteriores, cuya activación suele ser manual.

Por lo que se puede concluir, que los eventos identificados en el HAZOP no provocan daños graves en la población, al medio ambiente y a las instalaciones, por lo tanto se puede decir que no es necesaria la instalación de un SIS. Algunos de estos eventos son: pérdidas de producción y dificultad en la combustión.

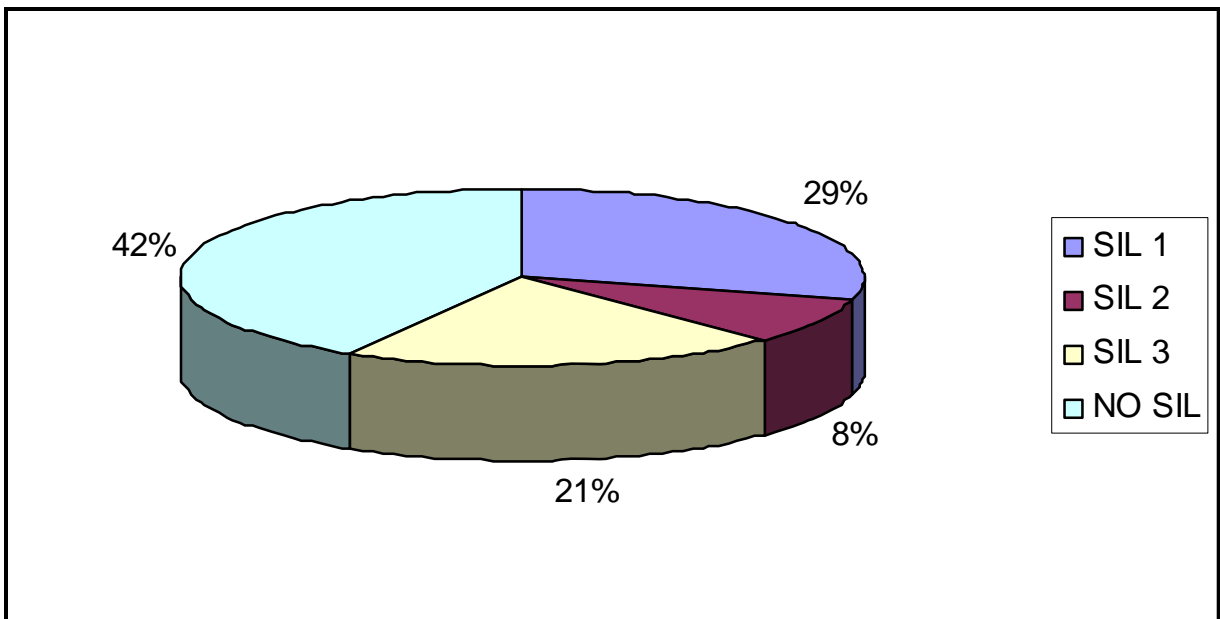
El reparto del NIS requerido para cada uno de los 24 enclavamientos se muestra a continuación:

- SIL 1----- 7 enclavamientos
- SIL 2 ----- 2 enclavamientos
- SIL 3 ----- 5 enclavamientos

- No SIL ----- 10 enclavamientos

La representación de lo obtenido puede observarse en el grafico 7.1

Grafico 7.1 SIL requerido.



Con lo anterior podemos decir que tenemos una planta segura ya que la probabilidad que se de un evento catastrófico es mínima.

1. ABREVIATURAS

ANSI. Instituto de Estándares Nacionales Americanos (*American National Standards Institute*)

FIS. Función instrumentada de seguridad (**SIF.** *Safety Instrumented Function*)

FRR. Factor de reducción de riesgo.

HAZOP. Análisis de Peligro y Operabilidad (*Hazard and Operability*)

IEC. Comisión Electrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission*)

ISA. Sociedad Instrumentista en América (*Instrument Society of America*)

MTTR. Intervalo medio para reparar

NIS. Nivel de Integridad de Seguridad (**SIL.** *Safety Integrity Level*)

OREDA. Datos de Confiabilidad Costa fuera (*Offshore Reliability Data*)

PEMEX. Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.

PFD. Probabilidad de Falla en Demanda.

SCBP. Sistema de Control Básico de Proceso (**BPCS.** *Basic Process Control System*)

SIS. Sistema Instrumentado de Seguridad (*Safety Instrumented System*)

PPM. Partes por millón

TOP. Resultado del árbol de fallos

ESD. Paro de emergencia de la planta

1. REFERENCIAS

Para la elaboración del presente documento, se ha tenido en cuenta la legislación básica y la bibliografía siguientes:

1. WWW.online.fr, www.textoscientificos.com
2. www.tecnociencia.es
3. PEMEX (Nº de documento NRF-045-PEMEX-2002, Rev.0), "Determinación del Nivel de Integridad de Seguridad de los Sistemas Instrumentados de Seguridad".
4. ISA S-84.01-2003. Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries.
5. IEC 61511-1. Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector - Part 3: Framework, definitions, system, hardware and software requirements (First Edition 2003).
6. IEC 61508, 2000 Estándar Seguridad Funcional: Sistemas de Seguridad (Functional Safety: Safety Related Systems, IEC Standard 61508, 2000)
7. HAZOP, Territorio y Medio Ambiente S.A. de C.V. Barcelona España, 2006
8. OREDA, Offshore Reliability Data 2da. Edición 1992 Det Norske Veritas. Noruega.
9. Análisis y Reducción de Riesgo en la Industria Química, J.M. Santamaría Ramiro, P. A. Braña Aísa, 1era. Edición, Edit. Fundación MAPFRE España.
10. Reliability Maintainability and Risk, Dr. David J. Smith ISBN 07506 51687
11. Methods for Determining and Processing Probabilities "RED BOOK" CPR12E, J.C.H. Schuller, m.s.c. 2da. Edición 1997, KEMA Nederland B.V.
12. Methods for Determining of Possible Damage to People and Objetos Resulting from Release of Hazardous materials. "RED BOOK" CPR16E, Diciembre 1989.
13. Guidelines for Quantitative Risk Assessment. "Purple Book" CPR 18E ,The Hague, 1999, 1era. Edición 1999. Committee for the Prevention de Disasters.

1. ANEXOS

ÍNDICE

1. HAZOP
2. ÁRBOLES DE FALLOS
3. ÁRBOLES DE EVENTOS
4. DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACIÓN

NUDO 10: Interior del Separador Final de Condensado de Proceso D-7.

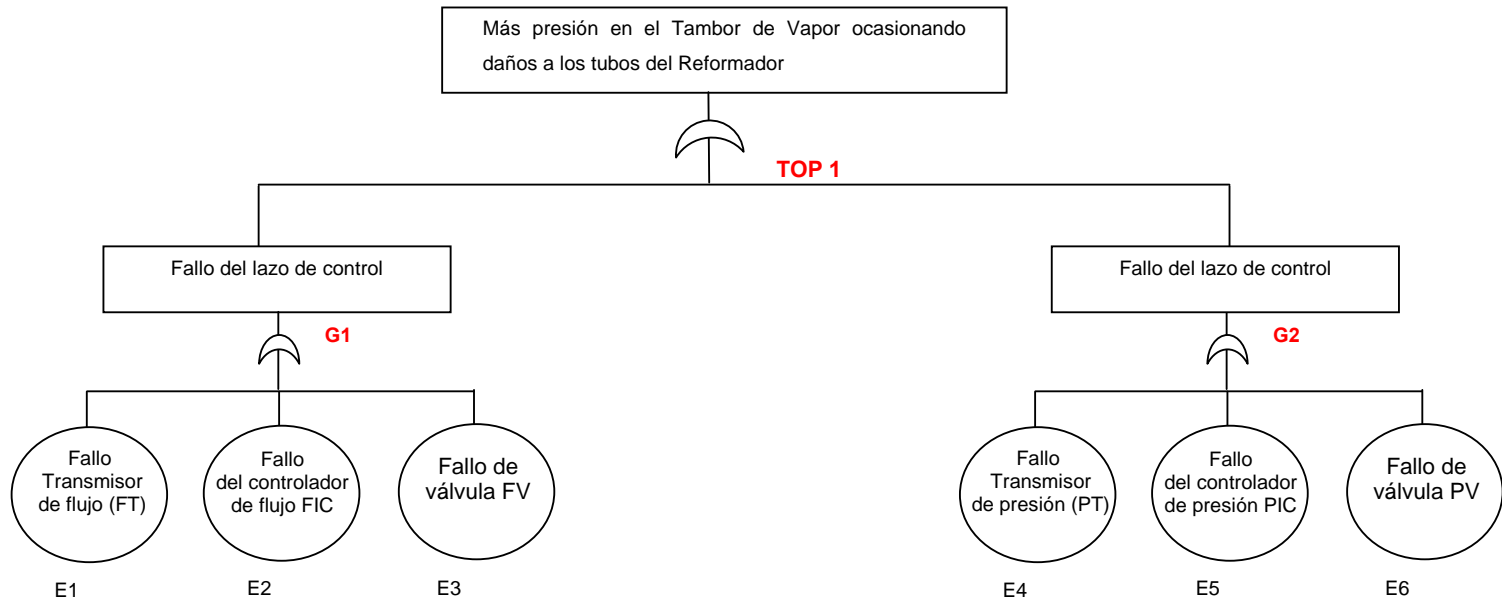
DTI N°: PA-A40-017/016/015 Rev.H

| Palabra Guía | Desviacion | Posibles Causas | Posibles Consecuencias | Salvaguardas | S | F | R | I | Acciones / Re |
|--------------|------------|---|--|---|---|----|---|---|--|
| FUEGO | EXTERNO | 1. Pérdida de contención de algún equipo cercano. | 1.1. Riesgo de accidente grave, riesgo de daños a personas, al equipo y a otras instalaciones por efecto dominó. | 1.1.1. PSV-601A/A1, diseño adecuado del equipo, red contraincendios, sistema de F&G y notificación al SINE. | B | PP | 2 | | Ver R.1.1. |
| TEMPERATURA | MÁS | 2. Fallo E-7 / Fallo TIC-102, abre TV-102 | 2.1. Menor temperatura de entrada al Reformador. Riesgo de daños a las líneas y equipos aguas abajo. | 2.1.1. TAH-206 | C | P | 3 | | R.10.1. Se verifico desfogue o se ajusta |

| | | | | | | | | | |
|-------------|-------|--|--|--|---|----|---|---------|--|
| | | 3. Fallo de agua de caldera / Fallo de bombas. | 3.1. Riesgo de daños a las líneas y equipos aguas abajo. | 3.1.1. PALL-706, que activa automáticamente la turbina de reserva. | B | I | 3 | | Ver R.6.8. |
| | | 4. Fallo eléctrico EA-1. | 4.1. Idem 3.1. Riesgo de presurización aguas abajo. Riesgo de enviar vapor de agua a la PSA. | 4.1.1. La mitad de los motores se conectan a diferente alimentación eléctrica. TIC-211. TAH-211. | B | I | 3 | | |
| | | 5. Fallo de un motor de EA-1. | 5.1. Ligeramente incremento de presión. | 5.1.1. Status del motor . TIC-211, TAH-211. | C | PP | 3 | R.10.2. | Se deberá tener tres motores al 100% de capacidad. |
| | | 6. Fallo TIC-211, pone en cero el ángulo de ataque de las aspas de dos ventiladores. | 6.1. Idem 4.1. | 6.1.1. Quedan dos motores en funcionamiento normal. TSHH-300A/B/C (2 de 3) | B | I | 3 | | |
| | | 7. Fallo de agua en E-2. | 7.1. Menor condensación. Riesgo de envío de agua a la PSA. | 7.1.1. TAH-208, TSHH-300A/B/C (2 de 3) | B | I | 3 | | |
| TEMPERATURA | MENOS | 8. Fallo E-7 / Fallo TIC-102, cierra TV-102 | 8.1. Menos generación de vapor. | 8.1.1. TIC-211, TAL-211, TI-206/7. | | | | | |
| | | 9. Fallo TIC-211, ajusta al 100% el ángulo de ataque de las aspas de dos ventiladores. | 9.1. Mayor condensación. Dificultades en la PSA. | 9.1.1. Instrumentación en la PSA. | C | PP | 3 | R.10.3. | Verificar la instrumentación de trabajo en la PSA. |
| PRESIÓN | MÁS | 10. Fallo EA-1. | 10.1. Riesgo de presurización aguas abajo. Riesgo de enviar vapor de agua a la PSA. | 10.1.1. PAH-204, TSHH-300A/B/C. | | | | R.10.4. | Se debe asegurar que las bahías de trabajo estén adecuadamente presurizadas. |
| | | 11. Fallo HV-201, cierra. | 11.1. Ver más presión en nudo 9. | | | | | | |
| | | 12. Ver más presión en nudo 5,7 y 9. | | | | | | | |
| | | 13. Fallo de agua en E-8. | 13.1. Idem 3.1. | 13.1.1. Idem 3.1.1. | | | | | |
| PRESIÓN | MENOS | 14. Ver menos temperatura. | | | | | | | |
| | | 15. Fallo PIC-204, abre PV-204. | 15.1. Pérdida de producción. Baja presión en PSA. Disparo de planta. | 15.1.1. PSL-310A/B/C. | B | I | 3 | | |
| | | 16. Despresurizaciones en la PSA. | 16.1. Ver nudo 11. | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|-------------|---------|--|--|---|---|----|---|--|----------|--|
| FLUJO | MÁS | NA | | | | | | | | |
| FLUJO | MENOS | NA | | | | | | | | |
| FLUJO | INVERSO | NA | | | | | | | | |
| NIVEL | MÁS | 17. Fallo LIC-301 del E-8, cierra LV-301. | 17.1. Arrastre de condensados hacia D-6. Fluctuaciones de nivel. | 17.1.1. El equipo está situado más alto que EA-1. | C | PP | 3 | | R.10.5. | Configurar cerrada en |
| | | 18. Fallo LIC-302 del D-6, cierra LV-302. | 18.1. Sobrellenado del D-6. Riesgo de sobrepresión aguas arriba. Riesgo de paro de planta. | 18.1.1. | B | PP | 2 | | R.10.6. | Configurar cerrada al |
| | | | | | | | | | R.10.7. | Agregar L 6 y configu |
| | | 19. Fallo LIC-303 del D-7, cierra LV-303. | 19.1. Sobrellenado del D-7. Riesgo de sobrepresión aguas arriba. Riesgo de paro de planta. Riesgo de envío de agua a la PSA. | 19.1.1. LSHH-304, que activa I-001. | B | I | 3 | | R.10.8. | Sustituir L independie configurar |
| NIVEL | MENOS | 20. Fallo LIC-301 del E-8, abre LV-301. | 20.1. Riesgo de sobrepresión en D-3 y de explosión confinada. | 20.1.1. | A | PP | 2 | | R.10.9. | Agregar un E-8 y co instalar vá de acuerdo |
| | | 21. Fallo LIC-302 del D-6, abre LV-302. | 21.1. Idem 20.1. | 21.1.1. | A | PP | 2 | | R.10.10. | Agregar un D-6 y co instalar vá de acuerdo |
| | | 22. Fallo LIC-303 del D-7, abre LV-303. | 22.1. Idem 20.1. | 22.1.1. | A | PP | 2 | | R.10.11. | Agregar un D-7 y co instalar vá de acuerdo |
| COMPOSICIÓN | OTRA | 23. Ver nudo 11. | | | | | | | | |
| | | 24. Rotura del Enfriador final de gas de reformado E-2 | 24.1. Riesgo de envío de agua a la torre de refrigeración. | 24.1.1. PSV-931, PSE-933 | B | I | 3 | | | |
| TUBERÍA | RUPTURA | 25. Fallo del material, fuga en brida, vibraciones, etc. | 25.1. Riesgo de daños a personas y a equipos, fuego externo. | 25.1.1. Ver 1.1.1. | B | I | 3 | | | Ver R.1.1. |

FIGURA 1. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 3



$$(PFD)_{average} = \lambda_d (MTTR + T_{Ia}/2) + \lambda_d (T_{Im}/2)$$

$\lambda_d = \text{Ratio fallo } (\lambda_{d \text{ pressure measurement}} = 0,49 \text{ E-6 horas})(\text{OREDA}) (\lambda_{d \text{ flow measurement}} = 9,4 \text{ E-6 horas})(\text{OREDA})(\lambda_{d \text{ valves}} = 4,93 \text{ E-6 horas})(\text{OREDA})$

MTTR = Tiempo medio para reparar (4 horas) (OREDA) / (5.5 horas) (OREDA) / (4 horas) (OREDA)

T_{I_a} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_{I_M} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

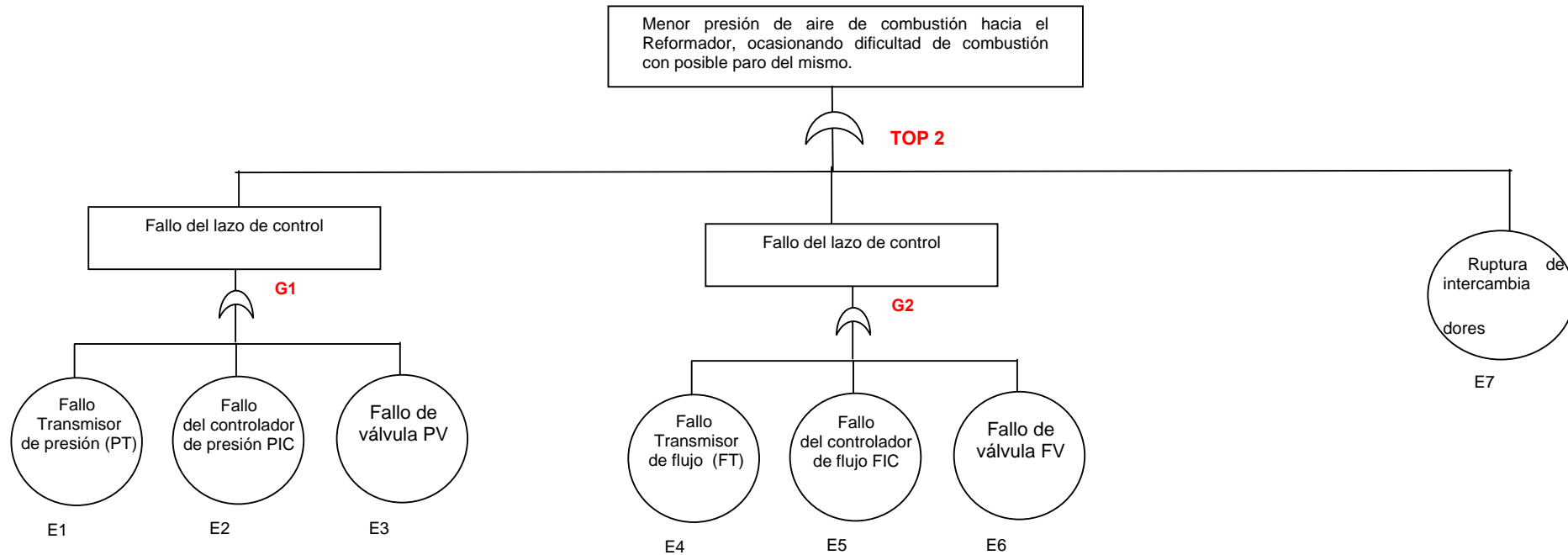
Tabla 1 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 3 (TOP-1).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula FV | 2,63 E-2 | 11,97 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de presión (PT) | 1,08 E-3 | 0,49 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de presión PIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula PV | 1,08 E-2 | 4,93 E-6 | 8 |

| | |
|-------------------------|-----------------|
| (TOP- 1) = G1+G2 | 8,64 E-2 |
| G1 =E1+E2+E3 | 6,07 E-2 |
| G2=E4+E5+E6 | 2,57 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 2. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 4, 6, 12



Tl_a = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

$(PPD)_{a=1} = \lambda \cdot (MTTR + Tl_a/2) + \lambda \cdot (Tl_a/2)$
 (PPD)_{a=1} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

λ_d = Ratio fallo ($\lambda_{d \text{ pressure measurement}} = 0,49 \text{ E-6 horas/(OREDA)}$) ($\lambda_{d \text{ valves}} = 4,93 \text{ E-6 horas/(OREDA)}$) ($\lambda_{d \text{ flow measurement}} = 9,4 \text{ E-6 horas/(OREDA)}$) ($\lambda_{d \text{ valves}} = 4,78 \text{ E-6 horas/(OREDA)}$)

MTTR = Tiempo medio para reparar (5.5 horas) (OREDA) (14.5 horas) (OREDA) (10.5 horas) (OREDA)

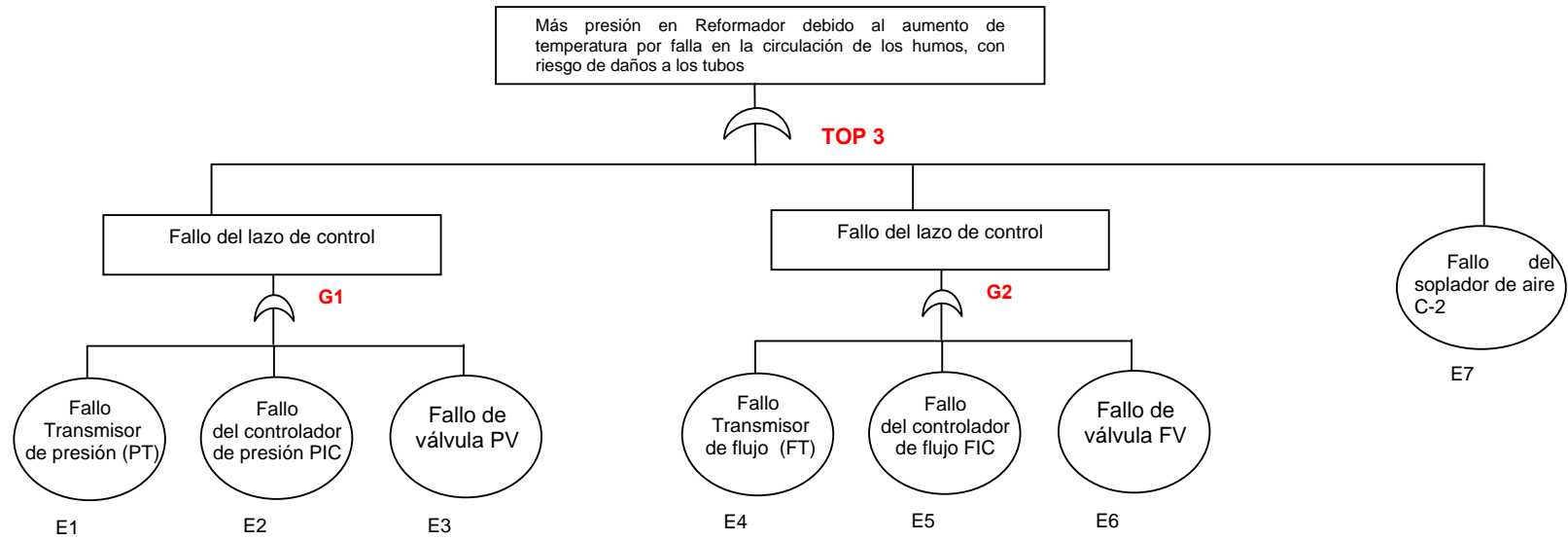
Tabla 2 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 4,6,12 (TOP-2)

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de presión (PT) | 1,08 E-3 | 0,49 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de presión PIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula PV | 2,31 E-3 | 1,05 E -6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula FV | 1,04 E-2 | 4,78 E-6 | 8 |
| E7 | Ruptura de intercambiadores | 1,0 E-5 | | 10 |

| | |
|------------------------|-----------------|
| TOP-2= G1+G2+E7 | 6,21 E-2 |
| G1=E1+E2+E3 | 1,72 E-3 |
| G2=E4+E5+E6 | 4,48 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 3. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 5.



T_{I_a} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_{I_M} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

$$(PFD)_{average} = \lambda_{-d} (MTTR + T_{I_a}/2) + \lambda_{-d} (T_{I_M}/2)$$

$$\lambda_{-d} = \text{Ratio fallo} (\lambda_{-d \text{ pressure measurement}} = 0,49 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{-d \text{ valves}} = 4,78 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{-d \text{ flow measurement}} = 9,4 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{-d \text{ valves}} = 1,05 \text{ E-6 horas}) \text{ (OREDA)}$$

$$MTTR = \text{Tiempo medio para reparar} (4 \text{ horas}) / (3,9 \text{ horas}) / (5,5 \text{ horas}) / (10,5 \text{ horas}) \text{ (OREDA)}$$

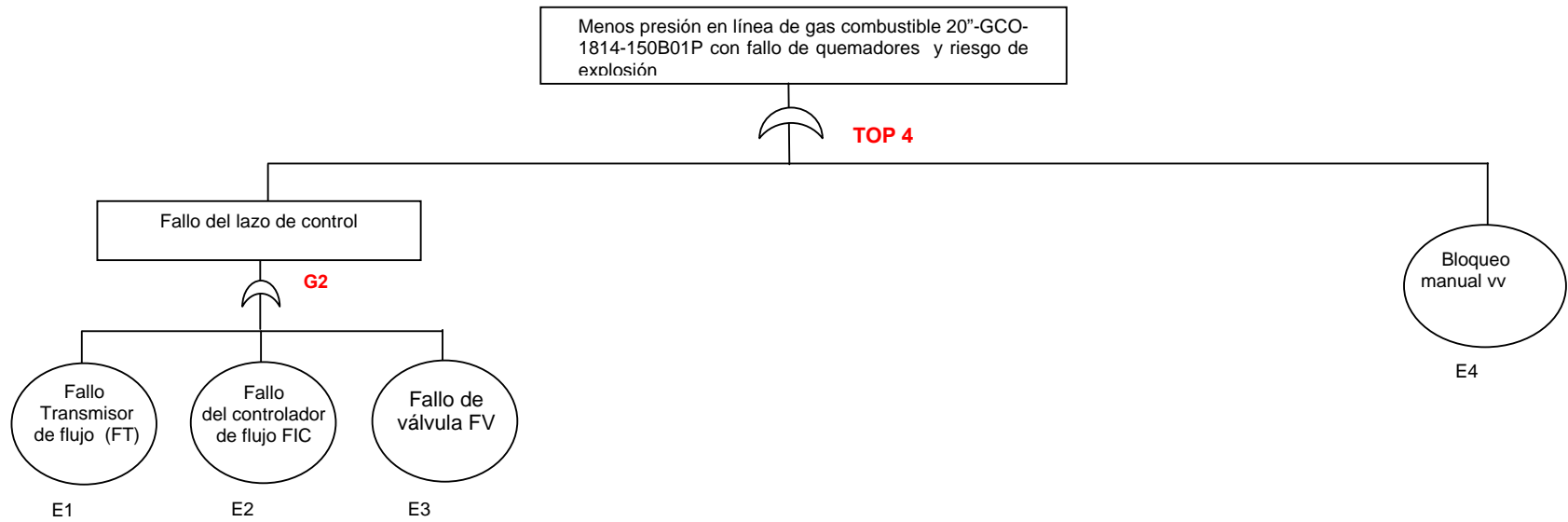
Tabla 3 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 5 (TOP-3).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de presión (PT) | 1,08 E-3 | 0,49 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de presión PIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula PV | 1,04 E-2 | 4,78 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula FV | 2,31 E-3 | 1,05 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo del soplador de aire C-2 | 7,27 E-2 | 33,08 E-6 | 8 |

| | |
|-------------------------|-----------------|
| (TOP-3)=G1+G2+E7 | 1,34 E-1 |
| G1=E1+E2+E3 | 2,53 E-2 |
| G2=E4+E5+E6 | 3,67 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 4. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 7.



$$(PF D)_{average} = \lambda_{d} (MTTR + T I_{a} / 2) + \lambda_{d} (T I_{M} / 2)$$

λ_{d} = Ratio fallo ($\lambda_{flow\ measurement} = 9,4\ E-6\ horas$) / ($\lambda_{d\ valves} = 10,09\ E-6\ horas$) (OREDA)

MTTR = Tiempo medio para reparar (4 horas)/(3 horas) (OREDA)

$T I_{a}$ = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

$T I_{M}$ = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

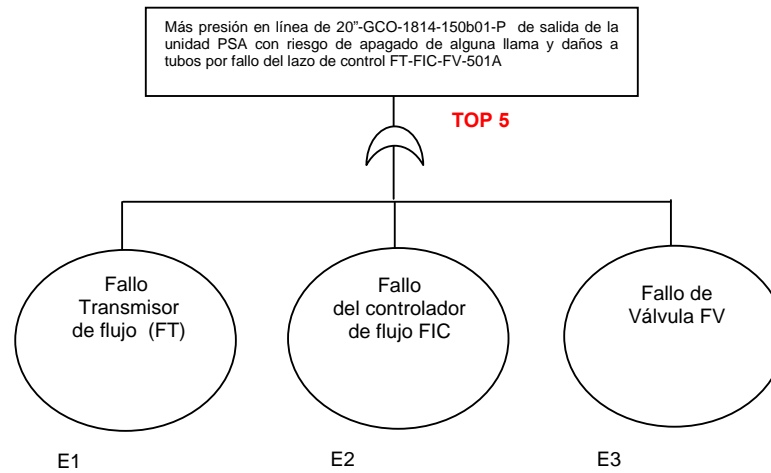
Tabla 4 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 7 (TOP-4).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula FV | 2,212 E-2 | 10,09 E-6 | 8 |
| E4 | Bloqueo manual vv Error Humano | 1,0 E-3 | | 10 |

| | |
|----------------------|-----------------|
| (TOP-4)=G1+E4 | 5,75 E-2 |
| G1= E1+E2+E3 | 5,65 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 5. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 8.



$$(PFD)_{average} = \lambda_d (MTTR + TI_a/2) + \lambda_d (TI_M/2)$$

λ_d = Ratio fallo ($\lambda_{flow\ measurement} = 9,4\ E-6$ horas) / ($\lambda_d\ valves = 8,16\ E-6$ horas) (OREDA)

MTTR = Tiempo medio para reparar (5,5 horas)/(10,5 horas) (OREDA)

TI_a = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

TI_M = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

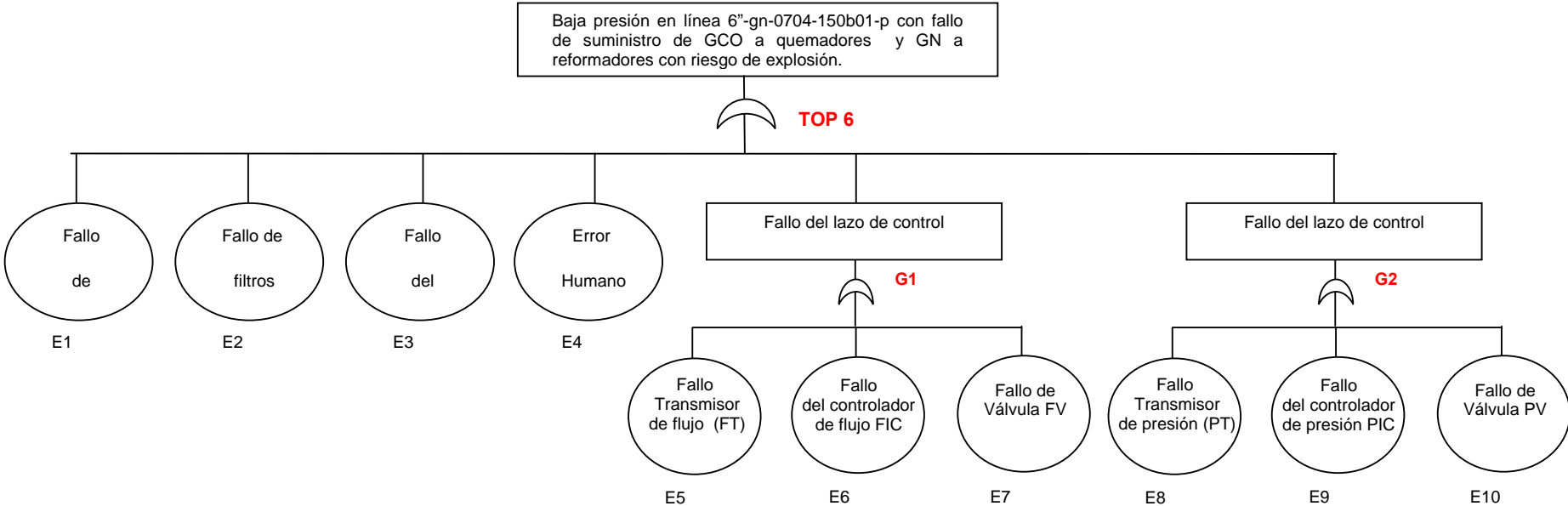
Tabla 5 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 8 (TOP-5).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula FV | 1,795 E-2 | 8,16 E-6 | 8 |

| | |
|--------------------------|-----------------|
| (TOP-5)= E1+E2+E3 | 5,23 E-2 |
|--------------------------|-----------------|

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 6. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 9.



$\lambda_{d} = \text{Ratio fallo } (\lambda_{d \text{ valve PCV}} = 4,78 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{d \text{ filters}} = 9,9 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{d \text{ demister}} = 9,9 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{d \text{ flow measurement}} = 9,4 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{d \text{ valves}} = 4,93 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{d \text{ pressure measurement}} = 0,49 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{d \text{ valves}} = 11,97 \text{ E-6}) / (\text{OREDA})$
 $(\text{PFDR})_{\text{average}} = \lambda_{d} (\text{MTR} + \text{TI}_{a/2}) + \lambda_{d} (\text{TI}_{M/2})$

$\text{MTTR} = \text{Tiempo medio para reparar } (3,9 \text{ horas valves PCV}) / (11 \text{ horas filters}) / (11 \text{ horas demister}) / (5,5 \text{ horas flow measurement}) / (4 \text{ horas flow valves}) / (4 \text{ horas pressure}) / (14,5 \text{ horas valves pressure}) (\text{OREDA})$

T_{I_a} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_{I_M} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

Tabla 6 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 9 (TOP-6).

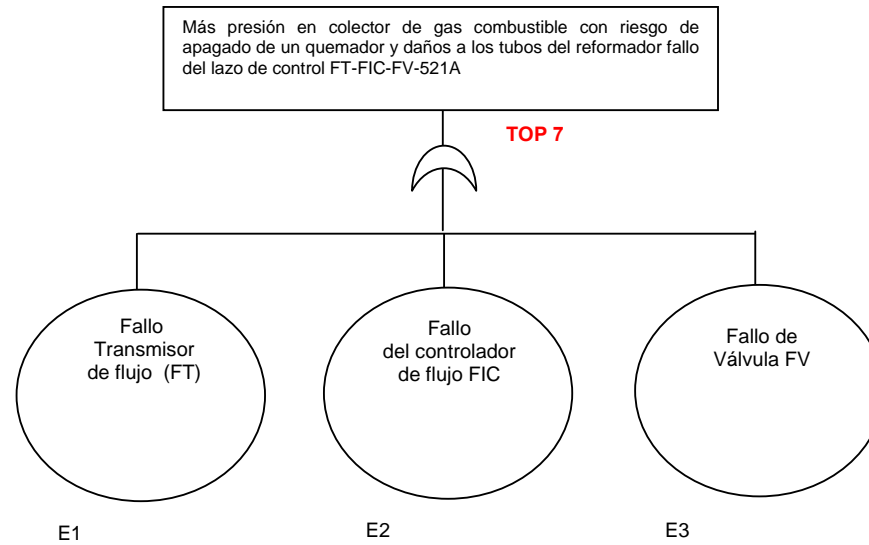
| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo de PCV-521A | 1,04 E-2 | 4,78 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo de filtros FQ-20101A/B | 2,17 E-2 | 9,9 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo del demister | 2,17 E-2 | 9,9 E-6 | 8 |
| E4 | Error humano | 1,0 E-3 | | 10 |
| E5 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo de válvula FV | 1,08 E-2 | 4,93E-6 | 8 |
| E8 | Fallo Transmisor de presión (PT) | 1,08 E-3 | 0,49 E-6 | 8 |
| E9 | Fallo del controlador de presión PIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E10 | Fallo de válvula PV | 2,63 E-2 | 11,97 E-6 | 8 |

| | |
|----------------------------------|-----------------|
| (TOP-6)=E1+E2+E3+E4+G1+G2 | 1,41 E-1 |
| G1=E6+E9+E7 | 4,52 E-2 |

| | |
|---------------------|-----------------|
| G2=E8+E9+E10 | 4,12 E-2 |
|---------------------|-----------------|

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 7. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 10.



$$(PFD)_{average} = \lambda_d (MTTR + T_a/2) + \lambda_d (T_M/2)$$

T_M = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

λ_d = Ratio fallo ($\lambda_{flow\ measurement} = 9,4\ E-6\ \text{horas}$)/($\lambda_{valves} = 11,97\ E-6\ \text{horas}$) (OREDA)

MTTR = Tiempo medio para reparar (5,5 horas $_{flow\ measurement}$)/(4 horas $_{flow\ valves}$) (OREDA)

T_a = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

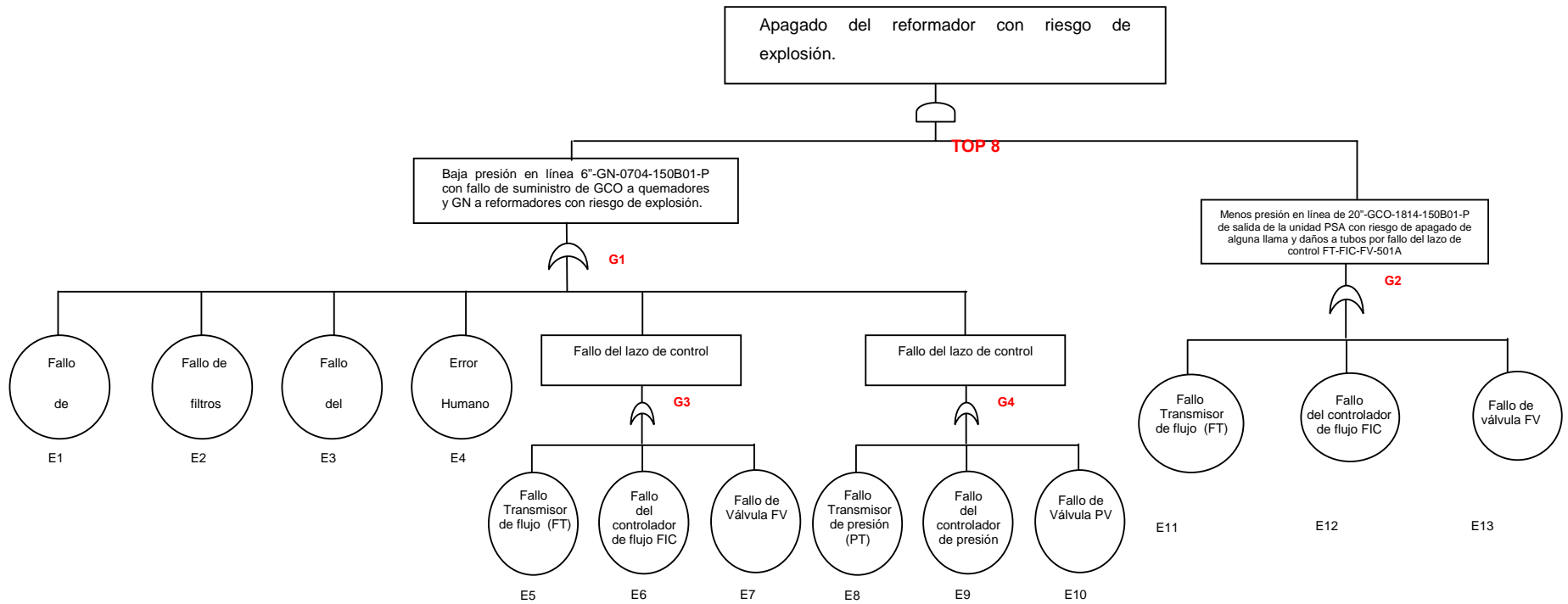
Tabla 7 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 10 (TOP-7).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula FV | 2,63 E-2 | 11,97 E-6 | 8 |

| | |
|-------------------------|-----------------|
| (TOP-7)=E1+E2+E3 | 6,07 E-2 |
|-------------------------|-----------------|

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 8. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 11.



$$(PFD)_{average} = \lambda_d (MTTR + T_{I_a}/2) + \lambda_d (T_{I_M}/2)$$

$\lambda_d = \text{Ratio fallo } (\lambda_{d \text{ valve PCV}} = 4,78 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{filters}} = 9,9 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{demister}} = 9,9 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{flow measurement}} = 9,4 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{d valves}} = 4,93 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{d pressure measurement}} = 0,49 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{d valves}} = 11,97 \text{ E-6}) / (\text{OREDA})$

MTTR = Tiempo medio para reparar (3,9 horas_{valves PCV}) / (11 horas_{filters}) / (11 horas_{demister}) / (5,5 horas_{flow measurement}) / (4 horas_{flow valves}) / (4 horas_{pressure}) / (14.5 horas_{valves pressure}) (OREDA)

TI_a = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

TI_M = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

Tabla 8 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 11(TOP-8).

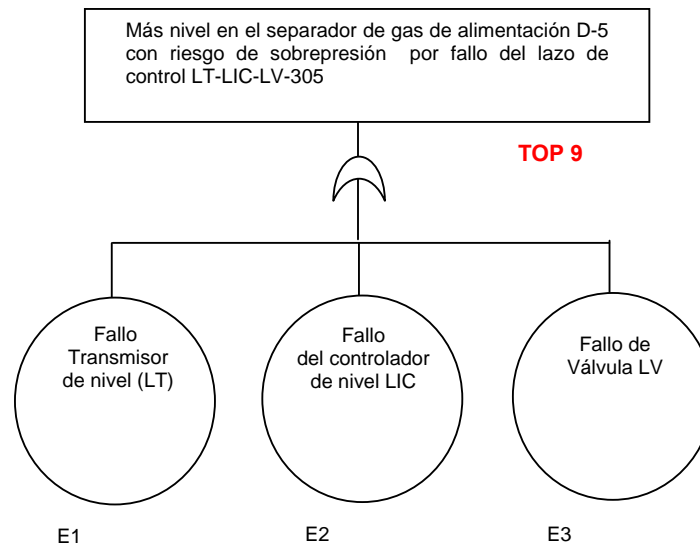
| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo de PCV-521A | 1,04 E-2 | 4,78 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo de filtros FG-1A/B | 2,17 E-2 | 9,9 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo del demister | 2,17 E-2 | 9,9 E-6 | 8 |
| E4 | Error humano | 1,0 E-3 | | 10 |
| E5 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo de válvula FV | 1,08 E-2 | 4,93E-6 | 8 |
| E8 | Fallo Transmisor de presión (PT) | 1,08 E-3 | 0,49 E-6 | 8 |
| E9 | Fallo del controlador de presión PIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E10 | Fallo de válvula PV | 2,63 E-2 | 11,97 E-6 | 8 |
| E11 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E12 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |

| | | | | |
|-----|---------------------|-----------|-----------|---|
| E13 | Fallo de válvula FV | 2,212 E-2 | 10,09 E-6 | 8 |
|-----|---------------------|-----------|-----------|---|

| | |
|----------------------------------|-----------------|
| (TOP-8)=E1+E2+E3+E4+G1+G2 | 1,48 E-5 |
| G1=E1+E2+E3+E4+G3+G4 | 1,41 E-1 |
| G2= E11 + E12 + E13 | 5,65 E-2 |
| G3=E6+E6+E7 | 4,52 E-2 |
| G4=E8+E9+E10 | 4,12 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 9. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 13.



$MTTR = \text{Tiempo medio para reparar (4 horas level measurement)} / (3,9 \text{ horas level valves})$ (OREDA)
 $(PFD)_{\text{average}} = \lambda_d (MTTR + T_{ia}/2) + \lambda_d (T_{iM}/2)$

T_{ia} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_{iM} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)
 λ_d = Ratio fallo ($\lambda_{\text{level measurement}} = 0,65 \text{ E-6 horas}$) / ($\lambda_{\text{level valves}} = 4,78 \text{ E-6 horas}$)

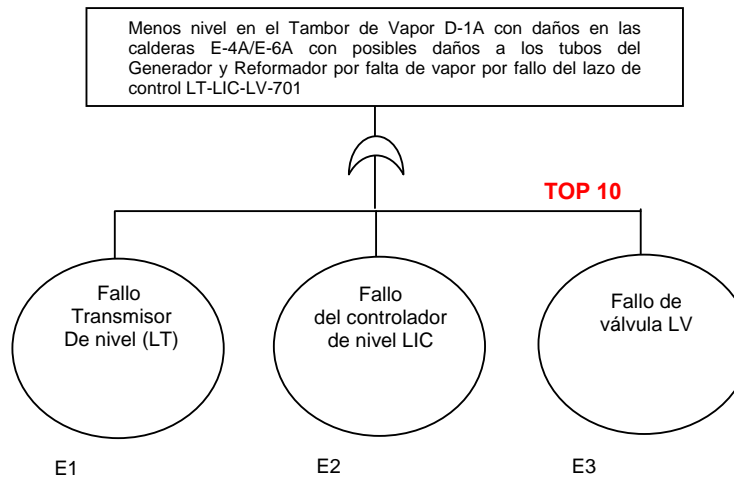
Tabla 9 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 13 (TOP-9).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula LV | 1,04 E-2 | 4,78 E-6 | 8 |

| | |
|-------------------------|-----------------|
| (TOP-9)=E1+E2+E3 | 2,57 E-2 |
|-------------------------|-----------------|

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 10. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 14.



T_{ia} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

$$(PFD)_{average} = \lambda_{d} (MTTR + T_{ia}/2) + \lambda_{d} (T_{iM}/2)$$

T_{iM} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

$$\lambda_{d} = \text{Ratio fallo } (\lambda_{\text{level measurement}} = 0,65 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{level valves}} = 6,47 \text{ E-6 horas})$$

$$MTTR = \text{Tiempo medio para reparar (4 horas}_{\text{level measurement}}) / (14,0 \text{ horas}_{\text{level valves}}) \text{ (OREDA)}$$

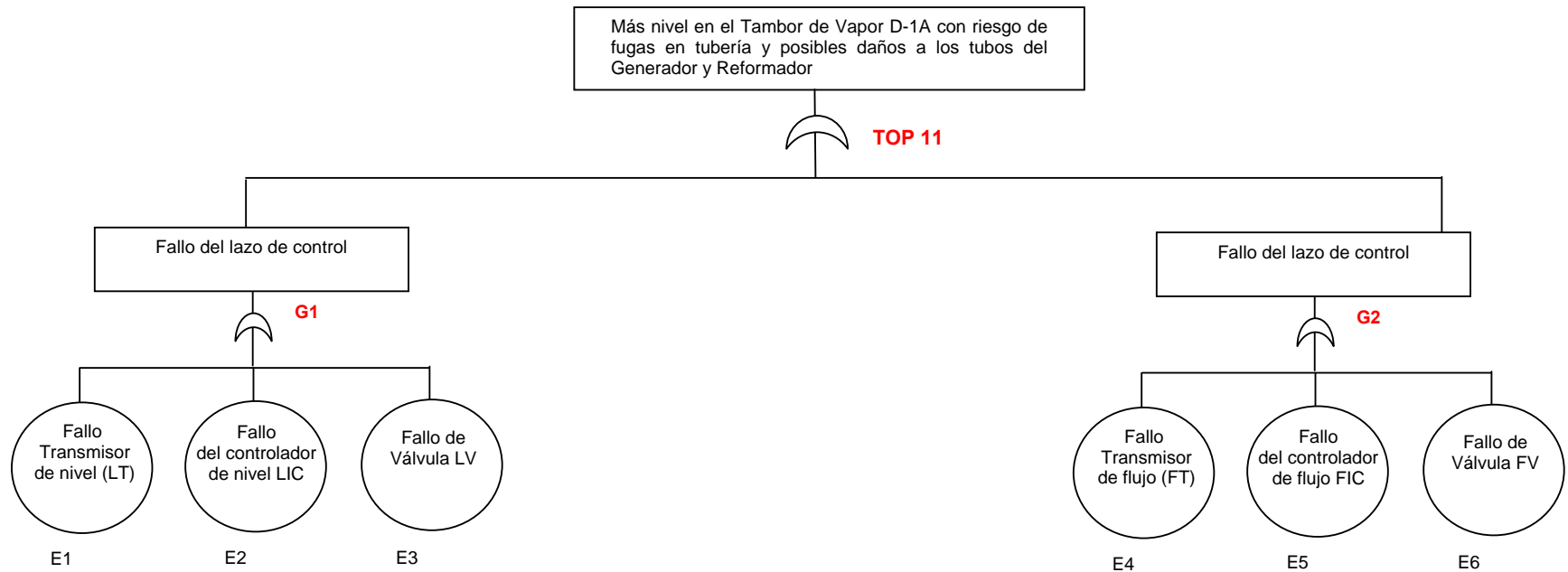
Tabla 10 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 14 (TOP-10).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor De nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula LV | 1,425 E-2 | 6,47 E-6 | 8 |

| | |
|--------------------------|-----------------|
| (TOP-10)=E1+E2+E3 | 2,95 E-2 |
|--------------------------|-----------------|

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 11. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 15.



$(PFD)_{average} = \lambda_{d} \times T_{M}$ (despreciable)

T_{M} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

λ_{d} = Ratio fallo $(\lambda_{level\ measurement} = 0,65\ E-6\ horas) / (\lambda_{level\ valves} = 6,47\ E-6\ horas) / (\lambda_{flow\ measurement} = 9,4\ E-6\ horas) / (\lambda_{flow\ valves} = 4,93\ E-6\ horas)$ (OREDA)

MTTR = Tiempo medio para reparar $(4\ horas_{level\ measurement}) / (14,0\ horas_{level\ valves}) / (5,5\ horas_{flow\ measurement}) / (4\ horas_{flow\ valves})$ (OREDA)

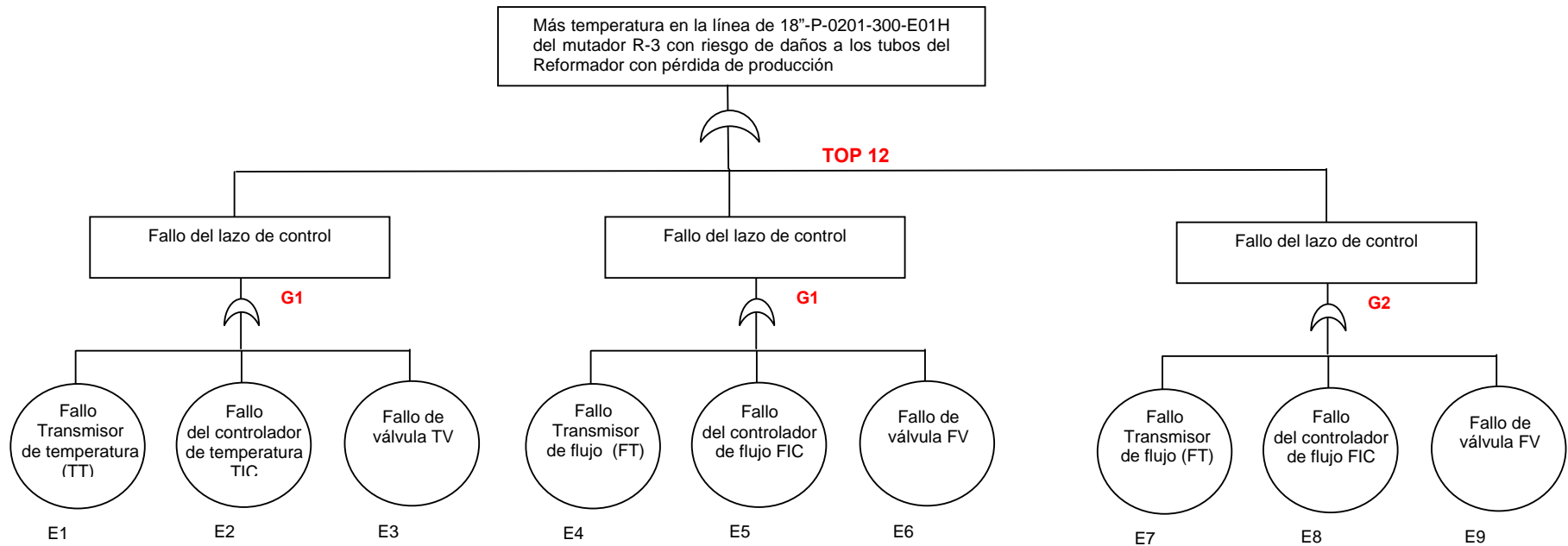
Tabla 11 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 15 (TOP-11).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6.35 X 10 ⁻⁶ | 8 |
| E3 | Fallo de válvula LV | 1,42 E-2 | 6,47 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6.35 X 10 ⁻⁶ | 8 |
| E6 | Fallo de válvula FV | 1,08 E-2 | 4,93 E-6 | 8 |

| | |
|-----------------------|-----------------|
| (TOP-11)=G1+G2 | 7,47 E-2 |
| G1=E1+E2+E3 | 2,95 E-2 |
| G2=E4+E5+E6 | 4,52 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 12. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 16.



T_{IM} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

$$(PFD)_{average} = \lambda_{cd} (MTTR + T_{Ia}/2) + \lambda_{cd} (T_{IM}/2)$$

λ_{cd} = Ratio fallo ($\lambda_{\text{temperature measurement}} = 0,85 \text{ E-6 horas}$)/($\lambda_{\text{temperatura valves}} = 11,97 \text{ E-6 horas}$)/($\lambda_{\text{flow measurement}} = 9,4 \text{ E-6 horas}$)/($\lambda_{\text{flow valves}} = 1,03 \text{ E-6 horas}$)/($\lambda_{\text{flow measurement}} = 9,4 \text{ E-6 horas}$)/($\lambda_{\text{flow valves}} = 11,97 \text{ E-6 horas}$) (OREDA)

MTTR = Tiempo medio para reparar (4,5 horas $\text{temperature measurement}$)/(14,5 horas $\text{temperatura valves}$)/(5,5 horas flow measurement)/(10,5 horas flow valves) (OREDA)

T_{Ia} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

Tabla 12

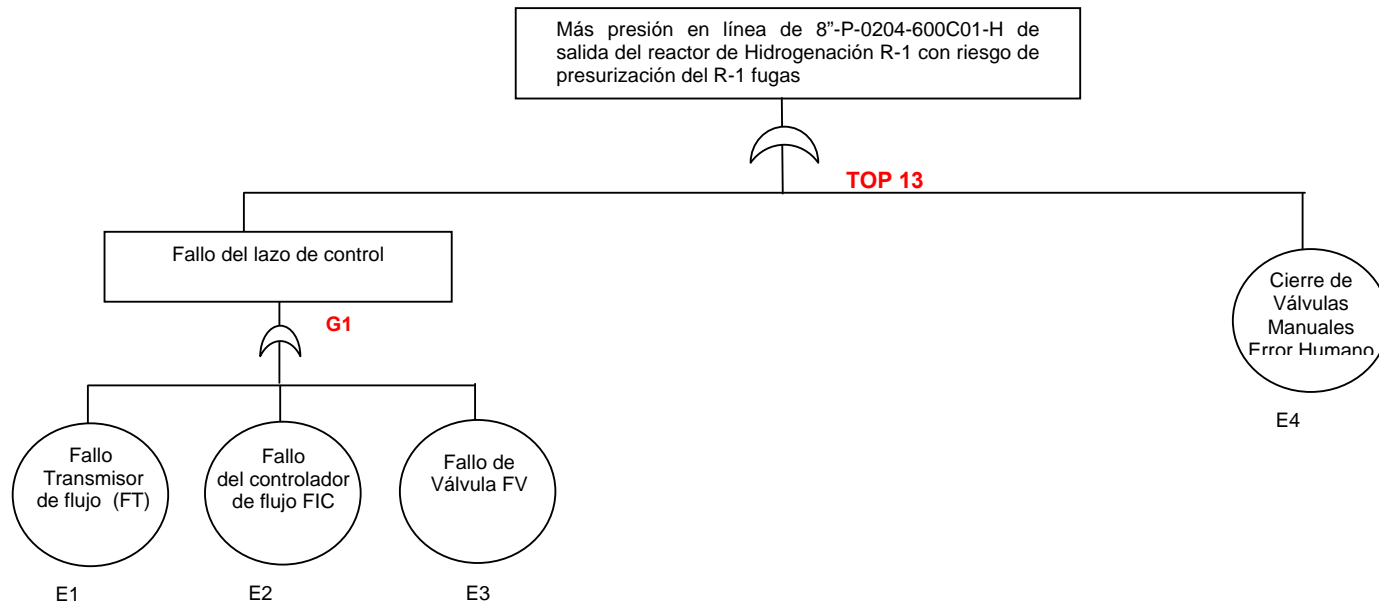
Tabla 12 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 16 (TOP-12).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de temperatura (TT) | 1,86 E-3 | 0,85 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de temperatura TIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula TV | 2,63 E-2 | 11,97 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula FV | 2,31 E-3 | 1,03 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E8 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E9 | Fallo de válvula FV | 2,63 E-2 | 11,97 E-6 | 8 |

| | |
|--------------------------|-----------------|
| (TOP-12)=G1+G2+G3 | 1,39 E-1 |
| G1=E1+E2+E3 | 4,20 E-2 |
| G2=E4+E5+E6 | 3,67 E-2 |
| G3=E7+E8+E9 | 6,07 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 13. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 17.



T_{ij} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)
 $(PFD)_{average} = \lambda_{cd} (MTTR + T_{ia}/2) + \lambda_{cd} (T_{im}/2)$

λ_{cd} = Ratio fallo ($\lambda_{flow\ measurement} = 9,4\ E-6\ horas$)/($\lambda_{flow\ valves} = 4,93\ E-6\ horas$)(OREDA)

MTTR = Tiempo medio para reparar (5,5 horas $_{flow\ measurement}$)/(4 horas $_{flow\ valves}$) (OREDA)

T_{ia} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

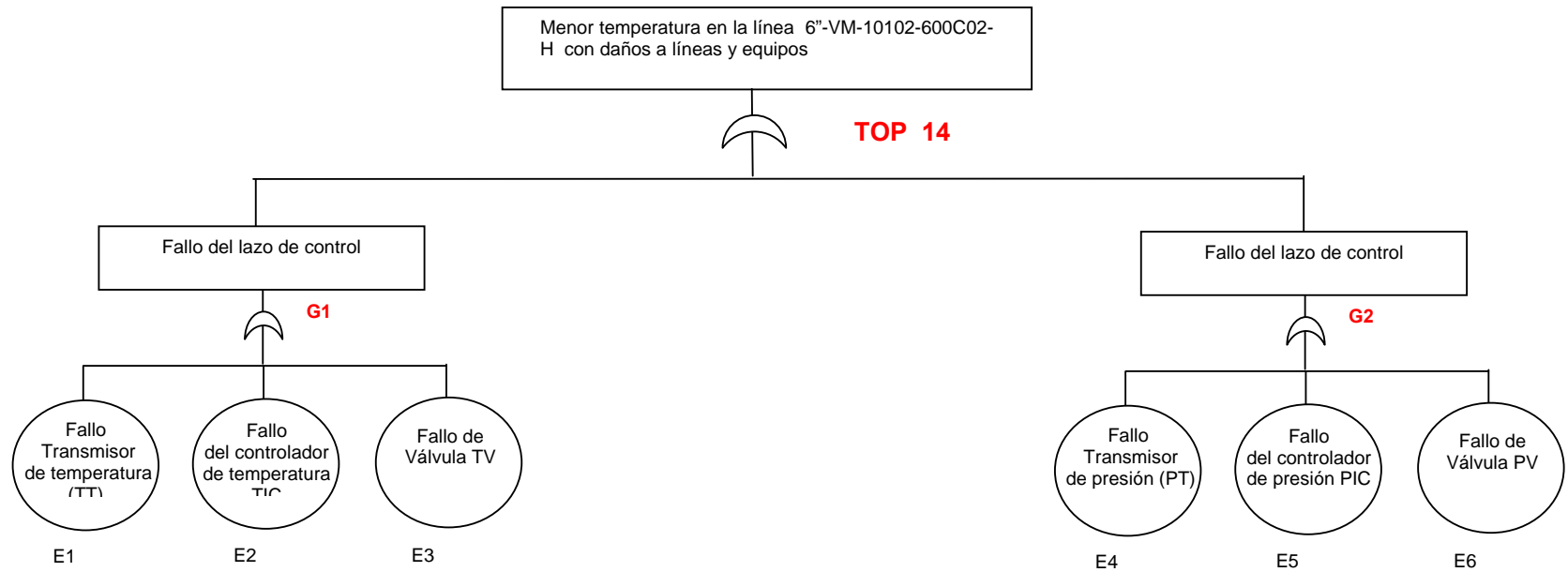
Tabla 13 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 17 (TOP-13).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de flujo (FT) | 2,05 E-2 | 9,4 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de flujo FIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula FV | 1,08 E-2 | 4,93 E-6 | 8 |
| E4 | Cierre de válvulas Manuales Error Humano | 1,0 E-3 | | 10 |

| | |
|--------------------------|-----------------|
| (TOP-13)=G1+E4 | 4,62 E-2 |
| G1 = E1 + E2 + E3 | 4,52 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 14. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 18.



$$(PFD)_{average} = \lambda_d \left(\frac{MTTR + T_{ia}}{2} \right) + \lambda_d \left(\frac{T_{im}}{2} \right)$$

T_{ia} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_{im} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

$$\lambda_d = \text{Ratio fallo } (\lambda_{\text{temperature measurement}} = 0,85 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{temperatura valves}} = 11,97 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{pressure measurement}} = 0,49 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{d valves}} = 4,93 \text{ E-6 horas}) / (\text{OREDA})$$

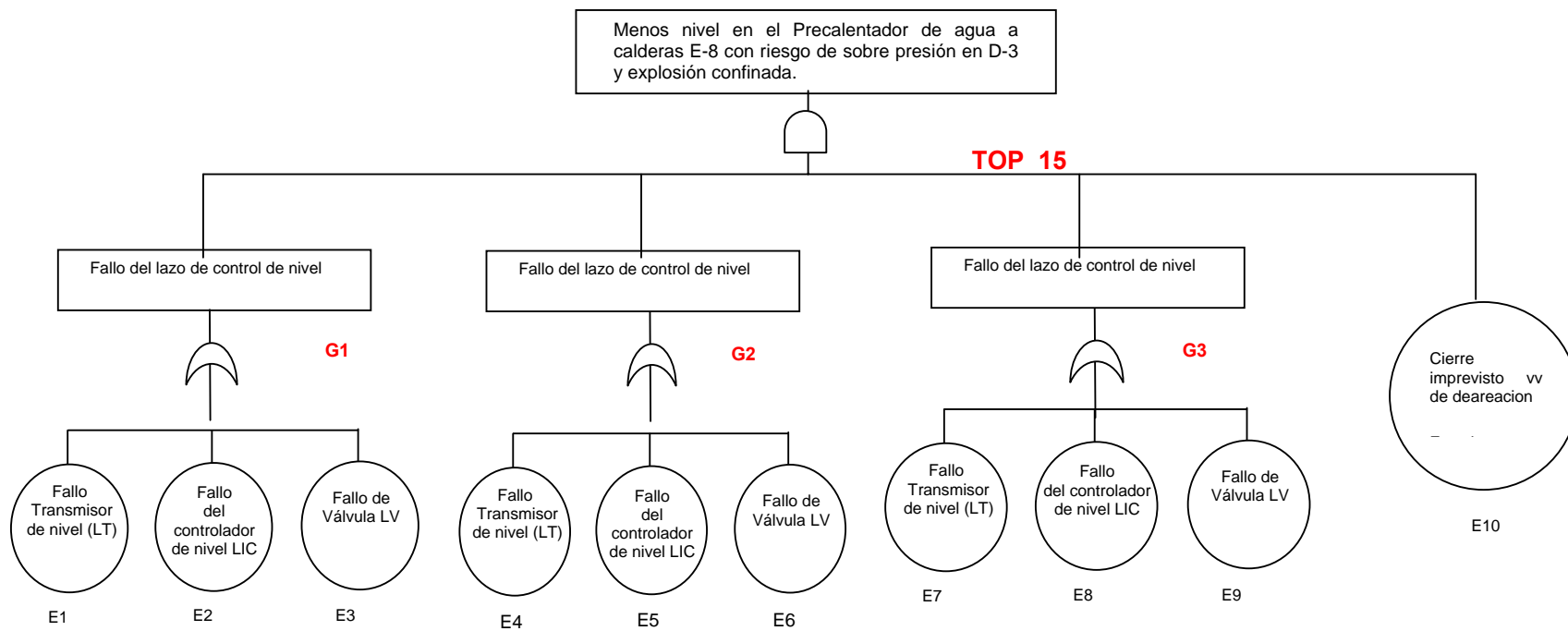
Tabla 14 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 18 (TOP-14).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de temperatura (TT) | 1,86 E-3 | 0,85 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de temperatura TIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula TV | 2,82E-3 | 1,28 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de presión (PT) | 1,08 E-3 | 0,49 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de presión PIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula PV | 1,08 E-2 | 4,93 E-6 | 8 |

| | |
|------------------------|-----------------|
| (TOP-14)=G1+G2 | 4,43 E-2 |
| G1 = E1+ E2+ E3 | 1,85 E-2 |
| G2= E4+E5+E6 | 2,57 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 15. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 19.



$$(PFDF)_{average} = \lambda_{d} (MTTR + TI_{a}/2) + \lambda_{d} (TI_{M}/2)$$

LT-LV-301 (λ_{d} = Ratio fallo ($\lambda_{level\ measurement} = 0,65\ E-6\ horas$)/($\lambda_{level\ valves} = 1,05\ E-6\ horas$))

LT-LV-302 (λ_{d} = Ratio fallo ($\lambda_{level\ measurement} = 0,65\ E-6\ horas$)/ ($\lambda_{level\ valves} = 1,28\ E-6\ horas$) (OREDA))

LT-LV-303 (λ_{d} = Ratio fallo ($\lambda_{level\ measurement} = 0,65\ E-6\ horas$) ($\lambda_{level\ valves} = 1,28\ E-6\ horas$) (OREDA))

MTTR = Tiempo medio para reparar (4 horas level measurement)/(10,5 horas level valves)

T_a = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_M = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

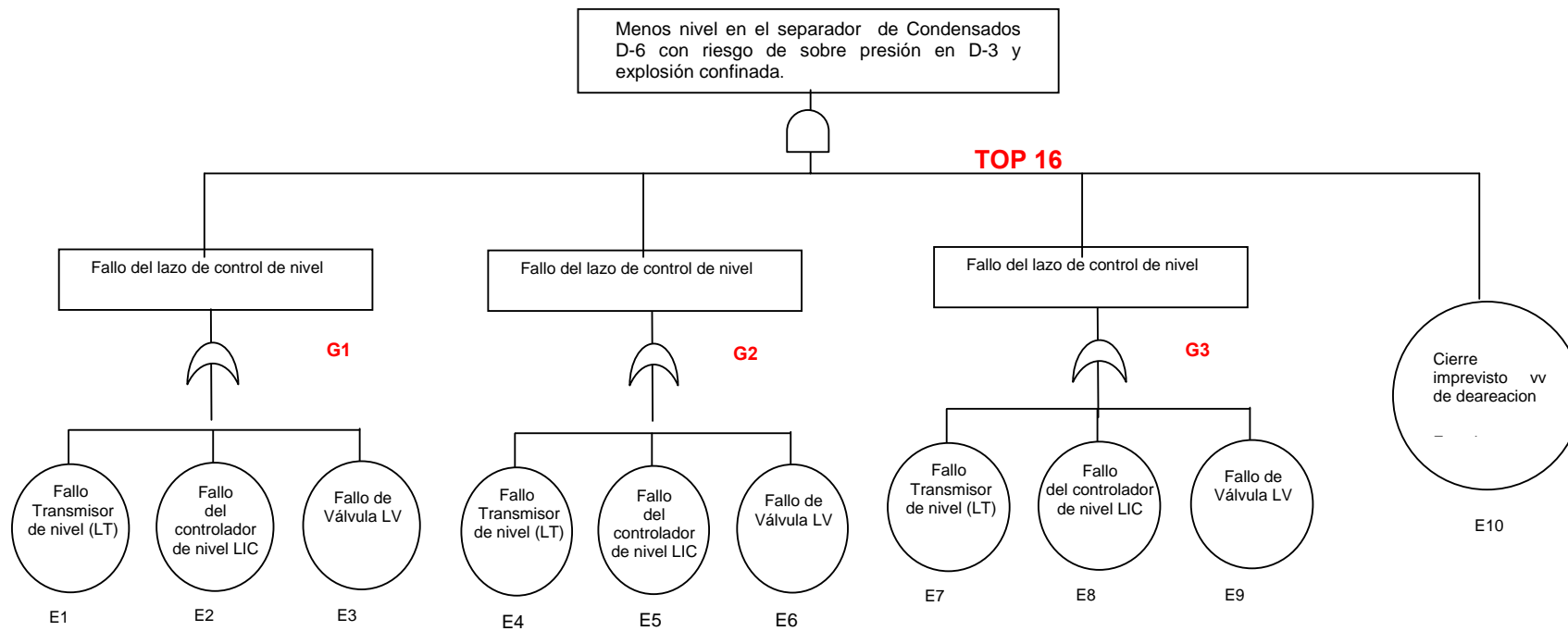
Tabla 15 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 19 (TOP-15)

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|---|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula LV | 2,31 E-3 | 1,05 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula LV | 2,82 E-3 | 1,28 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E8 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E9 | Fallo de válvula LV | 2,82 E-3 | 1,05 E-6 | 8 |
| E10 | Cierre imprevisto VV deareación Error Humano | 1,0 E-3 | | 10 |

| | |
|-------------------------------|-----------------|
| (TOP- 15)=G1xG2xG3xE10 | 5,76 E-9 |
| G1=E1+E2+E3 | 1,76 E-2 |
| G2= E4+E5+E6 | 1,81 E-2 |
| G3= E7+E8+E9 | 1,81 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 16. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 20.



$$(PF D)_{average} = \lambda_{d} (MTTR + T I_a / 2) + \lambda_{d} (T I_M / 2)$$

LT-LV-301 (λ_{d} = Ratio fallo ($\lambda_{level\ measurement} = 0,65\ E-6\ horas$) / ($\lambda_{level\ valves} = 1,05\ E-6\ horas$))

LT-LV-302 (λ_{d} = Ratio fallo ($\lambda_{level\ measurement} = 0,65\ E-6\ horas$) / ($\lambda_{level\ valves} = 1,28\ E-6\ horas$) (OREDA))

LT-LV-303 (λ_{d} = Ratio fallo ($\lambda_{level\ measurement} = 0,65\ E-6\ horas$) ($\lambda_{level\ valves} = 1,28\ E-6\ horas$) (OREDA))

MTTR = Tiempo medio para reparar (4 horas level measurement)/(10,5 horas level valves)

T_a = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_M = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

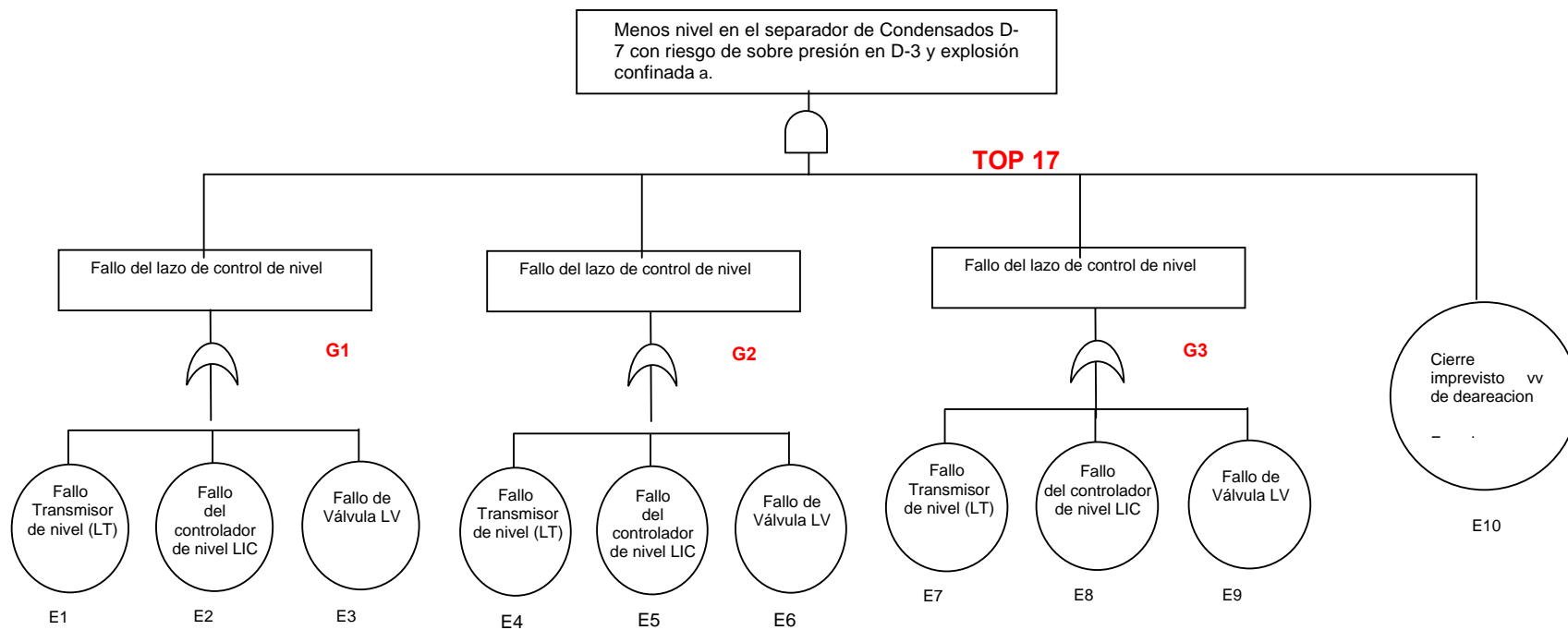
Tabla 16 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 20 (TOP-16)

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|---|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula LV | 2,31 E-3 | 1,05 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula LV | 2,82 E-3 | 1,28 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E8 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E9 | Fallo de válvula LV | 2,82 E-3 | 1,05 E-6 | 8 |
| E10 | Cierre imprevisto VV deareación Error Humano | 1,0 E-3 | | 10 |

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| (TOP- 16)=G1+G2+G3 +E10 | 5,76 E-9 |
| G1=E1+E2+E3 | 1,76 E-2 |
| G2= E4+E5+E6 | 1,81 E-2 |
| G3= E7+E8+E9 | 1,81 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 17. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 21.



$$(PFD)_{average} = \lambda_d (MTTR + T_{Ia}/2) + \lambda_d (T_{IM}/2)$$

LT-LV-301 ($\lambda_d = \text{Ratio fallo } (\lambda_{\text{level measurement}} = 0,65 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{level valves}} = 1,05 \text{ E-6 horas})$)

LT-LV-302 ($\lambda_d = \text{Ratio fallo } (\lambda_{\text{level measurement}} = 0,65 \text{ E-6 horas}) / (\lambda_{\text{level valves}} = 1,28 \text{ E-6 horas})$ (OREDA))

LT-LV-303 ($\lambda_d = \text{Ratio fallo } (\lambda_{\text{level measurement}} = 0,65 \text{ E-6 horas}) (\lambda_{\text{level valves}} = 1,28 \text{ E-6 horas})$ (OREDA))

MTTR= Tiempo medio para reparar (4 horas _{level measurement})/(10,5 horas _{level valves})

T_a = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_M= Intervalo de prueba manual (1/2 año)

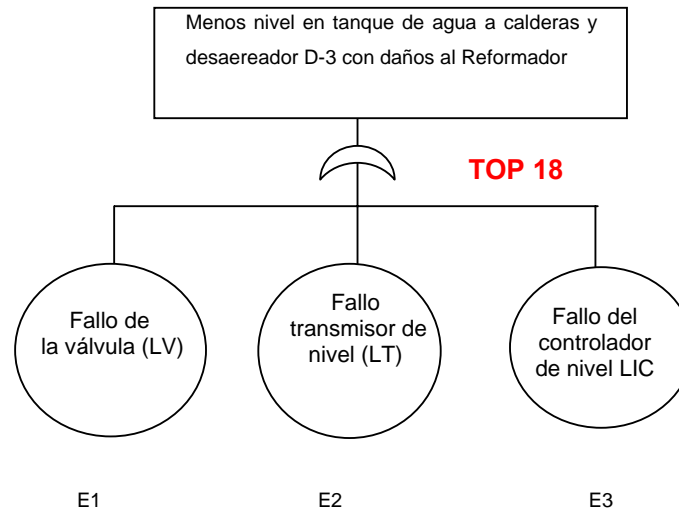
Tabla 17 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento #21(TOP-17).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|--------|---|----------|-----------|------------|
| E1 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula LV | 2,31 E-3 | 1,05 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula LV | 2,82 E-3 | 1,28 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E8 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E9 | Fallo de válvula LV | 2,82 E-3 | 1,05 E-6 | 8 |
| E10 | Cierre imprevisto VV deareación Error Humano | 1,0 E-3 | | 10 |

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| (TOP- 17)=G1+G2+G3 +E10 | 5,76 E-9 |
| G1=E1+E2+E3 | 1,76 E-2 |
| G2= E4+E5+E6 | 1,81 E-2 |
| G3= E7+E8+E9 | 1,81 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 18. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 22.



T_{I_a} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

$$(PFD)_{average} = \lambda_d (MTTR + T_{I_a}/2) + \lambda_d (T_{I_M}/2)$$

T_{I_M} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

λ_d = Ratio fallo ($\lambda_{level\ measurement} = 0,65 \text{ E-6 horas}$) ($\lambda_{level\ valves} = 2,87 \text{ E-6 horas}$) (OREDA)

MTTR = Tiempo medio para reparar (4 horas level measurement) (5,1 horas level valves)

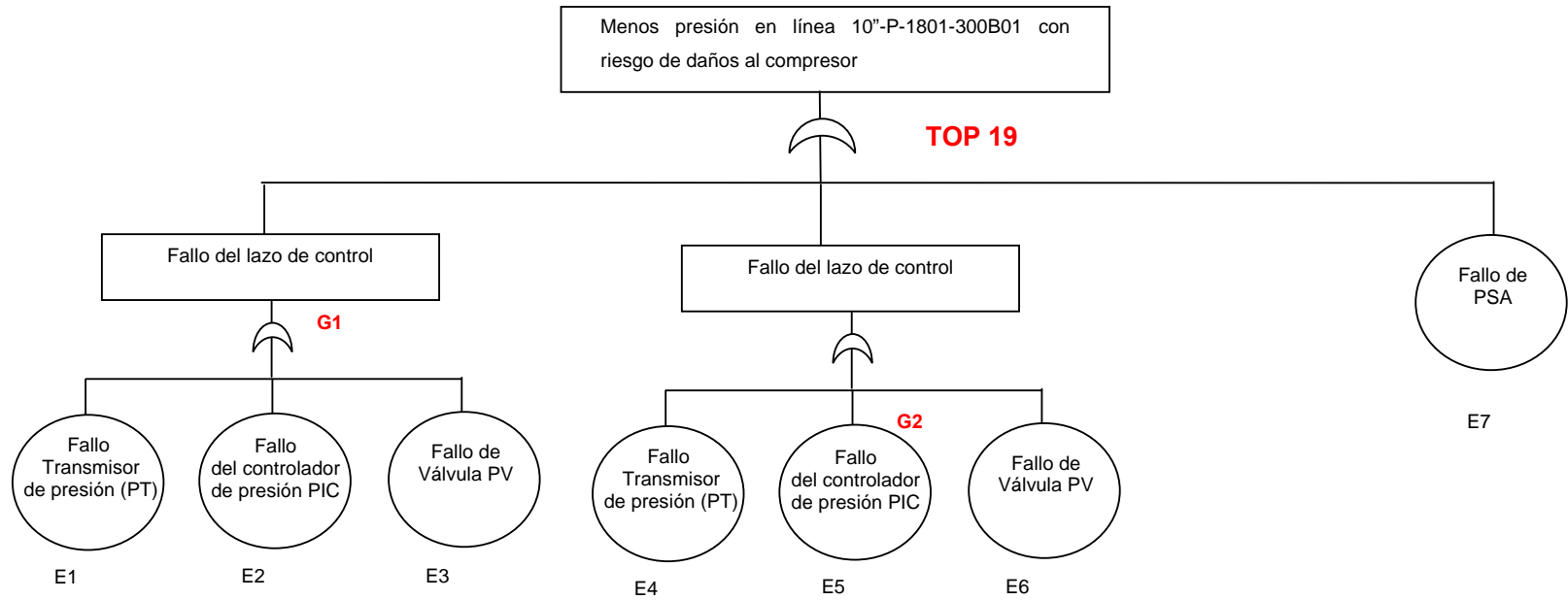
Tabla 18 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 22 (TOP-18).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo de la válvula (LV) | 6,29 E-3 | 2,87 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |

| | |
|---------------------------|-----------------|
| (TOP- 18)=E1+E2+E3 | 2,16 E-2 |
|---------------------------|-----------------|

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 19. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 23



T_{1a} = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

$$(PFD)_{average} = \lambda_d (MTTR + T_{1a}/2) + \lambda_d (T_{1M}/2)$$

T_{1M} = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

λ_d = Ratio fallo (λ_d pressure measurement = 0,49 E-6 horas) / (λ_d pressure valves = 8,16 E-6 horas) (OREDA)

MTTR = Tiempo medio para reparar (4 horas pressure measurement) (10,5 horas pressure valves) (OREDA)

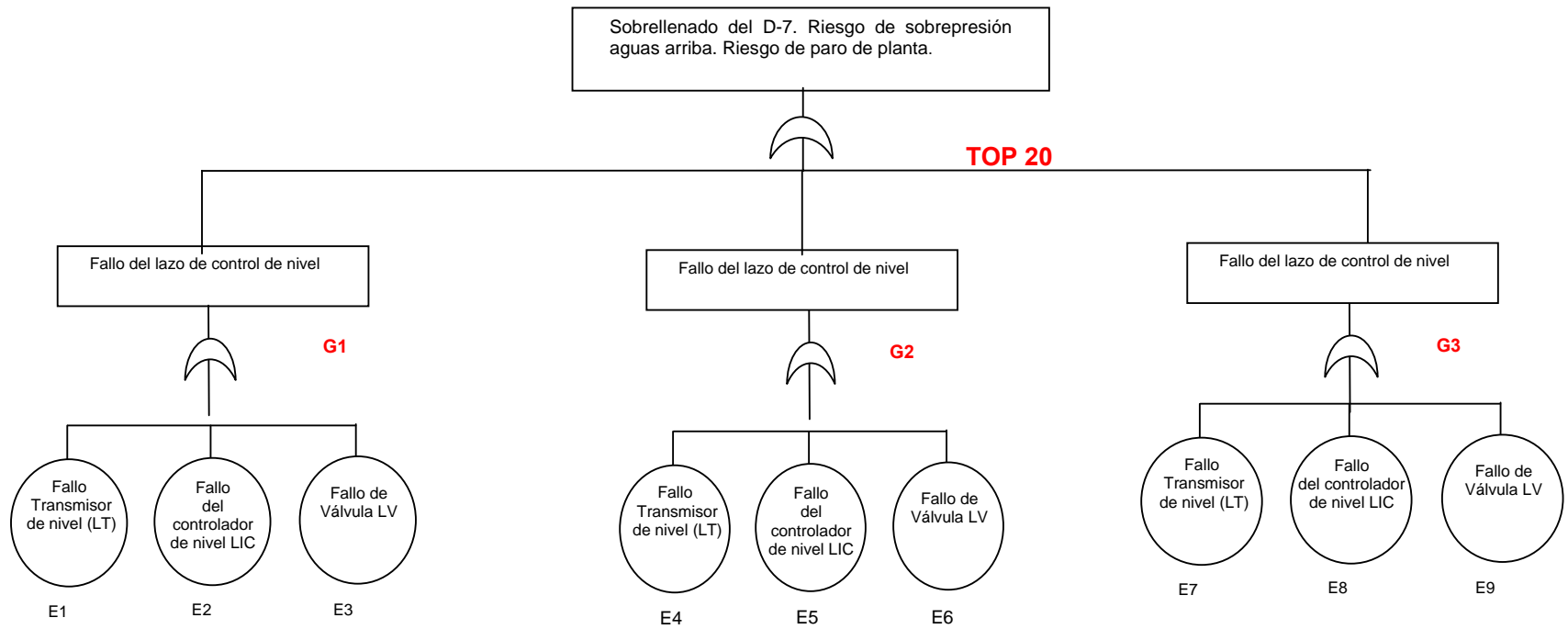
Tabla 19 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento # 23 (TOP-19).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|---------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------|-------------------|
| E1 | Fallo Transmisor de presión (PT) | 1,08 E-3 | 0,49 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de presión PIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula PV | 1,79 E-2 | 8,16 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de presión (PT) | 1,08 E-3 | 0,49 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de presión PIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula PV | 1,79 E-2 | 8,16 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo de PSA | 2,33 E-2 | 10,38 E-6 | 8 |

| | |
|---------------------------|-----------------|
| (TOP- 19)=G1+G2+E7 | 8,90 E-2 |
| G1=E1+E2+E3 | 3,28 E-2 |
| G2=E4+E5+E6 | 3,28 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

FIGURA 20. ÁRBOL DE FALLOS DEL EVENTO 24.



$$(PFD)_{average} = \lambda_d (MTTR + T_{Ia}/2) + \lambda_d (T_{IM}/2)$$

LT-LV-301 (λ_{cl} = Ratio fallo ($\lambda_{\text{level measurement}} = 0,65 \text{ E-6 horas}$)/($\lambda_{\text{level valves}} = 2,87 \text{ E-6 horas}$))

LT-LV-302 (λ_{cl} = Ratio fallo ($\lambda_{\text{level measurement}} = 0,65 \text{ E-6 horas}$)/ ($\lambda_{\text{level valves}} = 2,87 \text{ E-6 horas}$) (OREDA))

LT-LV-303 (λ_{cl} = Ratio fallo ($\lambda_{\text{level measurement}} = 0,65 \text{ E-6 horas}$) ($\lambda_{\text{level valves}} = 2,87 \text{ E-6 horas}$) (OREDA))

MTTR = Tiempo medio para reparar (4 horas $\lambda_{\text{level measurement}}$)/(10,5 horas $\lambda_{\text{level valves}}$)

T_a = Intervalo de diagnóstico automático (despreciable)

T_M = Intervalo de prueba manual (1/2 año)

Tabla 20 Asignación de probabilidades de componentes iniciadores del evento #24(TOP-20).

| Evento | Descripción | PFD | λ | Referencia |
|--------|------------------------------------|----------|-----------|------------|
| E1 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E2 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E3 | Fallo de válvula LV | 6,29 E-3 | 2,87 E-6 | 8 |
| E4 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E5 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |
| E6 | Fallo de válvula LV | 6,29 E-3 | 2,87 E-6 | 8 |
| E7 | Fallo Transmisor de nivel (LT) | 1,42 E-3 | 0,65 E-6 | 8 |
| E8 | Fallo del controlador de nivel LIC | 1,39 E-2 | 6,35 E-6 | 8 |

| | | | | |
|----|---------------------|----------|----------|---|
| E9 | Fallo de válvula LV | 6,29 E-3 | 2,87 E-6 | 8 |
|----|---------------------|----------|----------|---|

| | |
|---------------------------|-----------------|
| (TOP- 20)=G1+G2+G3 | 6,48 E-2 |
| G1=E1+E2+E3 | 2,16 E-2 |
| G2= E4+E5+E6 | 2,16 E-2 |
| G3= E7+E8+E9 | 2,16 E-2 |

Estos valores se seleccionaron en función del tipo de fallo que se puedan presentar en este tipo de instalaciones.

1-P3=0,05

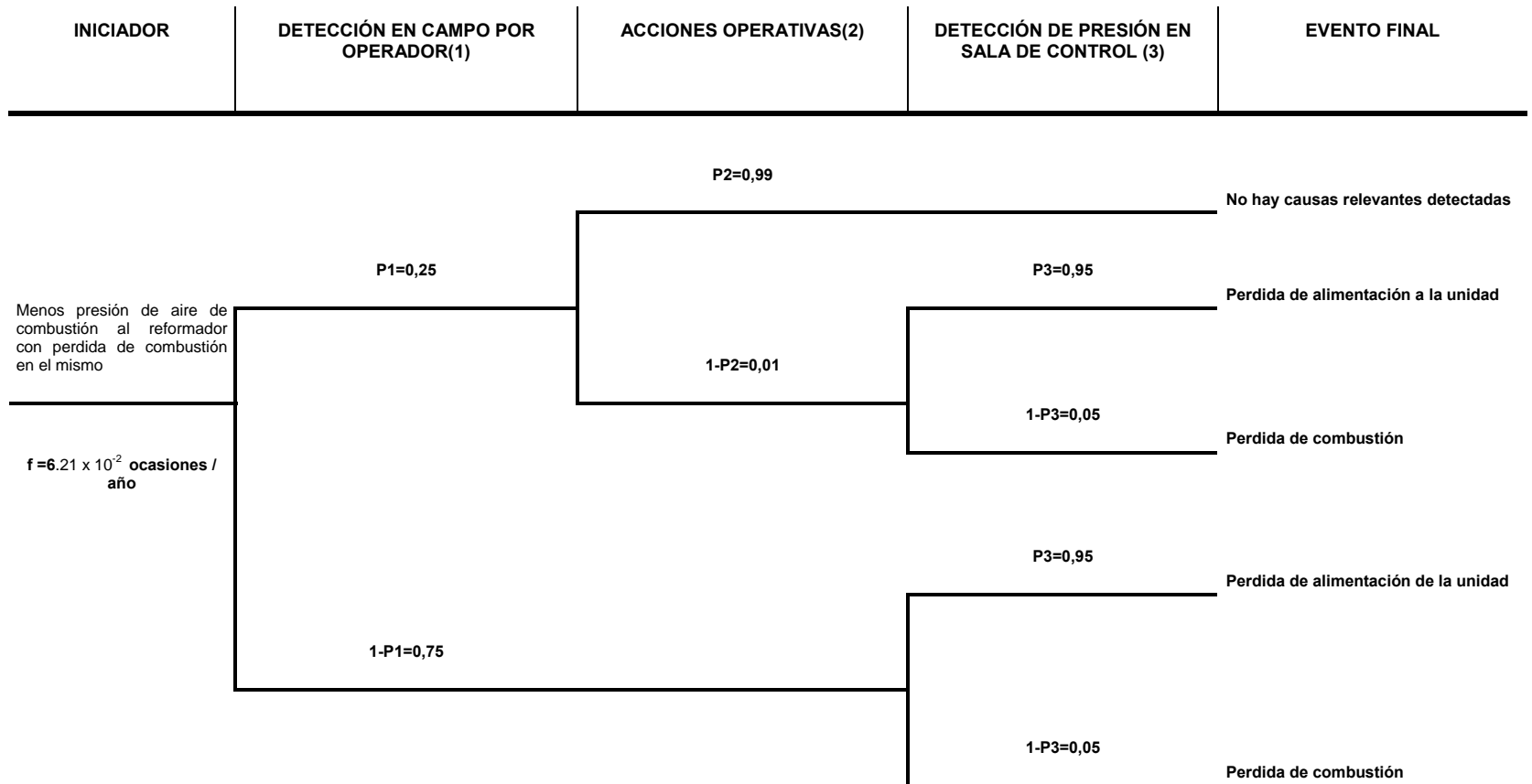
Daños a los tubos del reformador

(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La detección en sala de control refiere únicamente por bajo fluido a través del FT-602AI, así como la detección en campo por operador por baja presión en el PI-604A, y la probabilidad de falla es del 5 %, la cual es estimada.

FIGURA 2. MENOS PRESIÓN DE AIRE DE COMBUSTIÓN AL REFORMADOR CON PÉRDIDA DE COMBUSTIÓN EN EL MISMO (EVENTO 4,6,12)

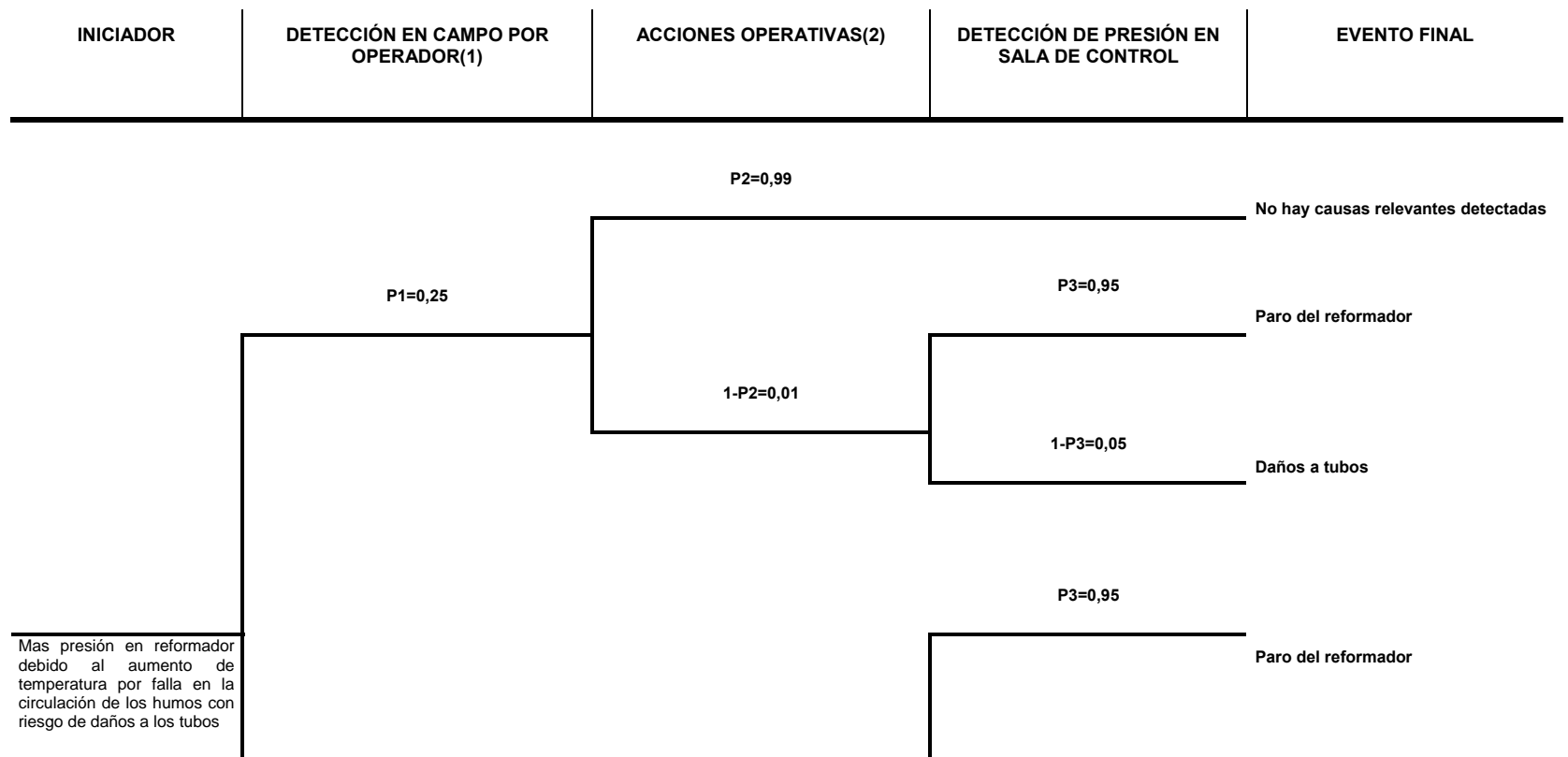


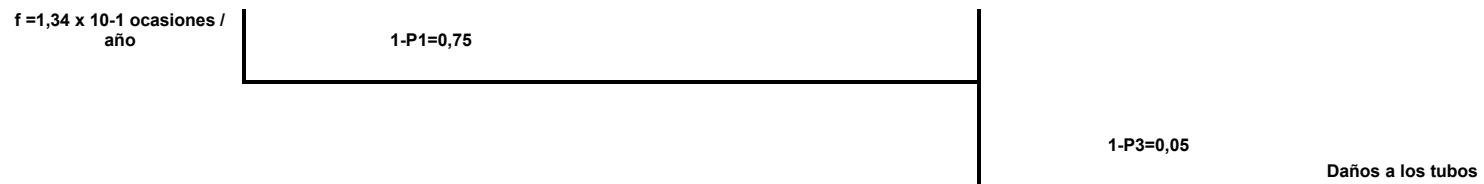
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de detección de presión es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 3. MÁS PRESIÓN EN REFORMADOR DEBIDO AL AUMENTO DE TEMPERATURA POR FALLA EN LA CIRCULACIÓN DE LOS HUMOS, CON RIESGO DE DAÑOS A LOS TUBOS. (EVENTO 5)



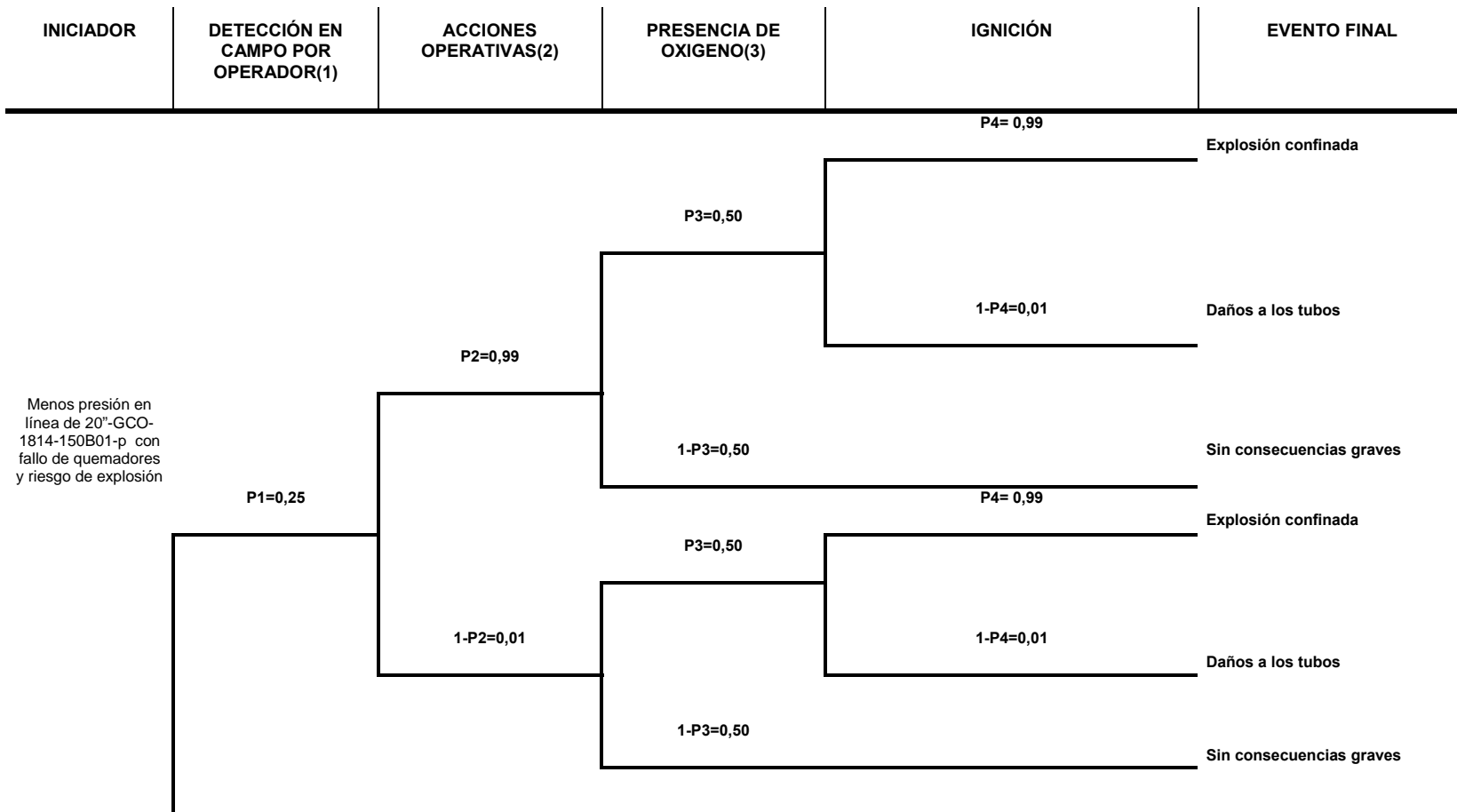


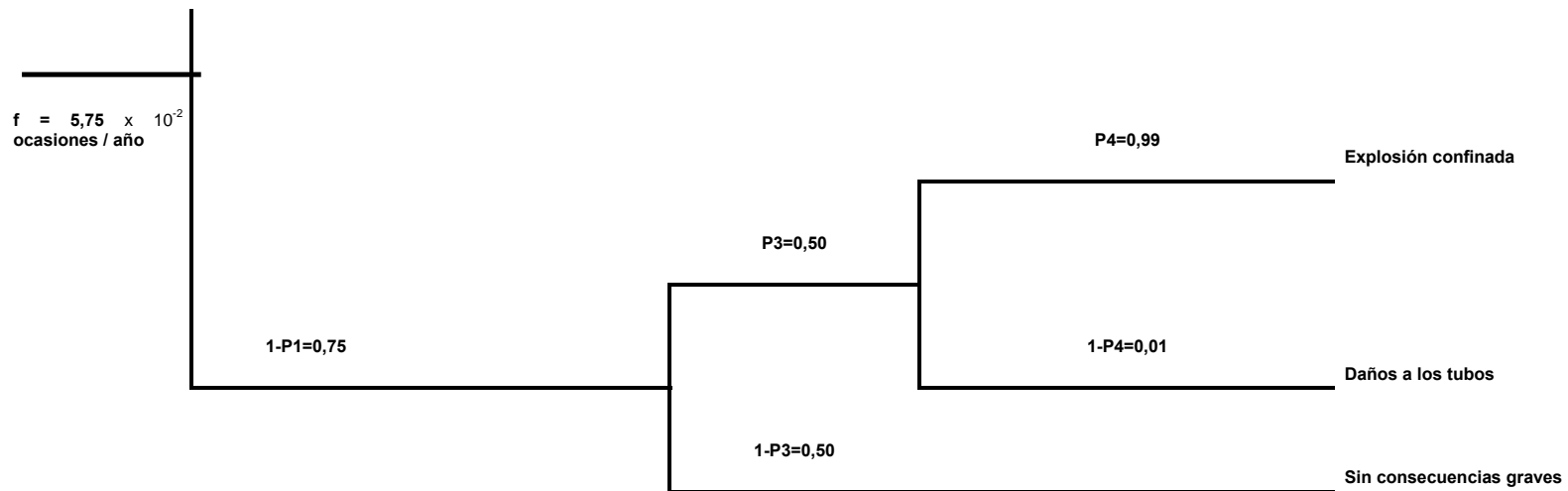
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de detección de presión es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 4. MENOS PRESIÓN EN LÍNEA DE 20"-GCO-1814-150B01-P CON FALLO DE QUEMADORES Y RIESGO DE EXPLOSIÓN. (EVENTO 7)



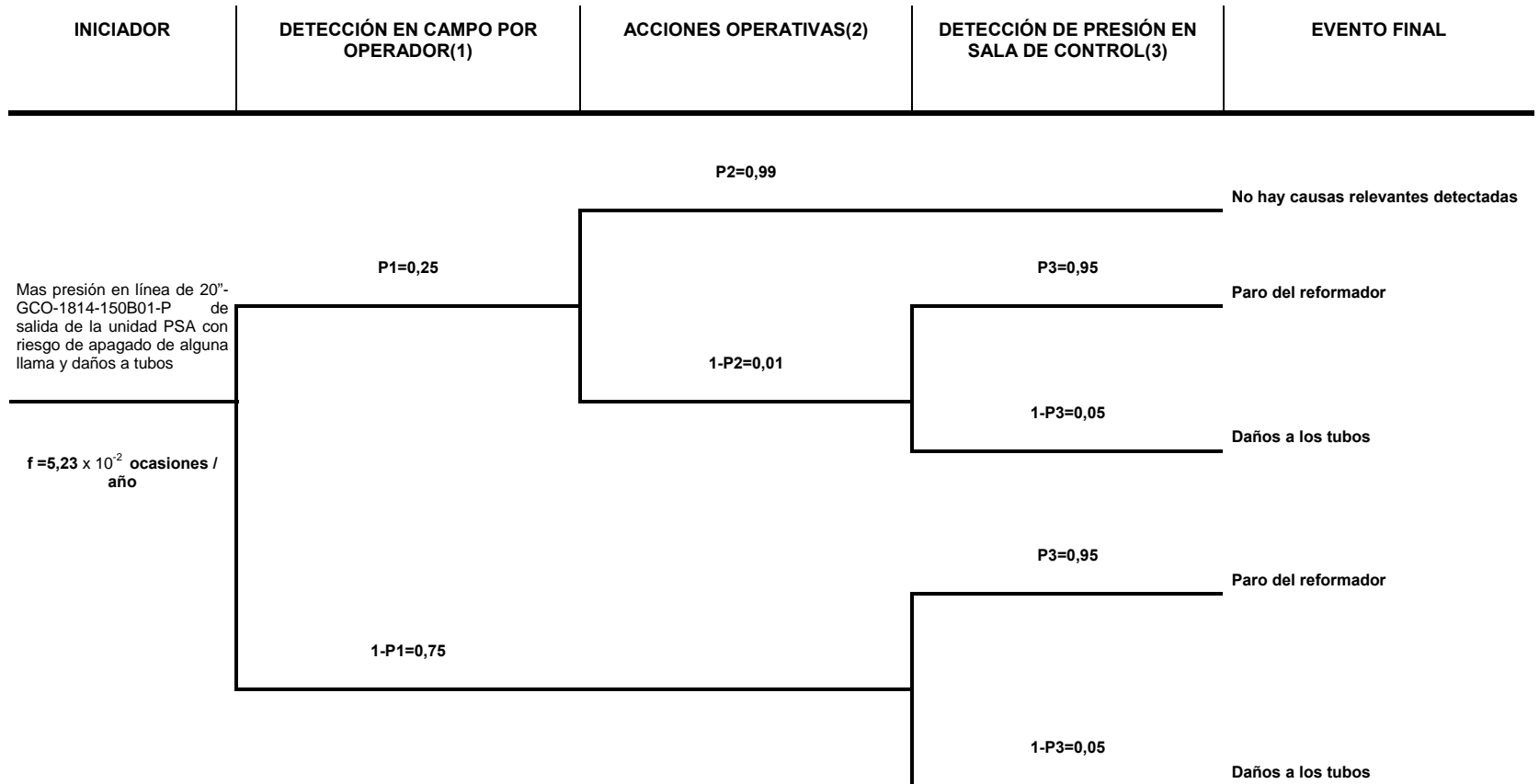


(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0,250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) Los valores de probabilidad de presencia de oxígeno es del 50 % los cuales son estimados.

FIGURA 5. MÁS PRESIÓN EN LÍNEA DE 20"-GCO-1814-150B01-P DE SALIDA DE LA UNIDAD PSA CON RIESGO DE APAGADO DE ALGUNA LLAMA Y DAÑOS A TUBOS. (EVENTO 8)

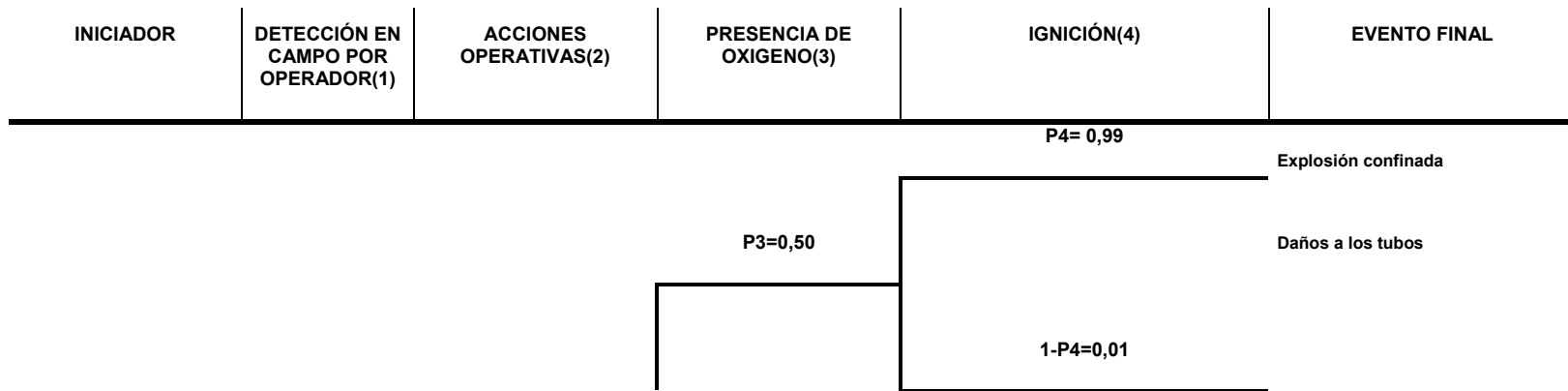


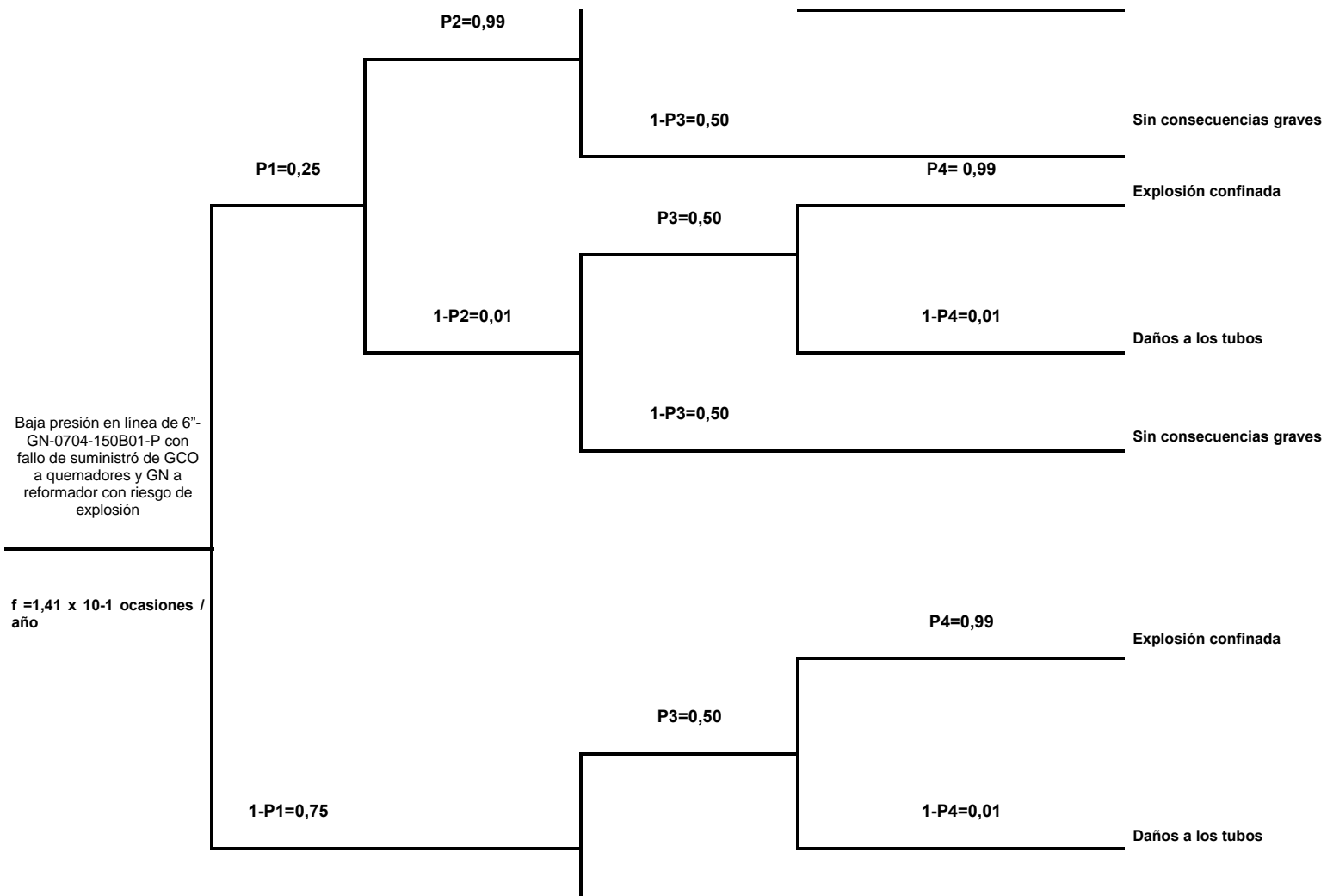
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de detección de presión es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 6. BAJA PRESIÓN EN LÍNEA 6^ª-GN-0704-150B01-P CON FALLO DE SUMINISTRO DE GCO A QUEMADORES Y GN A REFORMADORES CON RIESGO DE EXPLOSIÓN. (EVENTO 9)





1-P3=0,50

Sin consecuencias graves

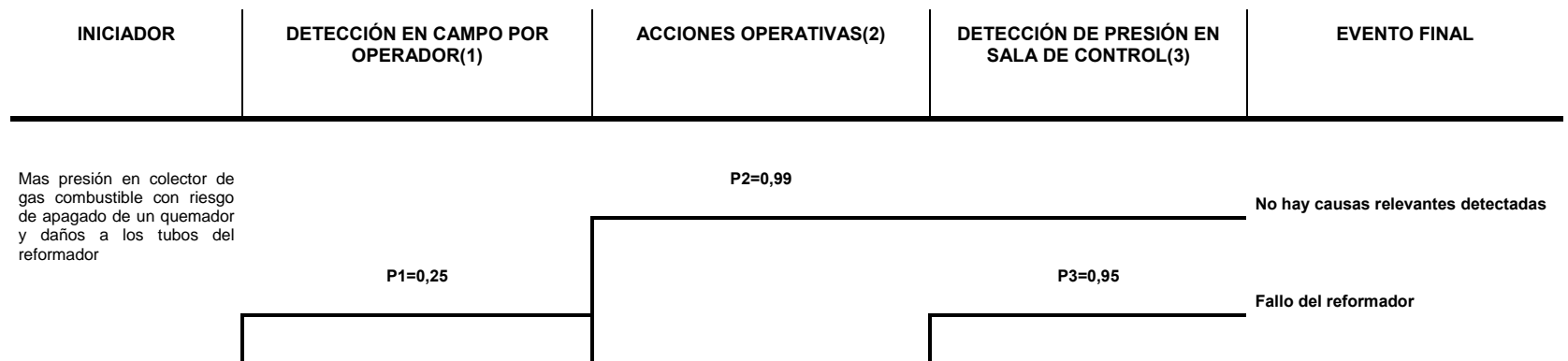
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

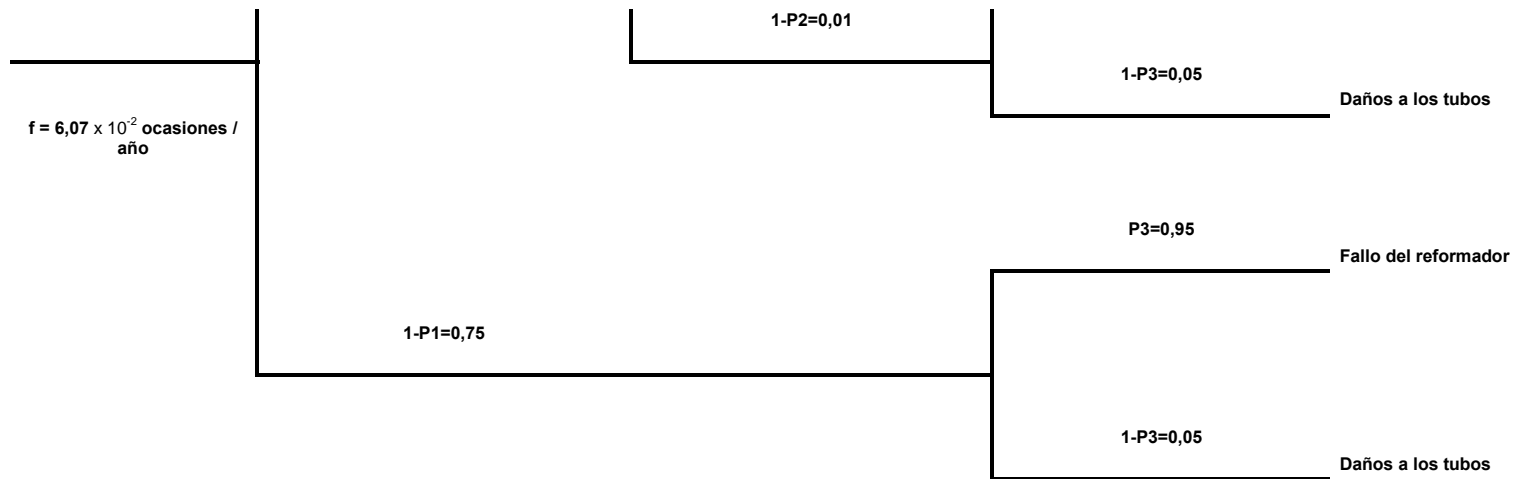
(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) Los valores de probabilidad de presencia de oxígeno es del 50 % los cuales son estimados.

(4) La probabilidad de que se produzca ignición es del 99 % dada las temperaturas del interior del reformador.

FIGURA 7. MÁS PRESIÓN EN COLECTOR DE GAS COMBUSTIBLE CON RIESGO DE APAGADO DE UN QUEMADOR Y DAÑOS A LOS TUBOS DEL REFORMADOR. (EVENTO 10)



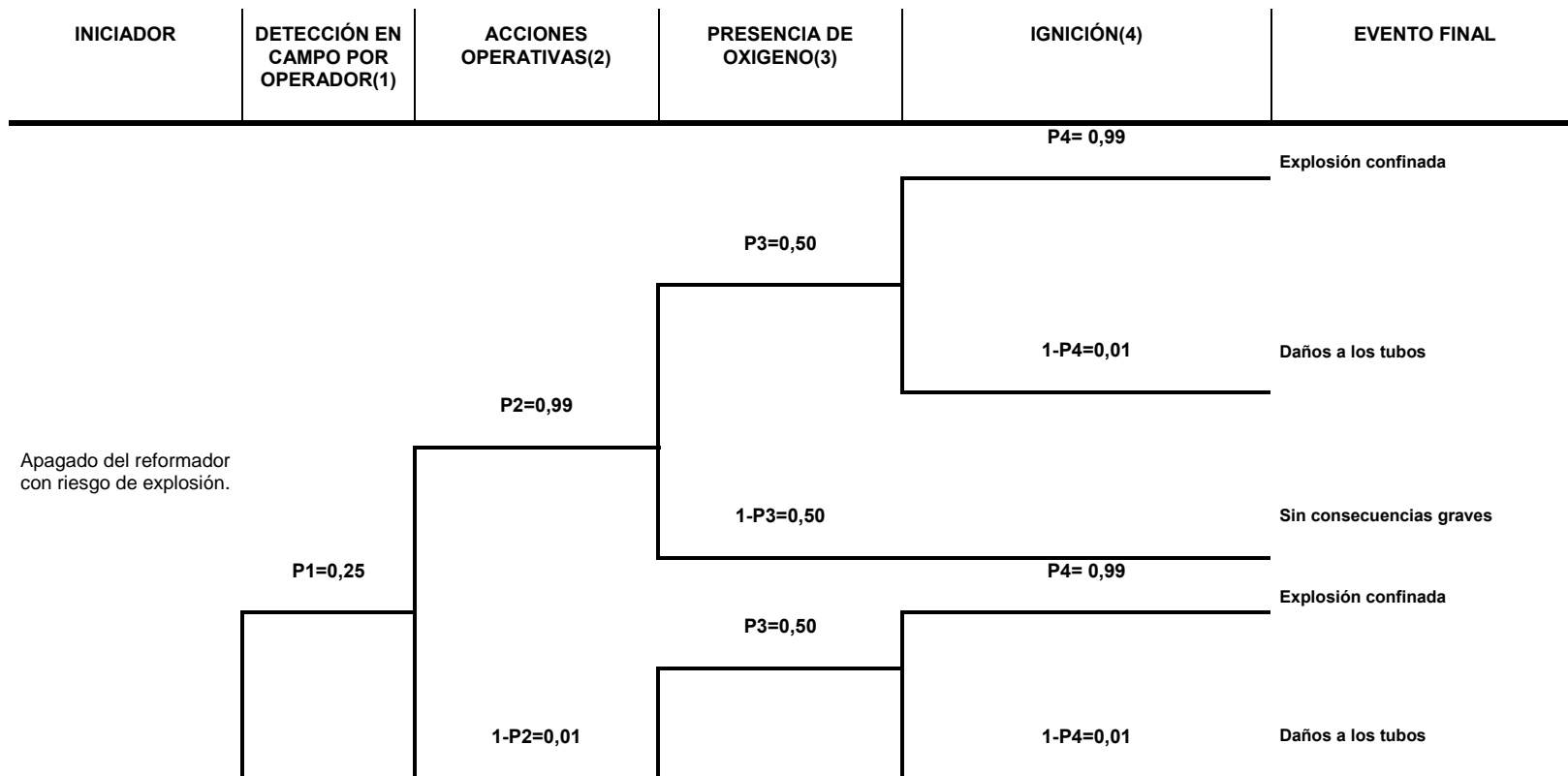


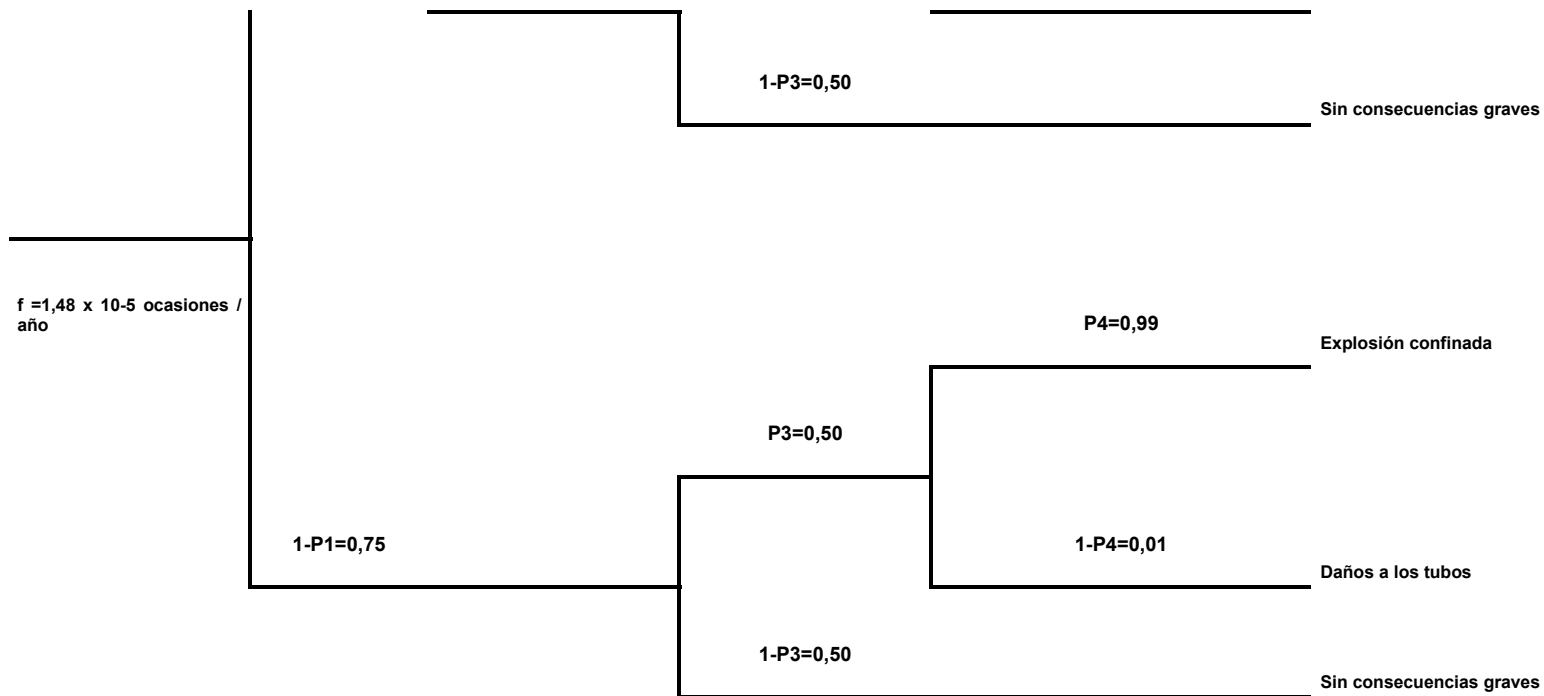
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de detección de presión es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 8. APAGADO DEL REFORMADOR CON RIESGO DE EXPLOSIÓN. (EVENTO 11)





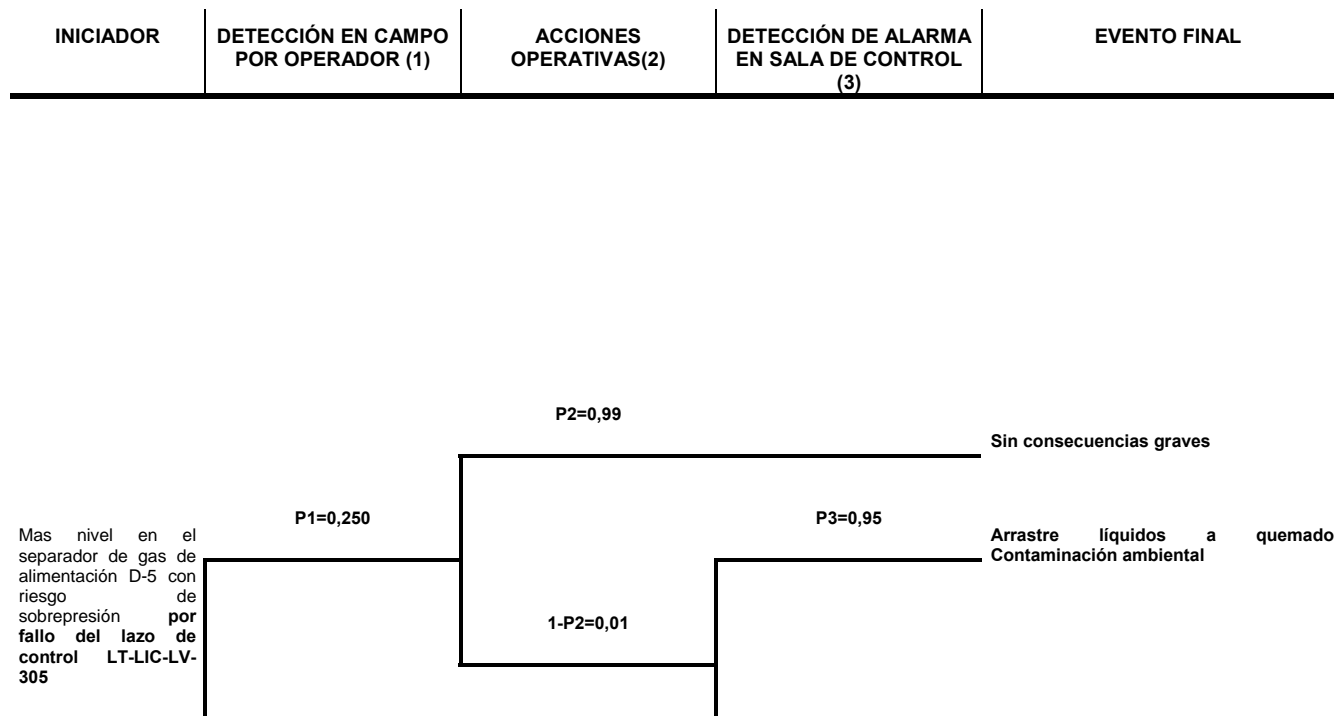
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0,250$.

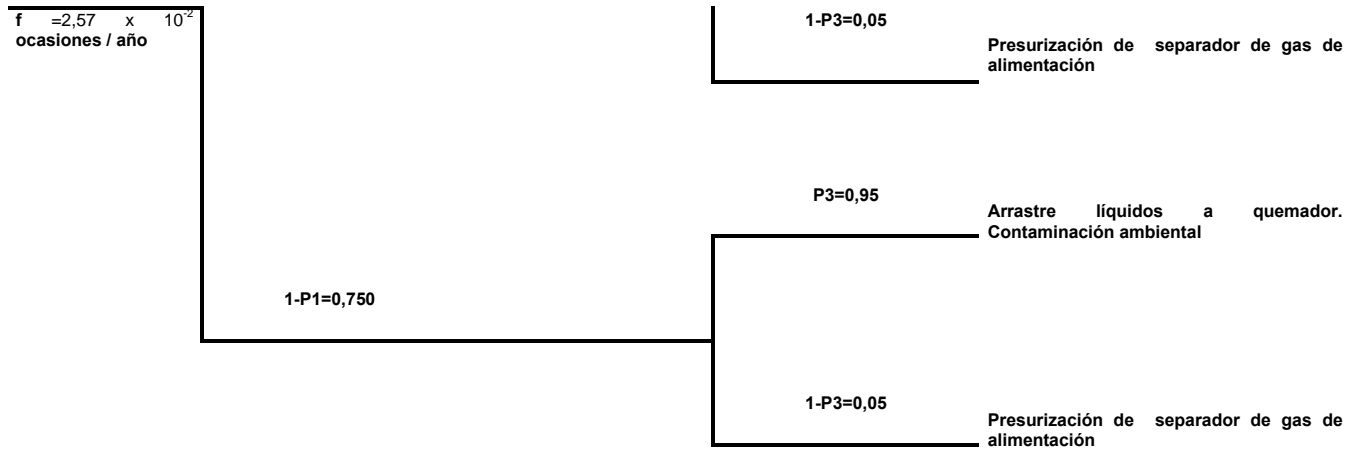
(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) Los valores de probabilidad de presencia de oxígeno es del 50 % los cuales son estimados.

(4) La probabilidad de que se produzca ignición es del 99 % dada las temperaturas del interior del reformador.

FIGURA 9. MÁS NIVEL EN EL SEPARADOR DE GAS DE ALIMENTACIÓN D-5 CON RIESGO DE SOBREPRESION POR FALLO DEL LAZO DE CONTROL DE NIVEL. (EVENTO 13)



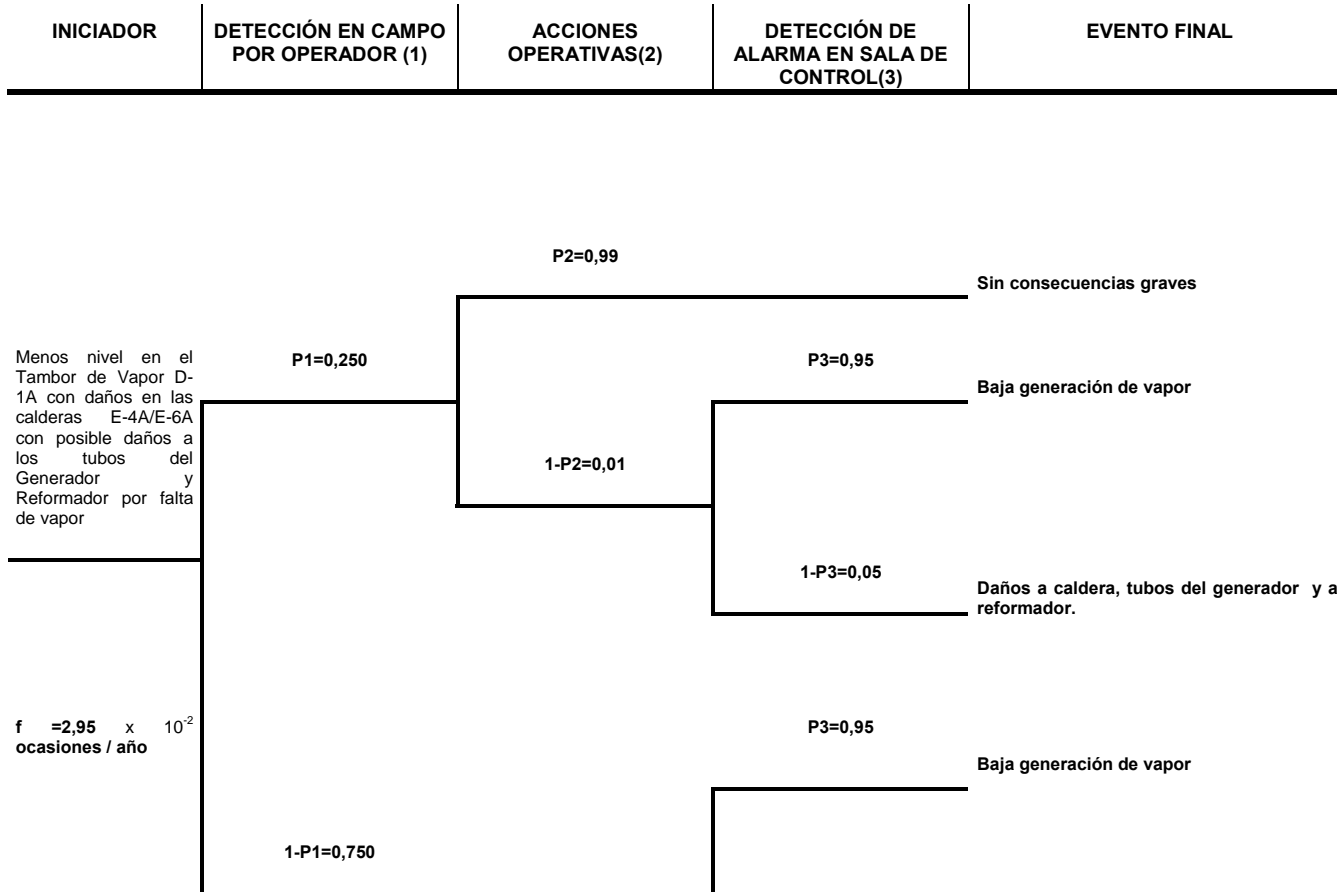


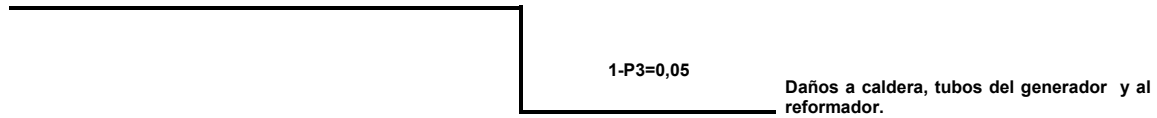
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0,250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 10. MENOS NIVEL EN EL TAMBOR DE VAPOR D-1A CON DAÑOS EN LAS CALDERAS E-4A/E-6A CON POSIBLE DAÑOS A LOS TUBOS DEL GENERADOR Y REFORMADOR POR FALTA DE VAPOR (EVENTO 14)





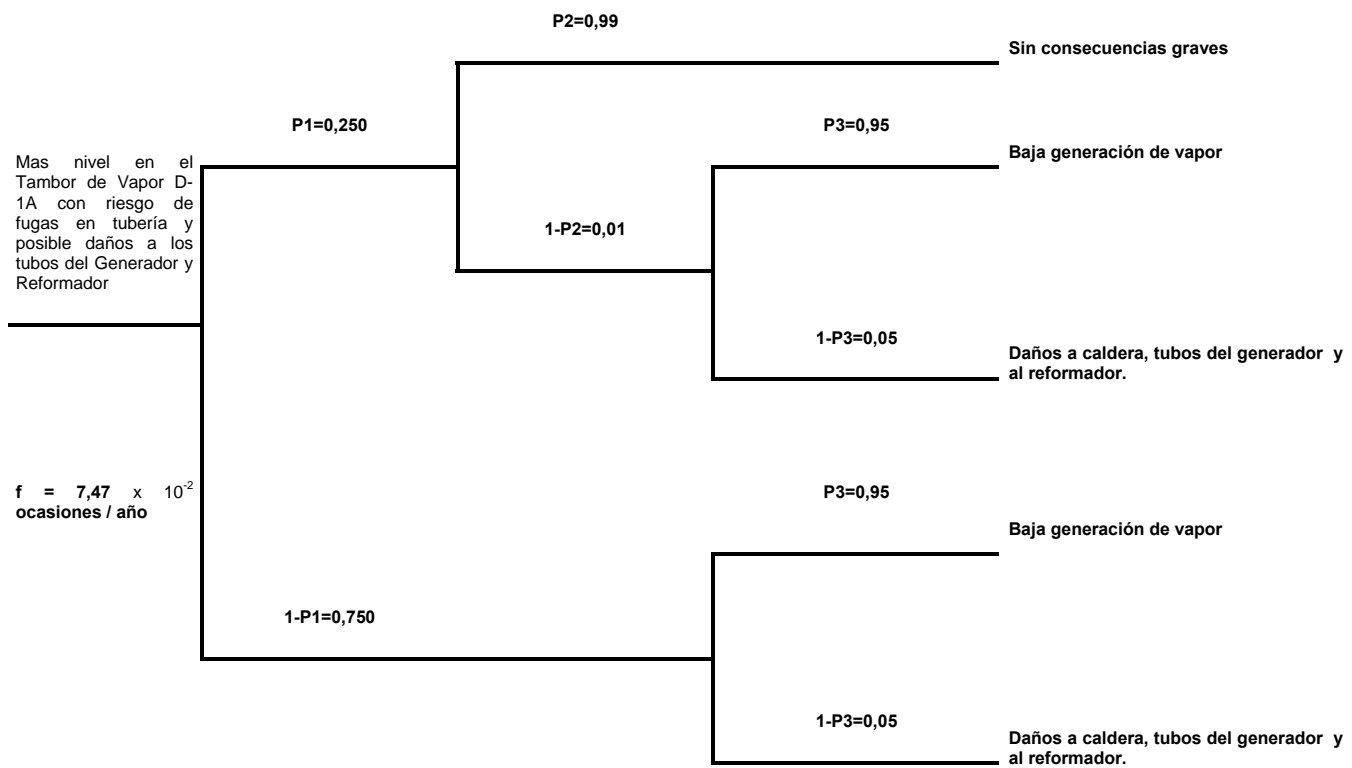
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 11. MÁS NIVEL EN EL TAMBOR DE VAPOR D-1A CON RIESGO DE FUGAS EN TUBERÍA Y POSIBLE DAÑOS A LOS TUBOS DEL GENERADOR Y REFORMADOR (EVENTO 15)

| INICIADOR | DETECCIÓN EN CAMPO POR OPERADOR (1) | ACCIONES OPERATIVAS(2) | DETECCIÓN DE ALARMA EN SALA DE CONTROL (3) | EVENTO FINAL |
|-----------|-------------------------------------|------------------------|--|--------------|
|-----------|-------------------------------------|------------------------|--|--------------|



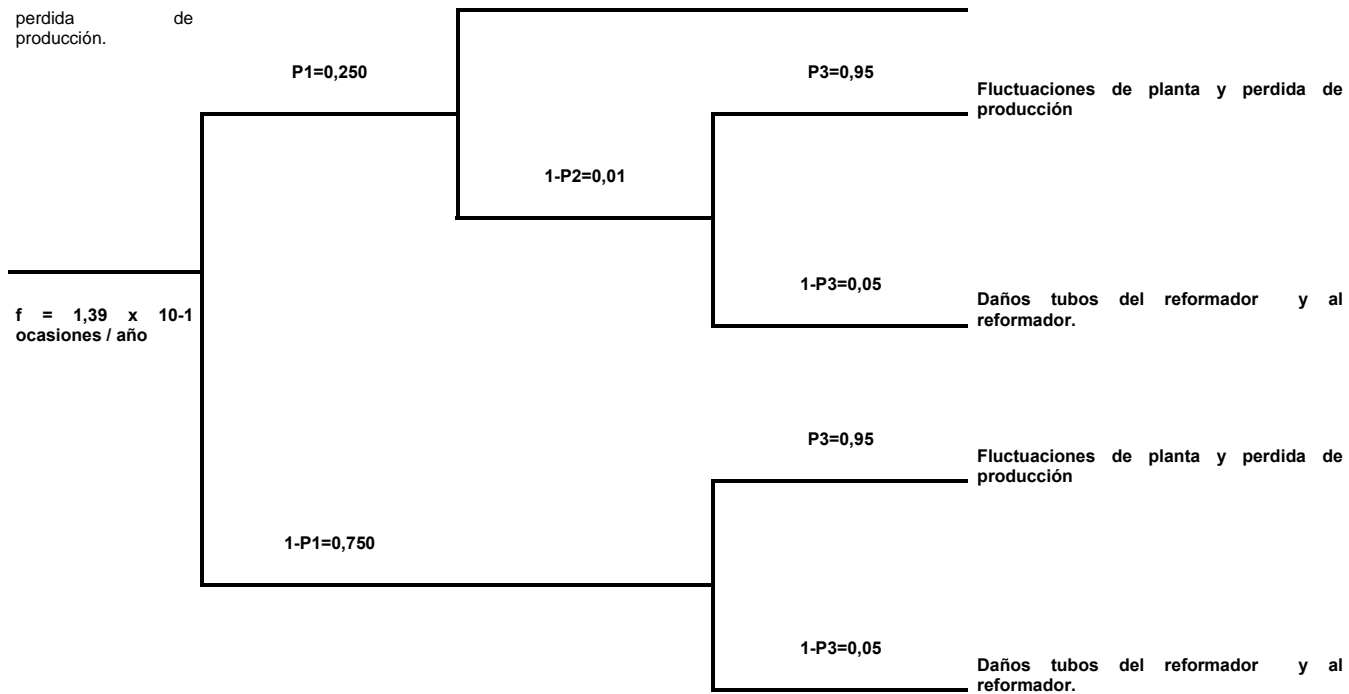
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 12. MAS TEMPERATURA EN LINEA 18"-P-0201-300E01-H DEL MUTADOR DE ALTA TEMPERATURA R-3, CON RIESGO DE DAÑOS A LOS TUBOS DEL REFORMADOR CON PERDIDA DE PRODUCCIÓN. (EVENTO 16)

| INICIADOR | DETECCIÓN EN CAMPO POR OPERADOR (1) | ACCIONES OPERATIVAS(2) | DETECCIÓN DE ALARMA EN SALA DE CONTROL(3) | EVENTO FINAL |
|--|-------------------------------------|------------------------|---|---------------------------------|
| Mas temperatura en línea 18"-P.0201-300E01-H del mutador de alta temperatura R-3, con riesgo de daños a los tubos del reformador con | | P2=0,99 | | Sin consecuencias graves |

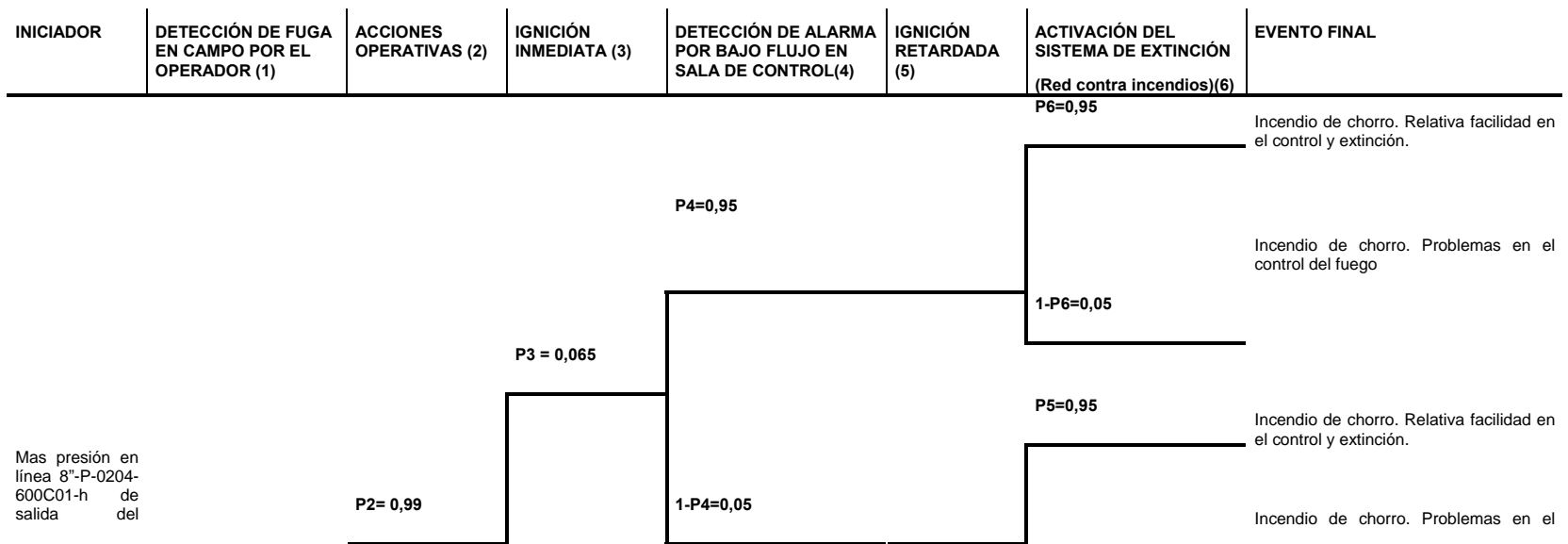


(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0,250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 13. MAS PRESIÓN EN LÍNEA 8"-P-0204-600C01-H DE SALIDA DEL REACTOR DE HIDROGENERACIÓN R-1 CON PRESURIZACIÓN Y FUGAS. (EVENTO 17)



1-P5=0,90 _____ Dispersión de nube toxica o inflamable

(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de que se produzca ignición es del 6,5 % la cual es estimada.

(4) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

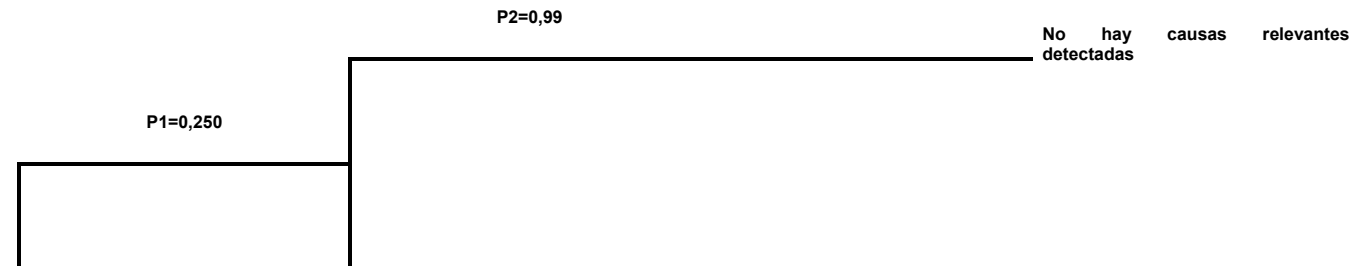
(5) En caso de no obtener alcances del LEL se asigna una probabilidad de ignición retardada del 10%, dado que nunca se puede estar seguro de que no habrá ningún punto de ignición.

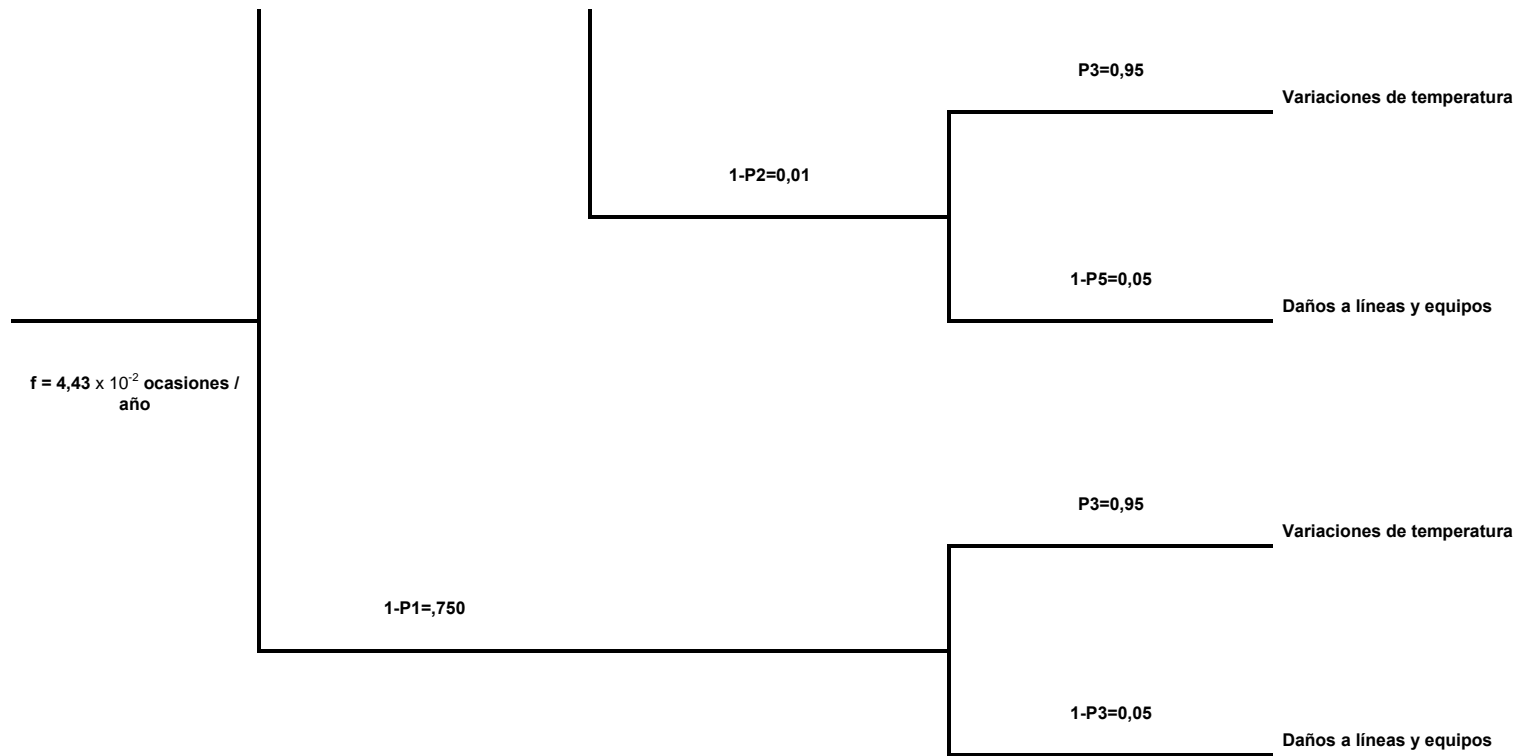
(6) La probabilidad de fallo de los sistemas de mitigación en demanda es del 5 % de acuerdo a los criterios indicados en el Purple Book (Guidelines for Quantitative Risk Assessment, CPR 18E)

FIGURA 14. MENOR TEMPERATURA EN LA LÍNEA 6"-VM-10102-600C02-H CON DAÑOS A LÍNEAS Y EQUIPOS (EVENTO 18)

| INICIADOR | DETECCIÓN EN CAMPO POR OPERADOR (1) | ACCIONES OPERATIVAS(2) | DETECCIÓN ALARMA EN SALA DE CONTROL (3) | EVENTO FINAL |
|-----------|-------------------------------------|------------------------|---|--------------|
|-----------|-------------------------------------|------------------------|---|--------------|

Menor temperatura en la línea 6"-VM-10102-600C02-H con daños a líneas y equipos



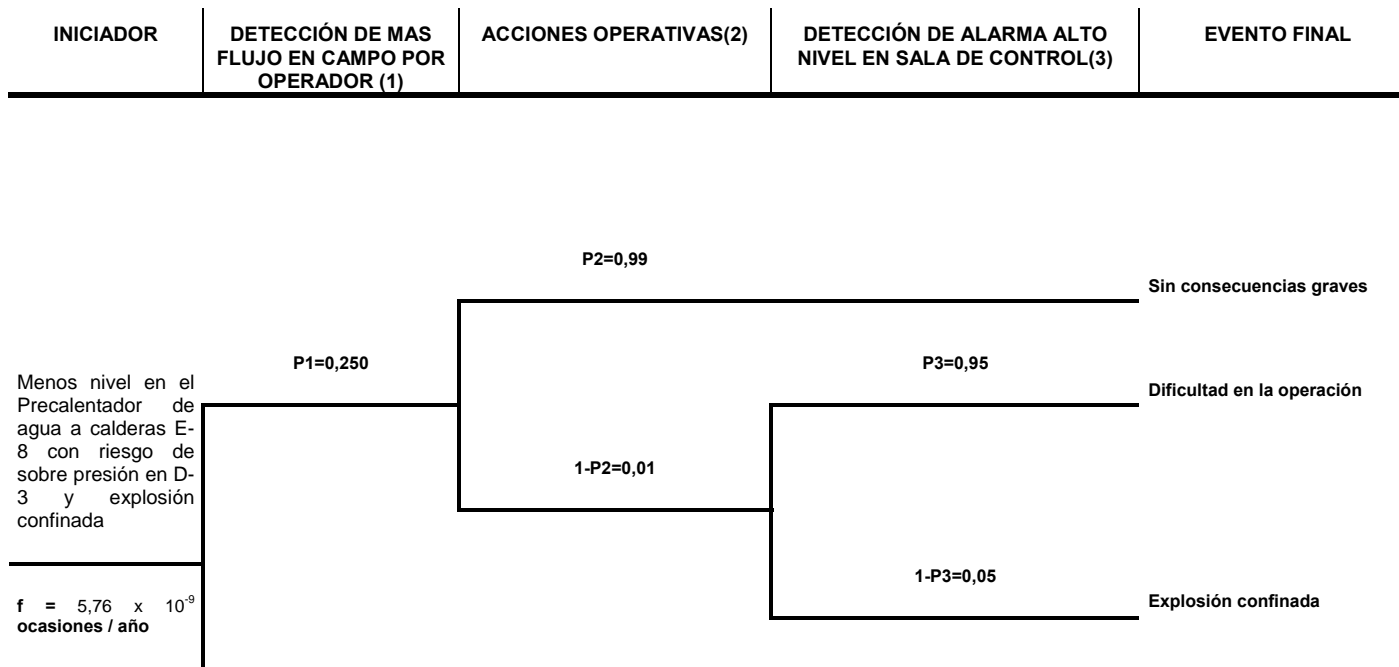


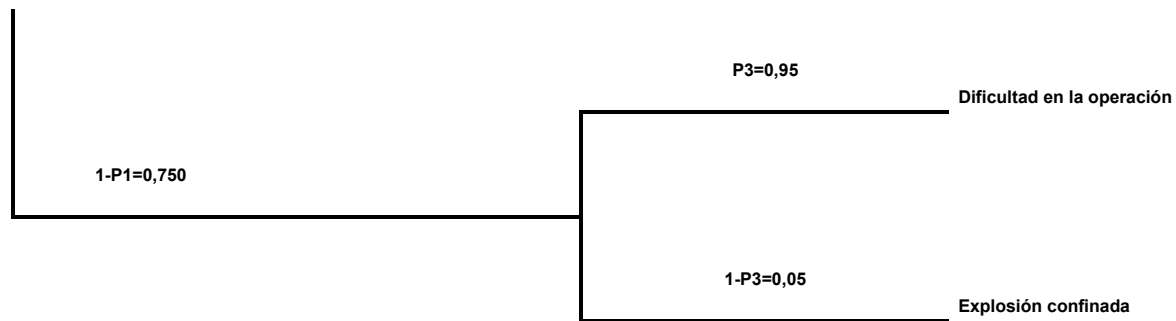
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 15. MENOS NIVEL EN EL PRECALENTADOR DE AGUA A CALDERAS E-8 CON RIESGO DE SOBRE PRESIÓN EN D-3 Y EXPLOSIÓN CONFINADA. (EVENTO 19)





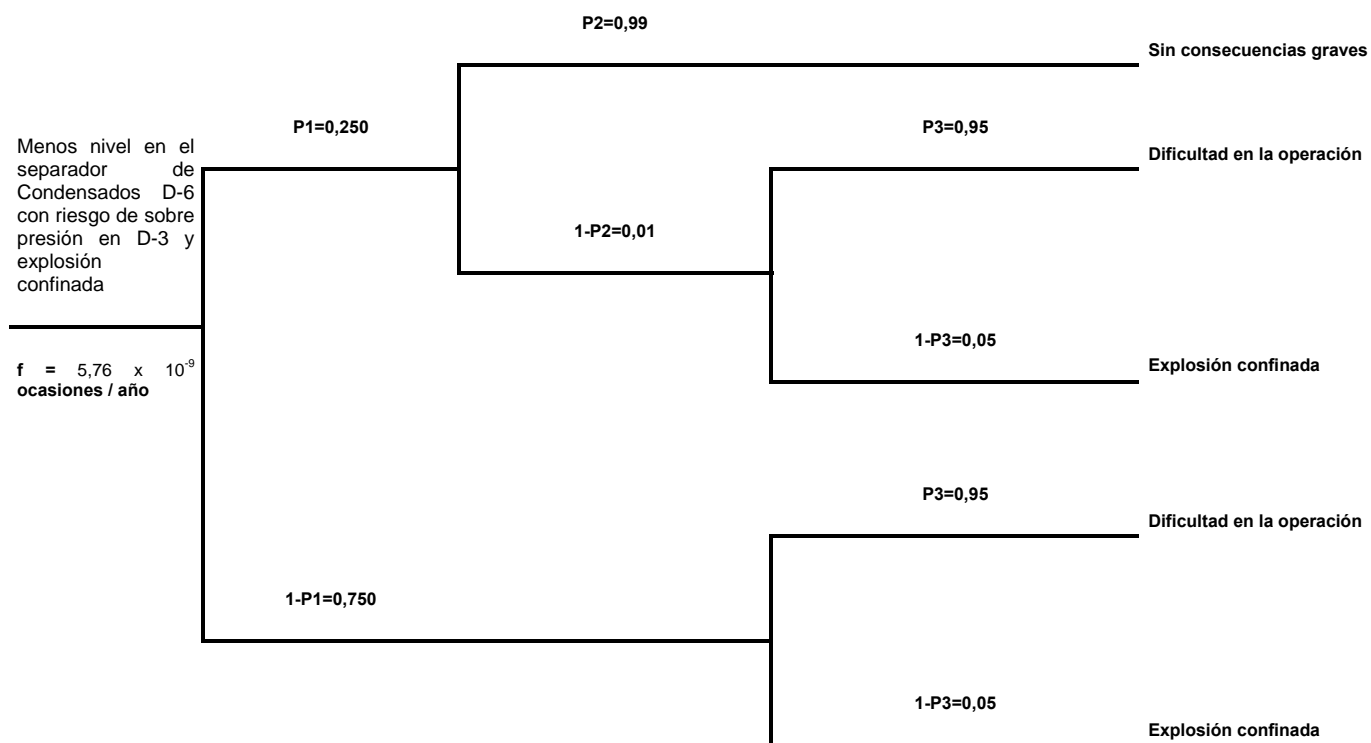
(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 16. MENOS NIVEL EN EL SEPARADOR DE CONDENSADOS D-6 CON RIESGO DE SOBRE PRESIÓN EN D-3 Y EXPLOSIÓN CONFINADA. (EVENTO 20)

| INICIADOR | DETECCIÓN DE MAS FLUJO EN CAMPO POR OPERADOR (1) | ACCIONES OPERATIVAS(2) | DETECCIÓN DE ALARMA ALTO NIVEL EN SALA DE CONTROL(3) | EVENTO FINAL |
|-----------|--|------------------------|--|--------------|
|-----------|--|------------------------|--|--------------|

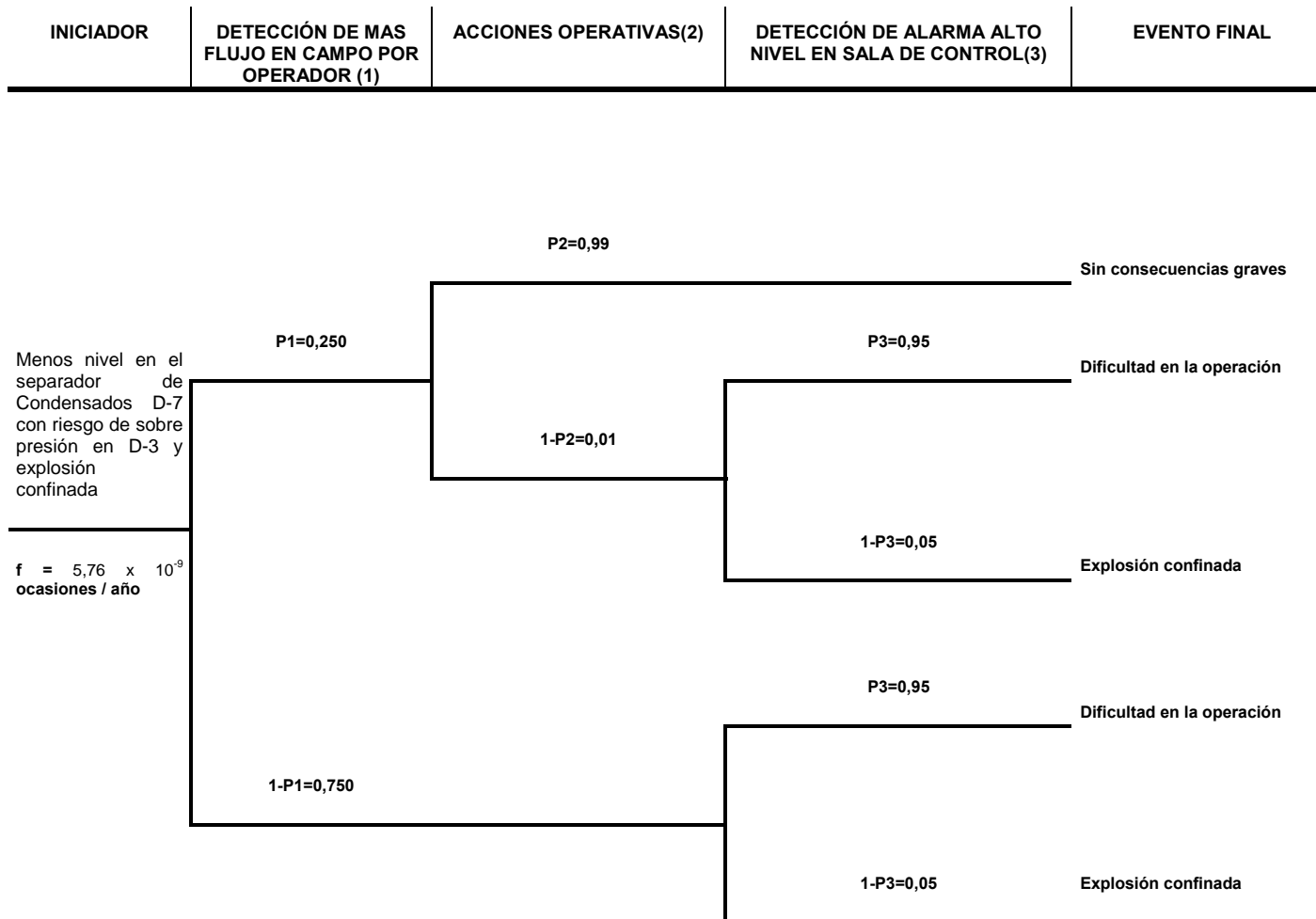


(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 17. MENOS NIVEL EN EL SEPARADOR DE CONDENSADOS D-7 CON RIESGO DE SOBRE PRESIÓN EN D-3 Y EXPLOSIÓN CONFINADA. (EVENTO 21)

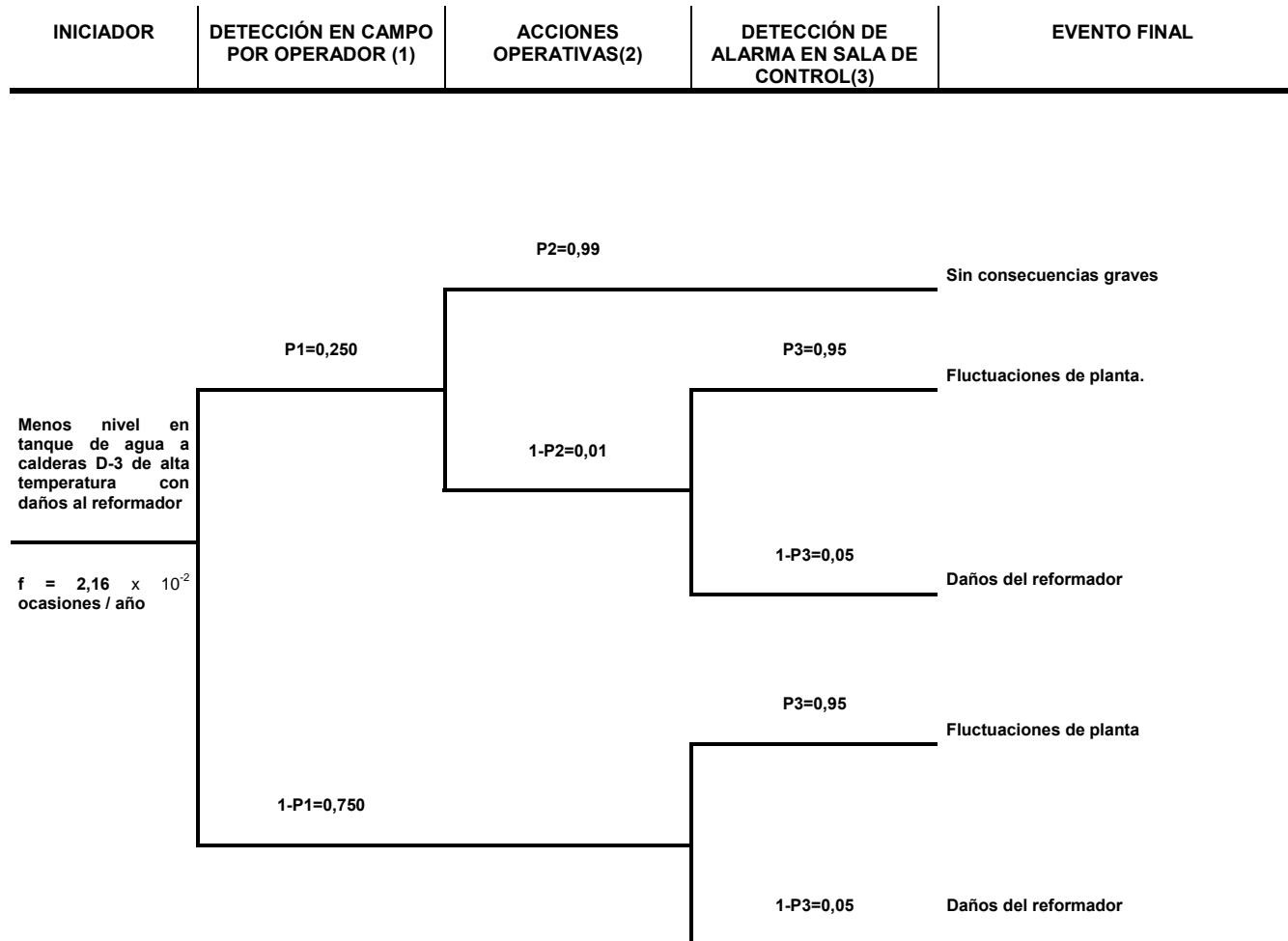


(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5 % la cual es estimada.

FIGURA 18. MENOS NIVEL EN TANQUE DE AGUA A CALDERAS D-3 DE ALTA TEMPERATURA CON DAÑOS AL REFORMADOR. (EVENTO 22)



(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

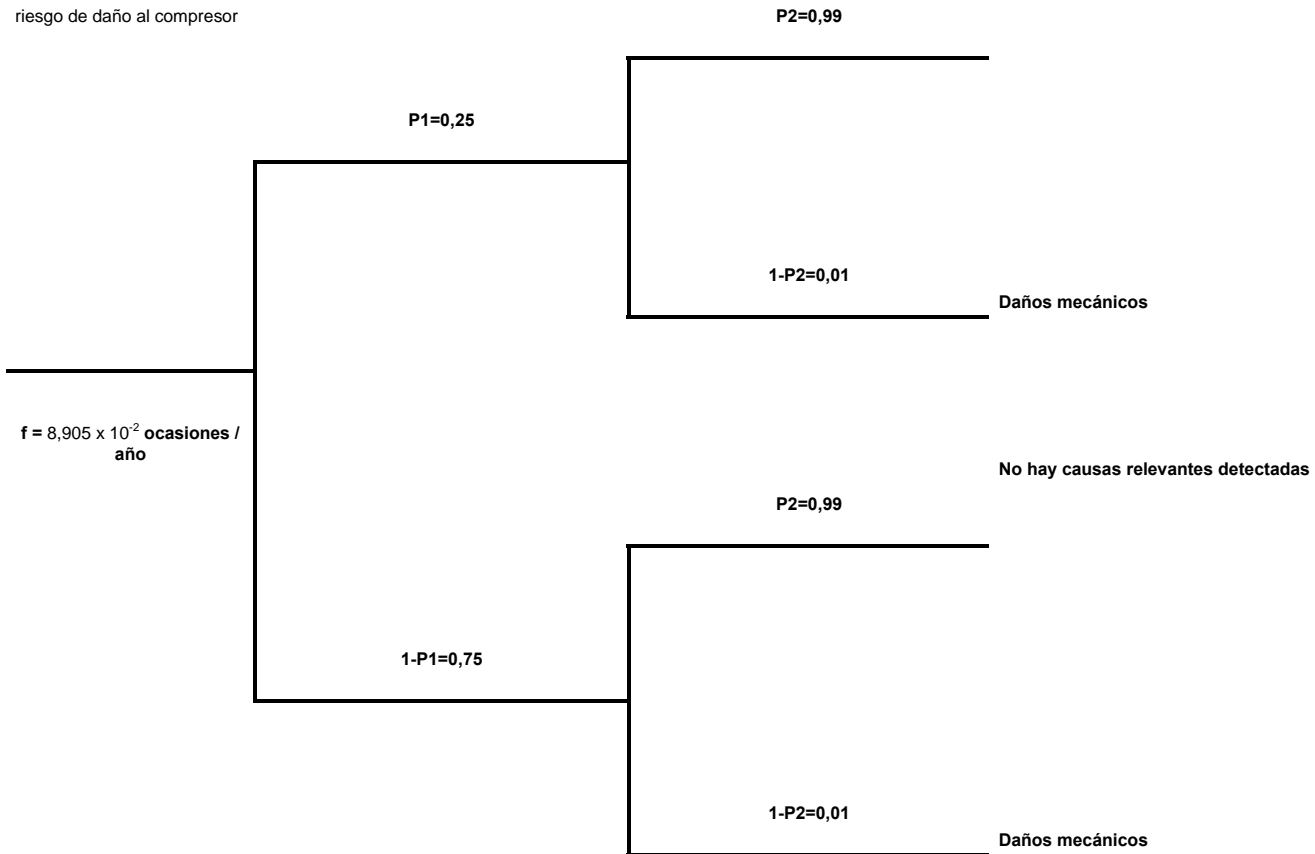
(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5% la es estimada.

FIGURA 19. MENOS PRESIÓN EN LÍNEA DE 10"-P-1801-300B01 CON RIESGO DE DAÑO AL COMPRESOR. (EVENTO 23)

| INICIADOR | DETECCIÓN EN CAMPO POR OPERADOR(1) | ACCIONES OPERATIVAS(2) | EVENTO FINAL |
|-----------|------------------------------------|------------------------|--------------|
|-----------|------------------------------------|------------------------|--------------|

Menos presión en línea de 10"-P-1801-300B01 con

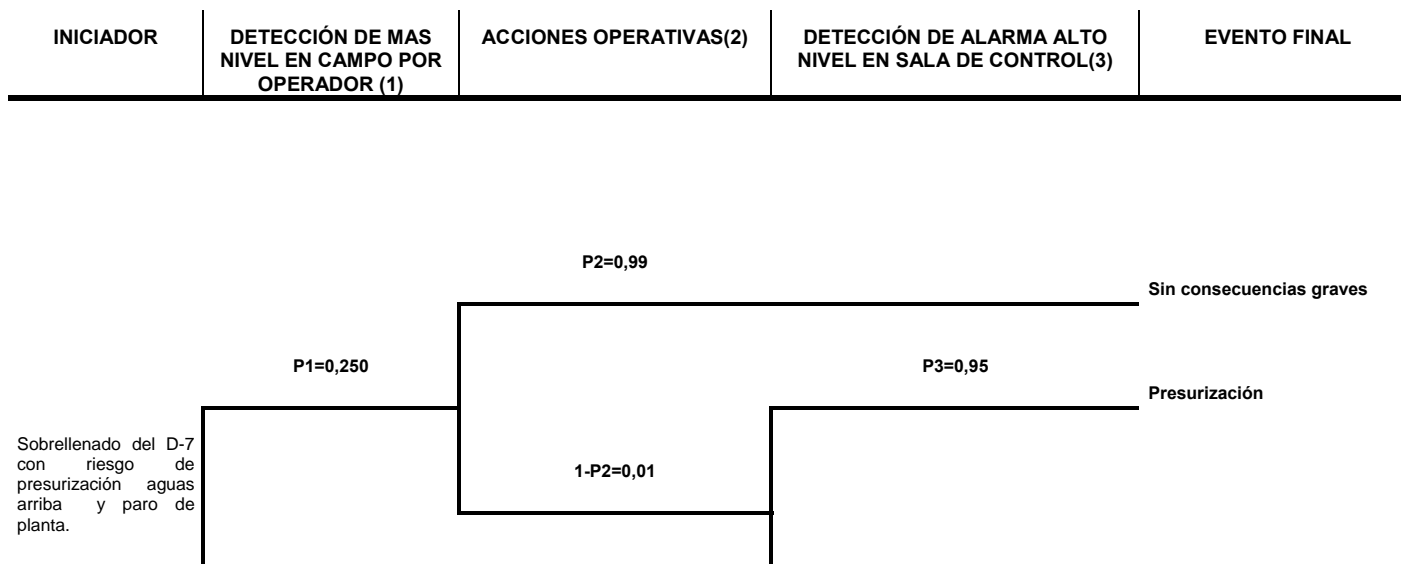
No hay causas relevantes detectadas

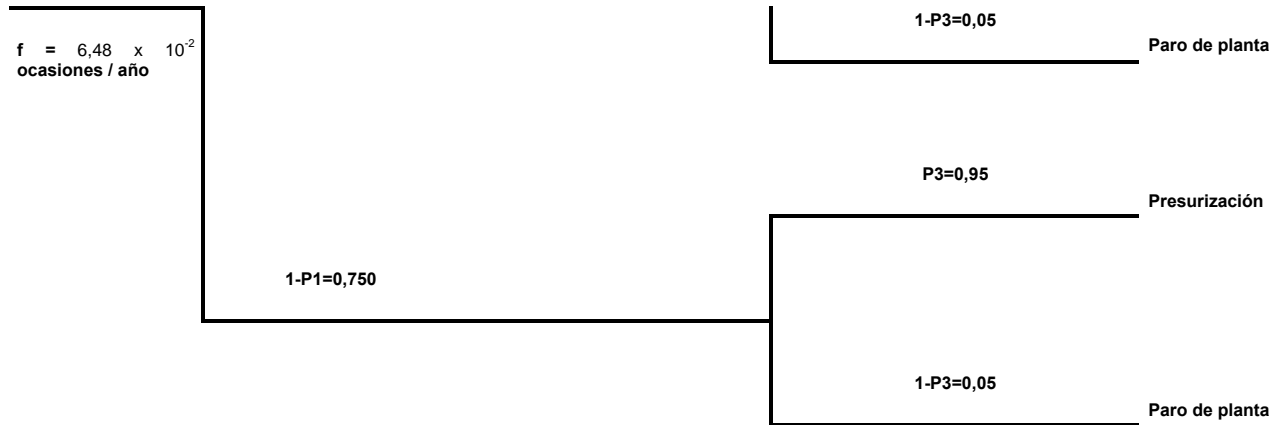


(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0,250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

FIGURA 20. SOBRELLENADO DEL D-2 CON RIESGO DE PRESURIZACIÓN AGUAS ARRIBA Y PARO DE PLANTA. (EVENTO 24)

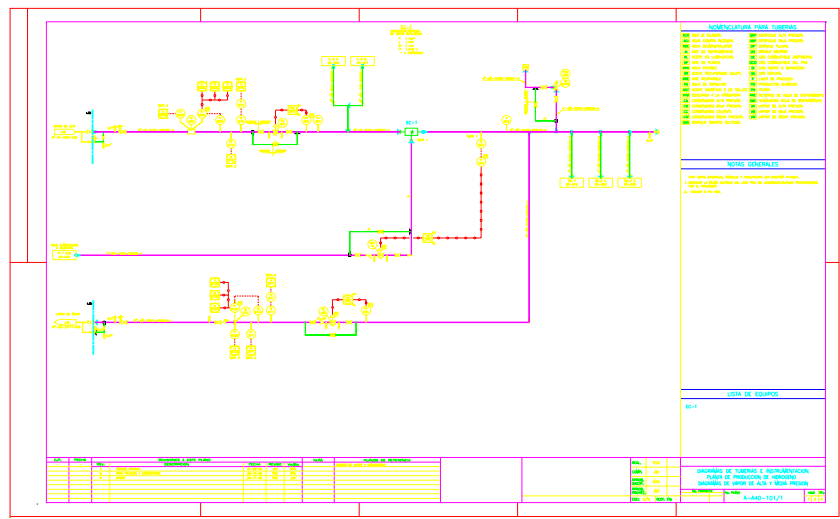




(1) La probabilidad de detectar una desviación por los operadores de la instalación ha sido estimada considerando que cada hora se harán recorridos. Suponiendo que el operador permanece 15 min., como para percatarse, la probabilidad será $P=15\text{min}/60\text{min}=0.250$.

(2) Acciones operativas se refiere a los procedimientos específicos establecidos en el Plan de Respuesta a Emergencia de la Instalación.

(3) La probabilidad de falla de los sistemas de alarmas en detección es del 5% la cual es estimada.



NOTAS PARA EL EJECUTOR

1. Verificar el estado de los equipos antes de comenzar el trabajo.
 2. Mantener siempre un camino seguro de escape.
 3. No trabajar solo.
 4. Usar siempre el equipo de protección personal (EPP).
 5. No fumar en áreas con presencia de gases inflamables.
 6. No beber alcohol ni consumir drogas.
 7. No trabajar bajo la influencia de medicamentos.
 8. No trabajar en condiciones de cansancio o estrés.
 9. No trabajar en condiciones de clima extremo.
 10. No trabajar en condiciones de inseguridad.

NOTAS GENERALES

1. Este diagrama es una referencia y no debe ser usado como base para el diseño de un sistema.
 2. El diagrama es una referencia y no debe ser usado como base para el diseño de un sistema.
 3. El diagrama es una referencia y no debe ser usado como base para el diseño de un sistema.

LISTA DE EQUIPOS

Ver lista adjunta.

ANÁLISIS DE TERCEROS E RESPONSABILIDAD
 BASE DE DATOS DE EQUIPOS
 BASE DE DATOS DE ALM. Y BOM. PRECISOS
 BASE DE DATOS DE EQUIPOS
 BASE DE DATOS DE EQUIPOS

Rev. No. 001/01

