

ANÁLISIS DE RIESGO EN ESTACIONES DE COMPRESION DEL SURESTE MEXICANO

Marco Polo Castillo C.*, Fernando García O, Felipe De J. Cerino C.
Instituto Mexicano del Petróleo. Delegación Regional Zona Sur. División de Ingeniería Básica.

RESUMEN

En este Trabajo se presenta la Metodología del Análisis de Riesgo, aplicada para la identificación de peligros, probabilidad de ocurrencia de daños irreversibles al turbocompresor y zonas de afectación por fuego, explosión y toxicidad. Esta Metodología consistió en:

- **Técnicas Cualitativas**

La Lista de Verificación se enfocó en la evaluación de los diferentes sistemas que componen la Unidad de Compresión, para ello se recurrió al empleo de API RP 14C, API RP 14J, API 616 , API 617 y la guía para la evaluación de peligros del Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE).

Con el Análisis de Peligro y Operabilidad (HAZOP) se examinaron las posibles desviaciones que podrían ocurrir en la operación normal y que representan un peligro para las personas, medio ambiente e instalación.

- **Técnica Auxiliar:**

En el Análisis de Datos de Bitácoras se encontraron las diferentes fallas que ocasionan disparos en las Unidades de Compresión, así como su tasa de fallas y tiempo de reparación.

- **Técnicas Cuantitativas**

La Técnica del Arbol de Falla fue utilizada para obtener la probabilidad de daños mecánicos irreversibles al turbocompresor, utilizando los resultados del Análisis de Datos de Bitácoras.

La Modelación de Consecuencias identificó las posibles áreas de afectación por: toxicidad, fuego y explosión, para ello se empleo el simulador comercial PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools), y los resultados se integran en la Matriz de Causas-Consecuencias.

Finalmente la aplicación de estas Técnicas sirvió para proponer acciones tendientes a aumentar el nivel de seguridad en la instalación y facilitar la Toma de Decisiones con respecto a la Seguridad.

INTRODUCCION

Las Estaciones de Compresión tienen como objetivo principal el incrementar la presión del gas amargo proveniente de las Baterías de Separación para su transporte a los Centros de Procesamiento de Gas. Las Estaciones de Compresión constan de las siguientes Secciones:

A) Separación de Condensados: En esta sección se lleva a cabo la separación de los condensados que pudieron haberse formado en el gas proveniente de baterías y en los enfriadores interetapas. Cada unidad de compresión cuenta con un separador de succión y 3 separadores interetapas.

B) Compresión : Esta consta de 3 etapas de compresión y su fin es aumentar la presión de 60 psi en la succión hasta 1150 psi en la descarga. El Accionador de cada Unidad de Compresión es la Turbina.

C) Enfriamiento: Esta sección tiene como fin disminuir la temperatura del gas y aceite lubricante.

D) Gas combustible: La función principal es acondicionar el gas dulce para evitar el arrastre de líquido hacia la cámara de combustión de la Turbina. Es importante resaltar que el gas combustible funciona como gas de sello de las Unidades de compresión.

E) Inyección de agentes Químicos: Debido a las características del gas amargo es imprescindible que al cabezal de succión se le suministren inhibidores de corrosión.

La Metodología utilizada para llevar a cabo el Análisis de Riesgo consta de Técnicas cualitativas para la identificación de peligros: Lista de Verificación (Checklist) y Análisis de Peligro y Operabilidad (HAZOP),

y Técnicas cuantitativas : Análisis de Datos de Bitácoras, Arbol de Fallas y Modelación de Consecuencias. (Ver Figura 1).

LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECKLIST)

El propósito de una Lista de Verificación es identificar y eliminar: peligros obvios, deficiencias de diseño y situaciones de accidentes potenciales asociadas con equipos y operaciones de proceso. Para la identificación de peligros a través de la Lista de Verificación se recurre a la experiencia en la operación de sistemas similares y al cumplimiento con las prácticas recomendadas de ingeniería y estándares vigentes. El desarrollo de esta técnica consistió en la aplicación de los puntos recomendados por el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE):

- **Selección de una Lista de Verificación apropiada.** La Lista de Verificación aplicada a Estaciones de Compresión, se hizo con base a las practicas recomendadas siguientes: API RP 14C, API RP 14J, API 616 y API 617.
- **Realización de la Verificación.** El análisis del sistema incluyó recorrido e inspección visual de las áreas de proceso. Durante estas visitas los analistas comparan los equipos de proceso y operaciones con los puntos contenidos en la Lista de Verificación. Los analistas responden la Lista de Verificación con base en: observaciones de las visitas, entrevistas con personal operativo y su experiencia. Para la revisión de la Estación de Compresión se emplearon los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP'S), Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI'S), Procedimientos Operativos y de Emergencia, Manuales del Fabricante, Programas de Mantenimiento y Calibración de Espesores, entre otros.
- **Documentación de Resultados.** Una vez contestada la Lista de Verificación los resultados se documentaron considerando un formato estandarizado y se procedió a generar una Lista de Recomendaciones en la cual se considera la desviación presentada en cada equipo, se establecen los problemas potenciales factibles de ocurrir y finalmente se genera una recomendación para solucionar la desviación observada. La lista de recomendaciones está estructurada de acuerdo a los equipos existentes en la instalación. En la Tabla 1 se puede ver un ejemplo de un listado de recomendaciones generados en esta metodología.

ANÁLISIS DE PELIGRO Y OPERABILIDAD (HAZOP).

El Análisis de Peligro y Operabilidad (HAZOP) se utilizó para identificar los peligros y problemas de operabilidad que pudiesen presentarse en las unidades de compresión. En esta técnica se utilizan las palabras claves (no, mayor, menor, aparte de) que combinadas con las variables del proceso (flujo, nivel, presión, temperatura, etc.) forman las posibles desviaciones del proceso. Estas se analizan sobre cada nodo (parte del sistema en estudio, por ejemplo Separadores Interetapa, Cabezales Generales, Compresores, etc.) con el objetivo de conocer las causas, consecuencias y acciones requeridas para corregir la desviación. En la Figura 2 puede observarse la metodología seguida para el desarrollo de la Técnica HAZOP. En la Figura 3 y Tabla 2 se muestra un nodo de ejemplo de la aplicación de esta metodología.

ANÁLISIS DE DATOS DE BITACORAS.

Esta técnica considerada como auxiliar es utilizada para conocer las fallas que ocasionan los disparos de los Turbocompresores y algunos datos de confiabilidad del equipo como son los Tiempos medio entre fallas(MTBF), Tiempos medio de Reparación (TMR) y Tasas de Fallas (λ) de sus diferentes sistemas. En la Tabla 3 podemos observar un ejemplo de los valores obtenidos al aplicar esta Técnica. Es importante recalcar que los valores obtenidos de las tasas de fallas son utilizados en el Arbol de Fallas.

ARBOL DE FALLAS

El Arbol de Fallas es una representación gráfica de la Lógica Booleana Aplicada para conocer las fallas básicas asociadas con el desarrollo de un Evento No Deseado (Top Event) de algunos de los sistemas en particular. Para el caso que nos ocupa se consideró como Evento No deseado " Daño Irreversible al Turbocompresor " y a través del empleo de esta Técnica se obtuvo la probabilidad de que se presente el Evento No deseado y se identificaron los conjuntos de fallas básicas que más contribuyen para su ocurrencia.

MODELACIÓN DE CONSECUENCIAS

En el supuesto caso de que se presentará un accidente en la Estación de Compresión que originara la emisión a la atmósfera de material tóxico, flamable y explosivo; es de suma importancia conocer las áreas de posible afectación; en caso de presentarse; fuego, explosión y/o concentración tóxica. Es necesario mencionar que la cantidad de material emitido es altamente dependiente de los tiempos de respuesta para acciones correctivas. Por lo cual en el desarrollo de estos trabajos, se consideraron los siguientes tiempos:

- Para el escenario de fuga y ruptura de línea en el Separador General de Succión V-101, se consideró que el personal operativo para llevar a cabo las acciones de control, corrección (bloqueo de las líneas) y venteo en el equipo o tubería, tardaría un tiempo máximo de 10 minutos; debido a que estas se realizarían manualmente.
- Para los demás escenarios se consideró un tiempo de 5 minutos, ya que los equipos de las Unidades de Compresión cuenta con elementos de seguridad que la ponen fuera de operación, y la activación de las válvulas de corte son automáticas, aislando de esta manera el lugar en donde se produjo la emisión de material.

La evaluación de los diferentes escenarios propuestos se realizó a través del uso del Software especializado Phast (Process Hazard Software Tools) y el Balance de Materia de la Estación fue realizado con el Simulador PRO II.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es importante contar con los Estudios de Análisis de Riesgo de las Estaciones de Compresión, por los Materiales, Inventarios y Condiciones de Operación que manejan y por lo cual son consideradas instalaciones de Alto Riesgo. Los resultados más significativos obtenidos para cada una de las técnicas empleadas son los siguientes:

• LISTA DE VERIFICACIÓN:

Como resultado de la Aplicación de la Lista de Verificación a la Estación de Compresión se detectó que existen desviaciones, las cuales se agruparon por sistemas con sus respectivos problemas potenciales factibles de ocurrir y sobre las cuales se emitieron las siguientes recomendaciones:

a) Sistema de Control Neumático

Para evitar y disminuir la ocurrencia de una desviación en este sistema es importante que cada Unidad de Turbocompresión cuente con los instrumentos que permitan evaluar el comportamiento de las variables de proceso en campo (PI's, TI's, PDI's, PS's, LS's, FI's, FR's, etc.), y de esta manera se puedan registrar las variables en bitácoras y con ello elaborar tendencias de su comportamiento, así como detectar las fugas de gas de instrumentos en controladores y conexiones. Los Sistemas de Control Neumático representan costos más altos y menos eficientes. Por lo que a Corto Plazo se recomienda modernizar el Sistema de Control "Antisurge", y cambiar el Sistema de Gas a uno de Aire de Instrumentos; y a Mediano Plazo instalar un Sistema Digital de Monitoreo y Control.

b) Sistema de Protecciones.

Es importante que los interruptores se encuentren en operación (ejemplo monitores de vibración) para accionar alarmas (o disparos) que permitan una acción correctiva sobre la desviación y evitar paros innecesarios de las unidades, y de esta manera disminuir los tiempos de mantenimiento a los motores de arranque y los desfogue de gas hacia el quemador elevado. Es importante que todas las protecciones estén en operación para evitar la ocurrencia de daños mayores al turbocompresor.

c) Programas de Mantenimiento de la Instalación.

La sistematización de los Programas de Mantenimiento incluyendo la calibración periódica de espesores de tuberías y equipo, las cuales son necesarias para estimar su tiempo de vida útil remanente, nos permitirán reducir las posibles fuentes de ignición y fugas de gas que pudieran provocar un incendio, o la acumulación de gas generando una nube tóxica y explosiva ocasionada principalmente por algún rompimiento o fractura de línea y/o equipo.

Cuando los equipos y líneas no cuenten con su respectivo rotulo de identificación (TAG) de acuerdo a Norma, esta situación podría causar confusión en caso de una auditoría o inspección, por lo cual es recomendable cuando sea necesario elaborar un "As Built" y rotular todos los equipos de acuerdo a la situación real de la instalación.

d) Procedimientos Operativos y Planes de Emergencia de la Instalación.

Cuando no se cuenta con ellos, es recomendable su elaboración siguiendo las normas internacionales vigentes (API-RP 750 y OSHA 1910.119).

e) Sistema de Enfriamiento.

Con el fin de evitar la operación de las unidades de compresión con las puertas abiertas, es recomendable llevar a cabo un estudio del sistema de enfriamiento y de ventilación.

f) Sistema de Efluentes

Para prevenir que se rebase la capacidad de la presa API y ocasione la contaminación del agua y suelo. Es recomendable analizar la operación de las presas API y para evitar accidentes del personal en las trincheras de los drenajes es importante contar con todas las rejillas colocadas en su lugar y de tamaño adecuado.

g) Sistema de Desfogues y Venteo.

Se requiere efectuar un Análisis del Sistema de Desfogues con el propósito de determinar los requerimientos de un Separador de Líquidos.

Si existe venteo de vapores de aceite del cárter a la atmósfera que generasen condiciones insalubres e inseguras, es recomendable efectuar un estudio para eliminar su emisión al medio ambiente, además de un estudio de Higiene Laboral.

h) Sistema de Detección de Gas Combustible.

En este sistema es de vital importancia evitar la inhabilitación del Sistema de Detección de Gas Combustible, Por lo cual es recomendable implantar un programa de mantenimiento del sistema.

i) Sistema de Agua Contra incendio.

Este sistema es importante que cuente con una fuente propia de suministro de agua y en condiciones optimas de operación y mantenimiento. Para que en caso necesario tenga la capacidad de respuesta para proteger al personal, instalaciones y medio ambiente de conatos de incendio y prevenir la propagación hacia otras áreas y equipos.

j) Sistema de Detección y Supresión de fuego.

Es importante contar con los registros de las pruebas de funcionalidad del sistema de acuerdo al fabricante. Por lo cual es recomendable dar mantenimiento periódico al sistema de supresión de fuego a base de CO₂, implantar programas y registros de las pruebas de los detectores de fuego; Así como proporcionar las hojas de datos de seguridad de sustancias al personal que labora en la instalación.

k) Sistema de Seguridad y Vigilancia

La barrera perimetral, así como el control de accesos a las instalaciones son de vital importancia para mantener la integridad física de las instalaciones, evitando que personas ajenas a la instalación puedan provocar accidentes de consecuencias lamentables. Por lo tanto, es recomendable mantener en buen estado la barda y los dispositivos de protección física con los que se cuenten.

• ANÁLISIS DE PELIGRO Y OPERABILIDAD (HAZOP):

De la aplicación de esta Técnica por un grupo multidisciplinario, se analizaron los nodos(segmentos del proceso) y se encontraron los eventos: inaceptables, indeseables, aceptables con controles y por último aceptables tal y como están. Para evitar que las consecuencias se presenten en la instalación, es recomendable enfocar las acciones requeridas en los aspectos siguientes: Sistematización de Programas de Mantenimiento, Calibración de Controles y Protecciones de los Equipos; Elaboración de Procedimientos Operativos de Emergencia; y por último Implantación y Rehabilitación de los Sistemas de Protección de los Equipos.

• ANÁLISIS DE DATOS DE BITÁCORAS:

Los resultados obtenidos del Análisis de Bitácoras se muestran en la Tabla 4, en la cual se observan las fallas y los tiempos fuera de operación agrupadas por sistema o equipo de las unidades de compresión, y bajo la premisa de disminuir los tiempos improductivos de las unidades, podemos sugerir que los esfuerzos de mantenimiento preventivo deberán ser dirigidos hacia la corrección de las causas que originan las fallas en sistemas y equipos que tengan una mayor contribución a los tiempos improductivos.

- **ARBOL DE FALLAS:**

En la Técnica de Arbol de Fallas se considero como evento No Deseado (TOP EVENT) “ Daños Irreversibles al Turbocompresor” y utilizando las tasas de fallas del Análisis de Datos de Bitácoras se obtiene la probabilidad de ocurrencia del Evento No Deseado. Este valor puede ser utilizado para obtener el No. de fallas por horas de operación en un año calendario:

No de fallas por año = (probabilidad de fallas/h) (h. de operación en un año calendario)

Cuando esta frecuencia cae en la categoría de ocurrencia de más de una vez en un año. Y considerando el tiempo de reparación del equipo podríamos tener una pérdida de producción que nos ubicaría en un nivel de riesgo inaceptable.

Los eventos que tienen mayor peso (Ver Figura 4) en la ponderación de la probabilidad de ocurrencia del evento no deseado son:

Fuga de aceite de sellos hacia el gas de succión por la inundación de la trampa de líquidos del sistema de sello, se recomienda aplicar mantenimiento preventivo regularmente al mecanismo de la trampa del separador de aceite de sellos así como supervisión periódica del nivel.

Alta vibración tenemos que la correcta alineación del compresor se logra aplicando correctamente el programa de supervisión, y además rehabilitando el disparo por alta vibración reducimos el riesgo potencial de daño a los compresores.

- **MODELACIÓN DE CONSECUENCIAS:**

Como resultado de la Modelación empleando el simulador Phast se generó la Matriz de Causas-Consecuencias (Tabla 6), en donde en forma tabulada se expresan los efectos producidos por fuego, explosión y toxicidad, los cuales dependen de la cantidad de masa liberada. La cual esta en función del diámetro del orificio, temperatura, presión, densidad, composición y tiempo de duración de la fuga; y de los parámetros meteorológicos utilizados por el Software para la Modelación de Consecuencias (ver Tabla 5).

CONCLUSIONES

El estudio de Análisis de Riesgos de la estación de Compresión nos permite identificar, entender y evaluar los peligros inherentes al proceso.

En instalaciones con bastantes años de operación es común no encontrar la documentación completa de la ingeniería, registros de inspecciones y pruebas de los diferentes equipos y líneas. Sin embargo esto no fue obstáculo para llevar a cabo el estudio propuesto, ya que este arrojo como resultado entre otros la identificación de aquellos documentos y estudios que se requieren elaborar de forma complementaria, y así tener la evidencia del cumplimiento documental de la instalación.

Como resultado de los análisis realizados es importante mencionar que la gran mayoría de las fallas que se presentan en los equipos pueden verse disminuidos de manera importante mediante programas de mantenimiento sistematizados y dirigidos hacia sus líneas y equipos críticos.

Debido a la naturaleza del material que se maneja en las Estaciones de Compresión y al mismo proceso, en caso de presentarse un evento crítico este será en la mayor de las veces de consecuencias fuera del límite de baterías, por lo cual es importante elaborar en forma adicional los planes de emergencia, internos y externos.

Las recomendaciones emitidas del Estudio de Análisis de Riesgo pueden ser jerarquizadas para su aplicación en función de las consecuencias que pudieran presentarse, particularmente cuando se enfrentan limitaciones presupuestales.

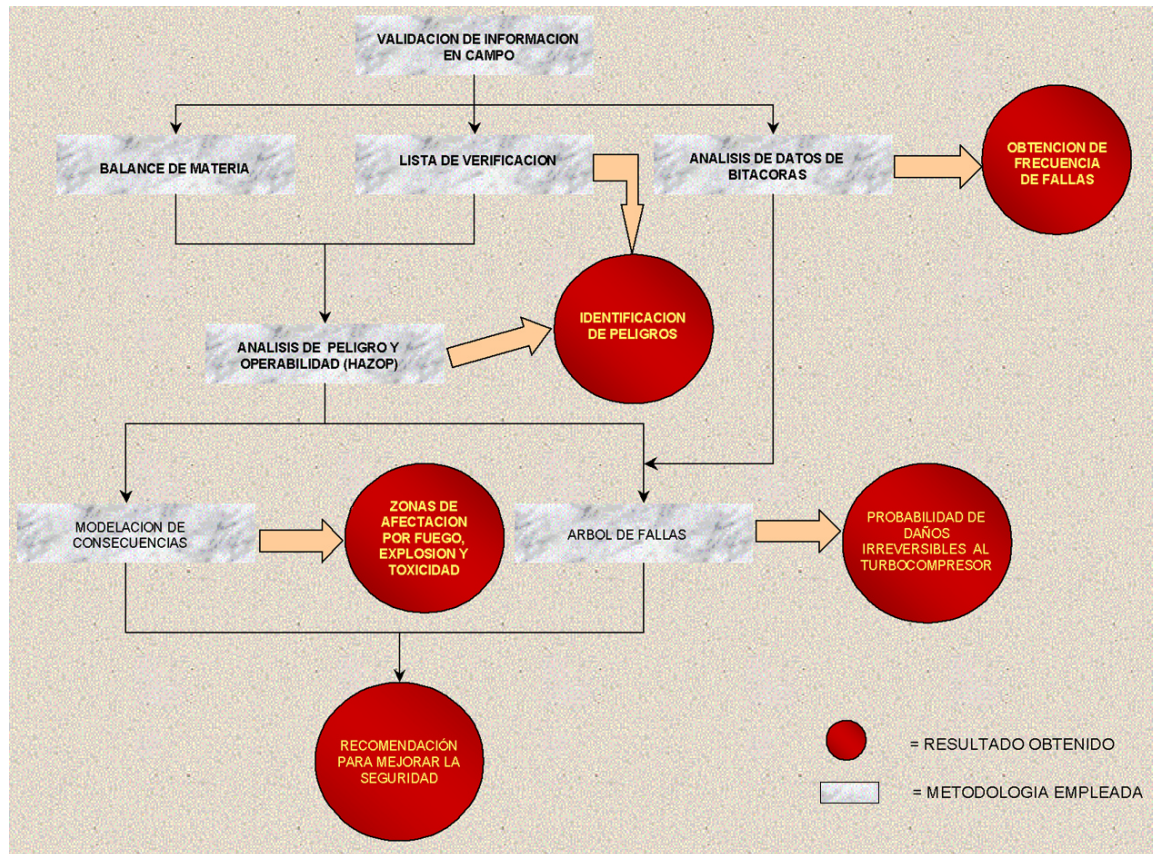


Figura 1. Metodología del Análisis de Riesgo

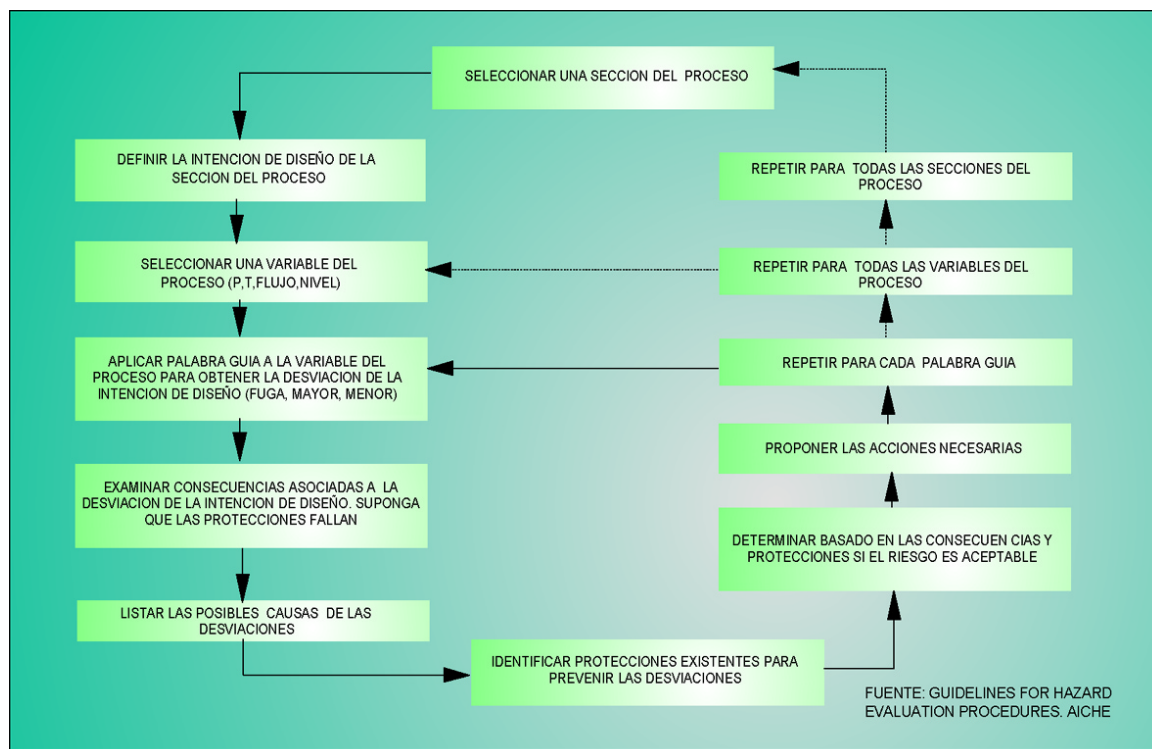


Figura 2. Metodología de aplicación del Análisis de Peligro y Operabilidad

No	DESVIACION	PROBLEMAS POTENCIALES FACTIBLES DE OCURRIR	RECOMENDACION
II. SEPARADOR PRIMARIO DE GAS COMBUSTIBLE V-121			
II.1	Falta información de calibración de espesores del Separador Primario de Gas Combustible V-121	Posible operación del Separador Primario de Gas Combustible V-121 en condiciones de inseguridad.	Realizar calibración de espesores de los 2 equipos (módulos 2 y 3) y determinar si operan en condiciones de seguridad.
II.2	Falta interruptor PSL en el Separador Primario de Gas Combustible V-121	Falta de disparo de la Maquina por baja presión de succión.	Instalar interruptor por baja presión PSL en línea de llegada de gas combustible al turbocompresor.
II.3	El Interruptor por Alto Nivel LSH-121 del Separador de Gas Combustible V-121 se encuentra fuera de operación.	Arrastre de líquidos en la línea de gas de instrumentos.	Rehabilitar el Interruptor por Alto Nivel LSH-121
II.4	Indicador de Diferencial de Presión PDI-121 no existe.	No se tiene indicación de cuando se requiere cambio de filtros	Instalar Indicador de Diferencial de Presión PDI-121.
II.5	No existe By-pass de la válvula reguladora de presión PCV-122 en la línea de salida del Separador Primario de Gas Combustible V-121.	Paro del modulo 3 para realizar mantenimiento a PCV-122.	Instalar By-pass de la válvula reguladora de presión PCV-122

Tabla 1. Ejemplo de las recomendaciones surgidas de la Lista de Verificación.

NODO 1	Separador Primario de Gas Combustible V-121
INTENCIÓN DE DISEÑO:	Separar de la corriente de gas los hidrocarburos líquidos formados durante el trayecto de C.P.G. a la Estación de Compresión.

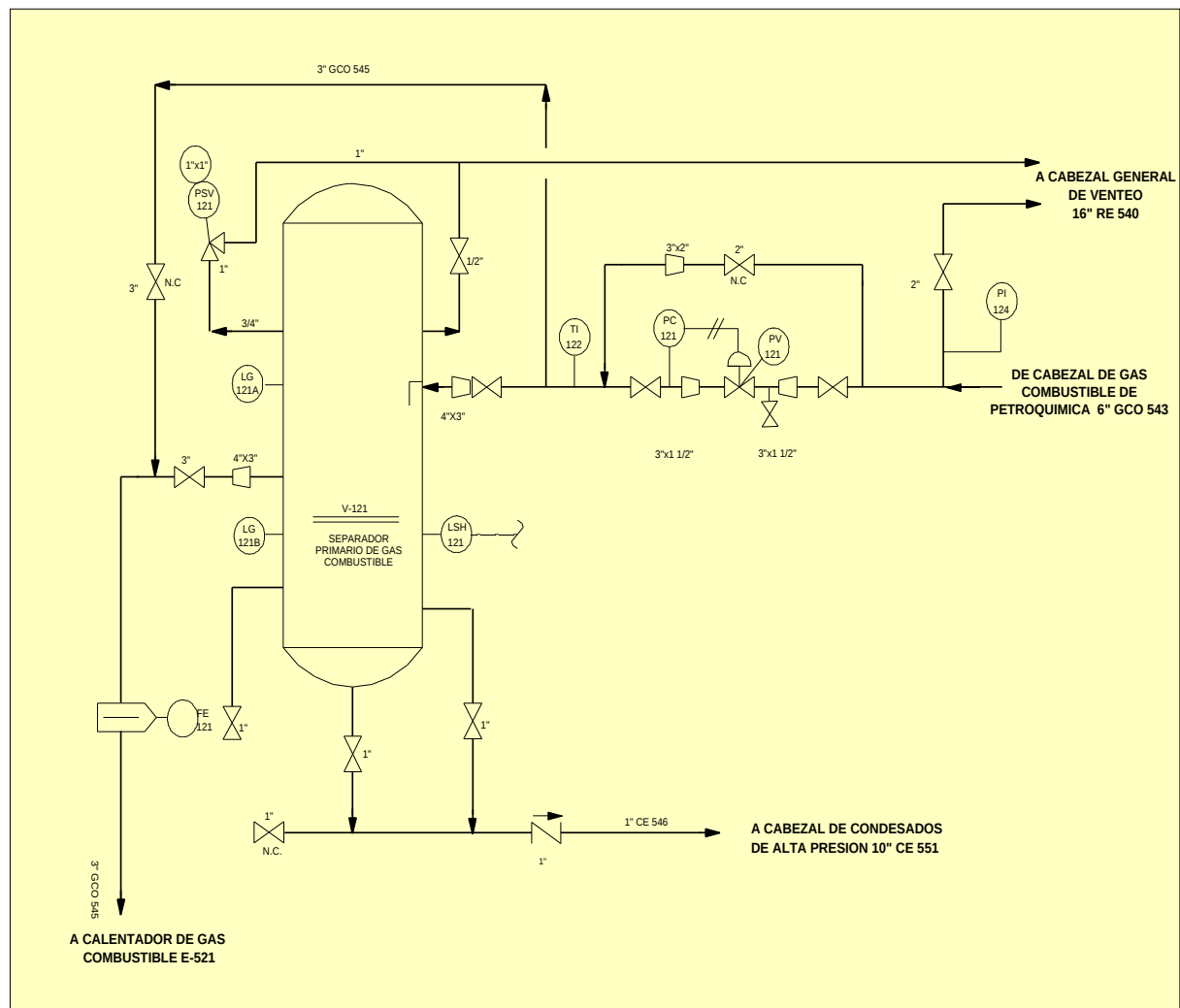


Figura 3. Ejemplo de un nodo estudiado en la Estación de Compresión.

NODO 1		Separador Primario de Gas Combustible V-121.		
INTENCION DE DISEÑO		Separar de la corriente de gas los hidrocarburos líquidos formados durante el trayecto de C.P.G. a la Estación de Compresión.		
DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	PROTECCION	ACCIONES REQUERIDAS
Baja Presión.	1. Falla en lazo de control de presión (PC-121 y PV-121). 1. Descalibración de válvula de seguridad PSV-121 2. Ruptura en línea. 3. Fuga de gas combustible en conexiones.	Fuga de gas inflamable y explosivo.	Sin protección	1. Mantenimiento al sistema de control de presión (PC-121 y PV-121). 2. Mantenimiento y calibración a la Válvula de Seguridad PSV-121. 3. Contar con procedimientos operativos de emergencia. 4. Aplicación de los procedimientos operativos.

Tabla 2. Resultados del nodo de ejemplo estudiado en el HAZOP.

UNIDAD	(n)	λ	MTBF	MTR	TTF	TD	MDT
4	119	1.13×10^{-2}	88.48	4.2	10529.11	6140.34	508.43
5	115	9.15×10^{-3}	104.18	15.6	11981.13	4587.14	1801.74
6	95	1.02×10^{-2}	97.35	25.0	9248.48	6727.97	2377.51
7	110	1.1×10^{-2}	90.62	8.5	9968.12	6794.16	940.04
8	163	1.32×10^{-2}	75.61	4.5	12325.53	5104.56	742.03
PROMEDIO	120.4	1.10×10^{-2}	91.2	11.5	10810	5870.83	1273.95

(n) = Frecuencia de fallas.

MTBF = Tiempo medio entre fallas en horas

 λ = Tasa de fallas en horas⁻¹

MTR = Tiempo medio de reparación en horas

TTF = Tiempo de operación en horas

TD = Tiempo disponible en horas

MDT = Tiempo de reparación en horas

Tabla 3. Tasa de Fallas de la Estación de Compresión.

SISTEMA Y EQUIPOS		MODULO 1						MODULO 2			
		UNIDAD 1		UNIDAD 2		UNIDAD 3		UNIDAD 4		UNIDAD 5	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
TURBINA (A)	F	11	9.24	36	31.3	11	11.58	14	12.73	23	14.11
	Tr	187.41	37	559.87	31.08	527.07	22.17	373.73	39.8	314.2	42.4
COMPRESOR (B)	F	4	3.36	1	0.9	13	13.68	10	9.1	12	7.36
	Tr	6.5	1.2	295.75	16.42	610.02	25.65	356.48	37.92	54.17	7.3
SISTEMA DE LUBRICACION (C)	F	18	15.12	1	0.9	3	3.16	7	6.37	28	17.18
	Tr	102.64	20	1.75	0.1	3.66	0.15	35.33	3.8	35.99	4.8
SISTEMA DE SELLOS (D)	F	12	10.08	8	6.96	16	16.84	12	10.91	15	9.2
	Tr	40.17	8	12.69	0.7	25.4	1.07	24.91	2.6	40.52	5.5
SISTEMA DE GAS COMB. (E)	F	14	11.76	14	12.17	4	4.21	7	6.37	4	2.45
	Tr	91.62	18	92.4	5.13	60.14	2.53	28.01	3	24	3.2
SISTEMA ELECTRICO (F)	F	17	14.29	35	30.43	12	12.63	22	20	20	12.27
	Tr	9.37	1.8	194.66	10.8	42.9	1.8	48.55	5.16	104.6	14.1
PROCESO (G)	F	24	20.17	15	13.04	31	32.63	26	23.64	52	31.9
	Tr	26.67	5	630.46	35	1094.6	46.04	57.29	6.1	153.55	20.7
ARRANQUE (H)	F	6	5.04	5	4.3	5	5.26	4	3.64	3	1.84
	Tr	20	4	14.16	0.79	13.72	0.58	13.82	1.4	13.92	1.8
DESCONOCIDA	F	13	10.92	0	0	0	0	8	7.27	6	3.68
	Tr	24.05	4.7	0	0	0	0	1.92	0.2	1.08	0.145
TOTAL DE FALLAS	F	119.00		115.00		95.00		110.00		163.00	
	Tr	508.43		1801.74		2377.51		940.04		742.03	

F = Frecuencia

Tr = Tiempo de reparación en horas.

Fallas con porcentaje de mayor contribución.

(1) = Periodo de análisis de datos de bitácoras (Ene/96 - Feb/98)

Tabla 4. Cuadro de resumen de fallas y tiempo fuera de operación.

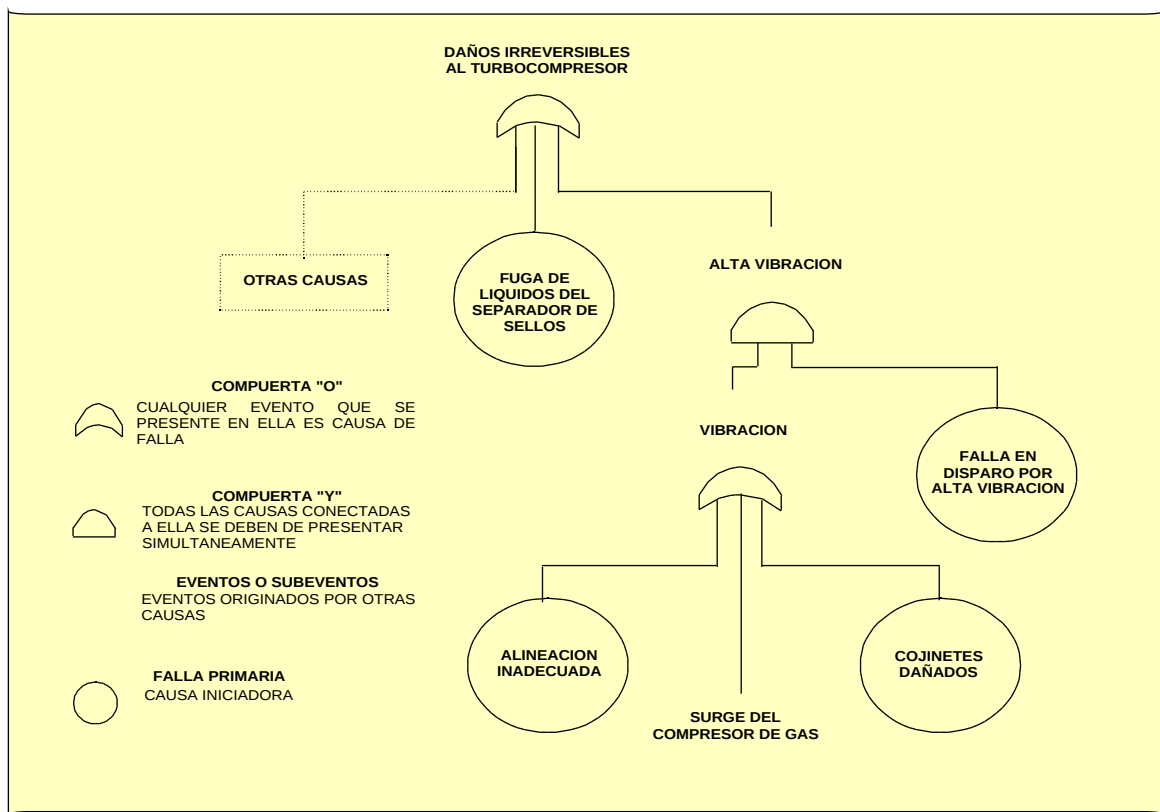


Figura 4 Arbol de Fallas que muestra los cortes mínimos más significativos que conducen al evento no deseado "Daño Irreversible al Turbocompresor"

Parámetro	Valor utilizado	
Velocidad del viento	1.5 m/s	6 m/s
Estabilidad atmosférica	Clase F	Clase D
Temperatura atmosférica	28°C	28°C
Presión atmosférica	1 atm	1 atm
Humedad	80%	80%
Rugosidad de la su-perficie.	0.1	0.1

Tabla 5. Parámetros utilizados en los modelos de dispersión

REFERENCIAS

1. American Petroleum Institute, " API RP 14F, Recommended Practice For Design And Installation Of Electrical Systems For Offshore Production Platforms", Third Edition, September, 1991.
2. American Petroleum Institute, " API RP 14C, Analysis, Design, Installation And Testing Of Basic Surface Safety Systems For Offshore Production Platforms", Fourth Edition, June, 1985.
3. American Petroleum Institute," API RP 14J, Design And Hazards Analysis For Offshore Production Facilities", First Edition, September, 1993.
4. American Petroleum Institute," API RP 14G, Fire Prevention And Control On Open Type Offshore Production Platforms", Third Edition, December , 1993.
5. American Petroleum Institute,"API RP 75, Development Of A Safety And Environmental Management Program For Outer Continental Shelf (Ocs) Operations And Facilities", First Edition, May , 1993.
6. American Petroleum Institute," API RP 500, Recommended Practice For Design And Hazards Analysis For Offshore Production Facilities", First Edition, May , 1993.
7. American Petroleum Institute, " API RP 520,Design And Installation Of Pressure-Relieving Systems In Refineries Part-I", Fourth Edition, December, 1976.
8. American Petroleum Institute," API RP 521,Guide For Pressure-Relieving And Depressuring Systems",Third Edition, November, 1990.
9. American Petroleum Institute, " API RP 616, Gas Turbines For Refinery Service", First Edition, January, 1990.
10. American Petroleum Institute, " API RP 617, Centrifugal Compressors For Petroleum, Chemical And Gas Service Industries", First Edition, January, 1990.
11. American Petroleum Institute, " API RP 750, Management Of Process Hazards", First Edition, January, 1990.
12. C. Reid Robert, Prausnitz John M. And. Poling Bruce E," The Properties Of Gases And Liquids", Fourth Edition, Mc Graw Hill Book Company, Chemical Engineering Series, 1988.
13. Center For Chemical Process Safety (CCPS)., AIChE, "Guidelines For Engineering Design For Process Safety", Second Edition, New York, N.Y., 1993.
14. Center For Chemical Process Safety (CCPS).,AIChE, "Guidelines For Hazard Evaluation Procedures", Second Edition With Worked Examples, New York, N.Y., 1993.
15. Center For Chemical Process Safety (CCPS)., AIChE, "Guidelines For Chemical Process Quantitative Risk Analysis", Second Edition, New York, N.Y., 1993.
16. Crowl Daniel A. And Louvar Joseph F., "Health and Enviromental Risk Analysis", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1998.
17. DNV, " Process Hazard Analysis Software Tools, PHAST Professional User Manual, Version 5.0", January, 1995.
18. Hanna R. Steven And Peters J. Drivas, "Guidelines For Use Of Vapor Cloud Dispersion Models", Chemical Process Safety Of The Aiche, Second Printing, New York, NY., 1989