

8- Puesta en

marcha

Índice

8.1 INTRODUCCIÓN.....	3
8.2 TAREAS PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA.....	4
8.2.1 Tests mecánicos.....	4
8.2.2 Tests hidráulicos y neumáticos.....	4
8.2.3 Mantenimiento.....	5
8.2.4 Inspecciones.....	5
8.2.5 Limpieza, secado y purga de equipos.....	5
8.2.6 Seguridad y protección contra el fuego	6
8.3 PUESTA EN MARCHA DE LAS DIFERENTES ÁREAS	7
A. Área 100	
B. Área 200	
C. Área 300	
D. Área 400	
E. Área 500	
F. Área 600 (servicios)	
➤ Electricidad	
➤ Gas natural y aceite térmico	
➤ Agua de red	
➤ Aire comprimido	
G. Área 1000	
8.4 HAZOP.....	12
8.4.1 Etapas del HAZOP	12
8.4.2 Aplicación HAZOP	17
8.5 BIBLIOGRAFÍA	30

8.1 Introducción

El objetivo del presente capítulo es remarcar y analizar los puntos más importantes a tener en cuenta a la hora de la puesta en marcha de la planta de producción del 1-naftol. Se analizarán por separado cada una de las áreas en las que ésta se divide.

Así, se presentará una secuencia de puesta en marcha en la que se detallen las acciones, inspecciones y test a realizar, por orden cronológico, con el fin de minimizar los riesgos que puedan sufrir tanto el personal como la propia instalación.

En primer lugar, destacar que el proceso tiene dos modos de operación:

- **Discontinuo:** reactores R-201&202 y R-401&402
- **Continuo:** columnas de destilación DC-205, DC-302, separador flash FS-204 e hidrogenador HR-301.

Para aquellos equipos que trabajan en continuo, la arquitectura del control no puede ser aplicada de la misma forma que en aquellos que operan en discontinuo.

Finalmente, destacar que, para asegurar una correcta verificación de los peligros a analizar en una puesta en marcha, es recomendable el uso de métodos de análisis de riesgo tales como:

- Análisis comparativos: códigos, checklists, análisis histórico de accidentes...
- Índices de riesgo: índice de Dow, Dow-Mond, IFAL...
- Generalizados: Análisis de Peligro y Operabilidad (HAZOP), Análisis de árboles de fallas (FTA), Análisis “What if...”.

En el transcurso de este apartado, se ejemplificará y aplicará, al proceso de producción del 1-naftol, un análisis HAZOP.

8.2 Tareas previas a la puesta en marcha

Previamente a la puesta en marcha de una planta industrial, se deben llevar a cabo una serie de pruebas con el fin de minimizar los riesgos que puedan ocasionar, más tarde, un peligro hacia el personal de planta o a la propia instalación.

De esta forma, se dividirán estas pruebas y/o tareas preliminares en diferentes apartados.

8.2.1 Tests mecánicos

Estos tests están destinados a conocer la resistencia mecánica de los diferentes equipos cuando se someten a condiciones extremas de operación. Sobre todo se centran en las variaciones de presión y temperatura.

En estos tests, se tendrá especial atención a la respuesta de los diversos sistemas de seguridad.

8.2.2 Tests hidráulicos y neumáticos

Estas pruebas tienen como finalidad la verificación del correcto funcionamiento de las líneas y equipos instalados. Éstos se someten a diferentes pruebas de estanqueidad, operación a distintos regímenes, etc. También, se comprueba el correcto funcionamiento de bombas y compresores en diferentes condiciones de trabajo ante la posible existencia de posibles fluctuaciones de los caudales de operación.

Entre estas pruebas destacan:

- Test de estanqueidad con agua.
- Test de continuidad con aire.
- Comprobación de las líneas de instrumentación (válvulas, sensores...).

8.2.3 Mantenimiento

Las principales acciones de mantenimiento son:

- Materiales y equipos de repuesto ante posible avería de los equipos más susceptibles a avería como válvulas, bombas...
- Procedimientos de inspección.
- Comprobación de cantidades necesarias de materias primas como naftaleno, ácido sulfúrico, ácido nítrico, iso-propanol...
- Llenado de tanques de lubricantes para bombas.
- Calibración bombas.

8.2.4 Inspecciones

Antes de poner en marcha la planta se deben realizar una serie de inspecciones entre las que destacan:

- Revisión del interior de reactores, columnas, tanques pulmón...
- Comprobación mediante PI&D's (*Piping and Instrumentation Diagram*) de la instrumentación y equipos tanto principales como secundarios.
- Inspección de bombas y equipos principales.
- Inspección equipos de vacío.

8.2.5 Limpieza, secado y purga de equipos

- Limpieza de tuberías y equipos con vapor.
- Utilización de disolventes o anti-incrustantes si fuera necesario.
- Secado de equipos.
- Purga de equipos.

8.2.6 Seguridad y protección contra el fuego

- Disponibilidad de equipos de protección individual (EPI's).
- Disponibilidad de material de primeros auxilios y asistencia médica.
- Plan de emergencia en caso de accidente.
- Comprobación de agentes extintores: bocas contra incendios, extintores...

8.3 Puesta en marcha de las diferentes áreas

A continuación, se detallará el procedimiento operativo de puesta en marcha a seguir en cada área de la planta.

A. Área 100

El área 100 no es un área de proceso, por lo que, relativamente, no se tienen que tomar tantas precauciones como en el caso de las áreas 200, 300, 400 y 500.

Sin embargo, se debe tener en cuenta:

- Existan las cantidades de HNO_3 , H_2SO_4 , iso-propanol e hidrógeno como para producir una semana. Así, se comprueban todos los sensores de nivel de baja (LL) y alta (HL), así como las lecturas de la cantidad de líquido en cada tanque mediante las células de carga.
- Suministro eléctrico de las bombas de suministro de materias primas.
- Suministro de aire comprimido para toda aquella instrumentación que requiera de éste.

En cuanto a los tanques T-109 y T-110 de iso-propanol e hidrógeno respectivamente, se deben tomar una serie de precauciones adicionales debido a que contienen, de sustancias inflamables y/o peligrosas.

Por lo tanto, se deben monitorizar en todo momento la temperatura y presión dentro de dichos tanque tal y como se ha explicado en el apartado específico de control.

B. Área 200

En el área 200 se lleva a cabo la primera reacción del proceso, la nitración del naftaleno sólido para dar 1-nitronaftaleno.

Los parámetros críticos de dicha área y que, por lo tanto, se deben prestar especial atención son:

- Comprobación servicio de vapor y agua de refrigeración en la media caña de los reactores.
- Comprobación servicio de aceite térmico al *reboiler* KR-206 de la columna de destilación.
- Comprobación de las válvulas FCV-201, AV-201 y AV-204 de la línea de entrada de ácido nítrico (63%) a cada reactor.
- Comprobación válvulas de seguridad y discos de ruptura tanto de los reactores como de la columna de destilación.
- Seguimiento inicial y durante proceso de:
 - Células de carga WT-201 y WT-202.
 - Temperatura de los reactores (TT-201 y TT-202).
 - Presión de los reactores (PT-201 y PT-202).
 - Niveles de reactores superior (HL-201 y HL-202) e inferior (LL-201 y LL-202).
- Prueba del sistema eléctrico que alimenta los agitadores AG-201 y AG-202.
- Comprobación de las bombas centrífugas.
- Suministro neumático a las válvulas.
- Comprobación nivel del tanque pulmón (BT-303).

Por otra parte, el evaporador flash FS-204 y la columna de destilación DC-205 trabajan en continuo. Por lo tanto, en primer lugar, se deben poner a régimen de operación. Esto significa que sus temperaturas, presiones y caudales de operación adquieran el valor del estado estacionario.

C. Área 300

El área 300 se destina a la hidrogenación del 1-nitronaftaleno. A parte de lo comentado para el área 200, un aspecto primordial es controlar la presión del hidrogenador HR-301. El aumento tan elevado de esta presión se consigue gracias a la inyección continua de hidrógeno y de la mezcla proveniente de la etapa anterior a una presión de 100 bar. Este aumento se consigue mediante un compresor y una bomba.

Por lo tanto, se debe controlar esta presión variando la intensidad de los variadores de frecuencia (VF-301 y VF-302) de estos equipos. Así, se consigue un aumento o disminución de la potencia de estos equipos que, a su vez, permite un mayor o menor grado de compresión.

D. Área 400

Por su parte, el área 400 precisa de las mismas precauciones que en el área 200, añadiendo que los reactores de hidrólisis R-401 & R-402 trabajan a una presión de 13 bar. Por esta razón, también se debe tener en cuenta su monitorización y control a través de los transmisores de presión PT-401 y PT-402 y los variadores de frecuencia de sus respectivos compresores (CMP-401 y CMP-402). *(Todo esto ya se ha comentado en el apartado de los lazos de control).*

E. Área 500

Finalmente, la última área de producción se corresponde con la encargada de cristalizar el 1-naftol, ya que de los reactores de hidrólisis sale, aparte del naftol, una mezcla formada por otros compuestos como 1-naftilamina, sulfato de amonio, ácido sulfúrico, agua...

Esta área se caracteriza por ser un área en la que se trabajan a temperaturas moderadas y presión atmosférica. Por lo tanto, no existen demasiados parámetros críticos a la hora de su puesta en marcha.

De esta forma, a parte de las acciones comentadas anteriormente, únicamente se debe remarcar la comprobación de la temperatura del decantador DCT-502. Así, ésta no debe superar los 95°C que evitaría que el 1-naftol solidificara.

F. Área 600 (servicios)

Con vistas a una puesta en marcha, es primordial comprobar el suministro de los servicios, dado que de éstos depende el funcionamiento de todo el proceso.

Así, se detallará cada servicio por separado:

➤ Electricidad

En primer lugar, se debe comprobar que el suministro eléctrico es el adecuado por parte de la red. Además, es necesario cerciorarse de que la estación transformadora de tensión está funcionando correctamente y, por lo tanto, da tensión a todos los equipos del proceso.

Una vez se inicia el proceso, en caso de fallo eléctrico, el cuadro general de la instalación eléctrica notificará y señalará en cuál de estas plantas se está produciendo.

➤ Gas natural y aceite térmico

La caldera pirotubular instalada utiliza como combustible gas natural. Es fundamental asegurar el suministro de éste.

Además, se debe comprobar el correcto funcionamiento de las calderas de aceite.

➤ Agua de red

El suministro de agua es, probablemente, el servicio más imprescindible del proceso. Pero, no sólo se destina a proceso, sino también hay que considerar que una parte de esta agua se emplea en el sistema contra incendios.

Por lo tanto, se debe comprobar el correcto suministro y presión del agua en la conexión de entrada que llega a la parcela.

➤ Aire comprimido

En cuanto al servicio de aire comprimido proporcionado en la planta, se debe comprobar que la presión, a la que el compresor comprime dicho aire, es la adecuada para que todas las válvulas y accesorios neumáticos funcionen.

G. Área 1000

En el área 1000 se lleva a cabo el tratamiento y recuperación de los efluentes líquidos de la planta.

En el decantador centrífugo, el parámetro más importante para conseguir una buena separación de los sólidos en suspensión es la velocidad a la que gira el rotor, por lo tanto hay que asegurar que llega la suficiente potencia para provocar la fuerza centrífuga necesaria.

Por otra parte, en la pervaporación se tiene como parámetros importantes la temperatura. Ésta tiene que mantenerse entre 30-40°C para conseguir la evaporación del componente más volátil. Esta temperatura se alcanza mediante vapor, por lo que hay que comprobar que el servicio sea el correcto. Otro punto importante es el correcto funcionamiento de la bomba de vacío, ya que es la fuerza impulsora que provoca la transferencia de materia a través de las membranas. A todo esto, hay que añadir una revisión semanal del estado de las membranas de pervaporación por si sufren algún desgaste extra no previsto.

8.4 HAZOP

El método elegido para llevar a cabo el análisis de riesgo de la planta de producción de 1-naftol es el HAZOP. En primer lugar, se hará una descripción del funcionamiento de este tipo de análisis, así como las ventajas que conlleva aplicarlo a dicho proceso.

El HAZOP es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operabilidad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado en una etapa determinada.

Por lo tanto, ya se aplique en la etapa de diseño, como en la etapa de operación, la sistemática consiste en evaluar, en todas las líneas y en todos los sistemas las consecuencias de posibles desviaciones en todas las unidades de proceso, tanto si es continuo como discontinuo. La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas 'palabras guía'.

La realización de un análisis HAZOP consta de las etapas que se describen a continuación.

8.4.1. Etapas del HAZOP

1- Definición del área de estudio

Consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica. En una determinada instalación de proceso, considerada como el área objeto de estudio, se definirán para mayor comodidad una serie de subsistemas o líneas de proceso, que corresponden a entidades funcionales propias. Estas áreas están especificadas en el apartado anterior.

2- Definición de los nudos

En cada uno de estos subsistemas se deberán identificar una serie de nudos o puntos claramente localizados en el proceso.

Cada nudo deberá ser identificado y numerado correlativamente dentro de cada subsistema y en el sentido del proceso para mejor comprensión y comodidad. La técnica HAZOP se aplica a cada uno de estos puntos. Cada nudo vendrá caracterizado por variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad, etc.

La facilidad de utilización de esta técnica requiere reflejar en esquemas simplificados de diagramas de flujo todos los subsistemas considerados y su posición exacta.

El documento que actúa como soporte principal del método es el diagrama de flujo de proceso.

3- Aplicación de las palabras guía

Las palabras guía se utilizan para indicar el concepto que representan a cada uno de los nudos definidos anteriormente que entran o salen de un elemento determinado. Se aplican tanto a acciones (reacciones, transferencias, etc.) como a parámetros específicos (presión, caudal, temperatura, etc.). En la siguiente tabla se presentan algunas palabras guía junto con su significado.

Tabla 8.4.1.1. Palabras guía.

Palabra guía	Significado
No	Ausencia de la variable a la cual se aplica
Más	Aumento cuantitativo de una variable
Menos	Disminución cuantitativa de una variable
Inverso	Analiza la inversión en el sentido de la variable. Se obtiene el efecto contrario al que se pretende
Además de	Aumento cualitativo. Se obtiene algo más que las intenciones del diseño
Parte de	Disminución cualitativa. Parte de lo que debería ocurrir sucede según lo previsto
Diferente de	Actividades distintas respecto a la operación normal

4- Definición de las desviaciones a estudiar

Para cada nudo se plantea de forma sistemática todas las desviaciones que implican la aplicación de cada palabra guía a una determinada variable o actividad. Para realizar un análisis exhaustivo, se deben aplicar todas las combinaciones posibles entre palabra guía y variable de proceso, descartándose durante la sesión las desviaciones que no tengan sentido para un nudo determinado.

Paralelamente a las desviaciones se deben indicar las causas posibles de estas desviaciones y posteriormente las consecuencias de las desviaciones.

5- Sesiones HAZOP

Las sesiones HAZOP tienen como objetivo la realización sistemática del proceso descrito anteriormente, analizando las desviaciones en todas las líneas o nudos seleccionados a partir de las palabras guía aplicadas a determinadas variables o procesos. Se determinan las posibles causas, las posibles consecuencias, las respuestas que se proponen, así como las acciones a tomar.

Toda esta información se presenta en forma de tabla que sistematiza la entrada de datos y el análisis posterior. A continuación, se presenta el formato de recogida del HAZOP aplicado al proceso.

Planta:							
Sistema:							
Nudo	Palabra guía	Desviación de la variable	Posibles causas	Consecuencias	Respuesta	Señalización	Acciones a tomar

El significado del contenido de cada una de las columnas es el siguiente:

Columna	Contenido
Posibles causas	Describe las distintas causas que pueden conducir a la desviación
Consecuencias	Para cada una de las causas planteadas, se indican las consecuencias asociadas
Respuestas del sistema	Se indicará en este caso:
	1. Los mecanismos de detección de la desviación planteada según las causas o consecuencias
	2. Los automatismos capaces de responder a la desviación planteada según las causas
Acciones a tomar	Propuesta preliminar de modificaciones a la instalación en vista a la gravedad de la consecuencia identificada

6- Informe final

El informe final consta de los siguientes documentos:

- Esquemas simplificados con la situación y numeración de los nudos de cada sistema.
- Formatos de recogida de las sesiones con indicación de las fechas de realización y composición del equipo de trabajo.
- Análisis de los resultados obtenidos. Se puede llevar a cabo una clasificación cualitativa de las consecuencias identificadas.
- Listado de las medidas a tomar. Constituye una lista preliminar que debería ser debidamente estudiada en función de otros criterios (costes, soluciones técnicas, consecuencias en la instalación, etc.) y cuando se disponga de más elementos de decisión.
- Lista de sucesos iniciadores identificados.

Finalmente, destacar que se ha elegido este método de análisis de riesgo ya que en plantas nuevas o en fase de diseño, puede ayudar en gran medida a resolver problemas no detectados inicialmente. Además, las modificaciones que puedan surgir como consecuencia del estudio pueden ser más fácilmente incorporadas al diseño. Por otra parte, también puede aplicarse a la fase de operación y en particular ante posibles modificaciones.

El método HAZOP tiene como principales ventajas:

- Es una buena ocasión para contrastar distintos puntos de vista de una instalación.
- Es una técnica sistemática que puede crear, desde el punto de vista de la seguridad, hábitos metodológicos útiles.
- Se mejora el conocimiento del proceso.
- No requiere prácticamente recursos adicionales, con excepción del tiempo de dedicación.

Como principal desventaja se puede destacar que al ser una técnica cualitativa, aunque sistemática, no hay una valoración real de la frecuencia de las causas que producen una determinada consecuencia, ni tampoco el alcance de la misma.

Por lo tanto, una vez explicado el funcionamiento del método HAZOP, se procede a su aplicación en la planta de producción de 1- naftol.

8.4.2. Aplicación HAZOP

Nudo 1 (tanque almacenamiento isopropanol)

HAZOP- Planta de producción de 1-naftol				
Nudo: 1		Fecha: 06/06/14		
Palabra guía	Parámetro	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas a tomar
Más	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Mal funcionamiento aislante: deterioro del mismo. - Mala ventilación 	<ul style="list-style-type: none"> - Explosión. - Variación composición isopropanol y producto final. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar control de temperatura. - Instalar alarma para temperatura - Revisar correcta ventilación
	Presión	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la temperatura. - Falla venteo normal y/o de emergencia. 	Explosión.	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar alarma para temperatura - Instalar alarma para presión - Revisar venteo normal y de emergencia

	Volumen isopropanol	<ul style="list-style-type: none"> - Falla calibrado alimentación. - Falla válvula entrada. - Falla operario. 	<ul style="list-style-type: none"> - Derrame. - Posibilidad de incendio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar alarma de nivel máxima. - Revisar válvula de entrada y calibrado de bomba.
Menos	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Mal funcionamiento aislante: deterioro del mismo - Mala ventilación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Disminución temperatura hidrogenador. - Posible disminución conversión en el hidrogenador. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar control de temperatura. - Instalar alarma para temperatura. - Revisar correcta ventilación.
No	Iso-propanol	<ul style="list-style-type: none"> - Fuga de líquido en tanque o tuberías. - Mala planificación de materias primas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Parada proceso de producción. - Derrame de iso-propanol por el cubeto de retención. - Posibilidad de fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis no destructivo de la integridad del tanque y tuberías y reparación de éstos. - Compra de isopropanol.

Diferente de	Composición	<ul style="list-style-type: none">- Isopropanol de menor concentración.- Falla en los filtros de las bombas de suministro de camión.- Arrastre suciedad tuberías.	<ul style="list-style-type: none">- Menor conversión en hidrogenación.- Aumento de carácter explosivo.	<ul style="list-style-type: none">- Toma periódica de muestras de concentración.- Sustitución del isopropanol.
--------------	-------------	---	---	---

Nudo 2 (reactor nitración)

HAZOP- Planta de producción de 1-naftol				
Nudo: 2		Fecha: 06/06/14		
Palabra guía	Parámetro	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas a tomar
Más	Flujo ácido nítrico	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula control falla abierta. - Fallo lazo de control de flujo másico. - Falla medidor de flujo másico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reacción muy exotérmica y descontrolada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión y sustitución de la válvula, lazo y medidor de flujo másico si procede.
	Enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula control de temperatura falla abierta. - Control temperatura falla y abre válvula. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reacción no se lleva a cabo y pierde productividad. - Se llena de reactivo que no reacciona y reacciona luego de golpe. - No fusión del 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación de alarmas de temperatura. - Parada emergencia a baja temperatura.

			naftaleno y solidificación del 1-nitronaftaleno.	
No	Flujo ácido nítrico.	<ul style="list-style-type: none"> - Fallo bomba adición. - Obstrucción y/o fuga en tubería. - No existencia ácido nítrico. 	- No se produce la reacción.	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar válvula manual. - Instalar filtros para prevenir partículas no entren en la línea.
	Enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula control falla cerrada. - Obstrucción línea enfriamiento. - Falla servicio agua de chiller. - El control temperatura falla y cierra válvula. - Aire a presión para el funcionamiento de la válvula falla y se cierra ésta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sube temperatura y reacción fuera control. - Actuación válvula de seguridad y disco de ruptura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar válvula manual. - Instalar filtros para prevenir partículas no entren en la línea.
Menos	Enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula control falla. - Línea obstruida. 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura sube. - Posible reacción 	- Instalar parada emergencia a alta

		- Servicio falla. - Fuga.	fuera de control	temperatura. - Revisión tuberías por operario.
Inverso	Servicio agua	- Fallo <i>chiller</i> . - Aumento de la temperatura por convección.	- Enfriamiento insuficiente. - Posible reacción fuera de control.	- Instalación válvula de retención. - Aislar tuberías agua de refrigeración.

Nudo 3 (columna de destilación DC-205)

HAZOP- Planta de producción de 1-naftol				
Nudo: 3		Fecha: 06/06/14		
Palabra guía	Parámetro	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas a tomar
No	Caudal reflujo	<ul style="list-style-type: none"> - Fallo válvula de reflujo: se bloquea en posición cerrada. - Fuga en alguna línea de destilado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento T columna. - Parada equipo. - No separación isómeros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobación válvula de reflujo. - Chequeo línea de destilado.
Más	Presión	<ul style="list-style-type: none"> - Obstrucción válvula de reflujo. - Fallo eléctrico. - Perturbación alimentación de la columna: más T. - Exceso aceite <i>reboiler</i>. 	- Parada equipo.	- Instalación de medidor de presión diferencial.
	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Fallo eléctrico. -Fallo agua de refrigeración y/o 	<ul style="list-style-type: none"> - Parada equipo. - No separación 	-Comprobación servicios de

		sistema de calefacción con aceite.	isómeros.	refrigeración y calefacción.
	Caudal reflujo	- Variación relación de reflujo. - Fallo válvula de reflujo: posición abierta.	- Disminución T columna. - Parada columna. - No separación isómeros.	- Comprobación válvula de reflujo.
Menos	Presión	- Fallo válvula entrada de alimento a la columna (cerrada). - Disminución caudal aceite y consecuente disminución de vapor generado. - Falla válvula de reflujo: se bloquea abierta y aumenta reflujo.	- Vacío columna. - Parada equipo.	- Instalación de medidor de presión diferencial.
	Temperatura	- Falla válvula reflujo: se bloquea abierta y aumenta reflujo. - Sobreenfriamiento. condensador.	- Menor grado de separación isómeros. - Parada columna de destilación.	- Comprobación líneas de agua de refrigeración y aceite térmico.

		- Disminución vapor generado en hervidor.		
--	--	---	--	--

Nudo 4 (hidrogenador)

HAZOP- Planta de producción de 1-naftol				
Nudo: 4		Fecha: 06/06/14		
Palabra guía	Parámetro	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas a tomar
No	Hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> - Válvula control falla cerrada. - Obstrucción y/o fuga de la tubería. - Hidrogeno agotado. 	- No se lleva a cabo la reacción.	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar válvula manual. - Instalar válvula control que falle abierta. - Instalar filtros para prevenir partículas no entren en la línea. -Revisión periódica del hidrogeno en el

				gasómetro y de líneas por donde circule dicho gas.
	Refrigeración	<ul style="list-style-type: none"> -Válvula control de T falla cerrada. - Obstrucción línea enfriamiento. - Falla servicio agua. - El control temperatura falla y cierra válvula. - Aire a presión para el funcionamiento de la válvula falla y se cierra ésta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento temperatura. - Posible reacción fuera de control. 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalar válvula manual. - Instalar válvula control que falle abierta. - Instalar filtros para prevenir partículas no entren en la línea. - Servicio agua secundario. - Instalar alarma alta temperatura - Instalar parada emergencia a alta temperatura.

Nudo 5 (intercambiador de calor antes del DCT-502)

HAZOP- Planta de producción de 1-naftol				
Nudo: 5		Fecha: 06/06/14		
Palabra guía	Parámetro	Causas posibles	Consecuencias posibles	Medidas a tomar
No	Caudal líquido	- Falla válvula salida DCT-502: cerrada. - Falla bomba salida DCT-502.	- Paro operaciones posteriores.	- Abrir válvula. - Instalar indicador de marcha de bomba.
Más	Temperatura	- Falla válvula de control del agua de refrigeración: cerrada.	- No solidificación 1-naftol.	- Reparación válvula de control de temperatura.
	Caudal líquido	- Bajada densidad líquido. - Falla calibrado bomba. - Falla operador.	- Rebosa decantador DCT-502.	- Instalar control de nivel en el decantador.

			- Enfriamiento insuficiente.	- Revisión bomba.
Menos	Temperatura	- Falla válvula de control de agua de refrigeración: abierta.	- Solidificación otros compuestos con la consecuente pérdida de pureza del 1-naftol. - Obstrucción en intercambiador.	- Reparación válvula de control de temperatura.
	Caudal líquido	- Válvula parcialmente cerrada. - Falla bomba. - Fuga tubería y/o obstrucción tubería.	- Paro operaciones posteriores.	- Abrir válvula. - Colocar amperímetro que indique consumo bomba. - Limpieza de la tubería.
Inverso	Caudal líquido	- Diferencia de presiones inversa. - Fallo bomba.	- Paro operaciones	- Instalar válvula de retención.

			posteriores.	- Mantenimiento bomba.
Además de	Presencia de otro compuesto	- Mala separación de fases en el anterior decantador.	- Pérdida de pureza del producto final.	- Dejar mayor tiempo de decantación en la etapa anterior.

8.5 Bibliografía

- Crawl, Daniel A. Chemical process Safety: fundamentals with applications / Daniel A. Crawl, Joseph F. Louvar. Edición 2nd ed. Publicación Englewood Cliffs: Prentice- Hall, cop. 2002.
- Joaquim Casal i altres. Anàlisi de risc en instal·lacions industrials. Edicions UPC. BCN. (1996).
- J. M. Santamaría Ramiro, y, P. A. Braña Aísa. Análisis y reducción de riesgos en la industria química. Fundación Mapfre. Madrid. (1994). Segunda edición (1998),
- Skelton, B. Process Safety Analysis. An Introduction. Gulf Publishin Co. Houston.
- Risk assessment and risk management for the chemical process industry. Harris R. Greenberg. Joseph J. Cramer. Ny. (1991).