



Universidad Aut3noma Barcelona

Trabajo de fin de grado / Ingenier3a Qu3mica



PLANTA DE PRODUCCI3N DE CLOROBENCENO



Tutor: Josep Anton Tor3

Alba Gonz3lez, Antonio

Aynes Riba, Albert

Gonz3lez Lafita, 3scar

Mart3nez Rabert, Eloi

UAB

Junio 2017, Bellaterra (Barcelona)

Capítulo 8

Puesta en marcha



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO

UAB

ÍNDIX

8.1.	Introducción	7
8.2.	Fase 1: Acciones previas	8
8.2.1.	Organización y comprobación	8
8.2.2.	Inspección.....	9
8.2.3.	Test.....	10
8.2.3.1.	Test neumático y test hidráulico	10
8.2.3.2.	Test de instrumentación y control	11
8.2.4.	Mantenimiento	12
8.3.	Fase 2: Servicios de planta	12
8.3.1.	Calderas.....	12
8.3.2.	Torres de refrigeración.....	13
8.3.3.	Membranas de ósmosis.....	15
8.3.4.	Descalcificadora.....	15
8.3.5.	Chiller	16
8.3.6.	Compresor de aire	16
8.3.7.	Servicios contra incendios	16
8.4.	Fase 3: Puesta en marcha del proceso	17
8.4.1.	Descripción general	17
8.4.2.	Aspectos generales.....	20
8.4.2.1.	Bombas centrífugas	20

8.4.3.	Puesta en marcha desde cero	20
8.4.3.1.	Área 100	20
8.4.3.2.	Área 200	25
8.4.3.3.	Área 300	26
8.4.3.4.	Área 400	31
8.4.3.5.	Área 500	33
8.4.3.6.	Área 600	38
8.4.3.7.	Área 700	42
8.4.3.8.	Área 800	45
8.4.4.	Puesta en marcha después de mantenimiento	47
8.4.5.	Puesta en marcha después de una parada de emergencia	48

8.1. Introducción

La mayoría de operaciones que se llevan a cabo para obtener el clorobenceno comercial son en continuo y automáticos, gracias al sistema de control implementado. Aquellas operaciones que son en discontinuo (como la cristalización del p-DCB) se instalaran dos o más equipos en paralelo para llevar a cabo dicha operación de forma continua.

Cuando la planta no está en funcionamiento; ya sea por una parada de emergencia, una parada de mantenimiento o sea la primera vez que se pone en funcionamiento; antes de la fase de operación en continuo existe una fase de transición, la puesta en marcha.

La puesta en marcha es una serie de pasos protocolizados que se sigue para arrancar el proceso des de cero, de la forma más eficiente posible. De esta forma se evitaran o minimizaran problemas de operaciones futuros.

Esta fase de transición se puede dividir en tres etapas:

- En primer lugar, antes de realizar la puesta en marcha de cualquier equipo, es importante realizar una serie de tareas para comprobar que todos los equipos e instrumentos funcionan a la perfección. En el caso de encontrar algún fallo, solucionarlo inmediatamente antes de empezar la puesta en marcha. Si se trata de la puesta en marcha des de cero, se realizaran pruebas hidráulicas y de presión para comprobar que el diseño y la construcción se han llevado a cabo correctamente. Estas pruebas se pueden realizar también en puestas en marcha posteriores, pero no es tan común.
- En segundo lugar se ponen en marcha los servicios de planta que proporcionan los fluidos necesarios para la operación y los equipos de tratamiento de residuos, ya sean residuos gaseosos o líquidos. Es importante que las áreas de tratamiento de residuos estén operativas al cien por cien antes de la puesta en marcha del proceso de producción en sí.

· Finalmente se realiza la puesta en marcha del proceso de producción. Cada equipo tiene su protocolo de puesta en marcha establecido.

Es importante destacar que si la puesta en marcha es después de una parada de emergencia, la primera fase (la comprobación del sistema) se vuelve más compleja, ya que se debe encontrar y solucionar la razón de la parada. Por lo tanto, la puesta en marcha dependerá del punto de partida que se encuentre el proceso.

8.2. Fase 1: Acciones previas

Como se ha argumentado en el **apartado 8.1**, antes de realizar la puesta en marcha de cualquier equipo, es necesario realizar una serie de tareas de comprobación, para comprobar que su estado es el óptimo para llevar a cabo la producción. Las acciones previas se pueden clasificar en:

- Organización y comprobación
- Inspección
- Test
- Mantenimiento

8.2.1. Organización y comprobación

Estas acciones están relacionadas con la organización del personal de planta antes, durante y después de la puesta en marcha. Es importante que sepan en todo momento las tareas que deben llevar a cabo. También se organizan los turnos de trabajo, ya que la planta trabaja los 7 días a la semana, 24 horas (ver **apartados 1.3.2 y 1.3.3**).

Una vez organizado el personal, se deben realizar una serie de comprobaciones. Es importante comprobar la disponibilidad de todos los proveedores de materias primas, servicios y otras sustancias que se utilice en la planta. En caso que no esté disponible, buscar otro proveedor lo más rápido posible.

A parte de las materias primas, se debe comprobar la disponibilidad de los recambios de equipos e instrumentos ya que, en caso de fallada, se pueda reemplazar lo más rápido posible. Cabe mencionar que los operarios de mantenimiento deben de estar formados para llevar a cabo las tareas de recambio.

En el caso de la puesta en marcha des de cero, se realizará una comprobación de que los equipos, tuberías e instrumentos corresponden a las especificaciones y requerimientos del diseño.

Finalmente se comprueba que las acciones previas se han llevado correctamente según los protocolos establecidos. Si estos están obsoletos, se actualizarán.

8.2.2. Inspección

Se realizan inspecciones para comprobar que todo equipo e instrumento está instalado correctamente y preparado para la puesta en marcha y operación continua. Las comprobaciones que se realizaran son:

- Inspección de equipos de procesos principal, de servicios y tratamiento de residuos.
- Inspección de tuberías, válvulas y equipos de impulsión (bombas y compresores)
- Inspección de todos los instrumentos, los elementos de control y software. Es importante comprobar que el software esté actualizado correctamente.
- Inspección del cableado de la planta.
- Inspección del aislante de los equipos y tuberías. Comprobar su estado y asegurar que las características del aislante sean las estipuladas.
- Inspección de todas las estructuras de la planta, ya sea dentro del proceso, laboratorio u oficinas.

- Inspección de las señales de peligro de todas las zonas de la planta. En este grupo entran las señales en forma de panel (su estado y visualización) y las señales acústicas (comprobar que se oigan en todas las zonas de la planta).

- Inspección de las medidas contra incendio y preparación del personal delante un accidente. Se revisa las estaciones de bombeo de los fluidos contra incendio y se formará el personal para que sepan que deben hacer en caso de incendio.

- Inspección del estado y disponibilidad de todas las EPIs de la planta.

8.2.3. Test

Antes de cualquiera puesta en marcha, se realiza una serie de test para comprobar que todo funciona correctamente.

- Test de presión de todos los equipos del proceso principal con aire comprimido.

- Test hidráulico y de estanqueidad de todos los equipos del proceso.

- Pruebas de paso del fluido por las diferentes tuberías de la planta y comprobación de su estanquidad.

- Test de instrumentación y control.

- Test del sistema eléctrico de la planta.

8.2.3.1. Test neumático y test hidráulico

- El test neumático (o de presión) se basa en la introducción de aire en el interior del equipo y tuberías y comprobar que el diseño mecánico se ha realizado correctamente. En ocasiones se introduce jabón u otro producto que genere burbujas para comprobar la estanquidad de los equipos y tuberías.

· El test hidráulico se basa en la introducción de agua limpia con un tinte para comprobar la estanquidad de los equipos y tuberías que forman parte de la planta. Gracias al tinte, se pueden detectar de forma rápida las fugas, poros o fallos en la soldadura de tuberías, válvulas y equipos.

Este test también permite comprobar que el diseño mecánico se ha realizado correctamente y el equipo soporta el peso del líquido y la presión hidrostática que conlleva.

Para realizar estos tests es importante que todo el sistema de tuberías y equipos estén limpios. El agua del test hidráulico debe estar a una temperatura superior a 4.5°C, para evitar su congelación. Si es necesario, se calienta previamente el agua o se añade glicol.

Durante la realización del test, se llenan listas con los equipos, tuberías y accesorios que se deben cambiar o arreglar.

8.2.3.2. Test de instrumentación y control

Durante las pruebas hidráulicas y neumáticas, se comprueba de forma paralela que toda la instrumentación y elementos finales (bombas y variadores de frecuencia) funcionan correctamente. En este caso, se coloca uno o dos operarios de control realizando las comprobaciones y realizando listas de fallos.

Una vez realizada la comprobación, se envía la lista de fallos al ingeniero de mantenimiento para que ordene a sus operarios el cambio del instrumento.

También se comprueban los certificados de calibración de todos los sensores que se instalan a planta. Las calibraciones se realizan periódicamente. Todos aquellos sensores que sean necesarios calibrar se enviarían a la empresa Endress Hauser para que realizara la calibración (todos los sensores que precisan calibración provienen de esta empresa).

8.2.4. Mantenimiento

El mantenimiento se basa en el calibrado de la instrumentación de la planta, la limpieza de los equipos implicados en el proceso y servicios de planta y la sustitución de piezas, equipos, tuberías y accesorios que no pasen los test realizados.

Como se ha comentado anteriormente (**apartado 8.2.3.2**) la calibración de toda la instrumentación de control se lleva a cabo externamente, concretamente la empresa donde proviene la instrumentación, Endress Hauser.

La sustitución de piezas, equipos, tuberías y accesorios lo realizan los operarios de mantenimiento bajo las órdenes del ingeniero de mantenimiento, en base a las listas de errores y falladas que se han realizado durante las pruebas hidráulicas, neumáticas y de control.

8.3. Fase 2: Servicios de planta

Los servicios de planta, igual que el proceso de producción, deben seguir un protocolo de puesta en marcha, impuesta por los fabricantes de los equipos de servicios o normativas vigentes, como el **Artículo 22** del **RITE**. A continuación se presenta la metodología que se debe seguir para la puesta en marcha de los equipos de servicio.

8.3.1. Calderas

Antes de realizar la puesta en marcha de las calderas se habrán realizado las pruebas neumáticas en las tuberías de vapor y condensados, la comprobación del funcionamiento de las bombas, la puesta en marcha del servicio del combustible (gas natural) y comprobación de que toda la instrumentación asociada al vapor y caldera funcione correctamente. La puesta en marcha se describe de forma generalizada, ya que el funcionamiento de cada caldera es diferente.

Antes de nada, se realiza el llenado de la caldera con agua descalcificada. La puesta en marcha de la caldera se basa en el ajuste del quemador de la caldera para que las medidas de oxígeno en humos en %, la concentración de monóxido de carbono y la temperatura de los humos se encuentren dentro de los parámetros que indique el fabricante. Si el fabricante no indica estos parámetros, se pueden consultar en la **Guía Técnica de Calderas**. Es obligatorio el registro del análisis de humos que se realiza en la puesta en marcha y durante la operación.

La primera puesta en marcha de la caldera es realizada por el servicio técnico del fabricante de la caldera. El resto de puestas en marcha las realizan los operarios que estén formados correctamente.

Cabe destacar que en el momento de la puesta en marcha se puede generar elevadas cantidades de monóxido de carbono (CO) por una mala combustión, llegando a superar las 10,000 ppm. Esta concentración puede llegar a generar una mezcla explosiva en la chimenea por la combustión del CO, sintetizando CO₂. Por esta razón es importante que en la puesta en marcha se utilice grandes excesos de aire para disminuir la concentración de CO.

8.3.2. Torres de refrigeración

Antes de realizar la puesta en marcha de las calderas se habrán realizado las siguientes pruebas:

- Comprobación de la estanquidad y conexión de todas las tuberías.
- Comprobación de la instrumentación y equipos asociados a las torres (sensores de temperatura y bombas).
- Comprobación del funcionamiento y estado de los ventiladores y sus accesorios (poleas y correas). También el sistema de control del ventilador.

- Comprobación del sistema eléctrico asociado a la torre de refrigeración y sus accesorios.
- Comprobación del estado de purga de desconcentración.
- Inspección de los sistemas de desinfección del agua y los sistemas de tratamiento (cal, pH y sulfitos).
- Inspección de las características del agua de aportación con un informe analítico físico-químico.

La puesta en marcha de las 4 torres se realizará de forma independiente, una a una. Durante la puesta en marcha es importante la toma de muestras de la temperatura de entrada y salida de la torre, la corriente eléctrica consumida y el caudal de aire que circula por la torre. La última comprobación antes de la puesta en marcha de la torre es que las sondas estén bien calibradas. Se hace circular agua por la torre parada y las sondas de impulsión y retorno de agua deberían medir lo mismo. **La diferencia máxima admisible es de 0.1°C.**

La puesta en marcha es simple. Se hace circular agua previamente calentada hasta 40°C por la torre de refrigeración y se activa los ventiladores de circulación de aire. Se fija el set point a 25°C y se va tomando muestras de las temperaturas del agua de impulsión y retorno. De forma manual, se irá ajustando el caudal de aire con la potencia del ventilador hasta que se consiga un salto térmico de 15°C, es decir, que la temperatura de impulsión sea de 25°C. Una vez ajustado el caudal de aire, se activa el sistema de control para que se regule el caudal de aire automáticamente y se deja un tiempo en funcionamiento continuo. Cuando se ha estabilizado el sistema, se empieza a llenar el tanque pulmón de agua de torre.

Para finalizar, se comprueba que el agua de retorno se reparte de forma uniforme en el relleno de la columna y que el ruido y vibraciones del ventilador son los marcados por el fabricante. También se toman datos periódicamente del pH, conductividad y turbidez del agua de la balsa.

8.3.3. Membranas de ósmosis

La puesta en marcha del sistema de membranas de ósmosis es simple. Debido a que su funcionamiento es simple y está totalmente automatizada, únicamente se debe activar el panel de control del sistema y hacer circular agua por el sistema de membranas. Durante un cierto tiempo, se debe comprobar la conductividad del agua (con el conductímetro instalado en el sistema); la presión de entrada y salida del filtro de cartucho (pre-filtración); y la presión de entrada y salida del sistema de membranas.

Una vez llega la conductividad deseada, se da por arrancado el sistema de ósmosis. Los manómetros que se instalan en las entradas y salidas permiten saber si el filtro está colmatado o no en base a la pérdida de presión del agua cuando atraviesa la membrana. El salto de presión operacional lo marca la membrana que instala el fabricante, pero suele rondar a los 2.5 bares. Cuando la diferencia de presión es mayor, indica que la membrana se está colmatando y se debe tratar.

También se comprueba que la dosificación de antincrustantes y bisulfito se lleva a cabo correctamente.

8.3.4. Descalcificadora

Igual que en las membranas de ósmosis, la puesta en marcha de la descalcificadora es simple gracias al sistema de control asociado. Únicamente se debe activar el panel de control del sistema y hacer circular agua por el equipo. Durante un cierto tiempo se comprueba la conductividad del agua. Una vez llega la conductividad deseada, se da por arrancado el equipo de descalcificación y ya se puede enviar el agua hacia las calderas de vapor.

Se realiza una prueba de la regeneración de la descalcificadora con salmuera concentrada para controlar que el proceso se lleva a cabo correctamente.

8.3.5. Chiller

Debido a la diferencia de configuración y funcionamiento de los grupos de frío chiller, no existe una puesta en marcha general para este equipo de servicio.

La puesta en marcha se encarga el fabricante del equipo en cuestión y se explica en el manual de operación del equipo. Este manual se envía cuando se recibe el equipo en la planta.

8.3.6. Compresor de aire

Igual que el grupo de frío, no existe una puesta en marcha general para el compresor de aire de servicio.

La puesta en marcha se encarga el fabricante del equipo en cuestión y se explica en el manual de operación del equipo. Este manual se envía cuando se recibe el equipo en la planta.

8.3.7. Servicios contra incendios

Se llenan completamente las piscinas de agua contra incendios para asegurar el suministro de esta. Seguidamente se activan todos los sensores, alarmes y dispositivos contra incendios que se instalan en la planta.

Los dispositivos contra incendios ajenos al agua, como los extintores portátiles, se debe comprobar que están certificados correctamente y están dentro del límite de tiempo de utilidad. También se deben formar los operarios para que sean capaces de luchar contra el fuego en caso de incendio.

8.4. Fase 3: Puesta en marcha del proceso

Se identifican tres categorías de puesta en marcha: puesta en marcha desde cero, puesta en marcha después de mantenimiento y puesta en marcha después de una parada de emergencia. Las tres categorías siguen más o menos el mismo protocolo de puesta en marcha con algunas diferencias. Por esta razón, en este apartado, se explica con detalle la puesta en marcha desde cero y posteriormente se cuenta las diferencias que hay en la puesta en marcha después de mantenimiento y después de una parada de emergencia respecto a la primera categoría.

8.4.1. Descripción general

Para empezar, se describe de forma general la puesta en marcha que se sigue en la planta. La secuencia que se sigue depende del objetivo y la prioridad de las áreas de la planta.

En la **tabla 8.1** se muestra la secuenciación de la puesta en marcha que seguirá la planta de producción de clorobenceno.

Tabla 8.1. Secuencia de prioridad de puesta en marcha. (S): Sólido y (L): Líquido

#	Descripción	Área	Tipo
1	Electricidad	A-1100	Servicio
2	Compresor de aire comprimido	A-1100	Servicio
3	Agua de red	A-1100	Servicio
4	Agua contra incendios	A-1100	Servicio
4	Descalcificadora	A-1100	Servicio
5	Gas natural	A-1100	Servicio
6	Calderas de vapor	A-1100	Servicio
7	Chiller	A-1100	Servicio
8	Nitrógeno	A-1100	Servicio
9	Almacenaje de benceno	A-100	Almacenaje
9	Reactor térmico (RT-601)	A-600	Tratamiento de residuos
10	Almacenaje de sosa cáustica	A-500	Almacenaje
10	Almacenaje de catalizador (FeCl ₃)	A-300	Almacenaje
11	Almacenaje de cloro	A-200	Almacenaje
11	Scrubber de seguridad (SC-1301)	A-1300	Tratamiento de residuos
12	Membranas de ósmosis	A-1100	Servicio
13	Torre de refrigeración	A-1100	Servicio
14	Columnas de absorción (CA-602A/B)	A-600	Tratamiento de residuos
14	Scrubber venturi (SC-602)	A-600	Tratamiento de residuos
15	Columna de destilación (CD-101)	A-100	Proceso
16	Refrigeración y almacenaje de tolueno	A-100	Almacenaje
17	Tanque mezclador (TM-301)	A-300	Proceso
18	Dosificadora de catalizador (DO-301)	A-300	Proceso
19	Reactores de cloración (R-301 – R-303)	A-300	Proceso
20	Refrigeración y almacenaje de HCl	A-800	Almacenaje
21	Columna de destilación (CD-401)	A-400	Proceso
21	Reactor de precipitación (R-501)	A-500	Tratamiento de residuos
22	Evaporación parcial (E-402 + PS-401)	A-400	Proceso
22	Centrífuga y separador L-L (CE-501 + PS-501)	A-500	Tratamiento de residuos
23	Refrigeración y almacenaje de salmuera	A-800	Almacenaje
23	Tratamiento del Fe(OH) ₃	A-500	Tratamiento de residuos
24	Columna de absorción (CA-601 + E-602)	A-600	Tratamiento de residuos
25	Condensación parcial (E-602 + PS-601)	A-600	Tratamiento de residuos
26	Columna de destilación (CD-701)	A-700	Proceso
27	Columna de destilación (CD-702)	A-700	Proceso
28	Refrigeración y almacenaje de MCB	A-800	Almacenaje
29	Cristalización del DCB	A-800	Proceso
30	Almacenaje de p-DCB (S) y o-DCB (L)	A-800	Almacenaje

Los equipos con el mismo número de secuencia (#) representa que se deben de poner en marcha simultáneamente para que todo funcione correctamente. En la **figura 8.1** se muestra el diagrama de procesos con la secuencia de prioridad general por áreas.

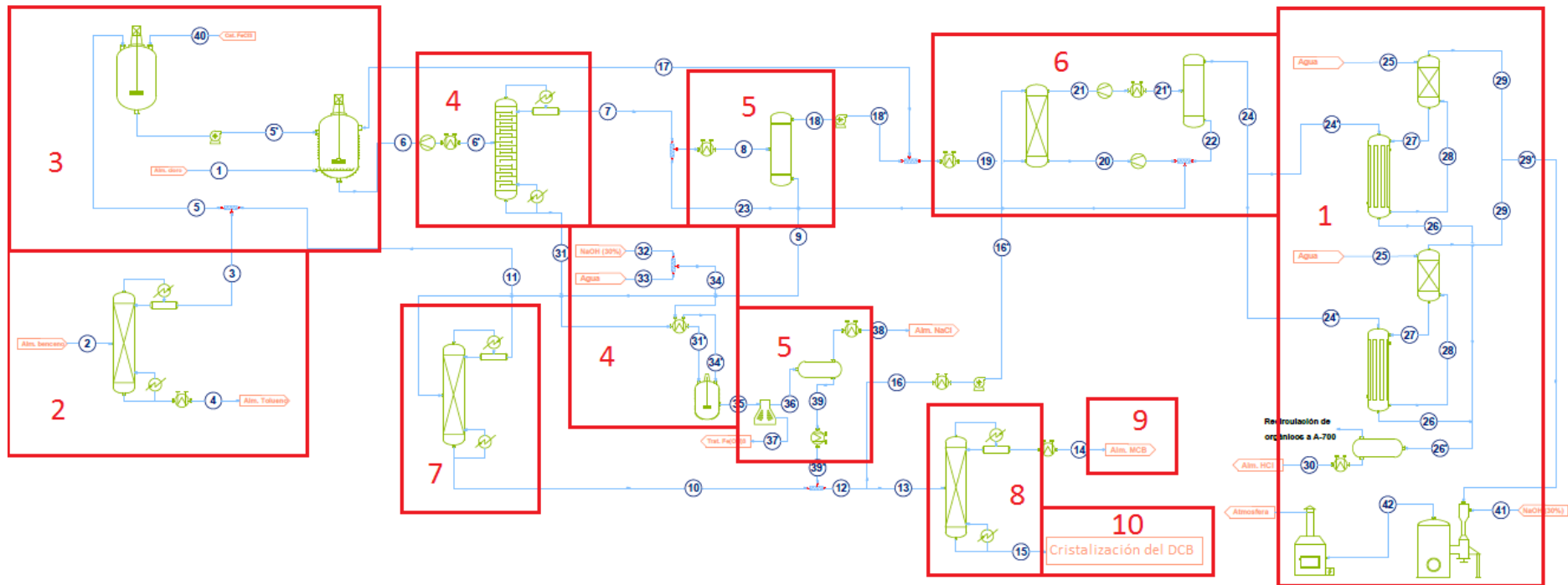


Figura 8.1. Secuencia de la puesta en marcha por áreas de la planta

8.4.2. Aspectos generales

8.4.2.1. Bombas centrífugas

Para la impulsión del líquido entre las diferentes etapas y áreas del proceso se necesitan bombas de impulsión. La gran mayoría de bombas de la planta son centrífugas, exceptuando la bomba de impulsión instalada después del reactor R-501, que es de engranajes.

Es importante tener en cuenta que las bombas centrífugas no son autocebantes. Por lo tanto es necesario siempre comprobar que en la bomba hay líquido antes de ponerla en marcha. Si no hay líquido y se pone en marcha, se puede quemar el motor de la bomba.

En la mayoría de puntos de la planta la bomba se encuentra por debajo del nivel de líquido. Esto permite que éste fluye de forma natural hacia la bomba y permite ponerla en marcha.

Si la bomba está por encima del nivel de líquido es necesario bajar la presión en la salida de la bomba para que el líquido llegue a ella.

8.4.3. Puesta en marcha desde cero

En este apartado se detalla la puesta en marcha de todos los equipos de la planta. Para ello se realizan hojas donde se especifica el objetivo, el estado final, los requisitos, el procedimiento y observaciones a tener en cuenta.

8.4.3.1. Área 100

Esta área está compuesta por los tanques de almacenaje de benceno, el tanque de almacenaje de tolueno y la columna de purificación del reactivo principal. Aunque la carga de nitrógeno se realiza de forma automática gracias a los lazos de control instalados, en la puesta en marcha se realiza todas las operaciones de forma manual mediante las válvulas automáticas. Una vez terminada la puesta en marcha se activan los lazos de control.

8.4.3.1.1. Tanques de almacenaje del benceno (T-101 – T-106)

La carga de benceno se realiza de forma secuencial tanque a tanque. La decisión primaria de qué tanque se llena la tiene el operario de carga, aunque las válvulas automáticas se han programado de forma que cuando el benceno llega al nivel de operación (un 79% de la capacidad máxima) da un aviso al operario y cambia de tanque de carga de forma automática.

- **OBJETIVO:** Carga del tanque T-101 de benceno.
- **ESTADO FINAL:** Tanques llenos al 79% de su capacidad máxima, inertizados, a presión atmosférica y control de nivel y temperatura operativos.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas.
- **OBSERVACIONES:** Los otros cinco tanques de almacenaje (T-102 – T-106) siguen el mismo procedimiento. Todas las válvulas de control de nivel (LV-104 – LV-109) se mantienen abiertas. En la puesta en marcha la descarga de los tanques se realiza de forma manual.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se abre la válvula automática HV-102 para llenar los tanques de almacenamiento con nitrógeno para la inertización. Este proceso evita la formación de mezclas explosivas por el contacto del benceno con el aire. Una vez la presión del tanque llega a la presión de almacenaje (1.1 bares), la válvula de control PV-101 se cierra, cortando la entrada de nitrógeno.
 - 2) Se conecta la manguera flexible del camión cisterna en la conexión de carga y se abre la válvula manual V-201. A continuación se abren el par de válvulas de la bomba P-101A (V-204 y V-208) o el par de la bomba P-101B (V-205 y V-209).
 - 3) Dejar unos minutos para que el benceno llegue hasta la bomba centrífuga y la llene.

- 4) Se selecciona desde control el tanque que se quiere llenar. En este caso el tanque T-101. Como consecuencia se abre la válvula automática HV-101.
- 5) Accionar la bomba P-101A o P-101B, en conveniencia del operario, al 100% de su capacidad.
- 6) Se empieza a llenar el tanque. Únicamente se carga un tanque a la vez. A medida que el tanque se llena, la válvula de liberación de presión (PSV-101) libera nitrógeno para mantener la presión interna del tanque a 1.1 bar.
- 7) Una vez la columna de líquido alcanza el nivel establecido, la válvula automática HV-101 se cierra y se abre la válvula HV-106, llenando el tanque T-102.
- 8) De forma simultánea se activa el sistema de control de temperatura, para mantenerla la temperatura de almacenaje a 15°C.

Una vez se han llenado los seis tanques de benceno (con el mismo procedimiento del tanque T-101), se paran la bomba P-101A o P-101B y se cierra las válvulas pares de la bomba en funcionamiento (V-204 / V-208 o V-205 / V-209). Antes de cerrar la válvula V-201, se abre la válvula V-203 para extraer una muestra del reactivo para analizarlo. Finalmente se cierra la válvula V-201 y se desconecta la manguera del camión cisterna.

8.4.3.1.2. Columna de purificación del benceno (CD-101)

- **OBJETIVO:** Estabilizar la columna de destilación logrando que la relación de reflujo y las temperaturas de salida del destilado y residuo sean las de diseño.
- **ESTADO FINAL:** Columna de destilación a presión atmosférica con una relación de reflujo de 3.00 y temperaturas de destilado y residuos de 80.2°C y 110.1°C respectivamente.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de salida de la columna estén cerradas.

• **OBSERVACIONES:** Una vez logrado el régimen estacionario, se monitoriza la temperatura de salida de destilados, la salida de residuos, a temperatura de entrada del alimento de la columna y la presión interna.

• **PROCEDIMIENTO:**

- 1) Realizar la descarga de cualquier tanque de benceno, preferiblemente empezar por el T-101. Se abre la válvula automática HV-103. Esperar unos minutos hasta que el fluido llegue a las bombas P-102A o P-102B. A continuación se acciona una de las bombas al 100% de su capacidad.
- 2) Comprobar que el benceno sin purificar llega a la columna gracias al indicador de caudal que se instala en la entrada de la columna (FI-104).
- 3) Fijar la relación de reflujo total en la columna. Se cierra la válvula HV-132 y se abre completamente la válvula de control FV-102.
- 4) Una vez detectado el alimento y fijado la relación de reflujo, se alimenta el condensador DC-101 y rebóiler RB-101 con el fluido térmico correspondiente, abriendo las válvulas de control TV-113 y TV-114. Seguidamente se activa el control de temperatura del condensador y rebóiler.
- 5) Se cierra la válvula de control LV-101 hasta que se el nivel del tanque TD-101 sea el de operación. En caso de sobrepresión, la válvula PSV-114 se abre automáticamente para liberar presión. A continuación se espera unos minutos para asegurar que el líquido llegue a la bomba P-102A o P-102B.
- 6) Se pone en marcha la bomba P-101 (A o B) y se activa el control automático del nivel del tanque pulmón TD-101. Todo el líquido bombeado vuelve a la columna.
- 7) Se cierra la válvula de control LV-103 evitando la salida de residuo. Cuando el nivel de líquido del RB-101 y de la CD-101 llega al nivel de operación, automáticamente se para la bomba de carga del alimento (P-101). Este punto se realiza simultáneamente con el punto 5.
- 8) Se deja un tiempo hasta que las temperaturas de salida del condensador y del rebóiler sean de 80.2°C y 110.1°C respectivamente.

- 9) Una vez de se logran las temperaturas establecidas, simultáneamente se activa el control automático del nivel del RB-101 y la CD-101 y se ponen en marcha las bombas P-101 y P-103. Finalmente se fija la relación de reflujo a 3.00 y se activa el sistema de control de caudal para mantener la relación de reflujo constante.

8.4.3.1.3. *Tanque de almacenaje del tolueno (T-107)*

- **OBJETIVO:** Carga del tanque T-107.
- **ESTADO FINAL:** Tanque lleno al 76% de su capacidad máxima, inertizado, a presión atmosférica y control de presión operativo.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de salida de tolueno y entrada de nitrógeno cerradas.
- **OBSERVACIONES:** El proceso de inertización es el mismo que el de los tanques de benceno. Antes de llenar el tanque, el tolueno se enfría con el intercambiador E-101 (*punto 1*).
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se alimenta el intercambiador E-101 con agua de torre. Simultáneamente se activa el sistema de control de temperatura asociado al intercambiador.
 - 2) Se activa el sistema de control de presión del tanque T-107.
 - 3) Se abre la válvula automática HV-131 para llenar el tanque con nitrógeno para la inertización. Este proceso evita la formación de mezclas explosivas por el contacto del tolueno con el aire. Una vez la presión del tanque llega a la presión de almacenaje (1.1 bares), la válvula de control PV-101 se cierra, cortando la entrada de nitrógeno.
 - 4) A medida que el tanque de tolueno se va llenando, la válvula PSV-113 libera nitrógeno para mantener la presión de almacenaje constante.

8.4.3.2. Área 200

Esta área está compuesta por los tanques de almacenaje de cloro, los tanques de cloro de seguridad y el evaporador de cloro.

8.4.3.2.1. *Tanques de almacenaje del cloro (T-201 – T-212)*

Los tanques de cloro se distribuyen en tres grupos de tanques equitativos. Cada grupo está formado por un punto de carga, 3 tanques de almacenaje y un tanque de seguridad. Tanto la carga como la descarga se realizan solamente de un tanque de un grupo. Un grupo de tanques nunca se cargaran y descargaran a la vez.

- **OBJETIVO:** Carga del tanque T-201 de cloro.
- **ESTADO FINAL:** Tanques llenos al 83% de su capacidad máxima, a temperatura ambiente, a una presión de 15 bares y control de nivel operativo.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas.
- **OBSERVACIONES:** Los otros 11 tanques de almacenaje (T-202 – T-212) siguen el mismo procedimiento. En la puesta en marcha la descarga de los tanques se realiza de forma manual.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se conecta la manguera flexible del camión cisterna en la conexión de carga y se abren las válvulas V-225 y V-229 (P-201A) o las válvulas V-226 y V-230 (P-201B), dependiendo de la bomba que se quiera usar.
 - 2) Se deja unos minutos para que el cloro llegue hasta la bomba centrífuga y se llene gracias a la diferencia de presión.
 - 3) Se selecciona desde control el tanque que se quiere llenar. En este caso el tanque T-201. Como consecuencia se abre la válvula HV-201.
 - 4) Accionar la bomba P-201A o P-201B, en conveniencia del operario, al 100% de su capacidad.

- 5) Se empieza a llenar el tanque. Únicamente se carga un tanque a la vez. A medida que el tanque se llena, la válvula de liberación de presión (PSV-201A y PSV-201B) se abre (si es necesario) para mantener la presión interna del tanque a 15 bares.
- 6) Una vez la columna de líquido alcanza el nivel establecido, la válvula automática HV-201 se cierra y se abre la válvula HV-203, llenando el tanque T-202.
- 7) Cuando se han llenado los tres tanques, se da un aviso al operario de carga. Automáticamente se cierra la última válvula de llenado (en este caso la HV-205) y la bomba P-101 se para de forma gradual.

Cuando sea necesario la descarga del cloro, se introduce el vapor en el intercambiador E-201 para realizar la evaporación total del cloro. Simultáneamente se activa el control de temperatura asociado a este intercambiador, con un set point de 55°C.

8.4.3.3. Área 300

Esta área está compuesta por un tanque de mezcla, una dosificadora de sólido, un tanque de almacenaje (FeCl_3), tres reactores y un tanque pulmón.

8.4.3.3.1. *Dosificadora de catalizador (DO-301)*

- **OBJETIVO:** Preparar el equipo para la dosificación continua de catalizador en el tanque mezclador TM-301.
- **ESTADO FINAL:** Tolva de dosificadora (DO-301) llena hasta el nivel máximo de sólido.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas y motor de dosificadora parada. El tanque de FeCl_3 (T-301) debe estar completamente lleno.
- **OBSERVACIONES:** Se inertiza todo el sistema de dosificación con nitrógeno.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se activa el lazo de control de nivel asociado a la tolva de la dosificadora, compuesto por un sensor de nivel mínimo y un sensor de nivel máximo. Simultáneamente se comprueba que la dosificadora funciona correctamente.



- 2) Se abre completamente la válvula de control LV-302 y se va llenando la tolva de la dosificadora. El catalizador sólido circula por gravedad.
- 3) Cuando el nivel de sólido llega al nivel máximo, se cierra automáticamente la válvula de control de guillotina LV-302, finalizando la puesta en marcha de la dosificadora.

8.4.3.3.2. Tanque de mezcla (TM-301)

- **OBJECTIVO:** Preparar el tanque de mezcla para la disolución del catalizador en el benceno.
- **ESTADO FINAL:** Poner en funcionamiento el tanque de mezcla con el nivel de líquido establecido.
- **REQUISITOS:** Puesta en marcha de la dosificadora de catalizador (DO-301), válvulas de entrada y salida cerradas.
- **OBSERVACIONES:** Previamente se elimina el aire de su interior con un barrido de nitrógeno.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se abre la válvula manual V-301 y V-303, dejando que el tanque mezclador se llene de benceno.
 - 2) Cuando el nivel de benceno llega al nivel de operación, se cierra la válvula manual 301 (cortando el caudal de entrada de benceno) y se pone en marcha la agitación.
 - 3) Se activa el control de caudal que regula la dosificación de catalizador. Debido a que el caudal de benceno es cero, no se dosifica catalizador.

- 4) Simultáneamente se abre la válvula manual V-301, se activa el control de nivel del tanque y se pone en marcha la bomba P-301 (A o B) al 100% de su capacidad. El sistema de control se programa de forma que se pueda activar el control de nivel del tanque y poner en marcha la bomba simultáneamente, para facilitar el trabajo al operario responsable.
- 5) Cuando el sensor FS-301 detecta el caudal de benceno, automáticamente pone en marcha el tornillo sinfín de la dosificadora, haciendo entrar la cantidad de catalizador deseada en el mezclador. De esta forma se obtiene una mezcla de benceno y catalizador con una concentración másica del 1% de FeCl_3 .

8.4.3.3. Reactores de cloración (R-301 – R-303)

La puesta en marcha del reactor de cloración es el punto más delicado del área 300. Debido a que la reacción es altamente exotérmica y se generan gases, es imprescindible que el estado estacionario del proceso se alcance de forma gradual, para evitar reacciones *run away*, aumentando considerablemente la peligrosidad del proceso. Se decide realizar la puesta en marcha del reactor en 3 fases:

- Llenar el reactor con la mezcla de benceno y catalizador hasta el nivel de operación.
 - Activar la agitación y el sistema de refrigeración.
 - Introducción del cloro gas de forma gradual
- **OBJETIVO:** Poner en marcha el reactor de cloración a la temperatura y presión de operación.
- **ESTADO FINAL:** Reactor en estado estacionario a 55°C y 2.4 bares de presión interna.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas, tanque de mezcla operativo, columnas de absorción CA-602A y CA-602B operativas, almacenaje de cloro completado y todo el sistema inertizado con un barrido de nitrógeno.

• **OBSERVACIONES:** La puesta en marcha de los tres reactores se realizan de forma simultánea.

• **PROCEDIMIENTO:**

- 1) Se activa el control de caudal del benceno, dividiendo el caudal total entre los tres reactores equitativamente, abriendo las válvulas FV-302, FV-303 y FV-304.
- 2) Se llena el reactor hasta el nivel de operación. Una vez lleno se cierra las válvulas FV-302, FV-303 y FV-304.
- 3) Se activa el sistema de control de presión de los tres reactores. Este lazo de control regulará en todo momento la salida del gas del reactor en función de la presión interna. Es el responsable de mantener la presión a 2.4 bares.
- 4) Se pone en marcha la agitación a las revoluciones por minuto asignado por el diseño funcional del reactor.
- 5) Se activa el control de caudal del cloro que divide el caudal total entre los tres reactores equitativamente. La válvula FV-301 se acciona de forma manual por el operario.
- 6) Se pone en marcha la descarga del cloro y la evaporación total del área 200. Se empieza por un 5% del caudal nominal y va subiendo gradualmente hasta llegar el caudal de operación. Cuando se alcanza el caudal de operación, se activa el control de caudal estequiométrico, accionando la válvula FV-301 de forma automática.
- 7) Se activa el control de temperatura de los reactores de cloración para mantener la temperatura interna a 55°C, gracias a la introducción de agua de torre en la media caña. Debido a que la reacción se lleva a cabo de forma gradual, el caudal de agua de torre también aumentará de forma gradual. Este punto se realiza simultáneamente con el punto 6.

- 8) Cuando se alcanza el caudal de cloro operacional, las válvulas FV-302, FV-303 y FV-304 se vuelven a accionar automáticamente y se activa el control de nivel del reactor, abriendo las válvulas LV-302, LV-303 y LV-304 para mantener constante el nivel de líquido. El líquido que sale de los reactores es enviado al tanque pulmón TD-301.

8.4.3.3.4. Tanque pulmón (TD-301)

- **OBJETIVO:** Preparar el tanque pulmón para garantizar que únicamente se envía líquido hacia el área 400.
- **ESTADO FINAL:** Nivel de líquido del tanque pulmón estable y control asociado al nivel de líquido activado.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salidas cerradas. Inertización del equipo con un barrido de nitrógeno.
- **OBSERVACIONES:** Ninguna
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se introduce el líquido que proviene el reactor en el tanque pulmón, llenándolo hasta el nivel de líquido operacional.
 - 2) Se activa el control de nivel del tanque pulmón para mantener constante el nivel de líquido operacional.
 - 3) Si hay una sobrepresión en el tanque pulmón, por la introducción accidental de gas, la válvula PSV-304 expulsa gas reduciendo la presión interna del tanque. Esta purga se junta con el gas de proceso de los tres reactores y se envía hacia el área 600 – Tratamiento de gases.

8.4.3.4. Área 400

Esta área está compuesta por los tanques de almacenaje de cloro, los tanques de cloro de seguridad y el evaporador de cloro.

8.4.3.4.1. *Columna de destilación (CD-401)*

- **OBJETIVO:** Estabilizar la columna de destilación logrando que la relación de reflujo y las temperaturas de salida del destilado y residuo sean las de diseño.
- **ESTADO FINAL:** Columna de destilación a presión atmosférica con una relación de reflujo de 1.00 y temperaturas de destilado y residuos de 22.5°C y 183.9°C respectivamente.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de salida de la columna estén cerradas. Intercambiador E-403 en marcha y en estado estacionario.
- **OBSERVACIONES:** Una vez logrado el régimen estacionario, se monitoriza la temperatura de salida de destilados, la salida de residuos, a temperatura de entrada del alimento de la columna y la presión interna.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se activa el control de temperatura del intercambiador E-401 para calentar el alimento de la columna de 55.0°C hasta 80°C, para mejorar la eficiencia de la destilación. En el momento que se activa el control de temperatura se introduce el vapor en el intercambiador.
 - 2) Se comprueba que el producto del reactor llega a la columna gracias al indicador de caudal que se instala en la entrada de la columna (FI-403).
 - 3) Se fija la relación de reflujo total en la columna. Se cierra la válvula HV-401 y se abre completamente la válvula de control FV-401.

- 4) Una vez detectado el alimento y fijado la relación de reflujo, se alimenta el condensador DC-401 y rebóiler RB-401 con el fluido térmico correspondiente, abriendo las válvulas de control TV-404 y TV-406. Seguidamente se activa el control de temperatura del condensador y rebóiler.
- 5) Se cierra la válvula de control LC-401 hasta que se el nivel del tanque TD-401 sea el asignado. En caso de sobrepresión, la válvula PSV-404 se abre automáticamente para liberar presión. A continuación se espera unos minutos para asegurar que el líquido llegue a la bomba P-402A o P-402B.
- 6) Se pone en marcha la bomba P-401 (A o B) y se activa el control automático del nivel del tanque pulmón TD-401. Todo el líquido bombeado vuelve a la columna.
- 7) Se cierra la válvula de control LV-404 evitando la salida de residuo. Cuando el nivel de líquido del RB-401 y de la CD-401 llega al nivel de operación, se cierra la válvula V-410. Este punto se realiza simultáneamente con el punto 5.
- 8) Se deja un tiempo hasta que las temperaturas de salida del condensador y del rebóiler sean de 22.5°C y 183.9°C respectivamente.
- 9) Una vez de se logran las temperaturas establecidas, simultáneamente se activa el control automático del nivel del RB-401 y la CD-401, se abre la válvula V-410 y se pone en marcha la bomba P-401. Finalmente se fija la relación de reflujo a 1.00 y se activa el sistema de control de caudal para mantener la relación de reflujo constante.

8.4.3.4.2. Separador de fases líquido-gas (PS-401)

- **OBJETIVO:** Preparar el separador de fases para realizar con éxito la separación entre el gas y el líquido del corriente de entrada.
- **ESTADO FINAL:** Nivel del líquido estable y control asociado al nivel del separador activado.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de salida cerradas. Intercambiador E-402 en marcha y en estado estacionario. Las columnas de absorción CA-602A y CA-602B operativas.

• **OBSERVACIONES:** Ninguna

• **PROCEDIMIENTOS:**

- 1) Se activa el control de presión del separador PS-401. Este lazo regula la salida de gases en base a la presión interna. Evita que se genere una sobrepresión en el interior del equipo.
- 2) Se cierra la válvula de control LV-401 y se introduce el corriente de destilado de la columna CD-401 vaporizado parcialmente (gracias al intercambiador E-402).
- 3) Antes de poner en marcha el compresor BP-401 (A o B), se espera unos minutos para asegurar que el gas llega al equipo. El gas del separador PS-401 es enviado al área 600 para su tratamiento.
- 4) Cuando el nivel de líquido llega al valor asignado, se activa el control de nivel instalado en el separador y se pone en marcha la bomba P-403A/B simultáneamente.

8.4.3.5. Área 500

Esta área está compuesta por el tanque de almacenaje de sosa cáustica, el tanque de almacenaje de agua desionizada (comprada), el tanque pulmón de agua osmotizada, el reactor de precipitación, una centrífuga de tambor y tornillo sinfín y un separador líquido-líquido.

8.4.3.5.1. *Tanque de almacenaje de sosa cáustica (T-501)*

- **OBJETIVO:** Carga del tanque T-501 de sosa cáustica 30%wt.
- **ESTADO FINAL:** Tanque lleno al 89% de su capacidad máxima, a presión atmosférica y control de temperatura operativo.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas.

• **OBSERVACIONES:** La calefacción es imprescindible para mantener la sosa cáustica a 25°C. A una temperatura inferior la viscosidad de la sosa aumenta considerablemente, dificultando su impulsión. La presión atmosférica se consigue gracias a un venteo.

• **PROCEDIMIENTO:**

- 1) Se conecta la manguera flexible del camión cisterna en la conexión de carga y se abre la válvula manual V-519. A continuación se abren el par de válvulas de la bomba P-501A (V-521 y V-524) o el par de la bomba P-501B (V-522 y V-527).
- 2) Se deja unos minutos para que la sosa llegue hasta la bomba centrífuga y la llene.
- 3) Se acciona la bomba P-501A o P-501B, en conveniencia del operario, al 100% de su capacidad y se llena el tanque.
- 4) Cuando el nivel de sosa llega al valor deseado, se para la bomba de carga de sosa y se activa el control de temperatura.
- 5) Antes de cerrar la válvula V-519, se abre la válvula V-523 para extraer una muestra de sosa para analizarlo. Finalmente se cierra la válvula V-519 y se desconecta la manguera del camión cisterna.

8.4.3.5.2. Tanque de almacenaje de agua desionizada (T-503)

• **OBJETIVO:** Carga del tanque T-503 de agua desionizada (ultra-pura comprada).

• **ESTADO FINAL:** Tanque lleno al 90.40% de su capacidad máxima y a presión atmosférica.

• **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas.

• **OBSERVACIONES:** La presión atmosférica se consigue gracias a un venteo.

• **PROCEDIMIENTO:**

- 1) Se conecta la manguera flexible del camión cisterna en la conexión de carga y se abre la válvula manual V-501. A continuación se abren el par de válvulas de la bomba P-502A (V-503 y V-507) o el par de la bomba P-502B (V-504 y V-508).



- 2) Se dejar unos minutos para que el agua llegue hasta la bomba centrífuga y la llene.
- 3) Se acciona la bomba P-502A o P-502B, en conveniencia del operario, al 100% de su capacidad y se llena el tanque.
- 4) Cuando el nivel de agua llega al valor deseado se para la bomba de carga de agua ultra-pura.
- 5) Antes de cerrar la válvula V-501, se abre la válvula V-506 para extraer una muestra de agua para analizarla. Finalmente se cierra la válvula V-501 y se desconecta la manguera del camión cisterna.

8.4.3.5.3. *Tanque pulmón (TD-502)*

- **OBJETIVO:** Preparar el tanque pulmón para tener un día completo de stock de agua osmotizada en caso que las membranas dejasen de funcionar.
- **ESTADO FINAL:** Nivel del tanque pulmón estable y control que regula la disolución de sosa activo.
- **REQUISITOS:** Sistema de membranas de ósmosis en funcionamiento estable. Intercambiador E-503 en marcha y en estado estacionario. Válvula automática HV-501 cerrada.
- **OBSERVACIONES:** La presión atmosférica se consigue gracias a un venteo.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se introduce el agua que proviene de las membranas de ósmosis en el tanque pulmón. Se deja llenar hasta que ocupa un 90% de la capacidad máxima.
 - 2) Cuando llega al 90% de la capacidad, se abre la válvula HV-501 y se pone en marcha las bombas P-503A/B y P-504A/B. Simultáneamente se activa el control de caudal que regula la disolución de la sosa cáustica.

8.4.3.5.4. Reactores de precipitación (R-501)

La puesta en marcha del reactor de cloración es el punto más delicado del área 500. Se decide realizar la puesta en marcha del reactor en 3 fases:

- Llenar el reactor con la mezcla de DCB con el catalizador hasta el nivel de operación.
 - Activar la agitación y el sistema de refrigeración.
 - Introducción la sosa cáustica al 10%wt.
- **OBJETIVO:** Poner en marcha el reactor de precipitación a la temperatura y presión de operación.
- **ESTADO FINAL:** Reactor en estado estacionario a 60°C y presión atmosférica.
- **REQUISITOS:** Válvula FV-502 cerrada, almacenaje de sosa cáustica y agua osmotizada completados e intercambiador E-501 en marcha y en estado estacionario.
- **OBSERVACIONES:** El intercambiador E-501 se realiza un aprovechamiento de energía entre los dos reactivos. El fluido caliente (la mezcla DCB+FeCl₃) se debe enfriar y el fluido frío (solución de NaOH al 10%) se debe calentar. La refrigeración del tanque se realiza con agua de torre.
- **PROCEDIMIENTO:**
- 1) Se llena el reactor hasta el nivel de operación con la mezcla de DCB y FeCl₃, previamente refrigerado en el intercambiador E-501. Una vez lleno se pone en marcha el agitador y el control de temperatura del tanque.
 - 2) Se activa el sistema de control de caudal de la sosa cáustica. Este sistema abre la válvula FV-502 y permite la introducción del reactivo de forma estequiométrica.
 - 3) Se activa el control de nivel del tanque, que modifica las revoluciones por minuto de la bomba P-505A/B. Este punto se realiza simultáneamente con el punto 2. Este lazo de control permite estabilizar el nivel de líquido del reactor.

8.4.3.5.5. *Separador de fases líquido-líquido (PS-501)*

- **OBJETIVO:** Preparar el separador de fases para realizar con éxito la separación entre el líquido ligero y el líquido pesado del corriente de entrada.
- **ESTADO FINAL:** Nivel del líquido estable y control asociado al nivel del separador activado.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de salida cerradas e intercambiador E-502 en marcha y en estado estacionario.
- **OBSERVACIONES:** Es importante que la velocidad de entrada al separador no sea superior a 1m/s, para mejorar la eficiencia de la separación.
- **PROCEDIMIENTOS:**
 - 1) Se asegura que las válvulas de control LV-501 y LV-502 están cerradas.
 - 2) Se pone en marcha la bomba P-506A/B. Importante comprobar que la bomba está llena de líquido antes de ponerla en marcha.
 - 3) Se deja que el separador líquido-líquido se llene lentamente y se genere la interface entre el líquido ligero y el líquido pesado.
 - 4) Cuando el sensor de conductividad no detecta la salmuera, es el momento de activar el control de nivel del separador. La válvula de control LV-501 se abre automáticamente y se para la bomba P-506, bajando el nivel de líquido pesado (orgánicos).
 - 5) Se espera cinco minutos para asegurar que el líquido llega a la bomba P-508A/B y que el nivel de la interface se estabiliza.
 - 6) Se pone en marcha la bomba P-508A/B enviando los orgánicos al área 700 pasando por el intercambiador E-502. Este intercambiador calienta el caudal de orgánicos de 60°C a 130°C.
 - 7) Se vuelve a poner en marcha la bomba P-506 para estabilizar el nivel de la interface del separador. Este punto se realiza simultáneamente con el punto 6.

8.4.3.5.6. *Tanque pulmón (TD-501)*

- **OBJETIVO:** Preparar el tanque pulmón para garantizar que la bomba P-507A/B bombee únicamente líquido.
- **ESTADO FINAL:** Nivel de líquido del tanque pulmón estable y control asociado al nivel activado.
- **REQUISITOS:** Válvula de control LV-502 cerrada y separador PS-501 operativo.
- **OBSERVACIONES:** Ninguna.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se introduce el líquido ligero que proviene del separador PS-501, llenándolo hasta el nivel de líquido asignado.
 - 2) Se activa el control de nivel del tanque pulmón para mantener constante el nivel de líquido operacional.
 - 3) Se espera unos minutos para garantizar que el líquido llega a la bomba P-507A/B. Después se pone en marcha una de las dos bombas al 100% de su capacidad, enviando la salmuera al área 800.

8.4.3.6. Área 600

Esta área está compuesta por una columna de absorción empacada, una condensación parcial, dos columnas de absorción de pared húmeda, un scrubber de venturi y un reactor térmico.

8.4.3.6.1. *Columna de absorción empacada (CA-601)*

- **OBJETIVO:** Estabilizar la columna de absorción logrando que el porcentaje de absorción de orgánicos sea el de diseño.
- **ESTADO FINAL:** Columna de absorción a 2.4 bares de presión de operación y una relación de líquido absorbente y el gas tratado de 0.44.

- **REQUISITOS:** Reactores de cloración, área de tratamiento primario (A-400), área de tratamiento del catalizador (A-500) y columna de destilación CD-701 en marcha. Válvula LV-601 cerrada. Intercambiadores E-601 y E-701 en marcha y en estado estacionario.

- **OBSERVACIONES:** Hay un período de la puesta en marcha donde la columna de absorción CA-601 únicamente recibe los orgánicos que proceden del área 500, insuficientes para el tratamiento de los COVs que acompañan el gas de proceso. Por esta razón, este período no se identifica como parte de la puesta en marcha de la CA-601. Este corriente con orgánicos será tratado posteriormente por el reactor térmico.

- **PROCEDIMIENTO:**

- 1) Se activa el control de relación de caudal que se encuentra antes de la columna de destilación CD-702. El 30% de los orgánicos se dirigen a la columna CA-601 como líquido absorbente y el 70% restante se envían a la columna de destilación CD-702. Durante un momento, se cierran las válvulas V-301, V-302 y V-303.
- 2) Una vez se ha activado el lazo de control y se ha puesto en marcha la bomba P-705 (garantizando que los orgánicos llegan a la columna CA-601) se abren las válvulas V-301, V-302 y V-303 nuevamente; dejando entrar el gas a la columna de absorción. Este gas pasa por un intercambiador que los enfría para aumentar la eficiencia de la absorción. Este juego de abrir y cerrar la entrada de gas permite evitar que el gas arrastre el líquido absorbente.
- 3) Cuando los orgánicos que atraviesan la columna de absorción se acumulan en el fondo superior. Cuando el nivel de líquido en el fondo llega al nivel asignado, se activa el control de nivel. Este estabilizará el nivel de líquido del fondo de la columna.
- 4) Se activa el control de presión de los gases de salida para mantener constante la presión interna de la columna.

8.4.3.6.2. *Separador de fases líquido-gas (PS-601)*

- **OBJETIVO:** Preparar el separador de fases para realizar con éxito la separación entre el gas y el líquido del corriente de entrada.
- **ESTADO FINAL:** Nivel del líquido estable y control asociado al nivel del separador activado.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de salida cerradas. Intercambiador E-602 en marcha y en estado estacionario.
- **OBSERVACIONES:** En el período de la puesta en marcha donde la columna de absorción CA-601 únicamente recibe los orgánicos que proceden del área 500, el separador PS-601 permite recuperar los orgánicos que han sido arrastrados por el gas.
- **PROCEDIMIENTOS:**
 - 1) Se activa el control de presión del separador PS-601. Este lazo regula la salida de gases en base a la presión interna. Evita que se genere una sobrepresión en el interior del equipo.
 - 2) Se cierra la válvula de control LV-602 y se introduce la mezcla de gas y líquido que proviene del intercambiador E-602.
 - 3) Antes de poner en marcha el compresor BP-601 (A o B), se espera unos instantes para asegurar que el gas llega al equipo. El gas del separador PS-601 es enviado a las columnas de absorción CA-602A/B.
 - 4) Cuando el nivel de líquido llega al valor asignado, se activa el control de nivel instalado en el separador y se pone en marcha la bomba P-601A/B simultáneamente. Las bombas ya estarán listas para ponerlas en marcha gracias a los orgánicos que se recuperan en la columna de absorción CA-601.

8.4.3.6.3. *Columna de absorción de pared húmeda (CA-602A/B)*

- **OBJETIVO:** Estabilizar la columna de absorción logrando que la temperatura de operación sea constante y la absorción del HCl gas con una eficiencia del 99.9%.

- **ESTADO FINAL:** Columna de absorción a presión atmosférica y a una temperatura de operación constante de 51°C.
- **REQUISITOS:** Membranas de ósmosis en marcha y en estado estacionario. Válvulas LV-603 y LV-605 cerradas
- **OBSERVACIONES:** Durante la puesta en marcha no se utiliza agua osmotizada, se usa agua de red. El ácido clorhídrico acuoso que se obtiene se vende a precio del transporte, sin generar ningún beneficio. Se instalan dos columnas de absorción por razones energéticas.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se introduce un caudal de 3.28m³/h de agua de red en los scrubbers SC-601A/B y se activa el control de nivel de líquido. Gracias al control se mantiene constante el nivel de líquido de los fondos de los scrubbers.
 - 2) Se activa el control de temperatura de la columna de absorción CA-602A/B, abriendo el paso del agua de refrigeración (agua de torre).
 - 3) Se activa el sistema de control de relación que permite la división del caudal de gas entre las dos columnas. En este punto el gas entra en la columna de absorción.
 - 4) En el fondo de las columnas CA-602A y CA-602B se genera una acumulación de líquido, ya que las válvulas LV-603 y LV-604 están cerradas. Cuando el nivel de líquido llega al nivel deseado, se activa el control de nivel dejando pasar el líquido hacia el separador líquido-líquido.
 - 5) Se activa el control de conductividad de la salida del ácido clorhídrico acuoso para controlar el caudal de agua de entrada. Este punto se realiza simultáneamente con el punto 4.

8.4.3.6.4. *Separador de fases líquido-líquido (PS-602A/B)*

La puesta en marcha de este equipo es exactamente igual que el del separador de fases PS-501, que se encuentra en el **apartado 8.4.3.5.5.**

8.4.3.6.5. *Tanque pulmón (TD-501)*

La puesta en marcha de este equipo es exactamente igual que el tanque pulmón TD-501, que se encuentra en el **apartado 8.4.3.5.6.**

8.4.3.7. Área 700

Esta área está compuesta por una columna de absorción empacada, una condensación parcial, dos columnas de absorción de pared húmeda, un scrubber de venturi y un reactor térmico.

8.4.3.7.1. *Columna de destilación (CD-701)*

- **OBJETIVO:** Estabilizar la columna de destilación logrando que la relación de reflujo y las temperaturas de salida del destilado y residuo sean las de diseño.
- **ESTADO FINAL:** Columna de destilación a presión atmosférica con una relación de reflujo de 0.72 y temperaturas de destilado y residuos de 44.3°C y 131.5°C respectivamente.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de salida de la columna estén cerradas.
- **OBSERVACIONES:** Una vez logrado el régimen estacionario, se monitoriza la temperatura de salida de destilados, la salida de residuos, a temperatura de entrada del alimento de la columna y la presión interna.

• PROCEDIMIENTO:

- 1) Se abren las válvulas manuales V-703 y V-704.
- 2) Se comprueba que la mezcla de orgánicos llega a la columna gracias al indicador de caudal que se instala en la entrada de la columna (FI-707).
- 3) Se fija la relación de reflujo total en la columna. Se cierra la válvula HV-701 y se abre completamente la válvula de control FV-701.
- 4) Una vez detectado el alimento y fijado la relación de reflujo, se alimenta el condensador DC-701 y rebóiler RB-701 con el fluido térmico correspondiente, abriendo las válvulas de control TV-701 y TV-702. Seguidamente se activa el control de temperatura del condensador y rebóiler.
- 5) Se cierra la válvula de control LV-701 hasta que se el nivel del tanque TD-701 sea el asignado. En caso de sobrepresión, la válvula PSV-701 se abre automáticamente para liberar presión. A continuación se espera unos minutos para asegurar que el líquido llegue a la bomba P-702A o P-702B.
- 6) Se pone en marcha la bomba P-702 (A o B) y se activa el control automático del nivel del tanque pulmón TD-701. Todo el líquido bombeado vuelve a la columna.
- 7) Se cierra la válvula de control LV-703 evitando la salida de residuo. Cuando el nivel de líquido del RB-701 y de la CD-701 llega al nivel de operación, se cierran las válvulas V-703 y V-704. Este se realiza simultáneamente con el punto 5.
- 8) Se deja un tiempo hasta que las temperaturas de salida del condensador y del rebóiler sean de 44.3°C y 131.5°C respectivamente.
- 9) Una vez de se logran las temperaturas establecidas, simultáneamente se activa el control automático del nivel del RB-701 y la CD-701, se abre las válvulas V-703 y V-704 y se pone en marcha la bomba P-701. Finalmente se fija la relación de reflujo a 0.72 y se activa el sistema de control de caudal para mantener la relación de reflujo constante.

8.4.3.7.2. *Columna de destilación (CD-702)*

- **OBJETIVO:** Estabilizar la columna de destilación logrando que la relación de reflujo y las temperaturas de salida del destilado y residuo sean las de diseño.
- **ESTADO FINAL:** Columna de destilación a presión atmosférica con una relación de reflujo de 1.50 y temperaturas de destilado y residuos de 131.0°C y 173.8°C respectivamente.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de salida de la columna estén cerradas.
- **OBSERVACIONES:** Una vez logrado el régimen estacionario, se monitoriza la temperatura de salida de destilados, la salida de residuos, a temperatura de entrada del alimento de la columna y la presión interna.
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se abre la válvula manual V-746.
 - 2) Se comprueba que la mezcla de orgánicos llega a la columna gracias al indicador de caudal que se instala en la entrada de la columna (FI-708).
 - 3) Se fija la relación de reflujo total en la columna. Se cierra la válvula HV-702 y se abre completamente la válvula de control FV-702.
 - 4) Una vez detectado el alimento y fijado la relación de reflujo, se alimenta el condensador DC-702 y rebóiler RB-702 con el fluido térmico correspondiente, abriendo las válvulas de control TV-703 y TV-704. Seguidamente se activa el control de temperatura del condensador y rebóiler.
 - 5) Se cierra la válvula de control LV-704 hasta que se el nivel del tanque TD-702 sea el asignado. En caso de sobrepresión, la válvula PSV-703 se abre automáticamente para liberar presión. A continuación se espera unos minutos para asegurar que el líquido llegue a la bomba P-704A o P-702B.
 - 6) Se pone en marcha la bomba P-704 (A o B) y se activa el control automático del nivel del tanque pulmón TD-702. Todo el líquido bombeado vuelve a la columna.

- 7) Se cierra la válvula de control LV-706 evitando la salida de residuo. Cuando el nivel de líquido del RB-702 y de la CD-702 llega al nivel de operación, se cierran la válvula V-746. Este se realiza simultáneamente con el punto 5.
- 8) Se deja un tiempo hasta que las temperaturas de salida del condensador y del rebóiler sean de 131.0°C y 173.8°C respectivamente.
- 9) Una vez de se logran las temperaturas establecidas, simultáneamente se activa el control automático del nivel del RB-702 y la CD-702, se abre la válvula V-746 y se pone en marcha la bomba P-703. Finalmente se fija la relación de reflujo a 1.50 y se activa el sistema de control de caudal para mantener la relación de reflujo constante.

8.4.3.8. Área 800

Esta área está compuesta por los tanques de almacenaje de clorobenceno, los tanques de almacenaje de ácido clorhídrico acuoso 32%wt, los tanques de almacenaje de salmuera y la zona de cristalización del diclorobenceno.

8.4.3.8.1. *Tanques de almacenaje del clorobenceno (T-801 – T-806)*

La carga de clorobenceno se realiza de forma secuencial tanque a tanque. La decisión primaria de qué tanque se llena la tiene el operario de carga, aunque las válvulas automáticas se han programado de forma que cuando el clorobenceno llega al nivel de operación (un 81% de la capacidad máxima) da un aviso al operario y cambia de tanque de carga de forma automática.

- **OBJETIVO:** Carga de los tanques T-801 – T-806 de clorobenceno.
- **ESTADO FINAL:** Tanques llenos al 81% de su capacidad máxima, a presión atmosférica y control de nivel operativo.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas.

• **OBSERVACIONES:** Ninguna

• **PROCEDIMIENTO:**

- 1) Se asegura que todas las válvulas automáticas de salida están cerradas.
- 2) Se activa el control del nivel de todos los tanques.

La descarga del clorobenceno se realiza de forma manual, con la ayuda de un control de nivel bajo.

8.4.3.8.2. *Tanques de almacenaje del ácido clorhídrico (T-807 – T-811)*

La carga de ácido clorhídrico se realiza de forma secuencial tanque a tanque. La decisión primaria de qué tanque se llena la tiene el operario de carga, aunque las válvulas automáticas se han programado de forma que cuando el ácido clorhídrico llega al nivel de operación (un 74%% de la capacidad máxima) da un aviso al operario y cambia de tanque de carga de forma automática.

• **OBJETIVO:** Carga de los tanques T-807 – T-811 de ácido clorhídrico.

• **ESTADO FINAL:** Tanques llenos al 74% de su capacidad máxima, a presión atmosférica y control de nivel operativo.

• **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas.

• **OBSERVACIONES:** Ninguna

• **PROCEDIMIENTO:**

- 1) Se asegura que todas las válvulas automáticas de salida están cerradas.
- 2) Se activa el control del nivel de todos los tanques.

8.4.3.8.3. Tanques de almacenaje de la salmuera (T-813 – T-815)

La carga de salmuera se realiza de forma secuencial tanque a tanque. La decisión primaria de qué tanque se llena la tiene el operario de carga, aunque las válvulas automáticas se han programado de forma que cuando el ácido clorhídrico llega al nivel de operación (un 74%% de la capacidad máxima) da un aviso al operario y cambia de tanque de carga de forma automática.

- **OBJETIVO:** Carga de los tanques T-807 – T-811 de ácido clorhídrico.
- **ESTADO FINAL:** Tanques llenos al 91.2% de su capacidad máxima, a presión atmosférica y control de nivel operativo.
- **REQUISITOS:** Todas las válvulas de entrada y salida cerradas.
- **OBSERVACIONES:** Ninguna
- **PROCEDIMIENTO:**
 - 1) Se asegura que todas las válvulas automáticas de salida están cerradas.
 - 2) Se activa el control del nivel de todos los tanques.

8.4.3.8.4. Cristalizadores (CR-801 – CR-802)

Estos equipos trabajan en discontinuo, por lo tanto no se realiza puesta en marcha. En el **apartado 9.2.8** del **capítulo 9** se explica el funcionamiento discontinuo de estos equipos.

8.4.4. Puesta en marcha después de mantenimiento

La única diferencia que existe entre la puesta en marcha desde cero y la puesta en marcha después de mantenimiento es la posibilidad que los tanques de almacenaje no estén vacíos y contenga reactivos o productos.

En este caso, se debe tener en cuenta la peligrosidad de los reactivos (benceno y cloro). Por lo tanto, siempre que se realice una parada se intentará tener los tanques de reactivos y producto vacíos. También permite realizar tareas de mantenimiento en los tanques.

8.4.5. Puesta en marcha después de una parada de emergencia

Cuando se realiza una parada de emergencia, antes de empezar con la puesta en marcha es necesario justificar la razón de la parada. En algunos casos se desconocen. Una vez se haya encontrado la razón, es necesario solucionarlo antes de volver a la normalidad.

Una parada de emergencia se realiza sin previo aviso, no da tiempo de vaciar los equipos de proceso. Por lo tanto, en este tipo de paradas, los equipos y los tanques de almacenaje pueden estar llenos del fluido de proceso.

Esto puede dificultar la puesta en marcha, sobretodo en esas paradas de emergencia por problemas en los equipos principales, como el reactor de cloración.