



CAPROLACTAM
Caprolactam Industries

2013

Planta para la producción de Caprolactama



UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

Jordi Aguilar Garrido
Albert Enrique Amores
Antonio Jiménez Rodríguez
Ricard Noy Orcau
Patricia Quintero Ibáñez
Rafael Torres Silva

Tutor: Carles Solà i Ferran



ÍNDICE

8. Puesta en marcha	2
8.1 Introducción	1
8.2 Comprobaciones previas a la puesta en marcha	1
8.3 Puesta en marcha de servicios	3
8.4 Puesta en marcha desde cero	5
8.4.1 Servicios y tratamiento de residuos (Área-800 Y Área-900)	5
8.4.2 Área de almacenamiento de materias primas (A-100)	5
8.4.3 Área de reacción y purificación de la oxima (A-200).....	6
8.4.4 Área de reacción y neutralización (A-300 y A-400)	6
8.4.5 Purificación del $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y de la caprolactama (A-600 y A-500)...	7
8.4.6 Área de producto acabado	7
8.5 Puesta en marcha después de una parada	8



8. PUESTA EN MARCHA



8.1 Introducción

En el presente apartado se detallan los pasos a realizar para llevar a cabo la puesta en marcha de la planta de producción de Caprolactama una vez obtenidos los diferentes elementos que la componen.

Del mismo modo, se exponen los diferentes pasos a seguir para realizar la parada de la planta de manera anual.

Sobre el periodo de tiempo que ocupa la puesta en marcha recae una gran importancia, ya que de esta depende que se empiece a realizar el proceso de manufacturación lo antes posible, proporcionando el máximo rendimiento para la cual ha estado diseñada.

8.2 Comprobaciones previas a la puesta en marcha

A continuación se presentan el conjunto de actividades que se han efectuado antes de iniciar la puesta en marcha de la planta perteneciente a la compañía **CaprolacTeam**. Esta conjunto de tareas recibe el nombre de *Checklist*, en este listado se agrupan las tareas según el tipo de actividad, con el fin de facilitar el seguimiento de estas.

1. Mantenimiento

- Organización del personal.
- Materiales y equipos de reposición en el almacén.
- Herramientas especiales y procedimientos.
- Inspección de equipos establecidos.
- Disponer de lubricantes y otros materiales necesarios para el mantenimiento.

2. Inspecciones

- Revisar la estructura y el interior de los tanques.
- Revisar que la red de tuberías e instrumentación concuerde con los diagramas de ingeniería.
- Colocación adecuada de los equipos que garantice su acceso y operatividad.
- Provisiones de toma de muestras.

3. Test de presión, limpieza, secado y purgas

- Test de presión a equipos y tuberías.
- Limpieza de tuberías y equipos.
- Soplado de las líneas de instrumentación.
- Test de continuidad con aire.
- Test de vacío.
- Expansión de tuberías y equipos (comprobación del movimiento libre).

**4. Comprobación del suministro y servicios de planta.**

- Grupo eléctrico
- Energía eléctrica e iluminación
- Aislamiento y seguridad
- Agua de refrigeración
- Vapor
- Condensados

5. Laboratorio de control de calidad

- Personal y equipo
- Horarios de muestra establecido
- Especificación de productos y materias primas

6. Equipamiento

- Motores eléctricos: Rotaciones y test sin carga.
- Compresores centrífugos: Operaciones preliminares de lubricación, instrumentación y control comprobados.
- Equipamiento a vacío: test de funcionamiento.
- Bombas: Calibración.
- Instrumentación: Soplado con aire limpio, secado, calibrado.

7. Preparaciones de operación

- Disponibilidad de herramientas de mano, escaleras y mangueras.
- Material para el producto acabado disponible: Contenedores, sacos...

8. Seguridad

- EPI (Equipo de protección individual) disponible
- Primeros auxilios y asistencia médica disponible
- Materiales de primeros auxilios disponibles: máquinas, antídotos, camillas...

9. Protección contra incendios

- Procedimientos de extinción contra incendios previsto
- Procedimiento de actuación en caso de incendio, fuga o explosión
- Disponibilidad de elementos contra incendios: extintores, espumas, mangueras...
- Brigada contra incendios organizada y preparada
- 10. Pruebas mecánicas
- Las pruebas mecánicas sólo se realizan la primera vez que se ponga en marcha la planta, siempre y cuando no se haga ninguna modificación en el proceso. Las pruebas se realizan para asegurar el buen estado de los equipos.
- Prueba hidráulica:
Este tipo de prueba consiste en realizar un test sobre la expansión de cañerías y equipos con el fin de comprobar el movimiento libre en su interior. El fluido que se emplea para llevar a cabo este fin sobre las cañerías es aire.
No obstante, para efectuar el test sobre equipos se utiliza agua descalcificada con un trazador.



- Prueba a presión:

Este tipo de pruebas tienen como misión detectar cualquier defecto en la construcción de los tanques y demás equipos. El procedimiento a seguir consiste en introducir aire hasta alcanzar la presión de operación, de modo que si el equipo puede mantener la presión constante el equipo obtendrá un resultado positivo, por otro lado si muestra alguna pérdida y la presión disminuye a lo largo del tiempo el reactor deberá ser reparado o sustituido.

8.3 Puesta en marcha de servicios

Una vez se han alcanzado los anteriores objetivos exitosamente, se procede al llenado de las tuberías, bombas y demás equipos de servicio que deben estar llenos antes de iniciar la actividad final de la planta.

1. Activación del sistema eléctrico

Inicialmente se debe alimentar la planta con energía eléctrica mediante la estación transformadora con la finalidad de iniciar el conjunto de equipos que componen el sistema de producción, de los cuales cabe destacar los chillers y las torres de refrigeración.

Esta operación es llevada a cabo por los trabajadores encargados del mantenimiento eléctrico.

2. Activación del sistema de protección contra incendios

Es de vital importancia comprobar que los hidrantes de la planta funcionan correctamente, por otro lado, las válvulas de control automáticas deben ser operadas manualmente, hasta que el sistema de aire esté disponible completamente.

3. Activación del sistema de aire comprimido

Una vez se activa el sistema de aire comprimido el sistema de control puede trabajar de manera automática, es importante destacar que la puesta en marcha de los equipos que funcionan con válvulas automáticas deben de ser controlados previamente de forma manual y una vez lograda la puesta en marcha ya se puede automatizar.

4. Activación de las torres de descalcificación

Las torres de descalcificación cobran una gran importancia en el sistema ya que mediante ellas se alimentan los chillers, las torres de refrigeración y las calderas entre otras localizaciones del proceso. De no ser descalcificada el agua, esta originaría incrustaciones corrosiones.



5. Puesta en marcha de las torres de refrigeración y chiller

Las torres de refrigeración antes de la puesta en marcha se encuentran vacías de modo que es necesario llenarlas previamente, para ello se extrae el agua de la red pasando a través de los descalcificadores.

No obstante, el agua entrante circula a través de la columna y es conducida por las cañerías a través de los equipos hasta retornar a la torre de refrigeración, de esta manera se da el llenado de todas las partes por las que circula el agua de refrigeración.

El funcionamiento den los chillers es similar al de la torre de refrigeración, el llenado de estos se realiza mediante agua procedente del descalcificador, y se mantiene sin entrar en contacto con el sistema caliente hasta alcanzar la temperatura de operación necesaria. El segundo chiller presenta temperatura de -5 a -15°C por lo que se debe emplear un fluido anticongelante juntamente con el agua en este caso se hace uso de agua glicolada para conseguir rebajar la temperatura por debajo de los 0°C sin llegar a congelarse.

6. Puesta en marcha de la caldera

El procedimiento seguido para la puesta en marcha de una caldera es similar al de la torre de refrigeración. Se debe velar por mantener el volumen de agua necesario para poder abastecer toda la planta y a diferencia de la torre se debe mantener un caudal de combustible constante para poder calentar el fluido calefactor y ambientar las tuberías de paso del vapor. Una vez obtenidos los condensados se recirculan y vuelven a la sala de calderas donde son recogidos en un colector.

7. Activación del sistema de nitrógeno

El nitrógeno es un fluido empleado generalmente para la inertización de equipos, en la planta de producción de Caprolactama se utiliza nitrógeno para realizar *blanketings* en algunos reactores, para inertizar tanques de almacenaje que contienen sustancias muy inflamables y peligrosas y finalmente para transportar partículas sólidas higroscópicas. Por estas razones antes de realizar la puesta en marcha se debe asegurar que se dispone de suficiente nitrógeno como para abastecer todas las necesidades que requiere la planta.

8. Puesta en marcha de tratamientos de gases y líquidos

La planta requiere una zona para el tratamiento de gases y líquidos con un conjunto de equipos capaces de degradar y purificar los contaminantes presentados en ambos estados. Estos equipos deben presentar una correcta funcionalidad desde antes de iniciar la producción.



8.4 Puesta en marcha desde cero

8.4.1 Servicios y tratamiento de residuos (Área-800 Y Área-900)

Todos los servicios tales como el vapor de caldera, las torres de refrigeración, el aire comprimido y el nitrógeno deben estar completamente operativas, cabe destacar que en la puesta en marcha se utiliza una caldera con las mismas características que la que se utiliza una vez la planta está en marcha.

Por otro lugar, el sistema tratamiento de residuos debe estar acondicionado para poder hacer frente a los residuos gaseosos y líquidos no habituales que se producen antes y después de alcanzar el estado estacionario.

8.4.2 Área de almacenamiento de materias primas (A-100)

Los tanques T-101 y T-102 se llenarán de amoniaco mediante un rack de tuberías procedente de la compañía contigua Terquimsa. Durante la puesta en marcha estos tanques presentarán un stock de 2 días. El amoniaco requerido por el sistema se encuentra en condiciones de presión y temperatura totalmente distintas a las de almacenamiento. Por esta razón existe un pequeño sistema de válvulas e intercambiadores que permiten reducir la presión a la vez que refrigeran una pequeña fracción de agua de chiller y de torre, y así se consigue mantener una temperatura de 25°C.

Sobre los tanques T-103, T-104 y T-105, se descargará la ciclohexanona, desde un camión cisterna.

Del mismo modo se procederá al llenado de los tanques que se citan a continuación. El T-106/T-107 serán cargados con el reactivo peróxido de hidrogeno. En el T-109 se almacenará el disolvente orgánico terc-butanol, cabe que destacar que este tanque será cargado de manera anual, ya que este compuesto será totalmente recirculado durante el proceso. Por otro lado los tanques T-110/T-111/T-112 serán abastecidos con óleum mediante camiones cisterna.

Una vez que se llena hasta un cierto volumen, el controlador del tanque recibe la orden de mantener ese nivel. Las normas que se deben seguir para cargar un tanque se muestra a continuación.

El primer paso consiste en verificar que la entrada al tanque está abierta, Seguidamente se comprueban que las válvulas de salida están completamente cerradas y finalmente se puede proceder al llenado del tanque.



8.4.3 Área de reacción y purificación de la oxima (A-200)

Una vez se llenan los tanques de almacenaje, se envía el fluido hasta el tanque de mezcla donde es impulsado mediante una bomba hacia el intercambiador E-201. Este intercambiador recibe el vapor saturado desde una de las calderas, debido a que el vapor de cristalización obtenido en el área 600 no se encuentra aún disponible.

De manera progresiva se difunde el amoniaco en el reactor, de modo que el grado de conversión va aumentando lentamente. De forma paralela la temperatura en el reactor se va incrementando hasta que se alcanza la temperatura deseada, haciendo uso del sistema de refrigeración de caña y serpentín.

El producto obtenido entra en las columnas de rectificación donde los kettle reboiler son alimentados mediante la caldera principal a una temperatura de 160 °C y 6,2 bares de presión, en condiciones de operación el intercambiador K-201 recibe el fluido calefactor desde el tanque de neutralización del área 400. Del mismo modo los condensadores funcionan gracias al agua de torre. En esta misma área se encuentra el intercambiador E-207, el cual será alimentado mediante la caldera secundaria.

8.4.4 Área de reacción y neutralización (A-300 y A-400)

Una vez ya se ha puesto a régimen el área anterior, se pasa al área 300, esta no presenta mucha dificultad de operación ya que la exotermia de los 3 reactores que realizan la transposición de Beckmann, son refrigerados a partir de agua de torre. Y no se tarda demasiado en alcanzar el estado estacionario.

Seguidamente se dirige toda la atención al área 400, esta zona presenta algunas diferencias respecto las otras. En esta área se encuentra el reactor de neutralización R-401, el cual proporciona un gran poder calorífico mediante la reacción de neutralización, gracias a este hecho se puede obtener vapor de agua saturado para calentar el resto de equipos que lo necesiten.

El intercambiador E-401 está conectado a un colector, el cual distribuye el vapor producido a los intercambiadores K-201, E-601 y E-207. El colector porta una entrada de agua descalcificada para asegurar un caudal de líquido y vapor constante.

Una vez se consigue mantener a régimen, se sustituye el vapor de la caldera secundaria que alimenta a los intercambiadores E-207 y K-201 por este nuevo vapor procedente de la neutralización.

A continuación la mezcla es dirigida hacia la columna de stripping C-401. Esta columna necesita estar alimentada con vapor de agua a 100°C, de manera que se



introduce agua de red en el intercambiador E-405 y se alimenta con vapor de caldera. Este proceso se realiza de forma progresiva hasta mantener constantes las temperaturas. Posteriormente pasa por el decantador donde es separada la Caprolactama del sulfato de amonio. El sulfato de amonio se dirige hacia el área 600 y la Caprolactama junto otros componentes al área 500.

8.4.5 Purificación del $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y de la Caprolactama (A-600 y A-500)

El corriente rico en sulfatos procedente del área 400, se envía al área 600, donde el corriente encuentra un intercambiador que está alimentado con el vapor de neutralización del reactor R-401. Seguidamente circula por los cristalizadores, donde se evapora casi toda el agua que porta el corriente, reconcentrando así el sulfato pasa a un separador centrífugo y posteriormente a un secador, con el fin de acabar de eliminar el agua que contiene el cristal. Para calentar el cristalizador se hace uso del vapor de caldera.

Este punto es realmente importante ya que a partir del vapor de cristalización se abastecerá gran parte de la línea de producción. Generalmente se dirige al área 500, donde alimenta a los intercambiadores E-501, E-502, E-503, E-504, E-506, y el intercambiador de precalentamiento, E-201 del área 200. Una vez se logra mantener en estado estacionario el área de purificación se conectan los dos cristalizadores a un colector general, el cual tiene la función de substituir el vapor de caldera, para los intercambiadores citados anteriormente.

El área 500 Presenta torres de rectificación con requerimientos energéticos muy elevados, este es el caso de los intercambiadores K-501 y K-502, que deben realizar un salto térmico desde 89 hasta 235°C. De este modo para conseguir este salto térmico se utiliza un aceite térmico Therminol-55, este es calentado desde los 250 °C hasta los 300°C, mediante la caldera CA-802.

Finalmente va a parar a una escamadora donde es cortada en finas escamas, el buen mantenimiento de este equipo final es realmente importante.

8.4.6 Área de producto acabado

Una vez finalizada la línea de producción, la Caprolactama escamada se introduce en silos con nitrógeno, estos deben estar bien aislados ya que la Caprolactama es muy higroscópica. Finalmente se introducen en bigbags y se almacenan en un lugar ya preparado con anterioridad.



8.5 Puesta en marcha después de una parada

La principal diferencia entre la puesta en marcha y la puesta en marcha desde cero es que todos los equipos ya se encontraban llenos inicialmente, con la ventaja que ya no es necesario el tiempo de espera de llenado de las bombas torres y demás equipos. Además el tiempo para alcanzar el estado estacionario es realmente inferior en comparación a una puesta en marcha desde cero. No obstante, las columnas deben mantenerse a reflujo total.

8.6 Parada de planta

La planta opera 300 días y 65 se encuentra parada, la planta se para una vez al año para evitar tantos costes y perdida en el proceso de arrancada y parada.

Lo primero que se debe hacer para iniciar la parada es detener la entrada de reactivos, de modo que solo se deja entrar nitrógeno al sistema, pero el sistema de intercambio de calor se debe mantener. Este se detendrá cuando la temperatura del nitrógeno en el interior del reactor sea suficiente mente baja.

La salida líquida de estos equipos se almacena en sus correspondientes tanques pulmón y el resto se envía a tratar.

En las columnas de destilación se debe cerrar la entrada de alimentación para evitar que se consuma el tanque pulmón. Finalmente se deja trabajar únicamente al condensador hasta que la temperatura baja lo suficiente y la mezcla interior se envía al tanque pilmón o se envía a tratamiento.