



Universitat Autònoma
de Barcelona

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO



Autores: Sergio Pérez Delfa
Oriol Ruiz Puig
Víctor González Monge
Nelia García Blasco
Xavier Fernández Olivera
Pol Candela Poch

Tutor: Albert Bartrolí

Cerdanyola del Vallès | Junio 2020



Universitat Autònoma
de Barcelona

TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO



**CAPÍTULO 8. PUESTA EN
MARCHA Y OPERACIÓN EN
PLANTA**

Cerdanyola del Vallès | Junio 2020

Capítulo 8. Puesta en marcha y operación en planta

Índice

8.1. Introducción.....	6
8.2. Documentación requerida	6
8.3. Tareas previas a la puesta en marcha	7
8.3.1. Organización.....	7
8.3.2. Inspección	7
8.3.3. Pruebas	7
8.3.4. Mantenimiento	7
8.4. Puesta en marcha: Servicios.....	8
8.5. Puesta en marcha: Tratamiento de residuos.....	8
8.6. Puesta en marcha desde cero	9
8.6.1. Área 100	9
8.6.2. Área 200	11
8.6.3. Área 300 recirculación área 100.....	12
8.6.4. Área 400	14
8.6.5. Área 500	17
8.7. Parada de planta planificada.....	18
8.8. Operación en planta.....	19
8.8.1. Introducción	19
8.8.2. Departamentos y trabajadores.....	19
8.8.3. Operaciones por área	19

8.1. Introducción

Una vez construida la planta con todos sus equipos y documentación será posible empezar la producción de producción de óxido de etileno. La puesta en marcha para un proceso en continuo puede ser complicada debido a la necesidad de hacer que todos los equipos alcancen el estado estacionario.

La puesta en marcha no solo hace referencia a la que se realiza cuando se inicia la producción por primera vez, sino también a las realizadas debido a una parada de emergencia y por tareas de mantenimiento. Dependiendo de la razón por la cual se realiza la puesta en marcha esta puede alcanzar una complejidad elevada.

Antes de realizar la puesta en marcha existen una serie de protocolos y pasos para minimizar las posibles complicaciones que podrían surgir.

8.2. Documentación requerida

Antes de la primera puesta en marcha hacen falta una serie de documentos de los proveedores para asegurarse del correcto funcionamiento de los equipos.

Los documentos oficiales necesarios son los siguientes:

- Certificados de materiales, los cuales son documentos firmados por la empresa que acreditan que el material aportado por la empresa corresponde a las especificaciones deseadas
- DQ, IQ y OQ para equipos de alta complejidad y operación.
 - DQ es un protocolo de verificación que asegura que el equipo cumple los requisitos y normas de seguridad legales además de las especificaciones definidas por el cliente.
 - IQ certifica que todos los aspectos claves de los equipos y de la instalación cumplen los requisitos y normas de seguridad indicados en el DQ.
 - OQ verifica que el equipo opera de la manera estipulada. También indica los valores óptimos de sus variables de control.
- Manuales de equipos, accesorios e instrumentos, los cuales incluyen información de cómo realizar la puesta en marcha, mantenimiento, parada y la operación del equipo documentado.

8.3. Tareas previas a la puesta en marcha

Como se ha mencionado antes existen varias tareas para evitar complicaciones una vez se inicie la puesta en marcha. Estas se pueden dividir en cuatro:

8.3.1. Organización

- Organización del personal y de los turnos.
- Comprobación de la disponibilidad de los proveedores.
- Comprobación del stock de recambios disponibles en el almacén de planta.
- Comprobar que los equipos, instrumentos y accesorios corresponden a la documentación proporcionada.
- Comprobación y actualización de protocolos.

8.3.2. Inspección

- Equipos.
- Tuberías y accesorios.
- Instrumentación y software.
- Cableado.
- Aislantes.
- Estructuras.
- Medidas anticorrosivas.
- Señalización.
- Medidas contra incendios.
- Materiales de protección personal.

8.3.3. Pruebas

- Pruebas de presión en equipos y tuberías.
- Pruebas hidráulicas.
- Pruebas del sistema eléctrico de planta.
- Pruebas de estanqueidad.
- Pruebas de paso y continuidad.
- Pruebas de instrumentación y control.

8.3.4. Mantenimiento

- Limpieza de equipos.
- Calibración de la instrumentación.
- Substitución de piezas y equipos en mal estado.

8.4. Puesta en marcha: Servicios

Antes de realizar el proceso de puesta en marcha en cada zona es necesario habilitar los servicios de planta. Sin estos servicios la planta no operará de manera correcta, por lo que habrá que asegurarse de su correcto funcionamiento. Estos servicios son:

- Electricidad, necesaria para el funcionamiento y control de los equipos.
- Aire comprimido, necesario para el accionamiento de las válvulas.
- Agua de red, necesaria para varias acciones en la planta.
- Nitrógeno, necesario para la inertización y para el proceso.
- Caldera de aceite térmico, para calentar el aceite hasta el nivel deseado.
- Torres de refrigeración, para enfriar el agua al nivel necesario.

Hay equipos cuya instalación y mantenimiento son realizados por empresas externas, como el suministro de nitrógeno.

8.5. Puesta en marcha: Tratamiento de residuos

Debido a que es posible que durante la puesta en marcha se empiecen a generar residuos será necesario que las áreas de tratamiento de residuos sean las primeras en funcionar.

8.6. Puesta en marcha desde cero

La puesta en marcha desde cero es aquella que se realiza para la primera producción de la empresa. Esta puesta en marcha es muy parecida a las que se realizaran después de las paradas de planta, la diferencia siendo que puede que haya ya algún tanque lleno ya, por lo cual el protocolo a seguir también se podrá utilizar en estas.

La puesta en marcha se divide en varias secciones, tantas como zonas de producción tiene la planta. Estas son:

- Área 100: Entrada y mezcla de componentes.
- Área 200: Reacción y separación.
- Área 300: Limpieza de CO₂.
- Área 400: Purificación.
- Área 500: Almacenaje.

8.6.1. Área 100

En esta área es donde entra el etileno y oxígeno de la empresa cercana y se mezclan con el nitrógeno y con el fluido de recirculado. Para este primer paso no se tendrá en cuenta la recirculación. En **Figura 1** la se puede observar el diagrama de esta zona.

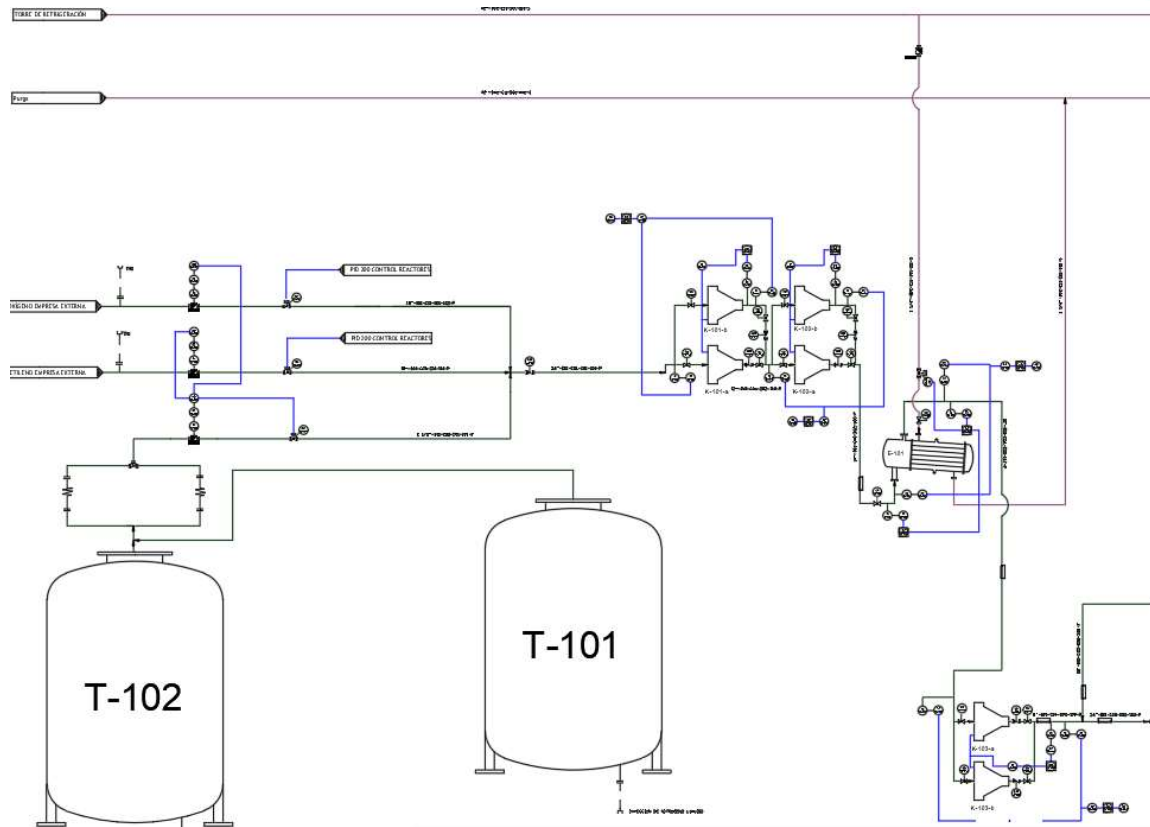


Figura 1. Diagrama área 100.

Los pasos que seguir serían los siguientes:

- 1) Se activan los controladores de caudal y se abren las válvulas FV-101, FV-102 y FV-103 para empezar a circular etileno, oxígeno y nitrógeno para mezclarlos.
- 2) Se activan los controladores de los compresores y del intercambiador. Se abre la válvula FV-104 para dejar pasar el agua de refrigeración al intercambiador
- 3) Puesto a que hará falta comprimir el fluido se accionan los compresores K-101 y K-102, todo controlando la presión y temperatura.
- 4) Hecho esto se enfría la mezcla con el intercambiador E-101 y se alcanza la presión de 20 bares con el compresor K-103. A partir de aquí el fluido llegará a la zona 200.

8.6.2. Área 200

En esta área se encuentran los reactores R-201 y R-202 donde se produce la reacción de producción de óxido de etileno, la torre de absorción A-201 donde se absorbe el óxido de etileno y la turbina ST-201 que aprovecha el calor generado por el reactor. En la **Figura 2** se puede observar el diagrama de esta zona.

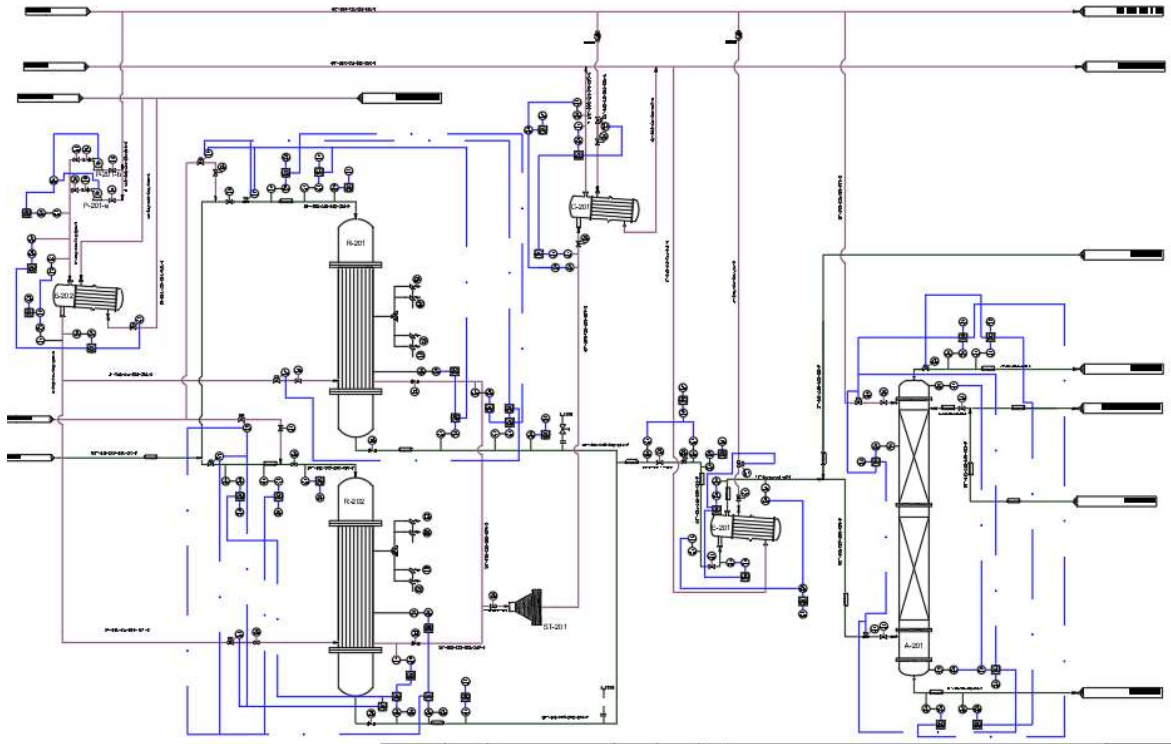


Figura 2. Diagrama área 200.

Los pasos que seguir serían los siguientes:

- 1) En la torre de absorción A-201 circulará agua para la absorción de óxido de etileno con la salida de gases cerrada.
- 2) Se activa los controladores y los equipos de la bomba P-201 y del intercambiador E-202. Se abre la válvula para dejar circular el caudal calefactor. Se prepara el fluido refrigerante del reactor.
- 3) Se abren las válvulas de regulación de caudal de refrigeración FV-201 y FV-204 de los reactores.
- 4) Se abre la válvula FV-202 y FV-205 para introducir nitrógeno dentro de los reactores para la inertización.

- 5) Hecho esto se activan los controladores del reactor y se abren las válvulas FV-203 y FV-206 para introducir la mezcla de reactivos dentro de los reactores, todo controlando la temperatura y presión mientras se extrae el nitrógeno introducido previamente. Se comprueba que la composición, presión y temperatura sean las correctas.
- 6) Se activan los controladores del expansor EE-201, del intercambiador E-201 y del condensador C-201. Se abren las válvulas FV-207 y FV-212 para dejar pasar el agua de refrigeración a los intercambiadores.
- 7) El fluido circulara por el expansor EE-201 y el intercambiador E-201 para obtener la presión y temperatura adecuados hasta la torre de absorción A-201.
- 8) Se activan los controladores de la torre A-201 y se empieza a introducir el producto. Una vez alcanzadas las condiciones de trabajo se abre la válvula de salida de gas FV-209.
- 9) El agua de refrigeración utilizada en los reactores es enviada hacia la turbina.
- 10) El agua salé de la turbina y entra al condensador C-201, donde se condensa para ser circulada con el reto del agua de servicio.

8.6.3. Área 300 recirculación área 100

En esta área es donde se tratan los reactivos no absorbidos con exceso de CO₂ con aminas para poder recircularlos al final del área 100. En la **Figura 3** se puede observar el diagrama la zona 300.

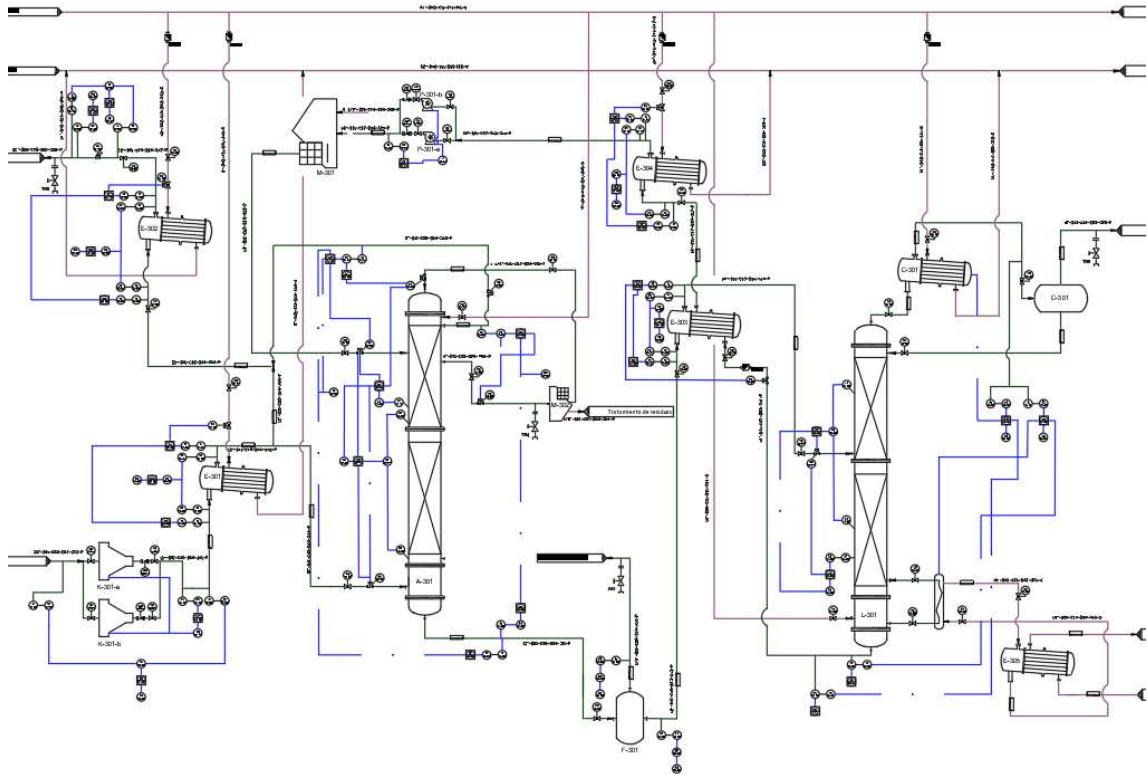


Figura 3. Diagrama área 300.

Los pasos que seguirían serían los siguientes:

- 1) En la torre de absorción A-301 circulará la monoetanolamina y el agua para la absorción de CO₂ con la salida de gases cerrada.
- 2) Se activan los controladores del compresor K-301 y el intercambiador E-301. Se abre la válvula FV-301 para dejar pasar el agua de refrigeración al intercambiador.
- 3) El fluido circulará por el compresor K-301 y el intercambiador E-301 para alcanzar la temperatura y presión de trabajo. Solo el 20% del fluido será dirigido a la torre de absorción A-301
- 4) Una vez el fluido llega a la torre de absorción A-301 se activan los controladores de temperatura y presión. La salida de gases no se abrirá hasta que se alcancen las condiciones de trabajo.
- 5) Se activan los controladores del separador F-301 y del intercambiador E-303. Se circula el fluido hasta la torre de destilación L-301.

- 6) Una vez en la torre de destilación L-301 se activarán los controladores y se trabajará en reflujo total hasta llegar al estado estacionario. Hecho esto se establece la relación de reflujo deseada. Una parte del fluido circulará a la zona de tratamiento de residuos y la otra parte circulará hacia el intercambiador E-303 para enfriarlo.
- 7) Se activan los controladores de los intercambiadores E-303 y E-304, y el de la bomba P-301. Se abrirá la válvula FV-310 para dejar entrar el fluido de refrigeración al intercambiador E-304 y se recirculará el fluido de vuelta al absorbedor A-301, reponiendo la amina que se haya perdido.
- 8) El fluido que sale por la parte alta de la torre A-301 se junta con el 80% del fluido no tratado. Se activan los controladores de los equipos E-302 y EE-301 y se abre la válvula FV-302 para dejar entrar el fluido de refrigeración al intercambiador E-302.
- 9) Se circula el fluido al final del área 100 pasando por los equipos E-302 y EE-301.
- 10) Se ajustan los caudales de entrada del área 100 para conseguir la composición y el caudal correctos.

8.6.4. Área 400

En el área 400 es donde se aumenta la concentración del óxido de etileno mediante el uso del stripper S-401, la torre de absorción A-401 y el destilado L-401. En la **Figura 4** se puede observar el diagrama de esta zona.

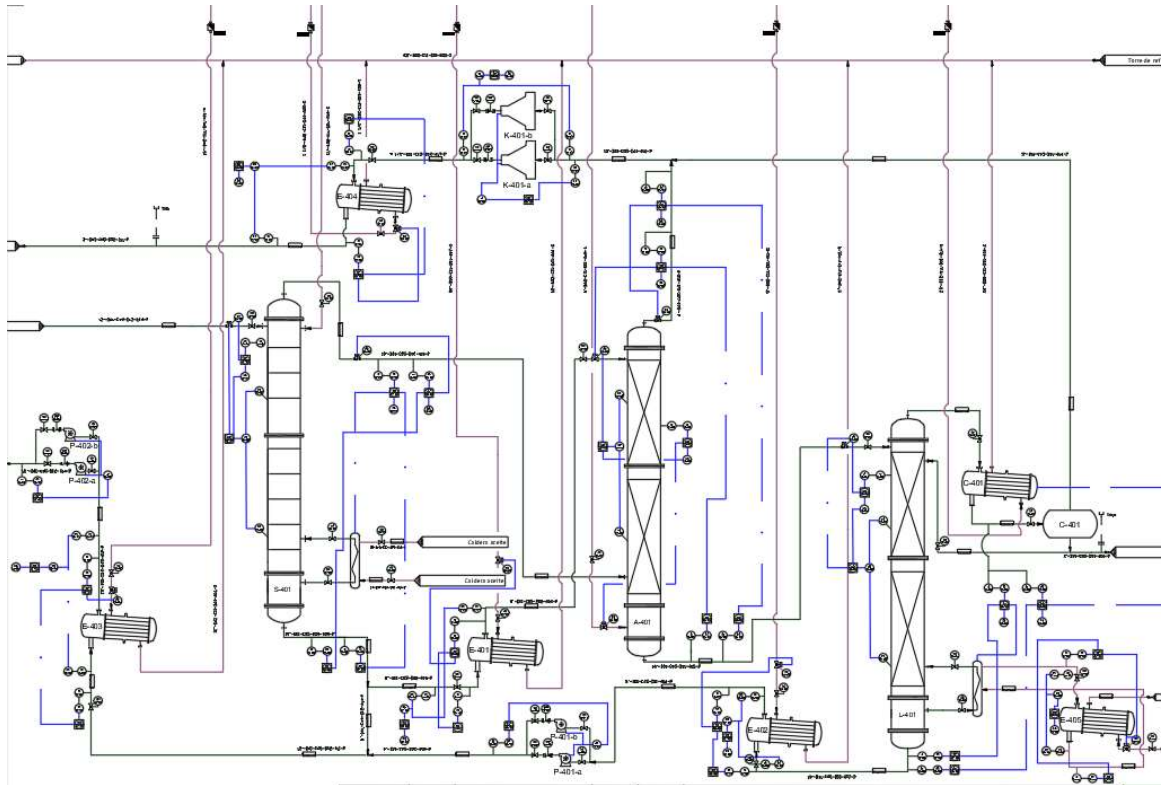


Figura 4. Diagrama del área 400.

- 1) Se activan los controladores del stripper S-401.
- 2) Cuando el fluido llega al S-401 se trabajará en reflujo total hasta llegar al estado estacionario. Hecho esto se establece la relación de reflujo deseada.
- 3) Se activan los controladores de los intercambiadores E-401 y E-403 y de la bomba P-402. Se abren las válvulas FV-407 y FV-409 para dejar circular el fluido de refrigeración por los intercambiadores.
- 4) Se activan los controladores de la torre de absorción A-401.
- 5) Parte del fluido que sale por la parte baja del stripper S-401 se circula pasando por el intercambiador E-403 para enfriarlo y por la bomba P-402 para poder recircularlo a la parte alta de la columna de absorción A-201.
- 6) Se circula el resto del fluido de la parte baja del equipo S-401 hacia la entrada alta del absorbedor A-401 con la válvula de salida de líquido cerrada, pasando antes por el intercambiador E-401 para calentar el fluido.

- 7) Se activan los controladores del compresor K-401 y del intercambiador E-404. Se abrirá la válvula VA-410 para dejar pasar al fluido de refrigeración por el intercambiador.
- 8) El fluido de salida de gas circula por el compresor K-401 y el intercambiador E-404 para ser recirculado a la entrada de baja de la torre de absorción A-201. Puesto a que este fluido es principalmente agua aún no se ajustan los caudales de entrada del área 100.
- 9) Una vez está circulando el fluido en la entrada alta se abrirá la válvula FV-403 para dejar entrar el fluido de salida de alta del stripper S-401. Una vez alcanzados las condiciones de trabajo se abrirá la salida de líquido.
- 10) Se ajusta el caudal de entrada del área 100 para obtener la composición adecuada debido a la recirculación.
- 11) Se activan los controladores de la torre de destilación L-401.
- 12) Se trabajará en reflujo total hasta llegar al estado estacionario. Hecho esto se establece la relación de reflujo deseada y se abrirán las válvulas de salida.
- 13) Se activan los controladores de la bomba P-401 y del intercambiador E-402. Se abrirá la válvula FV-408 para dejar pasar al fluido de refrigeración por el intercambiador.
- 14) El fluido de salida de la parte baja del destilador L-401 circulará por el intercambiador E-402 y la bomba P-401 y se juntará con el fluido de salida del equipo S-401 para ser recirculado al equipo A-201.
- 15) El gas de salida de alta del destilador L-401 se junta con el gas de salida del equipo A-401 para ser recirculado al equipo A-201.
- 16) Una vez la recirculación ha sido completada se abre la válvula VM-415 para dejar salir la parte líquida de la zona alta de la columna de destilación L-401. Se comprueba que la composición sea correcta y se envía al área de almacenamiento, 500.

8.6.5. Área 500

En esta área es donde se encuentran los tanques de almacenaje y donde se almacena el óxido de etileno. En la **Figura 5** se puede observar el diagrama del T-501.

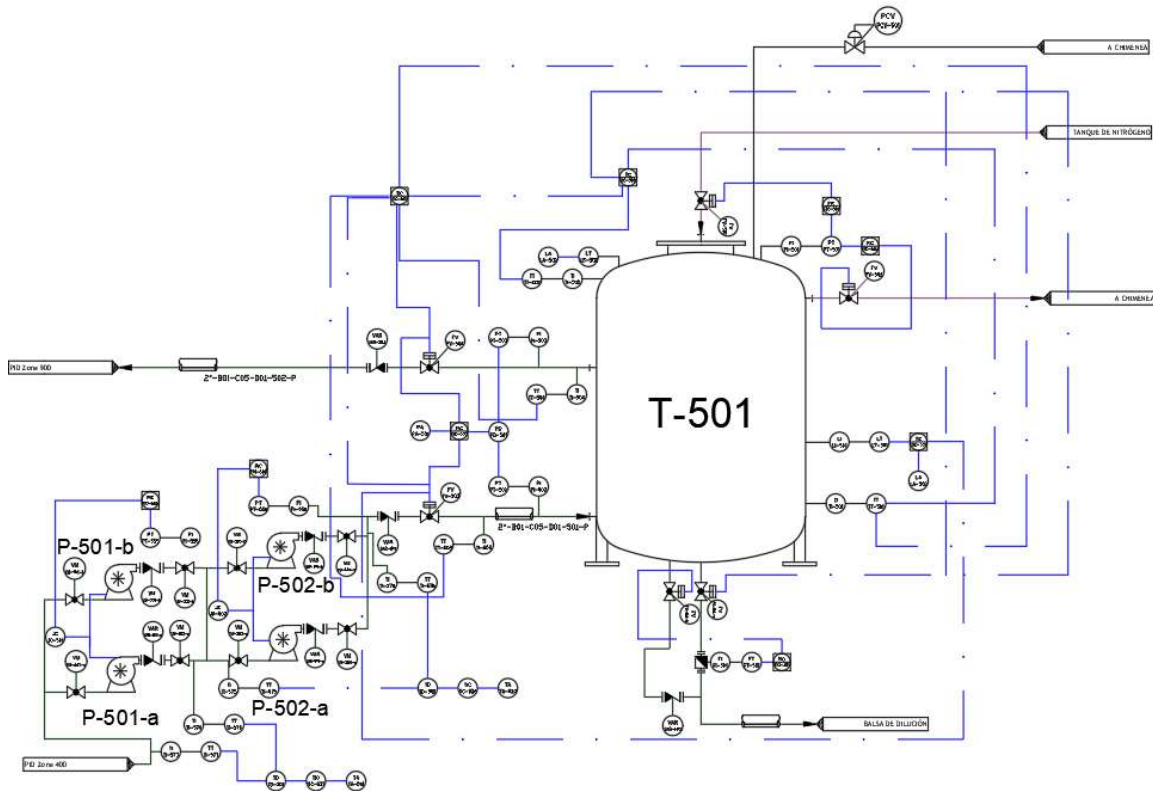


Figura 5. Diagrama del tanque T-501.

Los pasos que seguir serían los siguientes:

- 1) Se activan los controladores de las bombas y tanques.
- 2) Se llenan los tanques de nitrógeno hasta alcanzar la presión necesaria.
- 3) Se introduce el óxido de etileno a través de las bombas en los tanques, extrayendo lentamente el nitrógeno hasta alcanzar el nivel máximo de etileno permitido.

8.7. Parada de planta planificada

La planta está diseñada para funcionar 320 días al año, con una parada de mantenimiento entre los meses de julio y agosto. La correcta planificación de esta parada es necesaria para minimizar las purgas que se realizarán además de evitar el daño innecesario a los equipos de planta.

Puesto que solo hay una parada al año es importante que las tareas de mantenimiento estén bien planificadas y se tenga una lista con los equipos a reparar.

Para realizar la parada se disminuirá de manera gradual el caudal de reactivos recibidos por la empresa externa, obteniendo cada vez menos producto. Puesto a que la planta no está diseñada para trabajar con caudales bajos habrá que realizar unos determinados ajustes.

Uno de estos ajustes es que cuando el caudal se haya reducido a la mitad se pasará a utilizar un solo reactor para imitar lo máximo posible las condiciones de trabajo normales.

Otro posible ajuste sería aumentar la relación de reflujo del stripper y de los destiladores para compensar por la menor cantidad de producto y así asegurar su separación y controlar el agua proporcionada a los absorbedores.

Una vez se alcanzan unos niveles donde ya no es posible la operación en planta esta se detendrá. Las áreas de tratamiento de residuos seguirán en funcionamiento porque existe la posibilidad de que se produzcan fluidos residuales.

Con la planta parada se purgarán los diferentes equipos y tuberías del material que tengan restantes y se inyectará nitrógeno para su inertización. Una vez se ha realizado la inertización ya se pueden realizar las tareas de mantenimiento.

8.8. Operación en planta

8.8.1. Introducción

Una vez realizada la puesta en marcha y se está trabajando en estado estacionario se podrá considerar que la planta se encuentra en la fase de operación en continuo. Debido a que la planta trabaja en continuo y esta mayoritariamente automatizada no hará falta demasiada intervención humana. No obstante existen tareas que requieren de personal humano, las cuales las más importantes son las siguientes:

- Supervisión del sistema de control mediante SCADA.
- Identificar cualquier anomalía no detectada por el sistema de control.
- Operaciones de reparación y mantenimiento.
- Análisis de muestras.
- Realización de operaciones de carga y descarga.

8.8.2. Departamentos y trabajadores

Este apartado es cubierto en “*Capítulo 1. Especificaciones del Proyecto*”.

8.8.3. Operaciones por área

En este apartado se explicarán las diferentes tareas que se realizarán en las diferentes zonas de la planta. Cada área del proceso de producción contará con válvulas manuales e indicadores para también poder ser monitorizados y controlados in situ, aparte de para su mantenimiento.

Área 100

En esta área se encuentra la entrada de reactivos y la recirculación proveniente del área 300.

Los reactivos vendrán directamente de la empresa adyacente, por lo que no hará falta realizar ninguna carga de reactivos. Estos son comprimidos y preparados a la temperatura ideal de trabajo mediante el uso de tres compresores y un intercambiador y enviados al área 200.

Para asegurarse del correcto funcionamiento se contará con varias medidas de control en los compresores e intercambiadores situados en el área, con la información de los diferentes equipos, como el caudal, la temperatura y la presión, siendo monitorizada por varios trabajadores gracias al sistema SCADA.

Esta parte de la planta también contará con diferentes operarios para realizar las correcciones que no cubra el sistema de control y vigilar el estado de los equipos. En caso de alguno de los equipos necesitar mantenimiento se creará una incidencia y se notificará al personal de mantenimiento necesario.

Los compresores doblados, los intercambiadores y las válvulas son comprobados periódicamente. Se tomarán muestras de manera regular para asegurarse de la pureza de los reactivos.

Área 200

En esta área es donde se produce la reacción de producción de óxido de etileno. Contará con dos reactores tubulares funcionando en paralelo con un expansor y un intercambiador para preparar el fluido para entrar a la torre de absorción, donde se separará el óxido de etileno del CO₂. También se contará con una bomba e intercambiador para preparar el fluido refrigerante, una turbina para aprovechar el calor generado por el reactor y un condensador para poder enviar el fluido a la torre de refrigeración.

Los reactores contarán con un control de temperatura, presión y composición para asegurarse de la calidad del producto y evitar los daños en el equipo y la planta. Aparte del control de composición también se tomarán muestras de manera periódica. Los otros equipos de planta también cuentan con el adecuado nivel de control, la información de estos enviada al SCADA del área.

Esta parte de la planta también contará con diferentes operarios para realizar las correcciones que no cubra el sistema de control y vigilar el estado de los equipos. En caso de alguno de los equipos necesitar mantenimiento se creará una incidencia y se notificará al personal de mantenimiento necesario.

Los compresores doblados, los intercambiadores, la torre de absorción, las válvulas y en especialmente los reactores son comprobados periódicamente.

Área 300

En esta área es donde se absorbe el CO₂ mediante aminas para poder recircular el resto al final del área 100. Esta área contará con un compresor para comprimir el fluido, varios intercambiadores para obtener la temperatura de trabajo ideal, un absorbedor para absorber el CO₂, una torre de separación para separar la fase gas de la líquida y enviar la gaseosa al área de tratamiento de gases, un destilador para separar las aminas del CO₂, una bomba para impulsar las aminas de vuelta a la torre de absorción y un expansor para bajar la presión del caudal recirculado al área 100.

Puesto a que es imposible evitar la purga de una pequeña parte de las aminas y del agua se tendrá que vigilar con atención el caudal de aminas y de agua, reponiéndolos cuando sea necesario.

Al igual que en las áreas anteriores se contará con un sistema de control en los diferentes equipos y un sistema SCADA para monitorizar los datos obtenidos.

Esta parte de la planta también contará con diferentes operarios para realizar las correcciones que no cubra el sistema de control y vigilar el estado de los equipos. En caso de alguno de los equipos necesitar mantenimiento se creará una incidencia y se notificará al personal de mantenimiento necesario.

Los compresores doblados, los intercambiadores, las válvulas y el absorbedor y destilador son comprobados periódicamente. Se tomarán muestras de manera regular para asegurarse de la composición de los corrientes.

Área 400

En esta área es donde se purifica el producto para obtener óxido de etileno de alta pureza. Esta área contará con varias bombas e intercambiadores, un stripper para separar el producto del agua, un absorbedor para separar el óxido de etileno de otros posibles elementos restantes y un destilador para separar y purificar el óxido de etileno. El agua separada es recirculada al absorbedor del área 200, igual que los otros elementos separados.

Se realizarán tomas de muestra con regularidad en la salida del destilador para asegurarse de la pureza del producto.

Al igual que en las áreas anteriores se contará con un sistema de control en los diferentes equipos y un sistema SCADA para monitorizar los datos obtenidos.

Esta parte de la planta también contará con diferentes operarios para realizar las correcciones que no cubra el sistema de control y vigilar el estado de los equipos. En caso de alguno de los equipos necesitar mantenimiento se creará una incidencia y se notificará al personal de mantenimiento necesario.

Se realizarán comprobaciones periódicas de los diferentes equipos así como tomas de muestras periódicas para asegurarse de su correcto funcionamiento.

Área 500

En esta área es donde se almacena el óxido de etileno. Está área cuenta con dos bombas para impulsar el óxido de etileno y 18 tanques de almacenamiento.

Debido a la peligrosidad del óxido de etileno se contará con un control elevado de presión, nivel y temperatura en el tanque para reducir el riesgo al mínimo. Estos controles son necesarios debido al riesgo de que se empiece una reacción de polimerización y debido al calor generado se produzca un “Runaway” y se produzca una explosión. Por ese motivo las bombas de esta zona contarán con un control de temperatura para avisar si hay un incremento de temperatura mayor de 10°C.

Los datos de los equipos son recogidos y monitorizados en el sistema SCADA.

Los operarios de zona comprobarán con regularidad el estado de las bombas y los tanques, notificando las incidencias al personal de mantenimiento.

Área 900

En esta área es donde se realiza la carga de óxido de etileno a los diferentes transportes. Esta zona contará con dos bombas para impulsar el óxido de etileno y con una báscula para pesar a los camiones.

La báscula contará con un sistema de control para detener la carga cuando se alcance la cantidad de óxido de etileno máxima.

La carga siempre se realizará con personal de la planta supervisando para asegurarse de que se sigan todas las normas de seguridad y de que se realiza de manera correcta.

Los datos de los equipos serán recogidos en el SCADA.

Se comprobará de manera periódica el estado de las bombas, las válvulas, la báscula y el de la manguera.

Área 600

En el área de servicios se incluirá el suministro de agua, las torres de refrigeración, la caldera de aceite, el servicio de aire comprimido y el nitrógeno. Cada uno de estos equipos necesitará un mantenimiento específico. Será importante hacer inspecciones al os equipos de manera regular debido a la importancia del funcionamiento de esta área.

Área 700

En esta área se tratan las aguas residuales que se hayan producido en el proceso. El correcto funcionamiento de esta zona es primordial para cumplir con las restricciones medioambientales, por lo que se realizaran inspecciones periódicas.