

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLORURO DE VINILO

Trabajo Fin de Grado

Alba Ramírez

Eric López

Martin Moreno

Miguel Molina

Pol Serrano

Tutor: Marc Peris



VIMEPAM

UNAB

Universitat Autònoma de Barcelona

CAPÍTULO 8

Puesta en Marcha

Trabajo Fin de Grado

Alba Ramírez

Eric López

Martin Moreno

Miguel Molina

Pol Serrano

Tutor: Marc Peris



VIMEPAM

UNAB

Universitat Autònoma de Barcelona

ÍNDICE

8.1. Introducción.....	2
8.2. Acciones previas a la puesta en marcha de planta	3
8.2.1. Documentación previa a la primera puesta en marcha	3
8.2.1.1. Certificados de materiales.....	3
8.2.1.2. DQ, IQ y OQ.....	3
8.2.1.3. Manuales de equipos, accesorios e instrumentos	4
8.2.2. Tareas previas a la puesta en marcha	4
8.2.3. Servicios.....	6
8.2.4. Equipos	6
8.2.4.1. Pruebas hidráulicas y de presión.....	6
8.2.4.2. Puesta a punto de bombas y compresores	7
8.2.5. Seguridad	7
8.3. Puesta en marcha desde cero	8
8.3.1. Puesta en marcha de los servicios	11
8.3.2. Puesta en marcha de los tanques de reactivos (Área 100)	14
8.3.2.1. Tanque de acetileno	14
8.3.2.2. Tanque de cloruro de hidrogeno gas	15
8.3.2.3. Tanque de almacenaje de 1,2-dicloroetano y HCl de baja concentración y TP-401.....	15
8.3.2.4. Tanque de almacenaje de cloruro de vinilo	16
8.3.2.5. Tanque de almacenaje de DFM y nitrógeno	17
8.3.3. Puesta en marcha tratamiento de gases (Área 500)	18
8.3.4. Puesta en marcha de los reactores catalíticos R-201/2/3 (Área 200).....	19
8.3.5. Puesta en marcha columna de destilación CD-301 (Área 300).....	20
8.3.6. Puesta en marcha columna destilación CD-401 (Área 400).....	21
8.3.7. Puesta en marcha de la columna flash CF-401 (Área 400)	22
8.4. Parada de planta planificada.....	23
8.5. Parada de emergencia de la planta.....	24

8.1. Introducción

Una vez finalizada la obra civil de la planta y concluida la instalación de todos los equipos y conducciones, es momento de iniciar la actividad en la planta. Sin embargo, previamente a iniciar la producción se debe realizar la puesta en marcha de la planta por primera vez, de esta manera, se comprueba el correcto funcionamiento de todo.

Para llevar a cabo la puesta en marcha de la planta se deben realizar una serie de pasos que deben seguir un protocolo, de esta manera, se asegura una forma correcta, fiable y siempre de la misma forma, aunque se den cambios en el personal de la planta que lo lleva a cabo.

Antes de poner en marcha la planta se establecen unas tareas previas, que consisten básicamente en la realización de ciertas comprobaciones para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y servicios de la planta.

Una vez se realizan las tareas anteriormente comentadas, se puede proceder a la puesta en marcha de la planta. Tal y como se explica en los apartados posteriores, en primer lugar, deben ponerse en marcha los equipos, seguidamente del área de tratamiento de gases (ya que desde el principio puede darse el caso de que haya venteos que tratar), y todo seguido, el resto de equipos en el orden establecido.

Cabe destacar que no todas las puestas en marchas son iguales. Existen tres tipos diferentes de puesta en marcha: desde cero, desde una parada planificada y aquella que parte de una parada de emergencia.

Las dos primeras, puesta en marcha desde cero y una parada planificada, comparten los mismos pasos a excepción de que la primera requiere de unos pasos adicionales. El hecho de que sean parecidas es porque la situación de partida de la planta es muy similar, es decir, con la planta parada y dispuesta a operar. Por lo tanto, los protocolos explicados en este apartado serán aplicable a cualquier de ellas.

En cambio, la puesta en marcha después de una parada de emergencia es mucho más compleja, ya que el punto de partida es muy diferente en función de la razón de la parada. Así pues, esta puesta en marcha no es planificada y, por tanto, si se diera el caso, se dejará en manos de los ingenieros de planta.

8.2. Acciones previas a la puesta en marcha de planta

Antes de la puesta en marcha se deben realizar una lista de tareas para verificar que todo está preparado, para evitar complicaciones durante la puesta en marcha. Tal y como se ha mencionado en el apartado 8.1, en la puesta en marcha desde cero existen consideraciones adicionales. Todas ellas, se explican en los siguientes apartados.

8.2.1. Documentación previa a la primera puesta en marcha

En la primera puesta en marcha se debe tener en cuenta que los equipos adquiridos están mínimamente probados por los proveedores. Aun así, para asegurarse y tener mayor seguridad, se requiere una demostración mediante documentos oficiales.

Los documentos oficiales que se van a exigir por parte de los proveedores son los siguientes:

- Certificados de materiales
- DQ, IQ y OQ
- Manuales de equipos, accesorios e instrumentos.

Cada uno de estos puntos se explica a continuación:

8.2.1.1. Certificados de materiales

Un certificado de material es un documento firmado por la empresa proveedora que acredita que el material expedido por ésta, corresponde con las especificaciones acordadas y, certifica que la composición del material es la correcta.

Para el diseño de la planta se comprar muchos equipos y accesorios de materiales de alto valor, como el acero inoxidable 316 L o el Hastelloy. Por este motivo, se debe comprobar que se han recibido todos los certificados de materiales, ya que al existir productos incompatibles con diferentes materiales o con altas temperaturas/presiones, se asegura que no habrá problemas.

8.2.1.2. DQ, IQ y OQ

Para los equipos de producción y servicios, al ser equipos de alta complejidad y operación, se deben recibir los documentos DQ, IQ y OQ de los proveedores. Estos, se explican a continuación:

- DQ: Protocolo de verificación que asegura que el diseño propuesto por el fabricante de los equipos es conforme a los requisitos y normas de seguridad legales, además de cumplir con los requisitos operativos definidos por el cliente y con el propósito para el cual se ha diseñado.

- IQ: La cualificación de instalación, es el documento que certifica que todos los aspectos claves del equipo y los necesarios para la instalación, están conforme a los requisitos y normas de seguridad legales indicados en la cualificación de diseño (DQ).
- OQ: Verificación documentada de que el equipo o maquinaria involucrada en el proceso de estudio opera como se definió en el diseño. Además, determina los valores óptimos de operación para cada una de sus variables de control.

Cabe destacar que los protocolos, IQ y OQ, se deben actualizar cada vez que se modifique o haya un cambio importante en el equipo.

8.2.1.3. Manuales de equipos, accesorios e instrumentos

Aparte de la documentación mencionada en los puntos anteriores, también se debe tener guardada y disponible otra documentación de vital importancia para la puesta en marcha, mantenimiento y operación de equipos, como son los manuales de mantenimiento y operación de equipos, accesorios e instrumentos.

Estos manuales son muy importantes ya que explican y exponen paso a paso como realizar dichos mantenimientos, paradas, puestas en marcha, reparaciones y consideraciones que se deben tener en cuenta para cada equipo.

8.2.2. Tareas previas a la puesta en marcha

Para realizar la puesta en marcha, por primera vez o ya sea después de una parada, se deben completar una serie de pasos para llegar a conseguir un estado estacionario de la forma más segura, rápida y eficientemente posible. Las consideraciones y tareas que se deben realizar antes de una puesta en marcha son las siguientes:

1. Organización y comprobaciones

- Organización del personal y los turnos.
- Comprobación de la disponibilidad de los proveedores, tanto de materias primas como de servicios.
- Comprobación del stock de recambios disponibles en el almacén de la planta: Al ser una planta en continuo, los recambios críticos se deben tener en stock.
- Comprobación de que los equipos, accesorios e instrumentos corresponden a la documentación proporcionada.
- Comprobación de los protocolos.

2. Inspecciones

- Equipos y tanques: inspección visual del interior de los recipientes.
- Tuberías: inspección visual, comprobar el etiquetado.
- Accesorios: inspección visual, comprobar etiquetado.
- Instrumentación y elementos de software: comprobar si la configuración para realizar las tareas de puesta en marcha es la deseada.
- Cableado: comprobación de la existencia de señal e inspección visual.
- Aislante: inspección visual.
- Estructuras: inspección visual.
- Sistema contraincendios: comprobación del nivel de la piscina.
- Comprobación del estado general de la planta.

3. Pruebas

- Pruebas de presión en equipos y tuberías.
- Pruebas de estanqueidad.
- Pruebas de paso y continuidad.
- Motores eléctricos: funcionamiento y rotación correcta.
- Sistema contraincendios: revisión de fugas, comprobación de funcionamiento de la estación de bombeo.

4. Mantenimiento

- Calibración de la instrumentación.
- Sustitución de piezas, equipos, tuberías, accesorios, etc.
- Limpieza de equipos
- Disposición del taller con las herramientas correspondientes disponibles.

8.2.3. Servicios

Los servicios representan una parte fundamental de la planta química, ya que son totalmente necesarios para mantener en todo momento la producción. Por lo tanto, antes de la puesta en marcha existen ciertas tareas que se deben realizar para asegurar su correcto funcionamiento. Estas, son las siguientes:

- Asegurar el mantenimiento en general.
- Asegurar la disposición de energía eléctrica e iluminación.
- Realizar un test de continuidad en el suministro.
- Configurar los interruptores en las subestaciones eléctricas.
- Aislar y purgar líneas.
- Comprobar el nitrógeno necesario para la intertización de equipos.
- Identificar y proporcionar posibles advertencias.
- Disponer del combustible adecuado.

Se destaca el hecho de que normalmente, los equipos de servicios son fabricados por empresas externas, por lo tanto, es preferible recurrir a sus equipos técnicos para el mantenimiento de éstas.

8.2.4. Equipos

8.2.4.1. Pruebas hidráulicas y de presión

Las pruebas hidráulicas consisten en la introducción de una mezcla de agua y un trazador (normalmente pigmento) por todo el circuito de tuberías y equipos de la planta. Una vez introducido, se analiza su movimiento a lo largo de la planta. En caso de que hubiese presencia de fugas, poros o fallos en las soldaduras, se localizarían con facilidad gracias al trazador usado. Además, esta prueba también sirve a su vez para comprobar la resistencia mecánica de los equipos durante la operación.

Estas pruebas se realizarán tan solo antes de la primera puesta en marcha, es decir, tras la construcción de la planta y, así comprobar que todo está bien. Posteriormente, no se realizarán más pruebas hidráulicas, ya que el agua no es compatible con el proceso de producción del cloruro de vinilo. Por lo tanto, después de esta prueba se deberá purgar totalmente el agua y, a continuación, secar el circuito con aire para que no quede resto alguno que puede perjudicar el proceso.

Por lo que respecta a las pruebas de presión, consisten básicamente en la introducción de un gas a presión, para así comprobar que los equipos resisten la presión máxima de operación para la que

han sido diseñados. Además, estas pruebas también permiten comprobar a su vez la estanqueidad de los equipos, válvulas y tubería: si la presión se mantiene, significa que el sistema es estanco.

Por lo tanto, en las paradas planificadas tan solo se realizarán pruebas de presión.

8.2.4.2. Puesta a punto de bombas y compresores

En el caso de las bombas, es importante que las bombas centrífugas (que son las utilizadas en esta planta), a diferencia de las de desplazamiento positivo, no son auto-cebantes. Por lo tanto, se debe seguir un procedimiento concreto para la puesta en marcha y, así evitar la presencia de aire en el interior.

Para una correcta puesta en marcha de las bombas, es necesario que éstas estén llenas de líquido, es decir, que el eje interno este totalmente inundado. Si la salida de líquido y la bomba se encuentra por debajo del nivel del líquido, se abre la compuerta de aspiración y, se deja fluir naturalmente hasta la bomba hasta llenarla. En caso contrario, se debe utilizar un método alternativo, como llenar la tubería y la bomba mediante una fuente de alimentación externa.

En el caso de los compresores, primero de todo se debe abrir la válvula de purga y abrir el regulador de gas de salida. A continuación, se mantiene en funcionamiento durante unos minutos para que las impurezas que pueda haber en el interior del circuito salgan por la salida de purgas. Una vez se ha realizado dicho procedimiento, se realiza la conexión con su salida de aire correspondiente y, se espera hasta que el depósito de aire este totalmente cargado para así verificar que, se llega a la presión máxima.

8.2.5. Seguridad

Hay una serie de tareas previas a la puesta en marcha, y estas no solo corresponden a los equipos, sino que también es importante realizarlas en los aparatos de seguridad de la planta y el personal. Estas, son las siguientes:

- Revisión de los diferentes EPIs, tanto de uso como los de reserva.
- Disponer de todos los permisos de trabajo.
- Documentación de todos los trabajadores al día, como revisiones médicas, cursos de formación, certificados, etc.
- Enfermería dotada con todo el material necesario.
- Certificados de equipos a presión, válvulas de seguridad, discos de ruptura, etc.
- Comprobar el correcto funcionamiento de las duchas de emergencia, los lavaojos y alarmas.

8.3. Puesta en marcha desde cero

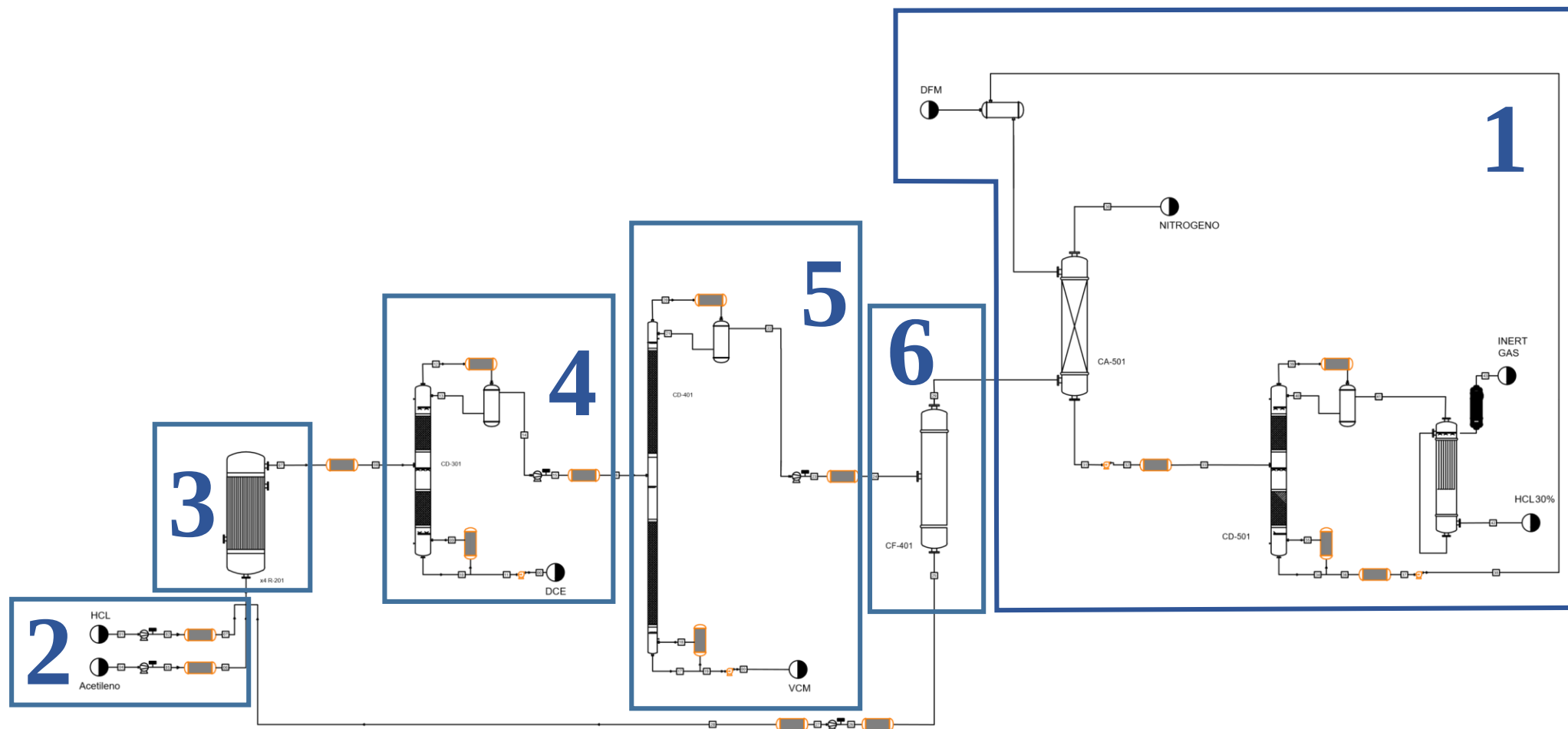
La puesta en marcha desde cero, tal y como se explica en apartados anteriores, es aquella que se realiza la primera vez tras la construcción de la planta. No obstante, el protocolo establecido para este tipo de puesta en marcha es también aplicable a todas las puestas en marcha posteriores, siempre y cuando dicha parada sea programada. La única diferencia es que, en la segunda parada comentada, algún tanque de almacenamiento puede encontrarse media lleno.

El presente apartado recoge un listado del procedimiento a seguir en la puesta en marcha de los principales equipos y áreas que conforman la planta. Además, también se especifica la secuencia en la que se deben realizar estas acciones, ya que es importante dar prioridad a ciertos equipos y/o áreas respecto a otros.

En la tabla 8.1 se muestra la secuencia de prioridad de áreas y equipos que debe seguirse en la puesta en marcha de la planta. En algunos casos hay varias áreas o equipos con el mismo número de secuencia, hecho que significa que estas tareas deben ponerse en marcha paralelamente. Además, también se adjunta el diagrama de proceso con el orden de puesta en marcha de los diferentes equipos del proceso.

Tabla 8.1 Secuencia de prioridad de puesta en marcha

Secuencia	Descripción	Área	Tipo
1	Electricidad	700	Servicio
2	Aire comprimido	700	Servicio
3	Agua de red	700	Servicio
4	Gas natural	700	Servicio
5	Nitrógeno	700	Servicio
6	Purgas	500	Medio ambiente
7	Aceite térmico	700	Servicio
8	Agua descalcificada	700	Servicio
9	Agua desionizada	700	Servicio
10	Torre de refrigeración	700	Servicio
11	Chiller	700	Servicio
12	Caldera de vapor	700	Servicio
13	Almacenaje de DFM	800	Almacenamiento efluentes
14	Tratamiento de gases	500	Tratamiento de gases
15	Columna CA-501	500	Tratamiento de gases
16	Columna CD-501	500	Tratamiento de gases
17	Columna CA-502	500	Tratamiento de gases
18	Almacenaje de materias primas	100	Almacenamiento de reactivos
19	Reactor catalítico R-201/2/3	200	Reacción
19.1	Columna CD-301	300	Purificación producto 1
19.2	Columna CD-401	400	Purificación producto 2
19.3	Almacenaje DCE	800	Almacenamiento efluentes
19.4	Almacenaje VCM	600	Almacenamiento del producto
19.5	Columna CF-401	400	Purificación producto 2
20	Almacenaje HCl	800	Almacenamiento efluentes



8.3.1. Puesta en marcha de los servicios

La puesta en marcha de los servicios debe ser previa a la de producción, ya que los servicios son indispensables para el correcto funcionamiento de los equipos.

Las acciones más comunes para esta área son las siguientes:

- Llenar cada uno de los equipos que operan con líquidos (caldera de aceite térmico, caldera de vapor, descalcificador, desionizador, torres de refrigeración, chillers y, por último, el tanque criogénico).
- Una vez llenado, se purga el sistema de aire por las partes altas de la instalación.

Aun así, se debe tener en cuenta que los equipos y sistemas de servicios no se ponen en marcha todos a la vez, sino que hay un orden a seguir ya que algunos sistemas requieren de otros para funcionar. El orden a seguir, es el siguiente:

1. Electricidad: Es necesaria para realizar cualquier actividad en la planta.
2. Aire comprimido: Éste es necesario para la instrumentación.
3. Agua de red: Es necesaria para iniciar la puesta en marcha de una gran parte de los equipos de servicios.
4. Gas natural: Es necesario para poner en marcha las calderas de la planta.
5. Nitrógeno: Se usa para inertizar.
6. Calderas de aceite térmico: Requiere gas natural para su puesta en marcha, por ello, se enciende tras el punto 4.
7. Agua descalcificada: Requiere de agua de red, ya que es la que se descalcificará, para su puesta en marcha.
8. Agua desionizada: Al igual que el punto 7, requiere de agua de red para su puesta en marcha.
9. Torres de refrigeración: Requiere de agua descalcificada (7) para su puesta en marcha.
10. Chillers: Requiere de agua también descalcificada (7) para su puesta en marcha.
11. Calderas de vapor: Requiere de gas natural (4) y agua descalcificada (7) para su puesta en marcha.

A continuación, se explica la puesta en marcha de cada uno de ellos:

- **Electricidad:**
 1. Poner en marcha el sistema de suministro eléctrico de la planta
 2. Encender los cuadros eléctricos de la planta.
 3. Comprobar que el suministro eléctrico en cada punto de la planta es el adecuado.

- **Aire comprimido:**

1. Poner en marcha los compresores de aire comprimido que forman parte de la instrumentación.
2. Comprobar la presión en diferentes puntos del sistema para detectar pérdidas de presión. La presión en el punto más desfavorable de planta ha de ser como máximo de medio bar de presión.

- **Agua descalcificada:**

1. Llenar el sistema de agua de red, tanque pulmón y tuberías.
2. Poner en marcha el sistema en circuito cerrado con el pulmón hasta conseguir agua descalcificada con las composiciones de interés para el proceso.

- **Agua desionizada:**

1. Puesta en marcha a continuación de la anterior.
2. Llenar el sistema de agua de red, tanque pulmón y tuberías.
3. Arrancar el sistema en circuito cerrado con el pulmón hasta conseguir agua descalcificada con las composiciones adecuada para el proceso.

- **Caldera de vapor**

1. Puesta en marcha una vez el agua esta descalcificada.
2. Llenar el depósito pulmón y el sistema de tuberías de agua descalcificada.
3. Arrancar la caldera en circuito cerrada con el tanque pulmón hasta empezar a alcanzar las temperaturas y presiones de operación.

- **Caldera de aceite térmico:**

1. Llenar el depósito pulmón de gas natural y el sistema de tuberías de aceite térmico.
2. Arrancar la caldera en circuito cerrado con el tanque pulmón hasta empezar a alcanzar las temperaturas y presión de trabajo.

- **Torres de refrigeración:**

La puesta en marcha de la torre de refrigeración se hace siguiendo el manual de puesta en marcha de la máquina, ya que se sigue los pasos que el fabricante aconseja.

1. Eliminar la suciedad depositada sobre las persianas, ventiladores y bandejas.
2. Limpiar a fondo cada una de las bandejas, con el filtro montado, terminando con un baldeo abundante y el consiguiente vaciado para evacuar los lodos que se acumulan.
3. Desmontar el filtro, limpiarlo y volver a montarlo
4. Asegurarse del correcto giro del ventilador haciéndolo girar con la mano.
5. En caso de que la torre haya permanecido sin ser puesta en marcha durante 6-8 meses, se deberá engrasar los cojinetes de los ejes del ventilador y motor.
6. Controlar el funcionamiento de la válvula de llenado.
7. Llenar la bandeja hasta el nivel del rebosadero.
8. Regular el nivel del agua mediante la válvula del flotador. Al regular el nivel del agua, hay que vigilar que al desconectar la bomba de la torre circule siempre una cierta cantidad del agua a la bandeja. Por lo tanto, se regulará la válvula para que ésta cierre cuando el flotador llegue aproximadamente a 10 cm. Por debajo del nivel del rebosadero.
9. Asegurarse del sentido de giro del motor de la bomba, que lógicamente, debe coincidir con el sentido indicado por la flecha marcada sobre el cuerpo de la misma.
10. Comprobar que funciona correctamente la bomba y, que el agua se distribuye sobre la batería antes de poner en marcha el ventilador.
11. Conectar los ventiladores y verificar que el sentido de rotación se corresponde con el indicado por la flecha que se encuentra en la carcasa.
12. Controlar la tensión de corriente y la intensidad en los bornes de los motores, tanto de la bomba como de los ventiladores. La intensidad medida en ningún caso debe superar la que se indica en las placas características de los motores.
13. Finalmente, comprobar que las conexiones eléctricas se han realizado de manera segura e indicada en los esquemas eléctricos. Además, se regulará el protector de sobre-intensidad.

En el caso, una vez realizada la puesta en marcha, se aprecian en el agua restos o partículas de cualquier género que hubieran sido producto del montaje, se procederá a su limpieza para evitar posibles obstrucciones.

Se debe mencionar, que si en la puesta en funcionamiento se aprecia un desequilibrio del ventilador (por ejemplo, debido a daños en el transporte o montaje), se debe parar el motor, desmontar el grupo y equilibrarlo de nuevo para poder poner en marcha la torre definitivamente. El hecho de que el ventilador este desequilibrado puede producir daños en las estructuras en los cojinetes del motor e incluso, en casos extremos, la aparición de pequeñas grietas con el tiempo debido a la vibración del motor.

8.3.2. Puesta en marcha de los tanques de reactivos (Área 100)

8.3.2.1. Tanque de acetileno

La puesta en marcha de estos equipos es complicada, ya que suelen ser equipos que operan en algunos casos a presiones elevadas. En este caso, la presión de operación de este tanque se encuentra en 1.43 atm. La presión de prueba correspondiente es 1.6 atm.

Por lo tanto, la primera puesta en marcha de los tanques la realiza la empresa proveedora de los mismos, ya que es un proceso complejo y por ello la primera vez, será realizado por un equipo que domine el proceso a la perfección.

Para las posteriores puestas en marcha:

- **Descripción:** Tanque de almacenaje de acetileno gas
- **Número de la secuencia en la puesta en marcha:** 2
- **Objetivo:** Probar la consistencia del equipo, para poder almacenar acetileno gas a 1.43 atm.
- **Estado final:** Tanque lleno de acetileno gas hasta el nivel indicado de la hoja de especificaciones.
- **Procedimiento:**
 1. Realizar prueba hidráulica. Ver si el equipo fuga.
 - a. Si el equipo fuga, reparar.
 - b. Si el equipo no fuga, paso 2.
 2. Activar controles de presión, temperatura, nivel y caudal.
 3. Realizar prueba de presión.
 - a. Presurizar el sistema con aire comprimido y observar que la válvula de seguridad abre a 1.2 atm (válvula previamente tarada y certificada por una empresa certificada OCA, como ECA o SGS).
 4. Despresurizar el sistema de manera controlada.
 5. Iniciar inertización del sistema, inyectando nitrógeno, hasta conseguir una presión interior/operación de 1.43 atm.
 6. Una vez presurizado el sistema con nitrógeno empieza la secuencia de llenado.
 7. Inicio con todas las válvulas cerradas.
 8. Abrir la válvula de entrada del corriente que proviene del proveedor.
 9. La operación termina cuando el nivel del tanque se corresponde con el indicado en la hoja de especificaciones. La válvula de entrada pasa a autorregularse mediante la automatización de los controles.
 10. Repetir el procedimiento siempre y cuando haya una parada.

8.3.2.2. Tanque de cloruro de hidrogeno gas

La primera puesta en marcha de los tanques la realiza la empresa proveedora de los mismos, ya que es un proceso que se debe llevar a cabo por primera vez por un equipo de personas que dominen este proceso a la perfección.

La presión de operación de este tanque es la misma que en el punto 8.3.2.1.

- **Descripción:** Tanque de almacenaje de cloruro de hidrogeno gas.
- **Número de la secuencia en la puesta en marcha:** 2
- **Objetivo:** Probar la consistencia del equipo, para poder almacenar de forma segura cloruro de hidrogeno gas.
- **Estado final:** Tanque lleno de cloruro de hidrogeno gas hasta el nivel indicado en la hoja de especificaciones.
- **Procedimiento:**
 1. Realizar prueba hidráulica. Ver si el equipo fuga.
 - a. Si el equipo fuga, reparar.
 - b. Si el equipo no fuga, paso 2.
 2. Activar controles de presión, temperatura, nivel y caudal.
 3. Realizar prueba de presión.
 - a. Presurizar el sistema con aire comprimido y observar que la válvula de seguridad abre a 1.2 atm.
 4. Despresurizar el sistema controladamente.
 5. Iniciar inertización del sistema, inyectando nitrógeno, hasta conseguir una presión interior/operación de 1.43 atm.
 6. Inicio con todas las válvulas cerradas.
 7. Abrir la válvula de entrada que proviene del proveedor. Llenado del reactor.
 8. La operación termina cuando el nivel del tanque se corresponde con el indicado en las hojas de especificaciones. La válvula de entrada pasa a autorregularse mediante la automatización de los controles.
 9. Repetir el procedimiento siempre y cuando haya una parada.

8.3.2.3. Tanque de almacenaje de 1,2-dicloroetano y HCl de baja concentración y TP-401.

La primera puesta en marcha de los tanques la realiza la empresa proveedora de los mismos, ya que es un proceso que se debe llevar a cabo por primera vez por un equipo profesional que domine el proceso.

En este caso, los tanques operan a 1 atm, 1 atm y 11.8 atm y, sus respectivas presiones de diseño son, 2.72 atm, 2.72 atm y 17.76 atm.

En este caso, debe destacarse que los tanques empezarán vacíos ya que el 1,2-dicloroetano y el HCl son un subproducto del proceso de producción del cloruro de vinilo. A su vez, el TP-401 también empieza vacío.

- **Descripción:** Tanques de almacenaje de 1,2-dicloroetano y HCl de baja concentración (por separado). Tanques pulmón TP-401.
- **Número de secuencia de la puesta en marcha en el proceso:** 4 para el tanque de 1,2-dicloroetano y TP-401 y 1, respectivamente.
- **Objetivo:** Probar la consistencia de los equipos, para así, almacenar de forma segura los subproductos obtenidos.
- **Estado final:** Tanques a presión de operación para el almacenamiento de dichas sustancias.
- **Procedimiento:**
 1. Realizar prueba hidráulica. Ver si el equipo fuga.
 - a. Si el equipo fuga, reparar.
 - b. Si el equipo no fuga, paso2.
 2. Activar controles de presión, temperatura, nivel y caudal.
 3. Realizar prueba de presión.
 - a. Presurizar los sistemas con aire comprimido y observar la válvula de seguridad abre a 0.9 atm, 0.9 atm y 11.5 atm.
 4. Despresurizar el sistema controladamente.
 5. Iniciar inertización del sistema, inyectando nitrógeno, hasta el punto de conseguir una presión de operación deseada para cada tanque.
 6. A su vez, estas puestas en marchas de estos tanques van en paralelo con la secuencia referencias de iniciado hasta el llenado del tanque.

8.3.2.4. Tanque de almacenaje de cloruro de vinilo

La primera puesta en marcha de los tanques la realizará la empresa proveedora de los mismos, ya que es un proceso que se debe llevar a cabo por primera vez por un equipo técnico de personas que dominen el proceso.

En este caso, los tanques trabajan a 6.9atm presión, pero estos se prueban a 7.45atm presión.

- **Descripción:** Tanques de almacenaje de cloruro de vinilo gas.
- **Número de secuencia en la puesta en marcha:** 5

- **Objetivo:** Probar la consistencia del equipo, para poder almacenar de forma segura el producto a la presión de operación.
- **Estado final:** Tanques a presión de operación.
- **Procedimiento:**
 1. Realizar prueba hidráulica. Ver si el equipo fuga.
 - a. Si el equipo fuga, reparar.
 - b. Si el equipo no fuga, paso 2.
 2. Activar controles de presión, temperatura, nivel y caudal.
 3. Realizar prueba de presión.
 - a. Presurizar el sistema con nitrógeno y observar que la válvula de seguridad abre 6.5 atm de presión.
 4. Despresurizar el sistema controladamente.
 5. Poner operativo creando el circuito cerrado que se da la secuencia 5 del encendido de la planta.

8.3.2.5. Tanque de almacenaje de DFM y nitrógeno

La primera puesta en marcha de los tanques la realizará la empresa proveedora de los mismos, ya que es un proceso que se debe llevar a cabo por primera vez por un equipo técnico de personas que dominen el proceso. En este caso los tanques trabajan a 1 atm y 17.76 atm presión.

- **Descripción:** Tanques pulmón de DFM y nitrógeno.
- **Número de secuencia de la puesta en marcha:** 1
- **Objetivo:** Probar la consistencia de los tanques para poder usarlos como tanques pulmón para dichos servicios.
- **Observaciones:** Al tratarse del disolvente DFM y de nitrógeno, ambos servicios de los cuales la planta requiere, serán de los primeros equipos en ser puestos en marcha.
- **Estado final:** Tanques pulmón a la presión de operación.
- **Procedimiento:**
 1. Realizar prueba hidráulica. Ver si el equipo fuga.
 - a. Si el equipo fuga, reparar.
 - b. Si el equipo no fuga, paso 2.
 2. Activar controles de presión, temperatura, nivel y caudal.
 3. Realizar prueba de presión.
 - a. Presurizar el sistema con aire comprimido y observar que la válvula de seguridad abre 0.8 atm y 11.3 atm presión.
 4. Despresurizar el sistema controladamente.
 5. Inicio de la puesta en marcha paralela a los servicios y tratamiento de gases.

8.3.3. Puesta en marcha tratamiento de gases (Área 500)

Una vez puestos en marcha los equipos de sistemas y servicios, se debe poner en marcha el área de tratamiento de gases (CA-501, CD-501 y CA-502). Es de gran importancia que esta área sea la primera del proceso en ponerse en marcha, ya que desde el primer momento que se empieza a operar puede haber venteos que deben ser tratados.

- **Descripción:** Área de tratamiento de gases (A-500).
- **Número de secuencia en la puesta en marcha del proceso:** 1
- **Objetivo:** Ser la primera área de la planta en estar preparada para la puesta en marcha y su funcionamiento.
- **Requisitos previos:** Puesta en marcha de servicios y tanque de DFM.
- **Observaciones:** La columna de absorción CA-501 requiere de un corriente de N,N-dimetilformamida (DFM) para lavar el corriente que llega a la columna, que posteriormente es recirculado sin el nitrógeno. Para llegar al estado estacionario, las salidas del gas de la CA-501 y CD-501 se cerrarán de manera que, todo el DFM saldrá por las colas de las diferentes columnas. El caudal a aportar desde el principio es aquel requerido para tratar el caudal procedente del área 400. Así pues, una vez llegue este caudal, se abrirán las válvulas cerradas y se dejará que opere con normalidad, recirculando así el DFM al principio del área 500, creando un circuito cerrado.
- **Estado final:** Área presurizada, controles de presión y nivel activados, líneas auxiliares de puesta en marcha cerradas.
- **Procedimiento:**
 1. Inicio con las válvulas cerradas.
 2. Activar los controles de presión y temperatura de la columna CA-501.
 3. Abrir válvulas todo o nada de salida del líquido de la columna CA-501.
 4. Activar el control de nivel, temperatura y presión de la columna CD-501.
 5. Abrir la válvula anterior y posterior a la bomba de la línea del líquido (colas de la columna).
 6. Abrir válvulas todo o nada de entrada del gas/líquido a la columna CD-501.
 7. Abrir válvulas de todo o nada de salida de gas y líquido de la columna CD-501.
 8. Abrir válvula anterior y posterior a la bomba de la línea de salida de líquidos de la columna CD-501.
 9. Activar controles de presión y concentración de la columna CA-502.
 10. En cuanto el HCl de salida tenga un valor normal de conductividad activar el control de concentración del corriente de la salida de la columna CA-502.
 11. Abrir válvulas todo o nada de los corrientes gas/líquido de la columna CA-502.

12. En cuanto se ponga en marcha el área 800, abrir la válvula anterior y posterior de la bomba de la línea que conecta el HCl de baja concentración con el área 800. Cerrar/abrir válvula del tanque de almacenamiento del HCl.

8.3.4. Puesta en marcha de los reactores catalíticos R-201/2/3 (Área 200)

Una vez puesto en marcha el tratamiento de gases, se ponen en marcha los tres reactores catalíticos que operan en paralelo. Es lógico que los reactores sean el siguiente equipo en entrar en funcionamiento ya que su entrada proviene de los tanques de almacenaje de reactivos, ya puestos en marcha para la operación.

- **Descripción:** Reactores catalíticos R-201/2/3
- **Número de secuencia en la puesta en marcha del proceso:** 3
- **Objetivo:** Producción de cloruro de vinilo a partir de una reacción catalizada mediante cloruro de mercurio (II) a partir de acetileno y cloruro de hidrogeno gas.
- **Requisitos previos:** Puesta en marcha de los tanques de almacenaje de reactivos, acetileno y cloruro de hidrogeno gas.
- **Observaciones:** Los reactores catalíticos R-201/2/3, se encargan de la producción de cloruro de vinilo. Para ello, usan 3 corrientes; 2 de ellos de reactivos y uno de recirculación que proviene de la columna CF-401. Debido a que la recirculación que proviene de la CF-401 no está aún en marcha, lo que se hará es cerrar la válvula del corriente gas de dicha columna, también se cerrarán las válvulas previas a las bombas de los corrientes líquidos del 1,2-dicloroetano y del cloruro de vinilo. A su vez, se abren las válvulas de los tanques de almacenaje de reactivos para dejar que estos entren. Entonces, una vez el corriente de recirculación vaya a entrar flujo en el mezclador previo antes de los R-201/2/3, se cerrarán las válvulas de los tanques de almacenaje para así evitar que entren más reactivos. Una vez está el circuito cerrado, se dejará así hasta el momento en el que las concentraciones, en las columnas CD-301 y CD-401, de colas y cabezas sean constantes en el tiempo. Una vez se consigue de esta manera el estado estacionario, se abren todas y cada una de las válvulas que se han cerrado para conseguir el circuito cerrado. De esta manera se pasa al estado normal de operación.
- **Estado final:** Reactores catalíticos operando en paralelo para producir el producto de interés, el cloruro de vinilo, en continuo. Se mantiene controlado gracias a controladores de caudal, de presión y de temperatura. Finalmente, las líneas auxiliares de puesta en marcha se cierran.
- **Procedimiento:**
 1. Inicio con las válvulas cerradas.
 2. Activar controles de presión, temperatura y caudal de los reactores R-201/2/3.

3. Activar controles de presión, temperatura y caudal del corriente de recirculación.
4. Activar controles de presión, temperatura y nivel de las columnas CD-301, CD-401 y CF-401.
5. Mantener cerrada la válvula del corriente gas de la columna CF-401 y, las válvulas del corriente líquido previas a las bombas de las columnas CD-301 y CD-401. Todas las demás válvulas deben permanecer abiertas.
6. Abrir válvulas todo o nada de los corrientes que provienen de los tanques de almacenaje de los reactivos.
7. Gracias a los controles activados en los puntos 3, se sabe cuándo empieza a llegar corriente de recirculación a los reactores. Una vez detectado esto, se cierran inmediatamente las válvulas que permiten el paso de los reactivos que provienen del área de almacenaje. Así, se crea un circuito cerrado.
8. Con el circuito cerrado, se opera hasta alcanzar el estado estacionario (concentraciones constantes en el tiempo, medidas en cabezas y colas).
9. Una vez alcanzado éste, se abren las válvulas de salida del sistema (ESCRIBE QE VÁLVULAS SON) y acto seguido se abren las válvulas de entrada de los reactivos (ESCRIBE VÁLVULAS) dando comienzo a la operación en continuo del área/planta.

8.3.5. Puesta en marcha columna de destilación CD-301 (Área 300)

Una vez puesto en marcha el tratamiento de gases y el reactor, se debe poner en marcha paralelamente la columna CD-301. Esta columna es necesaria para obtener por colas y en forma líquida, el 1,2-dicloroetano mientras que fase gas el corriente sigue el proceso a seguir.

- **Descripción:** Columna de destilación CD-301.
- **Número de secuencia en la puesta en marcha del proceso:** 4
- **Objetivo:** Que la columna opere en régimen estacionario y en el corriente líquido se obtenga el 1,2-dicloroetano.
- **Requisitos previos:** Puesta en marcha de los servicios, de los tanques de almacenaje de los reactivos y de los reactores catalíticos. A su vez, el tratamiento de gases.
- **Observaciones:** Durante los primeros instantes y tal y como se ha explicado en la puesta en marcha del punto anterior, se buscará que la columna opere de manera estacionaria, es decir, las concentraciones en el tiempo sean constantes tanto en cabezas como colas. Para ello, dicha columna formará parte del circuito cerrado mencionado en el punto previo a este apartado.
- **Estado final:** Columna que trabaja en estado estacionario; controles de caudal, presión, temperatura y de nivel activos (columna, tanque de condensados y reboiler). Finalmente, las líneas auxiliares de puesta en marcha se cierran. Obtención de 1,2-dicloroetano.

- **Procedimiento:**

1. Inicio con las válvulas cerradas.
2. Activar los controles de caudal, presión, temperatura y de nivel de la columna (tanque de condensados y reboilers). A su vez, programar los sets points de interés y esperar a que estos sean alcanzados.
3. Abrir válvulas de entrada a la columna y salida de gases excepto la válvula previa a la bomba en el corriente líquido.
4. En conjunto con la puesta en marcha de los reactores y las columnas CD-401 y CF-401, se crea un circuito cerrado el cual hará alcanzar a la columna, un sistema de operación en estado estacionario (concentraciones de cabezas y colas son constantes en el tiempo).
5. Una vez alcanzado el estado mencionado en el punto 4, se activa el control automático de reflujo en ambas columnas.
6. Cuando la columna, CD-301, a la par que la CD-401, se encuentran en estado estacionario, se abren las válvulas anteriores y posteriores de la bomba del corriente líquido de colas de la CD-301. Además, se abrirán todas aquellas válvulas que formaban parte del circuito cerrado, permitiendo así la operación normal del proceso.

8.3.6. Puesta en marcha columna destilación CD-401 (Área 400)

Una vez en marcha el tratamiento de gases, los reactores catalíticos y la primera columna del proceso, CD-301, se pone en marcha la columna de destilación, CD-401, para la obtención del cloruro de vinilo.

- **Descripción:** Columna de destilación CD-401
- **Número de secuencia en la puesta en marcha del proceso:** 5
- **Objetivo:** Que la columna opere en régimen estacionario y se obtenga cloruro de vinilo por el corriente líquido de la columna.
- **Requisitos previos:** Puesta en marcha de los servicios, de los tanques de almacenaje, de los reactores catalíticos, y la columna CD-301. A su vez, del tratamiento de gases.
- **Observaciones:** Durante los primeros instantes y tal y como se ha explicado en la puesta en marcha del 8.3.4, se buscará que la columna opere de manera estacionaria, es decir, las concentraciones en el tiempo sean constantes tanto en cabezas como colas. Para ello, dicha columna formará parte del circuito cerrado mencionado en el punto 8.3.4 previo a este apartado.
- **Estado final:** Columna que trabaja en estado estacionario; controles de caudal, presión, temperatura y de nivel activos (columna, tanque de condensados y reboiler). Finalmente, las líneas auxiliares de puesta en marcha se cierran. Obtención de cloruro de vinilo.
- **Procedimiento:**

1. Inicio con las válvulas cerradas.
2. Activar los controles de caudal, presión, temperatura y de nivel de la columna (tanque de condensados y reboilers). A su vez, programar los sets points de interés y esperar a que estos sean alcanzados.
3. Abrir válvulas de entrada a la columna y salida de gases excepto la válvula previa a la bomba en el corriente líquido.
4. En conjunto con la puesta en marcha de los reactores y las columnas CD-301 y CF-401, se crea un circuito cerrado el cual hará alcanzar a la columna, un sistema de operación en estado estacionario (concentraciones de cabezas y colas son constantes en el tiempo).
5. Una vez alcanzado el estado mencionado en el punto 4 en la columna CD-301, se activa el control automático de reflujo. A la vez, pasa lo mismo en la CD-401.
7. Cuando la columna, CD-401, a la par que la CD-301, se encuentran en estado estacionario, se abren las válvulas anteriores y posteriores de la bomba del corriente líquido de colas de la CD-301. Además, se abrirán todas aquellas válvulas que formaban parte del circuito cerrado, permitiendo así la operación normal del proceso.

8.3.7. Puesta en marcha de la columna flash CF-401 (Área 400)

Una vez en marcha el tratamiento de gases, los reactores catalíticos, la columna CD-301 y la columna CD-401, se pone en marcha la columna flash CF-401. Esta columna se encargará de recuperar reactivos que no han reaccionado y, cloruro de vinilo que no se ha acabado de separar bien en la columna CD-401.

- **Descripción:** Separador flash CF-401.
- **Número de secuencia de la puesta en marcha en el proceso:** 6
- **Objetivo:** Recuperar los reactivos que no han reaccionado y, el cloruro de vinilo no separado en la CD-401, a partir de un cambio de presión.
- **Requisitos previos:** Puesta en marcha de los tanques de almacenaje de reactivos, los reactores catalíticos y las columnas CD-301 y CD-401.
- **Observaciones:** La válvula de salida de los gases de esta columna permanece cerrada hasta que se consigue el estado estacionario en el circuito cerrado.
- **Estado final:** Control de nivel activo y separación adecuada a los niveles de interés.
- **Procedimiento:**
 1. Inicio con las válvulas cerradas.
 2. Activar el control de nivel.
 3. Abrir las válvulas de entrada de fluido de la columna y de salida de líquidos. Mantener cerrada la válvula de salida de gases.

8.4. Parada de planta planificada

En caso de no haber ningún problema, la planta opera ininterrumpidamente durante 300 días al año. Por lo tanto, anualmente se realizan dos paradas de 32 días y 35 días respectivamente, en agosto y por navidad. Estas, son las paradas planificadas de la planta.

No sólo la puesta en marcha de la planta es importante, sino que también lo es su parada ya que es casi igual de compleja. Siempre que es posible, es importante parar la planta siguiendo un protocolo establecido, ya que de esta manera se evita dañar los equipos y motores de la planta. Además, una parada controlada permite poder aprovechar las materias primas, productos intermedios y productos, que de otra forma serían inservibles (también, se tendría que purgar todo el sistema de proceso y esta purga se mezclaría, dificultando su aprovechamiento).

Para realizar la parada, se disminuyeran los caudales que provienen del área de almacenaje de reactivos. De esta forma, cada vez se ira formando menos producto, pero se aprovechará hasta el final. Sin embargo, la planta no está preparada para trabajar a caudales muy bajos, así que se deben tomar una serie de medidas importantes a realizar durante la disminución de los caudales. La primera, cuando el caudal disminuya un tercio, se pasará a trabajar con tan solo 2 reactores (se esperará a que la reacción en el tercer reactor se acabe transcurrido su tiempo de residencia y se parará totalmente). De la misma forma, se irá disminuyendo el caudal un tercio menos haciendo lo propio con el segundo reactor. La segunda, en las columnas de destilación de la planta se deberá aumentar la relación de reflujo para asegurar así, que la separación se da correctamente.

Una vez los niveles han disminuido lo suficiente como para que la operación de la planta sea imposible, esta se detendrá. Es importante no detener el área de tratamiento de gases, ya que durante la despresurización del proceso pueden desprenderse vapores que deben ser tratados.

Una vez se tiene la planta parada, se debe purgar el líquido que ha quedado en los equipos, tuberías, bombas, etc.

Una vez asegurado que el circuito está vacío de cualquier líquido del proceso, se realiza la inertización de la planta con nitrógeno. Una vez completada dicha inertización, ya se pueden abrir los equipos y tuberías para realizar el mantenimiento planificado.

Cabe destacar que antes de una parada planificada, las tareas de mantenimiento deben de estar detalladamente planificadas. De esta forma, se realizarán todas en el tiempo establecido y se evitarán posibles retrasos en la puesta en marcha de nuevo de la planta.

Además de las tareas existentes de mantenimiento que deben realizarse en todas las paradas, algunas de ellas servirán para arreglar equipos que hayan sufrido averías inesperadas, pero hayan podido aguantar en funcionamiento hasta la parada. Por lo tanto, durante los meses de operación

y siempre que se detecte algún problema, los ingenieros elaborarán una lista de equipos que deben ser arreglados.

8.5. Parada de emergencia de la planta

Lo ideal sería poder detener la planta siempre de una manera planificada, tal y como se explica en el punto 8.4. Sin embargo, no siempre es posible. En una parada de emergencia la planta para de golpe, esto significa, sin tiempo de reacción. Estas paradas pueden producirse por el fallo de un equipo o servicio, enfrente una climatología adversa, un incendio, etc.

La parada de la planta puede accionarse manualmente o automáticamente gracias a los sistemas de control instalados. Estos sistemas de control programados, se dispararán siempre y cuando se supere un cierto valor en un parámetro, y éste, no haya podido ser corregido. De esta forma, la planta parará automáticamente para evitar cualquier posible accidente.

Debido a que las situaciones de emergencia que provocan la parada de la planta pueden ser muy diversas, el protocolo a seguir en cada caso será diferente. Sin embargo, en todos y cada uno de los casos el problema debe detectarse y solucionarse en el menor tiempo posible (siempre y cuando no sea un peligro para los operarios).

En caso de que dejará de llegar la corriente eléctrica (por ejemplo, si hay un incendio o se interrumpe por parte de la compañía eléctrica) se dispone de un grupo electrógeno, que sería el encargado de mantener la corriente eléctrica y garantizar el funcionamiento de los sistemas de control funcionando para poder realizar una parada de forma segura.

Finalmente, siempre y cuando no haya ningún problema en la zona, es importante mantener la zona de tratamiento de gases en marcha para tratar posibles venteos que se produzcan durante la parada de emergencia. En caso de existir un problema en esta área, podría realizar un vertido de gases tóxicos no deseado y, se debería informar a las autoridades correspondientes. Aun tratándose de un caso extremo y que no debería ocurrir, es importante tenerlo en cuenta.

Una vez solucionado el problema que haya causado la parada, y siempre que sea posible y seguro, se pondrá en marcha la planta de nuevo. Tal y como se ha mencionado anteriormente, la puesta en marcha tras una parada de emergencia se deja en manos de los ingenieros de la planta, que deben decidir cómo proceder a la puesta en marcha de la manera más segura, fiable y eficiente posible.