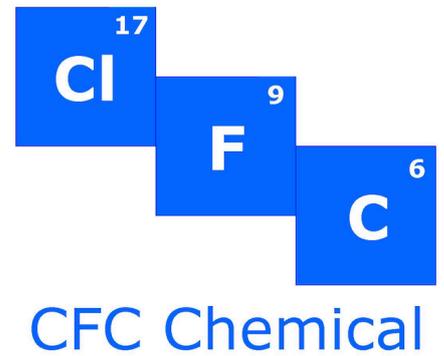


# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREÓN-13



PROYECTO FINAL DE GRADO  
ESCOLA D'ENGINYERIA, UAB

Blanca Camps Fadulla  
André González Coindreau  
Aziza el Haddouchi  
Sergio Mendoza Wendorff  
Borja Solís Duran  
Tutor: Antoni Sánchez Ferrer

Junio 2015

## ***APARTADO 8***

### **PUESTA EN MARCHA**

---

**ÍNDICE**

8.1 INTRODUCCIÓN .....	3
8.2. ACCIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA.....	4
8.3. PUESTA EN MARCHA DE LOS SERVICIOS.....	10
8.4. PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA.....	12
8.4.1. PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DESDE CERO.....	12
8.4.1.1. ÁREA 100 .....	13
8.4.1.2. ÁREA 200 .....	15
8.4.1.3. ÁREA 300 .....	18
8.4.1.4. ÁREA 400 .....	21
8.4.1.5. ÁREA 500.....	23
8.4.1.6. ÁREA 600.....	26
8.4.2. PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DESPUÉS DE UNA PARADA PUNTU.	28
8.5. PARADA DE LA PLANTA.....	29

## 8.1 INTRODUCCIÓN

La puesta en marcha de la planta es uno de los aspectos fundamentales para el correcto y efectivo funcionamiento de la planta, por éste motivo se tiene en cuenta y se especifica a parte de la operación en continuo. Es un proceso a realizar correctamente para llegar a las condiciones de operación de estado estacionario y cumplir con el objetivo establecido de funcionamiento de la planta. Una vez se lleven a cabo los protocolos para la puesta en marcha inicial se podrá empezar a operar y conseguir la finalidad de la planta, que es producir el producto deseado.

En primer lugar se establecerán una serie de tareas previas a la puesta en marcha. Estas tareas están relacionadas con la realización de pruebas para el acondicionamiento de los equipos y un seguido de pruebas para cerciorarse de que los equipos funcionan correctamente. Una de las tareas más importantes antes de empezar con la puesta en marcha es los checklists mecánicos de cada equipo, que son una serie de acciones que se realizan antes de iniciar la puesta en marcha, y que se especificará más adelante como realizarlas.

A continuación se establecerán los pasos para poner a punto los servicios adyacentes a la producción.

Y para finalizar se establecerá una lista de acciones para llevar a cabo la puesta en marcha para cada una de las áreas del proceso productivo.

## 8.2. ACCIONES PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA

Antes de entrar en el contexto de la puesta marcha del proceso de producción se tienen que tener en cuenta los siguientes factores, y se determinarán que están efectuados mediante las check lists.

### 1. Mantenimiento

- Procedimiento de inspección visual de los equipos.
- Disponibilidad de herramientas para realizar reparaciones y/o modificaciones.
- Disponer las piezas de empaque para los equipos requeridos.
- Disponer de lubricantes y otros materiales para el mantenimiento de los equipos.
- Organización del personal.
- Materiales y equipos de reposición localizados en el almacén.

### 2. Equipos

- Revisar la seguridad de la estructura de los tanques.
- Revisar la red de tuberías y las conexiones entre ellas.
- Revisar la colocación de los equipos para que garantice su acceso y operatividad.
- Revisar los sistemas de bombeo, venteo y control.
- Previsión de materiales para el muestreo y análisis de compuestos producidos.
- Revisar los aspectos de seguridad de los equipos y para el personal que lo manipula.
- Limpieza de equipos y de tuberías.
- Soplado y energización con N<sub>2</sub> para las conducciones de vapor y gases.
- Calibrar la instrumentación que la requiera.

### 3. Pruebas mecánicas

- Prueba hidráulica: Consiste en la realización de un test que tiene como finalidad comprobar la estanqueidad de los equipos. Para éste proceso normalmente se hace pasar agua desionizada pigmentada por todo el proceso para así observar visualmente si algún equipo tiene fugas. Para

los equipos en los que circulen vapor o gases se hace con aire a presión o nitrógeno y se comprueba la estanqueidad mediante si el equipo se despresuriza. Para el caso de ésta planta, la prueba hidrostática se realizará con algún reactivo o algún líquido con color que sea inerte, ya que si se realiza con agua después hay que asegurarse de que se seca completamente, ya que si queda alguna resta de agua desactivaría los dos catalizadores usados en el proceso y se producirían reacciones exotérmicas violentas, poniendo en riesgo los equipos. La prueba hidrostática se realiza debido a la peligrosidad de los compuestos para el medio ambiente.

- Prueba de presión. Consiste en confinar aire o en el caso de esta planta nitrógeno, en los equipos sometidos a su presión de diseño y tras cerrar las válvulas que los conciernen se observa las variaciones de presión dentro de cada equipo. Así se asegura que el equipo podrá trabajar durante el proceso a la presión a la que fue diseñado asegurando el correcto funcionamiento.

#### 4. Servicios

- Asegurar la disposición de energía eléctrica y la iluminación.
- Realizar un test de continuidad en el suministro.
- Configurar los interruptores en las subestaciones eléctricas.
- Comprobar los aislamientos y su seguridad.
- Comprobar el tratamiento de aguas mediante la descalcificadora y comprobar la calidad del agua tratada.
- Poner en marcha los sistemas de inyección.
- Comprobar el funcionamiento de las torres de refrigeración.
- Purgar los cabezales de entrada, los laterales y las líneas de retorno de la torre de refrigeración.
- Drenar para prevenir la congelación.
- Limpiar el depósito de la torre de refrigeración.
- Limpiar y poner a presión las líneas de servicios.
- Aislar y purgar líneas.
- Comprobación de la presión y temperatura del vapor de agua.

- Comprobación de la presión y temperatura del condensado.
  - Disponer del nitrógeno necesario para la inertización de equipos y maquinaria.
  - Realizar el procedimiento de calefacción de líneas.
  - Disponer del combustible adecuado.
5. Laboratorio de control
- Asegurar la disposición de personal cualificado y de todos los equipos necesarios para los controles de calidad.
  - Planificación y publicación de los horarios y funciones del personal del laboratorio de control y las diferentes pruebas a realizar.
  - Especificar todos los productos y materias primas.
  - Establecer las políticas de retención de muestras.
6. Seguridad
- Adquirir roba de protección, gafas, máscaras, cascos, guantes de trabajo, guantes de goma, equipos de respiración autónoma.
  - Establecer los procedimientos de seguridad para el bloqueo, la entrada de tanques y el trabajo en caliente.
  - Disponer de todos los premisos y escrituras.
  - Realizar formaciones a todos los operarios y trabajadores y primeros auxilios y asistencia médica.
  - Disponer de botiquines de primeros auxilios, mantas y medicamentos.
  - Realizar una revisión de las instalaciones y los discos de ruptura y configurar las válvulas de seguridad.
  - Calibrar los sensores y las alarmas de emergencia.
  - Realizar una señalización de seguridad en la planta que sea conocida por todos los operarios y visitas.
7. Protección contra incendios
- Comprobar el correcto estado de los extintores y su ubicación.
  - Disponer de vestidos de amianto, escaleras y mangueras.
  - Realizar una previsión de los procedimientos de lucha contra incendios.
  - Disponer de productos químicos de espuma para apagar incendios.
  - Asegurar una buena organización con el cuerpo de bomberos.

De todos los puntos mencionados, son de gran importancia las listas de verificación mecánica de los equipos y lista de verificación de los servicios, así en las tablas 8.1.1 y 8.1.2 se incluyen con más detalle el aspecto de las check lists.

Tabla 8.1.1. Check list para la previa puesta en marcha de los equipos mecánicos.

<b>Lista de verificación mecánica para la puesta en marcha de equipos:</b>
1. Campo de montaje y desmontaje
2. Limpieza del sistema de lubricación, incluyendo pasivación química si se requiere.
3. Circulación de lubricación para comprobar el flujo y la temperatura.
4. Limpieza y comprobación del sistema del fluido refrigerante.
5. Comprobación y puesta en marcha de la instrumentación.
6. Comprobación de giro libre y sin obstáculos de los equipos o elementos que lo requieran
7. Prueba de endurecimiento de tornillos de los equipos
8. Desconexión y reconexión de las tuberías para comprobar que no hay fuerzas de tensión en el sistema.
9. Instalación de filtros temporales.
10. Preparación para el funcionamiento de las cargas.
11. Operación con el controlador acoplado.
12. Reacoplamiento con el conductor y verificación de la alineación.
13. Comprobación de los sistemas de ventilación.
14. Comprobación del sistema de sellado.
15. Funcionamiento bajo la carga.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREÓN-13

PUESTA EN MARCHA

Tabla 18.1.2. Check list para la previa puesta en marcha de los servicios.

PASO	DESCRIPCIÓN	RESTRICCIONES	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	PASOS REQUERIDOS	OBSERVACIONES
1. Activación sistemas eléctricos	Encargarse del mantenimiento eléctrico	-	Limpiar con el grupo eléctrico antes de utilizar cualquier equipo	Eliminación de bloqueos, finalización de trabajos de mantenimiento pre-operacionales	-
2. Activación del sistema de incendios, y sistemas de agua potable	Arrancada de los sistemas de agua, venteo y pruebas hidráulicas	Control manual de las válvulas hasta que el aire comprimido se encuentre operativo	-	Comprobar que la tubería esté a punto	Ventilación y pruebas del sistema de inundación, detección de fugas
3. Llenado y circulación del sistema de refrigeración	-	Control manual de las válvulas hasta que el aire comprimido se encuentre operativo	-	Comprobar que la tubería esté a punto	Ventilar los puntos altos de los intercambiadores, comprobar fugas y cargar los productos químicos
4. Activar la instrumentación y el sistema de aire comprimido	Después de la comprobación, presurizar los sistemas con la instrumentación adecuada y activar la circulación de aire por los instrumentos	-	Revisión de las válvulas de control para ver que la acción de la válvula no afecta a los equipos cuando se activa el aire	Comprobar que la tubería esté a punto	Comprobar si hay fugas, drenar el agua de los cabezales de aire y tuberías.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FREÓN-13

PUESTA EN MARCHA

<p>5. Activar el sistema de retorno de vapor y condensados</p>	<p>Introducir vapor a alta presión, presurizar sistemas de baja presión</p>	<p>El agua de alimentación de la caldera tiene que estar disponible y los instrumentos activados</p>	<p>Circulación de inertes procedentes del sistema de vapor, lentamente presurizar para evitar golpes, no sobrepresurizar equipos de baja presión</p>	<p>Revisar todos los cabezales, trampas, etc. Antes de las líneas de calefacción de vapor.</p>	<p>Revisar las fugas</p>
<p>6. Activación del sistema de nitrógeno</p>	<p>Purgar y presurizar con nitrógeno los cabezales.</p>	<p>Los procesos de entrada a los recipientes se tienen que aplicar antes de la introducción de nitrógeno</p>	<p>Purgar de oxígeno mediante presión y venteos. Las entradas no pueden permitirse al no ser que esté inertizado con nitrógeno</p>	<p>Comprobar que las tuberías estén a punto.</p>	<p>Comprobar el punto de rocío</p>
<p>7. Eliminación de residuos</p>	<p>Las conexiones de los corrientes a tratar tienen que estar siempre disponibles.</p>	<p>Los sistemas de tratamiento de corrientes residuales tienen que estar siempre disponibles.</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>-</p>

### 8.3. PUESTA EN MARCHA DE LOS SERVICIOS

En este apartado se da a conocer los diferentes procedimientos para la puesta en marcha de los servicios, donde estos serán utilizados posteriormente en los equipos donde se lleva a cabo la producción de refrigerante R-13. La puesta en marcha de los servicios es el primer paso de la puesta en marcha de la planta, ya que suministra recursos a todas las áreas del proceso productivo. Con lo que no se pueden arrancar los equipos hasta que no funcionen correctamente los servicios.

#### - **Electricidad**

El sistema eléctrico estará compuesto por un grupo de electrogeneradores y los transformadores.

Los grupos electrógenos servirán de manera preventiva en caso de un corte en el suministro de electricidad, de manera que no tienen un tratamiento específico en la puesta en marcha.

Después de poner en marcha los transformadores para obtener baja tensión de la red de alta tensión industrial que recibe la planta se activarán los sistemas de suministro de electricidad a toda la planta, equipos de servicios y de proceso, por éste motivo, lo primero que se arranca siempre es la electricidad.

#### - **Torre de refrigeración**

Se llevará a cabo el llenado de la torre de refrigeración para enfriar el aceite térmico que se usa a media temperatura y reutilizarse de nuevo, primero se llenan con agua de red que viene suministrada por las empresas de gestión de agua.

Se activarán los sistemas mecánicos relacionados con el bombeo del agua para su posterior refrigeración.

Para un correcto funcionamiento se realizará un tratamiento anti-incrustaciones y anti-agentes biológicos con biocidas y anti-incrustantes.

#### - **Chiller**

Se llevará a cabo el llenado del sistema de refrigeración por ciclo de expansión-compresión. Primero se llenará el condensador de amoníaco al nivel fijado por el fabricante y luego se activarán los sistemas mecánicos que realizan los ciclos de

expansión-compresión que dan lugar al proceso de refrigeración por evaporación del amoníaco con el aceite térmico usado de baja temperatura.

- **Vapor**

Para el uso de vapor en el intercambiador de calor encargado de calentar el aceite térmico usado de alta temperatura, se necesita en la puesta en marcha de la planta arrancar el sistema de la caldera que genera vapor a partir de agua descalcificada.

La caldera genera vapor a partir de la combustión del gas natural, que intercambia calor para generar este vapor.

Primero se generará vapor a baja presión y a medida que empiece a funcionar el sistema, se empezará a crear vapor a más alta presión, hasta que llegue a la presión deseada, para que tenga suficiente temperatura para calentar el aceite térmico.

Se activará el sistema de suministro del vapor al colector y del tanque de condensados de nuevo a la caldera a medida que vaya subiendo la presión del vapor generado.

- **Nitrógeno**

Para el control de la presión, venteo y inertización se usa nitrógeno que viene suministrado por una empresa externa.

Para la puesta en marcha del equipo se tiene que activar el sistema de gestión de este compuesto para ser usado en la planta.

El nitrógeno forma parte de un circuito, por lo tanto para la puesta en marcha solo es necesario controlar la presión de suministro y suministrar el nitrógeno a los equipos con un impulsor neumático.

- **Aire comprimido**

Se efectuará la activación de los sistemas de aire comprimido usados en la regulación de las válvulas de control automáticas. Se activarán las válvulas de aire y se controlará que el proceso de aire comprimido trabaja de una forma adecuada.

- **Servicios para el personal**

Se requerirá la activación de todos los sistemas de gestión de recursos para los trabajadores ya sea agua de los lavabos, sistema de aire acondicionado, calefacción, etc.

## **8.4. PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA**

En este apartado se trata el tema de la puesta en marcha de la planta de producción de freón 13 con todas las acciones previas a ésta realizadas y también realizada la puesta en marcha de los servicios.

Se tiene que diferenciar claramente dos posibles momentos en los que se realice la puesta en marcha de la planta, el primero será la puesta desde cero y el segundo será la puesta en marcha después de un paro ocasional.

El proceso de la puesta en marcha tiene como finalidad básica conseguir mediante un protocolo de actuación, que todos los equipos lleguen a funcionar correctamente hasta que el sistema esté en régimen estacionario.

Es importante redactar un protocolo para efectuar la puesta en marcha de forma correcta y ordenada, para no provocar que los equipos o, más generalmente el proceso, pueda sufrir algún tipo de problema y ocasionar desperfectos en los equipos.

### **8.4.1. PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DESDE CERO.**

La puesta en marcha de una planta desde cero es en cuanto a tiempo, el proceso más largo, ya que se tiene que ejecutar el protocolo y a la vez esperar a que el sistema alcance el régimen estacionario. A la vez se tienen que ir regulando los sistemas de control para que actúen ajustando los valores de consigna que se requieren ajustar.

Desde el punto de vista industrial, se entiende este proceso como delicado ya que de no realizar el protocolo como se establece, se puede malmeter el proceso porque todo el diseño industrial está pensado para llevarse a cabo el sistema en flujo continuo.

Para iniciar la puesta en marcha, se tiene que tener en cuenta:

- Disponer de todas las válvulas de control automáticas cerradas e ir activándolas a medida que el sistema va alcanzando el estado estacionario. Se destaca que el lazo de control tiene que estar activado pero sin conectar el elemento final de control, es decir que el lazo de control esté dispuesto en lazo abierto.

- Realizar el cebado de bombas previo a la puesta en marcha para no tener problemas de cavitación cuando se realice el bombeo de fluidos.

A continuación se presenta el protocolo de forma esquematizada de cómo efectuar la puesta en marcha de la planta desde 0.

#### **8.4.1.1. ÁREA 100**

En este apartado se explica como se tiene que llevar a cabo la puesta en marcha de los tanques de almacenaje de materias primas, y servirá de igual modo para los tres parques de tanques de materias primas, ya que se han diseñado y controlado de igual modo. Se empieza la puesta en marcha con todos los tanques vacíos.

1. El transportista ha llegado a la zona de descarga (del camión) del tanque y ha conectado la cisterna del camión con el sistema de tuberías de tuberías de la bomba que descarga el camión.
2. Conexión del sistema de control de las alarmas de nivel alto con las válvulas automáticas situadas en la entrada de cada tanque. El control funciona con una válvula automática abierta y las demás cerradas, cuando el nivel de líquido llega al punto de nivel alto, se cierra la válvula automática que estaba abierta y se abre otra hasta que todos los tanques estén en el nivel de líquido alto.
3. Conexión del sistema de control de presión de los cabezales de los tanques, y aberturas de las válvulas de control para la entrada de nitrógeno a los tanques.
4. Apertura de la válvula automática situada entre el camión cisterna y el sistema de bombeo que impulsa a cada tanque.
5. Accionamiento de las bombas de propulsión de fluidos y sus correspondientes controles de presión local.
  - Bomba P-101 para la entrada de tetracloruro de carbono, tanques TK-101-102.
  - Bomba P-103 para la entrada de fluoruro de hidrógeno, tanques TK-103-106.
  - Bomba P-105 para la entrada de pentacloruro de antimonio, tanque TK-107.

PUESTA EN MARCHA

6. Una vez descargado el contenido del camión cisterna se desconectan las mangueras y se cierra de nuevo la válvula manual de suministro a los tanques.
7. Antes de activar el sistema de control de nivel bajo, para que se abran las válvulas automáticas situadas a la salida de cada tanque y permitir la impulsión de los reactivos hacia el área 200, es necesario calentar el catalizador en el reactor R-201, igualmente se comenta como se procede en este apartado la finalización de la puesta en marcha del área 100. El siguiente paso es como se ha comentado activar el sistema de control de nivel bajo, que funciona abriendo una válvula de cada tanque de reactivo diferente hasta que el nivel de líquido llegue al punto bajo.

Las bombas de impulsión de reactivos, se realizará en la puesta en marcha del área 200.

#### 8.4.1.2. ÁREA 200

El área 200 comprende la primera reacción del proceso y la separación de los reactivos y productos principales del reactor R-201, donde la corriente de fondos se recircula de nuevo al reactor, por estos motivos, a pesar de que le llegará una recirculación nueva, pero mucho menor en proporción a las otras, ya quedará en estado estacionario por ella sola y por los reactivos del área 100.

1. Puesta en marcha del sistema de calefacción de la media caña del reactor R-201.
2. Impulsión del tanque TK-107 con la bomba P-106 de toda la cantidad de catalizador, pentacloruro de antimonio, que se necesita durante el proceso. Una vez está toda la cantidad de catalizador, cerrar el lazo de control de temperatura del reactor R-201, para no sobrecalentar el catalizador y activar el agitador del reactor con el correspondiente control.
3. Puesta en marcha de los sistemas de calefacción de los intercambiadores de calor del proceso y de puesta en marcha del área, exceptuando el IC-206, para que cojan temperatura.
4. accionar las bombas de propulsión de los fluidos de los tanques hacia el área 200.
  - Bomba P-102 para la entrada de tetracloruro de carbono, tanques TK-101-102.
  - Bomba P-104 para la entrada de fluoruro de hidrógeno, tanques TK-103-106.
5. Accionar las bombas de propulsión de los fluidos de los tanques hacia el MIX-201.
  - Bomba P-102 para la entrada de tetracloruro de carbono, tanques TK-101-102.
  - Bomba P-104 para la entrada de fluoruro de hidrógeno, tanques TK-103-106.
6. Activar los controles de caudal de reactivos hacia el mezclador MIX-201 y del control de RPM del agitador (lazos F-MIX201-01/02 y RPM-MIX201-01). Cuando el nivel del mezclador esté a un 50% de capacidad, activar la impulsión de salida del mezclador con la bomba P-201. No se acciona el

- nivel de líquido de mezclador ya que se hará después, el 30% que queda de capacidad por llenar se hará con recirculaciones del reactor R-201 para llegar antes a régimen estacionario.
7. La salida del mezclador MIX-201 pasa por el intercambiador R-201, donde no sale fluido hasta que se llena el nivel de la coraza o el líquido ocupa todo el volumen de los tubos del intercambiador, y también por el IC-206 para que se vaya calentando y entran al reactor R-201.
  8. El reactor R-201 se pone en marcha en varios pasos:
    - Todas las válvulas de salida están cerradas y se van abriendo cuando se necesita, por ese motivo hay que estar atento cuando se haga para que no coja mucha presión o temperatura en el llenado del reactor.
    - Cuando el reactor alcance el nivel de líquido de setpoint, se activa el lazo de control de líquido y de presión abriendo las válvulas de control de salida de líquido y de gas del reactor
    - La salida de líquido se recircula directamente hacia el mezclador MIX-201. La salida vapor se lleva al IC-205 y seguidamente al IC-202, activando los lazos de control cuando lleguen al nivel de capacidad o a la presión de salida y se recircula al mezclador MIX-201. A continuación se activa el lazo de control de nivel del mezclador MIX-201. Y se deja de recircular las salidas del reactor al mezclador y se recirculan siguiendo el proceso de operación en planta.
  9. Las dos salidas del reactor R-201 después de pasar por los intercambiadores de calor correspondientes y con todos los controles activados y set points de consigna. Llegan al mezclador MIX-202, con la válvula de salida cerrada, se activan los controles, primero de RPM del agitador. Cuando el nivel de líquido llegue al 40% se abre la salida del mezclador y se activa la bomba P-204 para la salida de líquido del mezclador hacia la columna de destilación CD-201.
  10. La columna de destilación CD-201 se pone en marcha en varios pasos:
    - Se abren las válvulas de salidas de cabezas y las dos de fondos de la columna.

PUESTA EN MARCHA

- Se activa el controlador de temperatura del condensador de la columna, IC-207, una vez el nivel del condensador llega al de consigna se abre la válvula que lleva al tanque de condensados, cuando alcance un nivel de líquido del 50% se abre la válvula de reflujo y se opera a reflujo total, activando la bomba P-206, aun no se abre la válvula de salida de corriente de destilado condensado.
  - Se activa el controlador de temperatura del kettle-reboiler y el controlador de presión de salida de recirculación a la columna.
  - Cuando la columna alcance el volumen total de líquido que tiene que tener y para que no se inunde, se abren las válvulas de salida tanto de destilado como de fondos y se activan los controladores de nivel de la columna y del tanque de condensados, el de temperatura de destilados y el del nivel del kettle-reboiler, activando la bomba P-205, recirculando los corrientes hasta el MIX-202, para llegar al estado estacionario sin rechazar tanto producto.
11. Con las recirculaciones de la CD-201 al MIX-202, éste sube de nivel, cuando esté alcanzando el de consigna se enciende el control de nivel del mezclador.
12. La corriente de fondos de la CD-201 pasa por el intercambiador de calor IC-204, en el cual cuando se alcanza toda la capacidad se abre la válvula de salida y se activa el control de temperatura del intercambiador. La corriente va dirigida al reactor R-201, con lo que todos los equipos tardarán más tiempo en equilibrarse y alcanzar el régimen estacionario.

### 8.4.1.3. ÁREA 300

El área 300 comprende la separación del corriente de destilados de la CD-201 para llevar el corriente de fondos al área 400 y el corriente de destilados, formado por cloruro de hidrógeno, llevarlo a la columna de absorción para obtener el subproducto del proceso, el ácido clorhídrico, por lo tanto el área 300 depende únicamente de la llegada del área 200 para llegar al estado estacionario. A continuación se presentan los pasos para efectuar la puesta en marcha de ésta área.

1. El primer paso para la puesta en marcha del área 300 es poner en marcha los sistemas de calefacción/refrigeración de todos los intercambiadores de calor del área, para que cojan temperatura y estén listos cuándo llegue fluido del área 200 y de los equipos del área 300.
2. Antes de encender la columna CD-301, se pone en marcha la columna de absorción CA-301 en varios pasos:
  - Primero se enciende el compresor CO-301 para que entre aire en la columna, activando el control de presión del compresor.
  - Se activa la impulsión de agua descalcificada con la bomba P-302.
  - La columna empezara a operar con una mezcla de aire y agua, por lo tanto no se absorberá nada ni se aumentará de temperatura en la columna, pero igualmente se pasará el agua por el condensador parcial (sin encender el control de temperatura) y se recirculará toda el agua.
  - Se activa el lazo de control de presión del condensador parcial para que el aire no condensable no se acumule demasiado en el condensador.
  - El corriente que se obtiene por fondos de la columna, estará formado únicamente por agua, con lo que se recircula de nuevo a la entrada de la columna, trabajando por lo tanto a reflujo total. La puesta en marcha inicial de la columna de absorción se hace de éste modo para que cuando empiece a llegar cloruro de hidrógeno de la columna de destilación CD-301, la columna de absorción esté preparada y no tener muchos problemas con acumulación del cloruro de hidrógeno ya que reacciona violentamente con el agua y surgirían problemas de seguridad.

3. El primer equipo del área es la columna de destilación CD-301, se pone en marcha en varios pasos:
  - Se abren las válvulas de salidas de cabezas y las dos de fondos de la columna.
  - Se activa el controlador de temperatura del condensador parcial de la columna, IC-302, una vez el nivel del condensador llega al de consigna se abre la válvula que lleva al tanque de condensados, cuando alcance un nivel de líquido del 50% se abre la válvula de reflujo y se opera a reflujo total, activando la bomba P-301, sin abrir las válvulas de salida de vapor del condensador parcial, por lo tanto habrá que enviar más fluido refrigerante operando a reflujo total para que condense todo el vapor que llega de la columna.
  - Se activa el controlador de temperatura del kettle-reboiler y el controlador de presión de salida de recirculación a la columna.
  - Cuando la columna alcance el volumen total de líquido que tiene que tener y para que no se inunde, se abren las válvulas de salida tanto de destilado, por lo tanto se abre la válvula de salida de destilado vapor y se activa el controlador de presión del condensador parcial de la columna, IC-302; como de fondos y se activan los controladores de nivel de la columna, el de temperatura de destilados y el del nivel del kettle-reboiler, el corriente de fondos se envía al área 400, activando la bomba P-303 y el corriente de destilados se envía a la columna de absorción.
4. Se activa el control de presión de la válvula de expansión VE-301, para asegurar que el cloruro de hidrógeno se descomprime a la presión de consigna, antes de llegar a la columna de absorción.
5. Ahora se acabará de poner en marcha la columna de absorción, que ya está preparada, circulando por el interior únicamente agua y aire. Se hace en varios pasos.
  - Por la peligrosidad de la reacción que ocurre, lo primero en hacer cuando empieza a llegar cloruro de hidrógeno es activar el control de temperatura de la columna de absorción.

PUESTA EN MARCHA

- El siguiente paso es activar el control de temperatura del condensador parcial IC-302, ya que la temperatura en la columna habrá aumentado.
- Activar el control de nivel del tanque de condensados para controlar un caudal de retorno a la columna de agua condensada constante.
- Para finalizar, se activa el control de nivel de líquido en los fondos de la columna de absorción y se activa la bomba de impulsión de fluidos del área 600, P-603, para vaciar la columna y que no se acumule demasiado líquido.

Se tendrá que esperar un tiempo a que el sistema se estabilice y obtener la concentración deseada de ácido clorhídrico en fondos de la columna.

#### 8.4.1.4. ÁREA 400

El área 400, comprende la segunda reacción del proceso, obteniendo ya el producto deseado mezclado con los reactivos del reactor. El área empieza con un mezclador donde se mezcla la corriente obtenida en los fondos de la columna de destilación CD-301 y, otra corriente que proviene del área 500, formado principalmente por refrigerante R-12 que no ha reaccionado, por lo tanto, el área 400 y 500, alcanzaran el régimen estacionario conjuntamente, ya que hay corrientes que van de un área a la otra y vuelven. A continuación se explica paso por paso los procedimientos para efectuar la puesta en marcha del área 400.

1. Puesta en marcha de los sistemas de calefacción de los intercambiadores de calor del proceso y de puesta en marcha del área, exceptuando el IC-402, para que cojan temperatura. También se activa el sistema de calefacción del reactor R-401, por el mismo motivo.
2. La corriente proveniente del área 300, llega al mezclador MIX-401, cuándo el nivel de líquido en el mezclador alcance el 40%, se abre la válvula de salida del mezclador. La resta de nivel que queda por llenar, se hará con la recirculación del área 500, y así llegar al estado estacionario más rápidamente y ahorrar el máximo de fluido que se tendrá que rechazar. El lazo de control de nivel se activará más adelante.
3. El fluido que sale del mezclador pasa por el intercambiador de calor de la puesta en marcha, activando el control de temperatura de éste, y abriendo la válvula de salida cuando el nivel de líquido llene el intercambiador, y posteriormente se hace circular por el intercambiador de calor de proceso IC-402 para que coja temperatura para cuando llegue el corriente del reactor.
4. Activar el control de la válvula de expansión VE-401 para despresurizar la corriente que entra al reactor R-401.
5. Para la puesta en marcha del reactor R-401, se hace en varios pasos:
  - Primero se conecta el control de temperatura del reactor, ya que éste ya está caliente debido a que lo primero en conectar del área ha sido el sistema de refrigeración del reactor.

PUESTA EN MARCHA

- Posteriormente, se activa el control de presión de salida de los productos, para que empiecen a salir productos cuando se haya llenado completamente el reactor.
- 6. Activar el compresor CO-401 que comprimen los productos del reactor R-401 y activar el control de presión del compresor.
- 7. El corriente a la salida del compresor se hace pasar por el intercambiador de calor IC-402, activando el control en cascada de temperatura del intercambiador.

#### 8.4.1.5. ÁREA 500.

El área 500 es la última área de producción y es la encargada de separar los componentes de la mezcla de salida del reactor R-401 para obtener el producto final y recircular los reactivos que no han reaccionado de nuevo a los reactores de las áreas 200 y 400. A continuación se explican los pasos para la puesta en marcha del área 500:

1. El primer paso para la puesta en marcha del área 500 es poner en marcha los sistemas de calefacción/refrigeración de todos los intercambiadores de calor del área, para que cojan temperatura y estén listos cuándo empiece a llegar corrientes de proceso.
2. El primer equipo del área es el intercambiador de calor IC-501, que refrigera la corriente de salida del área 400. El primer paso es abrir la válvula de salida del intercambiador, cuando el nivel de líquido llegue al de consigna y activar el control de temperatura del intercambiador. Para poner en marcha gradualmente el equipo y autorregulándose para la operación en régimen estacionario.
3. El siguiente equipo del área 500 es la columna de destilación CD-501, que se pone en marcha en varios pasos:
  - Se abren las válvulas de salidas de cabezas y las dos de fondos de la columna.
  - Se activa el controlador de temperatura del condensador de la columna, IC-504, una vez el nivel del condensador llega al de consigna se abre la válvula que lleva al tanque de condensados, cuando alcance un nivel de líquido del 50% se abre la válvula de reflujo y se opera a reflujo total, activando la bomba P-502, aun no se abre la válvula de salida de corriente de destilado condensado.
  - Se activa el controlador de temperatura del kettle-reboiler y el controlador de presión de salida de recirculación a la columna.
  - Cuando la columna alcance el volumen total de líquido que tiene que tener y para que no se inunde, se abren las válvulas de salida tanto de destilado como de fondos, activando la bomba P-503, y se activan los controladores de nivel de la columna y del tanque de condensados, el de

temperatura de destilados y el del nivel del kettle-reboiler circulando el corriente de fondos hacia la columna CD-502.

- El corriente de destilados se envía al área 600, mediante la impulsión de la bomba situada en el área 600, P-601.
4. El siguiente equipo del área 500, es la columna de destilación CD-502, la cual recibe el corriente de fondos de la columna CD-501 mediante la impulsión de la bomba P-503, ya activada. La puesta en marcha de la columna de destilación se hace en varios pasos:
- Se abren las válvulas de salidas de cabezas y las dos de fondos de la columna.
  - Se activa el controlador de temperatura del condensador de la columna, IC-505, una vez el nivel del condensador llega al de consigna se abre la válvula que lleva al tanque de condensados, cuando alcance un nivel de líquido del 50% se abre la válvula de reflujo y se opera a reflujo total, activando la bomba P-504, aun no se abre la válvula de salida de corriente de destilado condensado.
  - Se activa el controlador de temperatura del kettle-reboiler y el controlador de presión de salida de recirculación a la columna.
  - Cuando la columna alcance el volumen total de líquido que tiene que tener y para que no se inunde, se abren las válvulas de salida tanto de destilado como de fondos, y se activan los controladores de nivel de la columna y del tanque de condensados, el de temperatura de destilados y el del nivel del kettle-reboiler, circulando el corriente de fondos hacia el intercambiador de calor IC-502.
  - El corriente de destilados se envía de nuevo al mezclador del área 400, MIX-401, ya que está formado principalmente por R-12, reactivo del reactor R-401.
5. Con la llegada del corriente de destilados al MIX-401, se acaba de hacer la puesta en marcha del área 400. Se deja llenar el mezclador con la recirculación de la columna CD-502 hasta que éste llegue al nivel de consigna de líquido, entonces se activa el controlador de nivel del mezclador. En este momento, se deja de usar el intercambiador de calor IC-

PUESTA EN MARCHA

401 ya que solo es para la puesta en marcha y se circula directamente al IC-402.

6. El corriente de fondos de la columna CD-502, se envía al intercambiador de calor IC-502, cuando el nivel de líquido del intercambiador llega al de consigna, se abre la válvula de salida de líquido y se activa el control de temperatura del intercambiador.
7. Para la salida del intercambiador IC-502, se activa la bomba P-505, que envía el corriente de nuevo al área 200, al reactor R-201.

Hasta aquí ya se ha puesto en marcha todo el proceso productivo, pero se tiene que tener en cuenta que tarda un tiempo de nuevo en llegar al estado estacionario porque de la última columna del proceso se hacen dos recirculaciones, una al reactor R-201 con lo que éste y todos los equipos que le preceden tardarán un nuevo tiempo en equilibrarse y en cancelar la acumulación que se producirá; y otro corriente que se recircula al MIX-401, con lo que también tardará un tiempo en alcanzar el estado estacionario.

#### 8.4.1.6. ÁREA 600.

El área 600 es el área donde se almacenan el producto principal del proceso y el subproducto del proceso, por lo tanto está formado únicamente por dos parques de tanques distintos y las bombas necesarias para impulsar el fluido hasta los tanques. La puesta en marcha de ésta área se explica a continuación:

1. Para la puesta en marcha del área de almacenaje de productos, se supone que aun no llegan camiones hasta acumular un cierto nivel de productos en los tanques, por lo tanto los controles de nivel alto están desactivados.
2. El primer paso es activar la refrigeración de los condensadores instalados en cada tanque de refrigerante R-13, para que vayan cogiendo temperatura, ya que se extrae del tanque vapor y se condensa de nuevo para mantener la temperatura del tanque y el estado líquido (tanques TK-601-604 y intercambiadores IC-601-604)
3. Se activa, si no se ha hecho con anterioridad en el proceso, la impulsión de las bombas de productos hasta los tanques:
  - Bomba P-601 para los tanques de almacenaje de refrigerante R-13, tanques TK-601-604.
  - Bomba P-603 para los tanques de almacenaje de ácido clorhídrico, tanques TK-605-607.
4. Se activa los lazos de control de alarmas de nivel de punto alto, para que se abra una válvula hasta que se llene el tanque, y entonces se cierre dicha válvula automática y se abra la de otro tanque.
5. Activación de los lazos de control de presión para la entrada de nitrógeno a los tanques de ácido clorhídrico para tal de presurizar el cabezal de los tanques y realizar los venteos (tanques TK-605-607).
6. Se activa los lazos de control de presión de los tanques de almacenaje de refrigerante R-13 para empezar a condensar el vapor que se haya formado.
7. Activación de los controles de temperatura de los condensadores de los tanques de almacenaje de refrigerante R-13.
8. Una vez el nivel de los tanques es suficiente ya empiezan a cargar los camiones, para hacerlo, éstos se conectan mediante una manguera con el sistema de tuberías para cada parque de tanques.

PUESTA EN MARCHA

9. Se abre la válvula de acción manual cuando el camión está conectado con las tuberías.
10. Se activa el control de nivel bajo de los tanques, mediante el cual solo se abre una válvula de un tanque para descargar el contenido a la cisterna del camión hasta que el nivel de líquido en el tanque llega al punto bajo, entonces la válvula automática de ese tanque se cierra y se abre otra.
11. Activación de las bombas para la descarga.
  - Bomba P-602 para la descarga de refrigerante R-13, TK-601-604.
  - Bomba P-604 para la descarga de ácido clorhídrico, TK-605-607.
12. Cuando se haya finalizado la carga de un camión cisterna, se cierra la válvula de acción manual que conecta el camión con la bomba de descarga y se desconecta la manguera que une al camión.

Aquí finaliza la puesta en marcha desde cero de la planta y es el proceso que va a tardar más en estabilizarse y alcanzar el estado estacionario.

#### **8.4.2. PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DESPUÉS DE UNA PARADA PUNTUAL.**

El proceso para llevar a cabo la puesta en marcha de la planta después de una parada localizada se asemeja notablemente a la puesta en marcha desde cero, aunque contiene ciertas peculiaridades.

Primeramente el tiempo que transcurrida en la puesta en marcha, será notablemente menor, debido a que estos equipos ya contendrán fluido y por lo tanto al reiniciar el sistema se establecerá el estado estacionario de forma más rápida.

No obstante, si la parada es por una avería que tarde tiempo en arreglarse, se tendrá que estudiar como se lleva a cabo la puesta en marcha, ya que al no haber instalado tanques pulmón no se podrá seguir entrando reactivos al sistema si perdura mucho la avería y solo habrá el juego de controlar manualmente el nivel de los mezcladores del proceso para poder acumular un 20% más de líquido en ellos y dar tiempo de arreglar la avería sin parar la planta entera.

Si la avería da tiempo a arreglarse si tener que parar la entrada de reactivos, se seguirá los siguientes puntos para poner en marcha la planta de nuevo:

- Reactivación de los sistemas de intercambio de calor de circuito cerrado.
- Apertura de las válvulas de entrada y salida.
- Reactivación de los sistemas de control con sus correspondientes valores de consigna.

Si en el caso contrario no da tiempo a arreglar la avería y hay que parar el suministro de reactivos al proceso, se tendrá que efectuar la puesta en marcha como marca el apartado anterior, desde cero, aunque algunos puntos se podrán saltar al estar llenos los equipos ya.

## 8.5. PARADA DE LA PLANTA

En cuanto a la parada de la planta en los cálculos de diseño se ha estimado una producción de 330 días laborables, por lo tanto habrá una parada de 35 días en los que la planta no será productiva y durante este período se realizarán procesos de mantenimiento, limpieza y recambio de productos usados en el proceso como por ejemplo los catalizadores usados en los reactores R-201 y R-401.

Por lo tanto se estimarán unas doctrinas para llevar a cabo la parada de la planta de forma general, exceptuando la parada de los reactores, ya que en el primero, el R-201, el catalizador se tiene que separar y una empresa externa lo trata, y en el segundo reactor, R-401, el catalizador se tiene que extraer del reactor ya que está en forma sólida y inmovilizado con sílica gel.

A continuación se exponen las doctrinas generales de parada de la planta:

- Cerrar las válvulas que suministran fluido a los equipos.
- A la vez que se cierran los suministros a los equipos se controla de forma muy minuciosa los sistemas de control, de forma que a medida que vayan saltando las alarmas ir cerrando los sistemas que alteran el sistema, ya sea por sistemas de refrigeración, controles de caudales, controles de presión.
- A medida que se realice la parada se irán cerrando de forma paulatina los servicios de la planta.
- Cerrado y comprobación de la estanqueidad de los sistemas.
- Tratamiento anti agentes químicos.
- Mantenimiento y reparación de los equipos mecánicos.

### - SEPARACIÓN DEL CATALIZADOR DEL PRIMER REACTOR.

Como ya se ha comentado, es necesario separar el catalizador, pentacloruro de antimonio, del primer reactor, R-201, para tal de llevarlo a una empresa externa que lo reactive y por lo tanto hay que separarlo de los otros reactivos que quedarán sin reaccionar para abaratar el costo del tratamiento del catalizador.

Para separar el catalizador se ha diseñado un decantador gravitatorio aprovechando la diferencia de densidades entre el pentacloruro de antimonio y los

demás reactivos. Éste proceso se hará progresivamente mientras se va realizando la parada de la planta, ya que, el corriente que se trata proviene de los fondos de la columna de destilación CD-201, mezcla compuesta por el catalizador, y principalmente por refrigerante R-11 y cloruro de hidrógeno (reactivos del proceso y por lo tanto quedarán guardados en planta mientras ésta esté parada).

El proceso consiste en que mientras se vaya efectuando la parada de la planta, el corriente que se obtiene por el kettle-reboiler K-201, se impulse hasta el área de tratamientos donde está situado el decantador gravitatorio, en el se formaran dos fases diferenciadas, la de catalizador que se impulsará hasta el tanque de almacenaje del catalizador gastado y la fase ligera que quedará en la zona superior del decantador se envía de nuevo al reactor R-201 donde quedará ahí almacenada hasta la nueva puesta en marcha de la planta

**- VACÍADO DEL CATALIZADOR DEL REACTOR R-401.**

El segundo reactor del proceso, R-401, situado en el área 400, es un reactor multitubular de lecho fijo, por lo tanto, a la parada de la planta se ha supuesto que el catalizador situado en el lecho fijo del reactor estará agotado y por lo tanto hay que vaciar el reactor de catalizador.

Para realizar esta acción se ha decidido que se hará inyectando una corriente de nitrógeno gas a presión que fuerce al sólido a desplazarse y abandonar el reactor por la parte superior de éste. El catalizador, se envía a una empresa externa que trate el residuo sólido, si no es posible reactivarlo, que lo trate y se deshaga de él, por lo que habrá que comprar nuevo catalizador cada año.

El proceso de llenado del reactor se hace mediante el mismo procedimiento que el vaciado y se hará en los 35 días que la planta está parada.

