

SynPhos

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA

Jaume Beà Galvez
Héctor Cazorla Orpí
Carles Lapeña March
Ainara López Agudo
Germán Vegas Montoya

TUTOR:
Oscar Guerrero Sodric

Febrero 2025

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

Enginyeria
UAB



SynPhos

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA

CAPÍTULO 8: PUESTA EN MARCHA

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

Enginyeria
UAB

Índice

8. Puesta en marcha de la planta SynPhos	2
8.1. Introducción	2
8.2. Acciones previas	3
8.2.1. Documentación previa.....	3
8.2.1.1. Certificados de materiales	3
8.2.1.2. Protocolos DQ, IQ, OQ y PQ	3
8.2.1.3. Manuales de equipos, accesorios e instrumentos	4
8.2.2. Preparación previa.....	4
8.2.2.1. Organización y comprobación	4
8.2.2.2. Inspecciones técnicas	5
8.2.2.3. Pruebas de seguridad	5
8.2.2.4. Mantenimiento previo	6
8.2.3. Servicios	6
8.2.4. Equipos.....	7
8.2.4.1. Pruebas hidráulicas y de presión	7
8.2.4.2. Preparación de bombas y compresores	8
8.2.5. Seguridad de planta	8
8.3. Puesta en marcha inicial	9
8.3.1. Servicios y mantenimiento	9
8.3.2. Sala de control y Laboratorio de control	10
8.3.3. Área contra incendios	10
8.3.4. Almacén.....	10
8.3.5. Gestión de gases	10
8.3.6. Almacenamiento de las sales residuales.....	11
8.3.7. Condensador y reactor.	11
8.3.8. Pretratamiento	11
8.4. Parada planificada	12
8.5. Parada de emergencia	12
8.6. Bibliografía.....	14

8. Puesta en marcha de la planta SynPhos

8.1. Introducción

La puesta en marcha de la planta de producción de fosgeno SynPhos implica una serie de acciones planificadas y controladas con el fin de garantizar un funcionamiento seguro y eficiente desde el inicio de la producción.

Tras finalizar el diseño, la construcción, y la instalación de todos los equipos, tuberías, válvulas y demás componentes, se llevan a cabo diversas comprobaciones en cada equipo para asegurar que operen correctamente. En caso de detectar fallos, es necesario realizar las reparaciones o sustituciones pertinentes.

Existen tres tipos principales de puesta en marcha: desde cero, tras una parada planificada y después de una parada de emergencia. La puesta en marcha desde cero se efectúa una sola vez, al inicio de la vida útil de la planta, mientras que la puesta en marcha tras una parada planificada se realiza periódicamente. En SynPhos se programan estas paradas en agosto y diciembre para mantenimiento y ajustes. La puesta en marcha tras una parada de emergencia, al ser imprevista, presenta mayores riesgos, especialmente si ocurre durante una reacción en proceso.

Para una puesta en marcha exitosa, es esencial que el personal esté adecuadamente capacitado y equipado, y que se sigan estrictos protocolos de seguridad. Además, en SynPhos se establece una planificación de producción de 300 días al año, reservando los días restantes para mantenimiento y paradas programadas.

Antes de la puesta en marcha, es necesario realizar pruebas de pre-arranque para verificar la integridad de los sistemas y asegurar su respuesta conforme a los estándares de seguridad. También es crucial implementar protocolos ambientales para gestionar emisiones y efluentes, cumpliendo con las normativas y minimizando el impacto.

Un sistema de monitoreo y control automatizado (como DCS o SCADA) permite supervisar variables críticas en tiempo real, lo que garantiza la estabilidad operativa y la rápida corrección de cualquier desviación. La gestión de riesgos debe incluir simulacros y evaluaciones HAZOP para prevenir fallos, junto con la capacitación continua del personal para asegurar una operación segura, eficiente y conforme a las normativas.

8.2. Acciones previas

Antes de realizar la primera puesta en marcha, se deben llevar a cabo una serie de acciones previas, con el fin de comprobar los elementos de seguridad, los servicios, etc.

8.2.1. Documentación previa

Existen tres documentaciones diferentes que deben ser revisadas antes de la primera puesta en marcha. Estas son las siguientes.

8.2.1.1. Certificados de materiales

En la planta SynPhos, el fosgeno se fabrica con materia prima específica seleccionada en función de las exigencias del proceso, que involucra sustancias inflamables y tóxicas bajo estrictas condiciones de presión y temperatura. Por ello, es fundamental que el proveedor garantice la calidad de los materiales, ya que cualquier incumplimiento en las propiedades especificadas lo haría responsable de las pérdidas derivadas de su uso en la planta.

El proveedor entrega un certificado de materiales junto con cada equipo nuevo, documento que detalla las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales empleados. Este certificado también incluye información relevante sobre el proveedor, como su nombre, descripción y el origen de los materiales, indicando si fueron fabricados internamente o por terceros. En adición, se pueden adjuntar documentos de referencia, como normativas y especificaciones técnicas aplicadas en la fabricación, y una declaración de conformidad que certifica que los materiales cumplen con los requisitos establecidos.^[1]

8.2.1.2. Protocolos DQ, IQ, OQ y PQ

En la planta, se implementan protocolos adicionales para todos los equipos de producción y servicio, con el fin de asegurar su operación segura y eficiente. Estos protocolos abarcan las distintas fases de cualificación y validación de los equipos, garantizando el cumplimiento de los requisitos operativos y de calidad.

- La **cualificación del diseño (DQ)** verifica que el diseño del equipo cumple con los requisitos del cliente, las normativas de seguridad y las especificaciones operativas.
- La **cualificación de la instalación (IQ)** certifica que la instalación del equipo se ha realizado conforme a los parámetros definidos en la DQ, comprobando su correcta ubicación y conexión. La IQ se realiza durante la instalación del proyecto y valida una vez completada la instalación.
- La **cualificación de operación (OQ)** verifica que cada equipo funciona según los requisitos del diseño, mediante pruebas de rendimiento específicas para sus características, como pruebas de carga y capacidad. Cada equipo debe realizar unas pruebas diferentes en función de sus propias características.

- La **cualificación de funcionamiento (PQ)** asegura la efectividad y reproducibilidad del proceso, tanto en condiciones normales de operación como en situaciones límite, demostrando un desempeño consistente y seguro de los equipos. Esta se realiza una vez superadas la IQ y la OQ.^[2]

8.2.1.3. Manuales de equipos, accesorios e instrumentos

Los manuales de los equipos, accesorios e instrumentos de la planta SynPhos contienen información detallada sobre sus características, funcionamiento y los procedimientos asociados al proceso. Estos documentos incluyen instrucciones completas para realizar los mantenimientos preventivos y correctivos, así como para las paradas y puestas en marcha de los equipos, además de especificar los recambios necesarios para su óptimo funcionamiento.

Cada trabajador responsable de la puesta en marcha de la planta debe recibir una copia de los manuales de todos los equipos y, antes de iniciar la operación, conocer a fondo cada uno de los puntos del manual de operación. La responsabilidad de cualquier error durante la puesta en marcha recaerá sobre el personal encargado, que debe cumplir rigurosamente las instrucciones del manual para asegurar la seguridad y eficacia en las operaciones de la planta.

8.2.2. Preparación previa

Tanto para la puesta en marcha inicial de la planta, como para la puesta en marcha posterior a una parada planificada, se deben llevar a cabo una serie de preparativos que aseguran que se lleva a cabo de forma segura y eficiente. Esta preparación se compone de la comprobación de la organización, las inspecciones técnicas necesarias y las pruebas de los equipos posteriores al mantenimiento.

8.2.2.1. Organización y comprobación

Antes de iniciar la puesta en marcha de una planta química, es fundamental organizar de forma eficiente las actividades y realizar comprobaciones clave para asegurar un arranque adecuado. Es importante coordinar al personal y planificar los turnos, de manera que haya suficiente apoyo en esta fase crítica. Al mismo tiempo, se debe confirmar la disponibilidad de los proveedores para garantizar que los materiales necesarios estén a tiempo y los equipos funcionen correctamente.

También es necesario revisar el inventario de materias primas, asegurándose de contar con las reservas necesarias para evitar interrupciones durante el proceso de arranque. Además, es importante comprobar que los protocolos y procedimientos estén actualizados y sean adecuados para las operaciones previstas.

De la misma manera, se debe garantizar que los procedimientos de trabajo estén correctamente incluidos en los Procedimientos Normalizados de Trabajo (PNT), guía esencial para llevar a cabo la puesta en marcha de manera segura y eficiente.

8.2.2.2. Inspecciones técnicas

Las inspecciones técnicas son cruciales en el proceso de puesta en marcha de la planta química. Estas permiten verificar que los sistemas y equipos estén en condiciones óptimas para su operación. Dentro de esta tarea, se destacan las siguientes áreas de inspección:

- **Inspección del equipamiento:** Evaluación visual detallada de todos los equipos para confirmar su buen estado, correcta instalación y ubicación adecuada. Es fundamental para identificar posibles daños o defectos y prevenir problemas operativos graves.
- **Inspección del sistema eléctrico:** Revisión exhaustiva de los sistemas eléctricos que garantiza que la instalación es segura y cumple con los estándares requeridos. Se presta especial atención a los tableros de control, sistemas de protección contra sobrecargas y conexiones de toma a tierra.
- **Inspección del sistema de tuberías:** Verificación de la instalación del sistema de tuberías, asegurando que se encuentran libres de bloqueos, fugas o fisuras. También se revisan las conexiones, válvulas y demás componentes para asegurar su funcionalidad y evitar fallos durante la operación.
- **Inspección de los sistemas de control:** Revisión de los sistemas de automatización y monitoreo para asegurar que estén configurados correctamente y que los parámetros operativos cumplan con los requisitos del proceso.
- **Inspección de los accesorios:** Verificación de la correcta identificación de equipos, válvulas y tuberías mediante etiquetas que se ajusten a los diagramas P&ID. Esto facilita su localización y correcto uso en el sistema.
- **Inspección de los sistemas de seguridad:** Evaluación de los sistemas de protección de la planta, incluyendo alarmas, sistemas de aviso y dispositivos contra incendios, para garantizar que todos funcionen de manera efectiva y conforme a las normativas de seguridad.

8.2.2.3. Pruebas de seguridad

Las pruebas previas a la puesta en marcha son fundamentales para garantizar el correcto funcionamiento e integración de los diversos equipos de la planta. A continuación, se describen las principales pruebas realizadas, con especial énfasis en las pruebas hidrostáticas debido a su especificidad:

- **Pruebas funcionales de los equipos:** Operación individual de cada equipo para verificar su desempeño. Se incluyen evaluaciones como pruebas de presión, pruebas hidráulicas y verificaciones en sistemas motorizados o de refrigeración.
- **Pruebas de conexión del sistema:** Confirmación de que todos los elementos de la planta estén correctamente interconectados, minimizando el riesgo de interrupciones o fallos en la conexión que puedan comprometer el proceso productivo.

- **Pruebas de control y automatización:** Verifican que los sistemas de control y automatización operan conforme a los requisitos establecidos. Esto implica probar sensores, sistemas de monitoreo y otros componentes, ajustando los parámetros operativos según sea necesario, garantizando la precisión del control.
- **Pruebas de seguridad y emergencia:** Confirman que los sistemas y protocolos de seguridad funcionen de manera adecuada. Incluyen la activación de sistemas contra incendios, simulacros de evacuación y la revisión de otros procedimientos de respuesta ante emergencias.
- **Pruebas de comunicación e integración:** Garantizan la funcionalidad de los canales de comunicación, tanto internos como externos. Verifican la transmisión eficiente de datos dentro de la planta, así como la comunicación efectiva con servicios externos, como los de emergencia.

8.2.2.4. Mantenimiento previo

Este incluye una serie de actividades críticas para asegurar el correcto funcionamiento de la planta desde el inicio de las operaciones. Entre estas actividades se encuentra el **calibrado de la instrumentación**, una tarea esencial para garantizar lecturas precisas y fiables de los parámetros operativos durante el funcionamiento.

Asimismo, se lleva a cabo la **limpieza de los equipos** para eliminar suciedad acumulada y posibles obstrucciones, asegurando así un rendimiento óptimo. Esta limpieza es especialmente importante para evitar interferencias en los procesos y preservar la integridad de los componentes.

Por último, se realiza la **revisión y sustitución de piezas, equipos, tuberías y accesorios** que presenten desgaste o daños. Este paso es crucial para prevenir fallos imprevistos durante la puesta en marcha y en el posterior funcionamiento normal de la planta, maximizando así la fiabilidad operativa y minimizando riesgos.

8.2.3. Servicios

Antes de iniciar la producción, es fundamental verificar la operatividad de los servicios generales de planta ya que tienen un papel esencial en el mantenimiento de la estabilidad del proceso y en el cumplimiento de las condiciones operativas y de seguridad previamente establecidas. Entre las acciones prioritarias se encuentran:

- Inspección y mantenimiento del **sistema de distribución**, asegurando que no existan fugas en las redes de agua, aire comprimido o combustible.
- Inspección de las **conexiones de la red de agua**, asegurando un flujo continuo y adecuado para todas las operaciones requeridas. Garantizar el **suministro de agua y electricidad** en las áreas operativas esenciales.

- Revisión del **suministro eléctrico** en toda la planta, verificando los cuadros eléctricos y asegurando una iluminación adecuada en todas las áreas.
- Revisión del funcionamiento de los **compresores**, comprobando que el aire comprimido llegue a las válvulas sin pérdidas de presión significativas.
- Verificación de la cantidad de **combustible suficiente** para los equipos que lo requieran, como las calderas.
- Revisión del **sistema de refrigeración cerrado** para confirmar que mantiene las condiciones óptimas de temperatura y presión, contribuyendo a la estabilidad operativa de la planta durante el estado estacionario.

Estas tareas garantizan que los servicios esenciales estén plenamente funcionales antes de proceder a la puesta en marcha completa de la instalación.

8.2.4. Equipos

Realizar pruebas exhaustivas en los equipos de impulsión es necesario al empezar el proceso productivo después de una parada. Estas garantizan la adecuada preparación de bombas y compresores para su funcionamiento. Estas actividades aseguran la operatividad y fiabilidad del sistema durante las condiciones normales de operación.

8.2.4.1. Pruebas hidráulicas y de presión

Las pruebas hidráulicas evalúan la integridad del sistema de tuberías y equipos. Consisten en la inyección de una solución de agua mezclada con un trazador, lo que permite detectar posibles fugas, poros o defectos en las soldaduras de componentes como tuberías, válvulas, bombas y accesorios. Además, evalúan la capacidad del sistema para soportar cargas sin presentar vibraciones o deformaciones mecánicas durante el funcionamiento.

Por otro lado, las pruebas de presión utilizan gas a alta presión para verificar que los equipos puedan resistir condiciones operativas exigentes. También se emplean para comprobar la estanqueidad del sistema: si la presión se mantiene constante, se garantiza que no hay pérdidas y que los equipos son completamente herméticos.

Una vez finalizadas estas pruebas, se procede a purgar el sistema con agua y secar los circuitos con aire, dejando todo preparado y limpio para la operación.

8.2.4.2. Preparación de bombas y compresores

El correcto arranque de las bombas se lleva a cabo con un llenado completo de líquido, eliminando cualquier traza de aire en su interior. Las bombas se equipan con dispositivos de seguridad en la salida que previenen problemas como la cavitación, asegurando un funcionamiento continuo y seguro.

En cuanto a los compresores, su preparación incluye un proceso de purga para eliminar impurezas. Esto se lleva a cabo mediante la apertura de válvulas de purga y la regulación del flujo de gas de salida. Tras este procedimiento, se conecta el aire al sistema y se verifica que el depósito de aire se carga completamente hasta alcanzar la presión máxima de operación.

8.2.5. Seguridad de planta

La revisión y operatividad de los sistemas de emergencia son pasos iniciales clave. Esto incluye la comprobación de duchas de seguridad y estaciones lavaojos, asegurando su correcto funcionamiento en caso de incidentes. Asimismo, se verifica el estado, ubicación y señalización de los extintores, realizando un mantenimiento periódico que garantice su óptimo desempeño. Se presta especial atención a las alarmas y sensores de temperatura para detectar anomalías que puedan representar riesgos de incendio.

También se evalúa el nivel de agua en el depósito contra incendios y la operatividad de las bombas asociadas, asegurando que los sistemas reciban un suministro adecuado y estén correctamente señalizados para su rápida localización en emergencias.

Un inventario detallado de los Equipos de Protección Individual (EPI) asegura que todo el personal cuenta con los recursos necesarios para protegerse. Además, se inspeccionan botiquines y kits de primeros auxilios, confirmando la disponibilidad de materiales médicos esenciales. Es imprescindible contar con personal calificado equipado con EPI adecuados y que haya recibido formación en prevención de riesgos laborales, primeros auxilios, protección contra incendios y manejo de atmósferas explosivas. Este equipo debe estar completamente familiarizado con el funcionamiento de la planta y los protocolos asociados a la manipulación segura de los equipos.

Por otro lado, se revisa la calibración de válvulas de seguridad y discos de ruptura para garantizar su correcto funcionamiento en caso de sobrepresión. La accesibilidad y señalización de las salidas de emergencia también son verificadas, asegurando rutas despejadas para evacuaciones rápidas.

8.3. Puesta en marcha inicial

La puesta en marcha inicial es la que se realiza de cero, para llevar a cabo por primera vez el proceso productivo. Se estudia un protocolo a seguir que ordena las acciones a llevar a cabo, siguiendo un orden específico y una metodología concreta.^[3] El orden de las áreas a poner en marcha se recoge en la *Tabla 8.1*:

Tabla 8.1. Orden de la puesta en marcha inicial en SynPhos.

Orden	Sección	Área de la planta
1	Servicios y mantenimiento	A-500
2	Sala de control	A-400
3	Laboratorio de control	A-800
4	Área contra incendios	A-900
5	Almacén	A-700
6	Gestión de gases	A-300
7	Almacenamiento de sales residuales	A-1000
8	Condensador y reactor	A-200
9	Pretratamiento	A-100

8.3.1. Servicios y mantenimiento

Los suministros de los servicios auxiliares son los primeros en iniciarse, ya que son necesarios para la actividad en todas las áreas de la planta. La puesta en marcha de estos se detalla a continuación:

- A) Electricidad:
 - i) Poner en marcha los transformadores e iniciar el suministro eléctrico.
 - ii) Poner en marcha los cuadros eléctricos de la planta de producción.
 - iii) Comprobar que todas las áreas de la planta reciben un correcto suministro eléctrico.
- B) Gas natural:
 - i) Abrir la entrada de gas natural en la planta
 - ii) Suministro a las calderas de vapor.
- C) Agua de red:
 - i) Abrir la entrada de agua de red en la planta
 - ii) Comprobar que el agua llega a todos los equipos y tomas de agua.
 - iii) Comprobar que no existen fugas en el sistema de tuberías y válvulas.
- D) Agua contra incendios:
 - i) Abrir la entrada de agua de red al área contra incendios y llenar el tanque de agua.
 - ii) Comprobar el funcionamiento de las líneas de bombeo.
 - iii) Comprobar la salida de agua en los sistemas contra incendios.
 - iv) Activación del sistema de gestión antiincendios.
- E) Aire comprimido:
 - i) Encender los compresores de aire comprimido.
 - ii) Comprobar que el aire llega a todas las válvulas necesarias.

- iii) Comprobar que no existen pérdidas de presión en ningún punto.
- F) Refrigeración:
 - i) Suministrar agua de refrigerante y electricidad al equipo.
 - ii) Comprobar que los equipos funcionan correctamente y que no existen fugas.
 - iii) Poner en marcha la torre, con el circuito de refrigeración hasta alcanzar las condiciones de trabajo en estado estacionario.
- G) Calderería:
 - i) Suministrar agua de red para llenar el equipo.
 - ii) Comprobar que no existen fugas.
 - iii) Poner en marcha las calderas, con el circuito cerrado hasta alcanzar las condiciones de trabajo en estado estacionario.

8.3.2. Sala de control y Laboratorio de control

Con el suministro eléctrico y de agua correcto en toda la planta, se procede a comprobar que la sala de control que se encuentra en el área 400 y laboratorio de control presente en el área 800 disponen de los servicios auxiliares necesarios para su correcto desempeño. Se activan también los sistemas de climatización en estas áreas.

En la sala de control, se verifican que los servidores dentro de la planta y las estaciones de control funcionan correctamente. Se revisan las alarmas del sistema y se verifica la correcta recepción de las señales en los equipos de control de planta.

En el laboratorio de control, se realizan pruebas y ajustes en los equipos verificando que todos estén calibrados y asegurando que hay existencias de todos los materiales de laboratorio necesarios.

8.3.3. Área contra incendios

En el área 900 se encuentra la zona contra incendios, en este lugar se verifica por última vez el estado y la funcionalidad de los equipos contra incendios y se procede a activar el área. Es esencial poner en marcha esta área antes de iniciar cualquier área de proceso o área ATEX, puesto que este sistema se pondrá en marcha en caso de que se produzca cualquier incendio en la planta.

8.3.4. Almacén

En el área 700 se encuentra el almacén, donde se guardan los productos químicos auxiliares que participan en el proceso como el NaOH, el amoníaco o el carbón activo conjunto a repuestos para tuberías, válvulas y bombas y otros accesorios. Se realizará una comprobación y cuantificación de las existencias disponibles para garantizar su disponibilidad en todo momento.

8.3.5. Gestión de gases

Se habilitan la estación de tratamiento y depuración de los gases procedentes del condensador presente en el área 300. Esta área y todos los equipos, accesorios y conexiones que la constituyen debe ponerse en funcionamiento previamente a las áreas de proceso productivo, para así garantizar que los residuos generados en el proceso de producción del fosgeno puedan ser tratados correctamente.

8.3.6. Almacenamiento de las sales residuales.

Posterior a la puesta en marcha del área 300, se realizará una comprobación para verificar que los tanques de almacenamiento de las sales sódicas residuales están en condiciones óptimas juntamente con las válvulas y bombas presente en esta área para poder almacenar las sales formadas en los *scrubbers* y su posterior gestión externa. Antes de la puesta en marcha del proceso principal, se dejarán llenos tanto los depósitos de NaOH al 25% como los tanques de mezcla para posibles emergencias derivadas de la puesta en marcha.

8.3.7. Condensador y reactor.

La puesta en marcha del área 200, una zona crítica donde se encuentran los reactores y los condensadores requiere de una serie de procedimientos para garantizar un inicio de operaciones adecuado. Primeramente, se realiza una revisión detallada de todo el equipamiento involucrado en esta área, esta revisión se aplica a válvulas, expansores y compresores, bombas, los sensores integrados dentro de los lazos de control y sistemas de seguridad funcionan correctamente. A continuación, se procede a poner en funcionamiento los sistemas de refrigeración de los reactores y los condensadores a los cabales, temperatura y presión establecidos para asegurar que la reacción se hará en las condiciones óptimas cuando entren los gases reactivos y los productos en cada correspondiente equipo.

8.3.8. Pretratamiento

La última zona en ponerse en funcionamiento es el área 100, donde se encuentran las tuberías de entrada de los reactivos y los diversos equipos y accesorios que preparan los reactivos para su posterior entrada al reactor. En primera instancia se realiza una inspección detallada de todos los equipos, accesorios tuberías y lazos de control presentes para asegurar que están en condiciones óptimas para su uso. Una vez realizada la inspección se pone en funcionamiento el circuito de calentamiento de los evaporadores de cloro y por consiguiente de los intercambiadores de calor para calentar el CO entrante y al intercambiador de calor de la mezcla saliendo del mixer. En segunda instancia comprueba el funcionamiento de los *mixers*, por último, se abren las válvulas de entrada de los reactivos al proceso monitoreando que estos circulen por el proceso a las condiciones de presión y temperatura correspondientes en cada tramo al mismo tiempo que se comprueba el buen funcionamiento de los evaporadores e intercambiadores. Se inicia la entrada de los reactivos a los reactores y por consiguiente se cierra la válvula de entrada del vapor de caldera a los evaporadores que a partir de este momento será calentado por el vapor procedente de la refrigeración del reactor a su vez el vapor saliente de los evaporadores se usará para calentar el CO saliente del *scrubber* que se recirculará para volver a ser usado como reactivo, al mismo tiempo se modificará la configuración de la válvula de 3 vías de la entrada del CO para que el flujo de este reactivo deje de pasar por intercambiador de calor el cual dejará de funcionar y pase a mezclarse en el mixer juntamente con el CO recirculado para ser mezclado en el otro mixer con el cloro. En este punto se termina la puesta en marcha y el proceso entra en modo estacionario.

8.4. Parada planificada

Las paradas planificadas son esenciales para realizar el mantenimiento, limpieza, revisión y posibles reparaciones de los equipos de una planta química, asegurando su funcionamiento eficiente y seguro. Estas paradas, que se realizan de forma obligatoria, están programadas para no interferir con la producción anual, diseñada para operar 330 días al año con una capacidad de 200.000 toneladas de fosgeno. En general, las paradas están programadas tres veces al año: en agosto (15 días), diciembre (10 días) y Semana Santa (10 días).

El procedimiento para llevar a cabo una parada planificada debe ser meticuloso y seguir un protocolo estricto para prevenir daños en los equipos y minimizar las pérdidas de reactivos y tiempo. Se comienza notificando con antelación a los proveedores de reactivos para detener los suministros y vaciar las tuberías de entrada de reactivos durante los últimos procesos de producción, maximizando así el aprovechamiento del producto final.

Posteriormente, los equipos se apagan de manera ordenada, dejando los reactores y los condensadores para el final junto con el sistema de gestión de gases, lo que permite que la reacción termine completamente bajo control, evitando alteraciones en la composición del producto y riesgos de seguridad.

Tras el vaciado completo de los equipos, se apagan gradualmente las bombas y los servicios, desactivando al final los sistemas de control y energía. Durante todo el procedimiento, se monitorea cada zona para detectar posibles fallos o reacciones no deseadas, y se asegura el uso riguroso de equipos de protección individual para prevenir riesgos asociados con derrames o manipulación de sustancias peligrosas.

Durante esta parada planificada, se llevan a cabo mantenimientos preventivos en los equipos, si así lo precisan y reparaciones no graves que se hayan notificado durante el tiempo de producción.

8.5. Parada de emergencia

Las paradas de emergencia son eventos imprevisibles e involuntarios, generalmente causados por circunstancias excepcionales como accidentes, fallos de equipos, incendios, explosiones o la activación de alarmas que comprometan la seguridad de la planta y su personal. Estas situaciones requieren una respuesta inmediata, guiada por el plan de actuación en caso de emergencia, para minimizar riesgos y daños potenciales.

Ante una parada de emergencia, es crucial detener la manipulación de sustancias inflamables o peligrosas y despresurizar los equipos a la atmósfera para evitar sobrepresiones. Asimismo, se suspende el suministro de vapor de agua para prevenir riesgos asociados al sobrecalentamiento.

Dependiendo de la naturaleza de la emergencia, se debe sellar y desactivar de forma segura cada equipo, priorizando áreas críticas como el sistema de tratamiento de gases, que debe permanecer operativo para gestionar cualquier liberación accidental de gases. Además, se garantiza el funcionamiento de un generador eléctrico y el suministro de agua para sistemas esenciales, como el de extinción de incendios.

En muchos casos, los sistemas de control automatizados pueden activar paradas de emergencia al detectar anomalías en parámetros como temperatura, presión o niveles, que no han sido corregidas. Una vez resuelta la emergencia, es fundamental verificar el estado de cada equipo, realizando reparaciones necesarias y asegurando que se cumplen las condiciones para una puesta en marcha inicial segura. Este procedimiento incluye pruebas operativas en los equipos clave para confirmar su correcto funcionamiento.

Las paradas de emergencia también representan una oportunidad para realizar revisiones anuales planificadas, aprovechando la interrupción para inspeccionar no solo los equipos dañados, sino también otros componentes que puedan haber sido afectados de forma indirecta. Esta revisión integral busca prevenir fallos en cadena y garantizar que la planta retome sus operaciones con la máxima seguridad y eficiencia operacional.

8.6. Bibliografía

1. Majumdar, P., "*Understanding Advantages of Material Test Certificates (MTCs): Types 2.1, 2.2, 3.1, 3.2*":
<https://whatisoceanengineering.com/material-test-certificates/>
2. Abaa Metrología, "*Etapas de calificación (DQ, IQ, OQ y PQ)*":
<https://abaa.mx/etapas-de-calificacion.html>
3. Cruz, J. R., "*Puesta en Marcha de Plantas de Procesos*":
https://www.academia.edu/36055206/Puesta_en_Marcha_de_Plantas_de_Procesos

