



FORMIQ

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

**Trabajo de fin de grado.
Ingeniería química**

Jonathan Baudillo Sequeiros Vilanueva

Sergio Fernández Blanco

Júlia Guardia de la Rubia

Deyaneira Hidalgo Narvaez

Lluc Maymó Ballester

Mireia Tellez Alcover

UAB Universitat Autònoma
de Barcelona

Escola
d'Enginyeria





FORMIQ

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

CAPÍTULO 8. PUESTA EN MARCHA

Índice:

8.1 Introducción	3
8.2 Acciones previas a la puesta en marcha.....	4
8.2.1 Documentación de Calificación y Validación (CQV)	4
8.2.2 Manuales técnicos y documentación de fabricantes	4
8.2.3 Verificaciones de materiales, equipos e instrumentación	5
8.2.4. Tareas previas a la puesta en marcha (checklist)	5
8.2.4.1 Pruebas en frío	5
8.3 Puesta en marcha	8
8.3.1. Servicios A-600	8
8.3.1.1 Electricidad	8
8.3.1.2 Agua de red y contra incendios	8
8.3.1.3 Sistema contra incendios	8
8.3.1.4 Aire comprimido.....	8
8.3.1.5 Nitrógeno	9
8.3.1.6 Aceite térmico y circuitos de refrigeración	9
8.3.2 Laboratorios y sala de control	9
8.3.3. Almacenamiento de materias primas A-100.....	9
8.3.4. Mezcla y preparación para la reacción A-200	10
8.3.5. Reacción A-300.....	10
8.3.6. Separación del producto A-400.....	11
8.3.7. Tratamiento de gases A-1400.....	11
8.3.8. Almacenamiento del producto A-500	11
8.4 Parada planificada	12
8.4.1 Comunicación y preparación.....	12
8.4.2 Reducción y agotamiento de reactivos	13
8.4.3 Vaciado ordenado de los equipos	13
8.4.4 Parada de los servicios y sistemas de control	13
8.4.5 Ejecución de mantenimiento e inspección.....	13
8.4.6 Seguridad y supervisión	14
8.5 Parada de emergencia	14
8.5.1 Causa típicas de activación.....	15
8.5.2 Secuencia de actuación detallada	15
8.5.3 Requisitos para el reinicio	16
8.6 Bibliografía.....	17

8.1 Introducción

La puesta en marcha de una planta de producción de formaldehído representa una etapa decisiva dentro del ciclo de vida de la instalación, ya que marca el paso definitivo entre la fase de construcción y el inicio de la operación industrial en condiciones reales. Durante este proceso se verifica que todos los equipos, sistemas auxiliares, líneas de proceso y dispositivos de seguridad funcionan conforme a las especificaciones de diseño, garantizando que la planta puede operar de manera segura, eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Esta fase no se limita únicamente al arranque del reactor o a la alimentación del metanol, sino que comprende un conjunto estructurado de actividades que incluyen inspecciones previas, pruebas en frío y en caliente, inertización, validación de la instrumentación y comprobaciones de los sistemas de control y emergencia.

La correcta ejecución de estas acciones permite evitar accidentes, corregir anomalías y asegurar que la planta FORMIQ produce correctamente formaldehído al 37% con los niveles de calidad adecuados.

Asimismo, la puesta en marcha debe contemplar varios escenarios:

1. Arranque inicial de la planta
Este se realizará solo la primera vez que la planta empiece el proceso de producción.
2. Arranque después de una parada planificada
Este tipo de arranque se debe realizar cada vez que la planta pare el proceso de producción, ya sea durante la parada de un mes que se realiza en verano o por mantenimiento de los equipos.
3. Arranque después de una parada de emergencia
Es la más difícil de realizar ya que se deberá efectuar sin previo aviso cuando ocurra un fallo que pueda provocar un error catastrófico.

Estos escenarios forman parte de la operatividad de una planta química y garantizan que el personal esté preparado para actuar ante cualquier incidencia, minimizando riesgos para las personas, las instalaciones y el entorno.

En conjunto, este capítulo describe las acciones necesarias para proporcionar una visión completa del proceso de transición hacia la operación industrial estable.

8.2 Acciones previas a la puesta en marcha

8.2.1 Documentación de Calificación y Validación (CQV)

Las Buenas Prácticas de Fabricación y las Normas de Calidad Nacionales vigentes describen el diseño, fabricación, instalación y operativa de los equipos. Esto implica que rutinariamente sean calibrados, inspeccionados o verificados de acuerdo con un programa escrito y diseñado para asegurar su rendimiento.

Las siguientes verificaciones tienen como objetivo generar evidencia documental objetiva y mostrar las condiciones de adecuación del diseño, instalación y desempeño del equipo.

- Cualificación del diseño (DQ):

La DQ consiste en verificar que el diseño del equipo o sistema cumple los requisitos funcionales, operativos y de seguridad establecidos por la normativa y por el usuario final. En esta fase se confirma que la solución propuesta es adecuada para el propósito previsto y que incorpora todos los criterios técnicos necesarios antes de proceder a su instalación.

- Cualificación de la Instalación (IQ):

La IQ documenta que el equipo ha sido instalado correctamente y conforme a las especificaciones definidas en la fase de diseño. Incluye la comprobación de conexiones, materiales, componentes críticos, etiquetado y requisitos establecidos para la seguridad de FORMIQ. Su objetivo es asegurar que la instalación física es correcta y que el sistema está preparado para iniciar las pruebas operativas.

- Cualificación de la Operación (OQ):

La OQ verifica, mediante pruebas documentadas, que el equipo funciona adecuadamente dentro de los rangos operativos establecidos. En esta etapa se evalúan las respuestas del sistema, el comportamiento de las variables, las alarmas y la estabilidad del funcionamiento. Permite confirmar que el equipo opera tal y como fue diseñado.

- Cualificación del Funcionamiento (PQ):

La PQ demuestra que el proceso completo es capaz de operar de forma estable, repetible y conforme a los criterios de calidad bajo condiciones reales. Incluye ensayos en régimen normal y en situaciones límite, con el objetivo de garantizar que el sistema mantiene rendimiento y calidad del producto en todo el rango de funcionamiento.

8.2.2 Manuales técnicos y documentación de fabricantes

Se recopila y revisa toda la documentación técnica necesaria para operar y mantener la planta:

- Manuales de operación y mantenimiento de equipos rotativos
- Esquemas eléctricos, diagramas de lazos y planos de cableado
- Certificados ATEX de instrumentación y equipos eléctricos
- Curvas de rendimiento de bombas, ventiladores y compresores
- Instrucciones de calibración y ajuste de válvulas de control
- Procedimientos de limpieza, inertización y purgado

Esta documentación debe estar disponible para el personal de operación y mantenimiento antes del arranque de la planta de FORMIQ.

8.2.3 Verificaciones de materiales, equipos e instrumentación

Además de la revisión documental, se debe realizar una inspección exhaustiva de todos los elementos instalados:

- Integridad mecánica de equipos principales como los reactores, intercambiadores, columnas, depósitos, bombas y ventiladores.
- Inspección de tuberías, verificación de los diámetros, espesores, soportes, pendientes, drenajes y purgas.
- Ensayos no destructivos (NDT): radiografías de soldaduras, pruebas de penetrantes y pruebas de presión hidrostática.
- Verificación de válvulas de control, de seguridad, de aislamiento y antirretorno
- Comprobación de calibración de PT, TT, FT, LT, analizadores de gases y detectores ATEX
- Etiquetado y trazabilidad de cada equipo, que debe estar correctamente identificado según los P&ID.

8.2.4. Tareas previas a la puesta en marcha (checklist)

8.2.4.1 Pruebas en frío

- Pruebas de estanqueidad de todas las líneas mediante presión con agua.
- Eliminación de partículas sólidas mediante flushing (paso de agua).
- Verificación de bombas: Sentido de giro, vibraciones, lubricación y alineación.
- Pruebas de válvulas de control.
- Pruebas de lazos de instrumentación:
 - Señales (4-20mA)
 - Comunicación con PLC
 - Alarmas y sensores
 - Simulacro de fallos
- Pruebas de sistemas auxiliares:
 - Aire de instrumentos
 - Agua de refrigeración
 - Vapor
 - Nitrógeno

8.2.4.2 Pruebas en caliente

- Encendido progresivo de calentadores
- Inertización con nitrógeno hasta alcanzar niveles seguros de oxígeno
- Prueba de calentamiento del reactor siguiendo rampas controladas
- Verificación de estabilidad térmica del catalizador
- Prueba de funcionamiento de analizadores de gases
- Simulación de escenarios de alarma:
 - Sobrepresión
 - Alta temperatura
 - Fallo de ventilación
 - Pérdida de aire de instrumentos

8.2.4.3 Revisión de seguridad

- Comprobación de válvulas de seguridad (PVS) y discos de ruptura
- Verificación del sistema de detección de incendios
- Revisión de equipos contra incendios
- Confirmación de EPIs obligatorios y formación del personal
- Ensayo del sistema de parada de emergencia (ESD)

Con tal de estandarizar la puesta en marcha, se establece una lista obligatoria a verificar previamente a la puesta en marcha, ya sea en el inicio o después de una parada planificada o de emergencia.

Tabla 8.2.1. Checklist de acciones previas

Nº	Actividad para verificar	Responsable	Fecha	OK (X)
1	Revisión completa de P&ID y diagramas funcionales			
2	Documentación CQV (DQ, IQ, OQ, PQ) aprobada			
3	Manuales de operación y mantenimiento disponibles			
4	Certificados ATEX, materiales y soldaduras verificados			
5	Inspección visual de equipos principales (reactor, intercambiadores)			
6	Verificación de tuberías: soportes, pendientes, drenajes y purgas			
7	Prueba de estanqueidad de líneas de proceso			
8	Flushing mecánico completado			
9	Calibración de PT, TT, FT, LT y analizadores			
10	Pruebas de lazos 4–20 mA con PLC/DCS			
11	Verificación de alarmas y enclavamientos			
12	Prueba de válvulas de control (carrera, fail-safe, fugas)			
13	Sentido de giro de bombas y ventiladores verificado			
14	Lubricación, alineación y vibraciones dentro de rango			
15	Servicios auxiliares disponibles (aire, agua, vapor, N ₂)			
16	Comprobación de válvulas de seguridad (PSV)			
17	Sistema contra incendios operativo (BIEs, hidrantes, extintores)			
18	Detectores de gas, humo y explosividad operativos			
19	EPIs disponibles y personal formado			
20	Ensayo del sistema de parada de emergencia (ESD)			
21	Inertización del reactor con nitrógeno			
22	Calentamiento progresivo del reactor validado			
23	Analizadores de gases funcionando correctamente			
24	Simulación de escenarios de alarma completada			
25	Autorización final del responsable de planta			

8.3 Puesta en marcha

La puesta en marcha constituye la fase final de la ejecución de la planta FORMIQ, marcando la transición de fase de construcción a fase operativa. Este procedimiento tiene como objetivo validar que todos los equipos, desde los tanques de almacenamiento hasta los reactores y sistemas de tratamiento de gases, trabajan bajo condiciones seguras y dentro de los parámetros de diseño establecidos.

El arranque inicial se llevará a cabo siguiendo una secuencia jerárquica, priorizando siempre la estabilidad de los servicios auxiliares antes de la introducción de cualquier fluido de proceso. La correcta ejecución de este protocolo es determinante para garantizar la integridad de los equipos, asegurar la pureza del formaldehído y, fundamentalmente, minimizar los riesgos del manejo de sustancias inflamables y tóxicas.

El procedimiento de puesta en marcha desarrollado para la planta FORMIQ se basa estrictamente en los principios establecidos en el *Chemical and Process Plant Commissioning Handbook* [2].

8.3.1. Servicios A-600

8.3.1.1 Electricidad

- Puesta en marcha de los transformadores eléctricos y de los grupos electrógenos.
- Comprobar la conexión a la red eléctrica externa y la reducción de voltaje para su uso correcto en los motores y equipos de la planta.
- Comprobar el correcto funcionamiento del grupo electrógeno en caso de pérdida del suministro principal.
- Verificar que todas las áreas de la planta reciben corriente eléctrica de manera estable.
- Poner en marcha los cuadros eléctricos generales de los diferentes departamentos.

8.3.1.2 Agua de red y contra incendios

- Abrir la llave de paso del agua de red exterior para el uso de las oficinas y los servicios de la planta.
- Comprobar el correcto suministro a toda la instalación y verificar la ausencia de fugas en las tuberías de agua.
- Poner en marcha la unidad de ósmosis inversa (RO-601) y la descalcificadora (D-601) para empezar a producir el agua tratada que necesitará el proceso.
- Probar el sistema de sprinklers e hidrantes para asegurar la protección contra incendios.

8.3.1.3 Sistema contra incendios

- Encender la estación de bombeo de agua contra incendios hasta llegar a la presión operativa de diseño.
- Verificar el correcto funcionamiento de los hidrantes exteriores y de los sistemas de pulverización de agua.
- Probar los sistemas de detección de humos, gases y las alarmas de emergencia asociadas.

8.3.1.4 Aire comprimido

- Conectar el compresor de aire principal a la red eléctrica.
- Encender el compresor y verificar que su funcionamiento es correcto.

- Verificar que el aire de instrumentación llega bien a todas las válvulas automáticas de la planta sin pérdidas de presión.

8.3.1.5 Nitrógeno

- Llenar los tanques de almacenamiento de nitrógeno líquido a través del proveedor.
- Poner en marcha el evaporador de nitrógeno y verificar que el gas llegue a los puntos de consumo con el caudal y la presión requeridos.
- Verificar el correcto funcionamiento de la red de inertización y de los sistemas de venteo de los tanques.

8.3.1.6 Aceite térmico y circuitos de refrigeración

- Cargar el circuito cerrado de la caldera con el aceite térmico (Dowtherm A) y llenar los circuitos de enfriamiento con agua de torre y agua de chiller.
- Verificar que no haya fugas en las líneas y comprobar los puntos con sensores de temperatura.
- Poner en marcha las calderas de aceite térmico (CL-601 y CL-602), las torres de refrigeración (TR-601 y TR-602) y el chiller (CH-601) hasta alcanzar las condiciones estables de trabajo que pide el proceso.

8.3.2 Laboratorios y sala de control

- La puesta en marcha de la sala de control y del laboratorio de control se inicia una vez que se garantiza el correcto suministro eléctrico y de agua a toda la planta.
- En la sala de control, se comprueba el funcionamiento de los servidores, estaciones de trabajo y los sistemas de comunicación. Se deben revisar todas las alarmas del sistema de control y realizar pruebas de recepción de señales para asegurar la conexión correcta con los instrumentos y equipos de campo.
- En paralelo, en el laboratorio de control se efectúan las pruebas y el calibrado de los instrumentos para verificar su correcto funcionamiento antes de recibir las primeras muestras de proceso. También se asegura que se dispone de todos los reactivos y materiales necesarios para los análisis químicos.

8.3.3. Almacenamiento de materias primas A-100

El área de almacenamiento está destinada al almacenamiento de materias primas en condiciones de seguridad controladas. Esta zona cuenta con tres tanques de almacenamiento (T-101, T-102 y T-103), los cuales garantizan una capacidad de operación en continuo de 3 días.

- Verificación previa:
 - Comprobación de la integridad mecánica de los tanques (soldaduras), que las cubetas de retención estén vacías, y que los sensores, válvulas y accesorios funcionen bien.
 - Cierre de todas las válvulas de salida hacia el sistema de proceso para evitar transferencias incontroladas de metanol líquido durante la carga.
- Inertización con nitrógeno:
 - Antes de cargar el metanol líquido, es obligatorio inertizar el interior de los tanques con nitrógeno para eliminar la presencia de oxígeno y evitar riesgos de incendio o atmósferas explosivas.
- Llenado de los tanques de almacenamiento:

- Se conectan las líneas de entrada de metanol desde las cisternas de transporte con las válvulas de entrada cerradas inicialmente.
- Activación del sistema de control de nivel automático.
- Abrir las válvulas de entrada y llenar los tanques hasta el nivel operativo de diseño, monitorizándolo continuamente desde la sala de control.
- Durante el llenado, se mantiene la presión de nitrógeno para evitar que se generen atmósferas de vapores inflamables.
- Finalización del llenado:
 - Desconexión segura de las mangueras de llenado de las cisternas.
 - Verificación final de fugas mediante la inspección visual de la cubeta de retención y comprobación de los sensores automáticos.
 - Mantenimiento de la presión de inertización con nitrógeno para evitar entradas de aire exterior durante la operación normal de la planta.
- Integración con el proceso:
 - Una vez que los tanques de metanol están cargados y estables, se procede a abrir las válvulas de salida para permitir la alimentación hacia la zona de pretratamiento.

8.3.4. Mezcla y preparación para la reacción A-200

- Una vez completada la puesta en marcha de la zona de almacenamiento de metanol, se procede a la puesta en marcha de la zona de acondicionamiento de las materias primas.
- En primer lugar, se verifica que todas las líneas de proceso estén purgadas y que los equipos estén correctamente conectados. Se comprueba la limpieza interna y que no haya humedad residual que pueda dañar o desactivar el catalizador del reactor.
- A continuación, se ponen en marcha los sopladores centrífugos de aire (BL-201 y BL-202), manteniendo el soplador de reserva apagado pero disponible en caso de fallo.
- Se regula la entrada de metanol líquido desde las bombas.
- Seguidamente, la mezcla se dirige hacia los cambiadores de calor de carcasa y tubos E-201 y E-202 para evaporar el metanol y calentar la corriente de gases.

8.3.5. Reacción A-300

Antes de iniciar la reacción, se realizan las siguientes comprobaciones de seguridad en el área 300:

- Verificaciones previas:
 - Se comprueba la limpieza y la integridad mecánica de los reactores multitubulares, asegurando que el catalizador esté bien colocado y sin obstrucciones en los tubos.
 - Se verifica que todas las sondas de presión, temperatura y caudal de la zona estén correctamente calibradas y respondan bien en la sala de control.
- Activación del sistema de reacción:
 - Se ponen en marcha los lazos de control asociados a la temperatura y presión estableciendo los parámetros de consigna y las alarmas para evitar posibles problemas operativos.
 - Se comienza a introducir progresivamente la mezcla calentada de metanol y aire proveniente del área 200 al interior de los reactores R-301 y R-302 que funcionan en paralelo. El reactor R-303 se mantiene apagado como reserva de emergencia.

- Se monitoriza en continuo la evolución de la temperatura del reactor para garantizar que la reacción de oxidación catalítica se produce de manera controlada, logrando la conversión de diseño requerida para generar el formaldehído gaseoso.

8.3.6. Separación del producto A-400

La zona de absorción se encarga de recuperar el formaldehído gaseoso saliente de los reactores para transformarlo en el producto líquido final. Está formada por las torres de absorción (A-401 y A-402), los lavadores de gases (*scrubbers* SC-401 y SC-402), varios intercambiadores de calor y el mezclador dinámico M-401. El procedimiento de arranque se hace de la siguiente manera:

- Activación de servicios auxiliares: Se comprueba que el suministro de agua de refrigeración del área 600 esté lista, y se valida el funcionamiento de todas las válvulas y bombas de recirculación de esta área.
- Puesta en marcha de los intercambiadores de calor: Se abre el paso de agua de refrigeración a los cambiadores E-401 (para enfriar el gas del reactor), E-402, E-403 y E-404 de manera gradual, controlando que las temperaturas bajen hasta los valores de diseño.
- Funcionamiento de las torres de absorción y *scrubbers*: Se introduce la corriente de gases procedente de la reacción por la parte inferior de las torres de absorción (A-401 y A-402) y, simultáneamente, se inyecta agua por la parte superior. Los gases residuales pasan después por los *scrubbers* (S-401 y S-402) para hacer un lavado final con agua antes de salir de esta zona.
- Ajuste final en el mezclador dinámico (M-401): La corriente de líquido que sale del fondo de las torres se conduce hacia el mezclador dinámico M-401, donde se hace el ajuste automático final de la composición añadiendo agua desionizada hasta alcanzar exactamente la especificación comercial de formaldehído al 37% en peso.

8.3.7. Tratamiento de gases A-1400

Los gases que no han sido absorbidos en las torres deben ser tratados antes de salir a la atmósfera. Esta zona cuenta con los intercambiadores E-1401 y E-1402, el soplador de gases BL-1401 y el reactor de oxidación catalítica R-1401.

- Activación del soplador (BL-1401): Se enciende el soplador de gases BL-1401.
- Precalentamiento de gases: Se hace pasar la corriente de gases por los cambiadores de calor. El E-1401 aprovecha el calor del fluido refrigerante del reactor R-302 para precalentar la entrada, y seguidamente el cambiador E-1402 eleva la temperatura de los gases hasta los 250 °C utilizando el aceite térmico (Dowtherm A) que viene de la caldera de servicios auxiliares.
- Funcionamiento del reactor catalítico (R-1401): Una vez que los gases llegan a la temperatura de trabajo, se introducen en el reactor R-1401 donde se elimina los contaminantes. Se comprueba la estabilidad antes de liberar el gas limpio a la atmósfera.

8.3.8. Almacenamiento del producto A-500

La zona de almacenamiento de producto final está formada por los tanques de almacenamiento T-501, T-502 y T-503.

- Verificación previa y seguridad: Se comprueba la estanqueidad de los tanques de producto, que las válvulas automáticas respondan bien, que las alarmas de nivel estén operativas y que los sensores de temperatura funcionen correctamente.

- Recepción de producto desde el proceso: Una vez que el formaldehído sale del mezclador M-401 y se ha enfriado correctamente en el cambiador E-404, se ponen en marcha las bombas de transferencia de producto para enviar el líquido hacia el área 500.
- Operación del llenado: El flujo de producto se dirige de manera controlada hacia uno de los tanques seleccionado desde la sala de control. Cuando este llega al nivel máximo operativo de diseño, el sistema de control cierra de forma automática la válvula de entrada para redirigir el formaldehído hacia el siguiente tanque vacío, evitando que se llenen a la vez o haya sobrellenados de seguridad.
- Control final: Se toman muestras manuales del tanque llenado para analizarlas en el laboratorio de control de calidad de la planta y confirmar que la concentración es del 37% antes de autorizar el vaciado del tanque hacia las cisternas de transporte y expedición final de la planta FORMIQ.

8.4 Parada planificada

La parada planificada de la planta FORMIQ es un procedimiento imprescindible diseñado para garantizar la seguridad, la fiabilidad y la máxima eficiencia de todos los equipos e instalaciones que intervienen en el proceso de producción continua. Estas ventanas operativas anuales permiten realizar las tareas de mantenimiento preventivo, limpiezas mecánicas y químicas internas, inspecciones reglamentarias y reparaciones complejas que resultan imposibles de ejecutar mientras la planta se encuentra en operación continua.

De acuerdo con la programación general de la instalación, la planta FORMIQ opera en régimen continuo durante 330 días al año (las 24 horas del día), reservando 35 días anuales para llevar a cabo la parada programada. Esta parada está programada, abarcando desde el 27 de julio hasta el 30 de agosto. Esta organización temporal optimiza la movilización de los trabajadores y los recursos humanos del Departamento de Mantenimiento y de las empresas de servicios externos contratadas, limitando el impacto sobre los compromisos de distribución logística y almacenamiento.

8.4.1 Comunicación y preparación

- Se notifica la parada general con una antelación mínima de dos semanas a todo el personal operativo de los turnos rotativos de producción, mantenimiento y calidad, así como a las empresas externas subcontratadas.
- Se reprograman y cancelan de forma coordinada por el Departamento de Logística las ventanas y slots de entrega.
- Se detienen o aceleran los despachos logísticos de formaldehído en camiones cisterna durante los 35 días de inactividad.
- El Departamento de Mantenimiento inicia el acopio físico y la planificación de materiales de recambio, consumibles críticos y herramientas necesarias.
- El Departamento de HSE coordina la redacción y validación de los permisos de trabajo especiales y análisis de riesgos específicos.

8.4.2 Reducción y agotamiento de reactivos

- Se reduce de forma progresiva y controlada la carga de proceso general a través del sistema de control, disminuyendo el caudal de reactivos alimentados al reactor.
- Se interrumpe el suministro de metanol cerrando de forma secuencial las válvulas automáticas de salida de los tres tanques fijas de almacenamiento del Área 100.
- El compresor del Área 200 que introduce el aire comprimido al proceso ajusta su caudal en paralelo para mantener la estabilidad de la mezcla antes de la etapa de reacción.

8.4.3 Vaciado ordenado de los equipos

Una vez finalizada la fase de agotamiento de reactivos en el bucle, se procede al drenaje y vaciado secuencial de los equipos del proceso siguiendo un orden lógico aguas abajo:

- Líneas de transferencia y Área 200: Drenaje de condensados y trazas de mezclas en las secciones de pretratamiento de materias primas.
- Reactores catalíticos (R-301 y R-302): Detención total de la alimentación gaseosa una vez alcanzada la conversión completa del metanol para iniciar un enfriamiento térmico controlado, previniendo choques térmicos o la degradación del lecho catalítico.
- Área de separación Área 400: Vaciado completo de las columnas de absorción A-401 y A-402, de sus sistemas de recirculación, y purga de los intercambiadores E-401, E-402, E-403 y E-404 mediante el uso de las bombas de proceso.
- Sistemas de lavado SC-401 y SC-402: Purga controlada de las corrientes líquidas.
- Mezclador M-401: Evacuación completa del producto estabilizado final (formol al 37%) hacia los tres tanques de almacenamiento del Área 500.

8.4.4 Parada de los servicios y sistemas de control

- Se desconectan de forma segura y escalonada todos los elementos mecánicos activos de la planta, incluyendo las bombas, motores compresores y sopladores.
- Se procede a la parada controlada de los servicios auxiliares del Área 600, deteniendo el suministro de agua desionizada, descalcificada, la distribución de fluido térmico y cesando el flujo de agua de refrigeración una vez que los reactores R-301 y R-302 se encuentran térmicamente estabilizados.
- Los lazos de automatización principales se colocan en modo de reposo, pero se mantiene la alimentación eléctrica ininterrumpida y activa para la instrumentación crítica de seguridad, incluyendo los sensores de perfiles térmicos y la red perimetral de detectores fijos de gases inflamables y tóxicos en las zonas de almacenamiento.

8.4.5 Ejecución de mantenimiento e inspección

Con la planta completamente aislada y sin energía, el Departamento de Mantenimiento y las empresas externas ejecutan las actividades programadas en el mes de agosto:

- Limpieza interna y externa de equipos: Lavado de los reactores, así como de los de las columnas de absorción e intercambiadores de calor.
- Calibración de instrumentación: Revisión y calibración de todos los lazos de control, sensores, transmisores y sistemas de alarma.
- Mantenimiento mecánico: Sustitución de juntas de estanqueidad, sellos mecánicos en bombas de proceso además de revisiones periódicas en las partes internas del compresor.
- Inspecciones reglamentarias: Realización de Ensayos No Destructivos (END) y comprobación de aislamientos térmicos en tuberías y recipientes a presión fijos sujetos a las normativas vigentes.
- Cubetas de retención: Inspección visual, vaciado y limpieza profunda de los cubetos de retención en las áreas de almacenamiento de metanol y formaldehído para asegurar la ausencia de grietas o acumulaciones.

8.4.6 Seguridad y supervisión

Bajo la dirección y el liderazgo del Departamento de HSE y los encargados de turno del Departamento de Producción, se implementa un control estricto de cada una de las áreas funcionales durante los 35 días de parada:

- Gestión de Permisos: Se dispone de hojas de seguimiento individuales y de la emisión obligatoria de Permisos de Trabajo específicos para cada tarea de mantenimiento o inspección.
- Monitoreo de Atmósferas: Se realizan mediciones y controles continuos con detectores portátiles para verificar la ausencia total de presiones residuales o de concentraciones peligrosas de productos tóxicos (vapores de formaldehído) e inflamables (metanol) antes de autorizar cualquier entrada a espacios confinados.
- Equipos de Protección Individual: Se refuerza el uso obligatorio de EPI especiales y antiestáticos, incluyendo protección respiratoria específica y herramientas anti chispas en las zonas clasificadas como ATEX.
- Supervisión de Campo: Se mantiene la presencia continua del personal del área de seguridad industrial para auditar el cumplimiento estricto de los protocolos por parte del personal operativo y los técnicos externos subcontratados.

8.5 Parada de emergencia

La parada de emergencia constituye el procedimiento más crítico dentro de la operación de la planta ya que permite detener el proceso de forma inmediata ante cualquier situación de peligro. A diferencia de una parada planificada, la parada de emergencia se ejecuta sin previo aviso y requiere una respuesta rápida, coordinada y totalmente automatizada para minimizar los riesgos asociados.

Durante este tipo de maniobra, el sistema de parada de emergencia (ESD) actúa sobre los equipos y válvulas clave para aislar el reactor, cortar las corrientes de alimentación y llevar la instalación a un estado seguro en el menor tiempo posible.

La parada de emergencia es, por tanto, un elemento esencial dentro de la estrategia global de la seguridad de la planta FORMIQ, y su correcta ejecución garantiza que cualquier incidente pueda ser contenido sin consecuencias graves para las personas, las instalaciones o el medio ambiente.

8.5.1 Causa típicas de activación

- Sobrepresión en el reactor o en líneas críticas
- Temperaturas fuera de rango que puedan dañar el catalizador o provocar reacciones no controladas
- Fallo de suministro eléctrico o caída del sistema de control
- Pérdida de servicios auxiliares como aire, agua o vapor
- Fugas de metanol, formaldehído o gases inflamables detectados por sensores
- Incendio o atmósfera explosiva en zonas ATEX
- Fallo grave de instrumentación como señales incoherentes o fallo de válvulas
- Activación manual por parte de algún operador

8.5.2 Secuencia de actuación detallada

1. Activación del sistema ESD (Emergency Shutdown)

El sistema ejecuta automáticamente una serie de acciones preprogramadas:

- Cierre inmediato de válvulas automáticas de alimentación
- Aislamiento del reactor y líneas de proceso
- Parada de bombas, ventiladores y compresores
- Corte de energía a equipos no esenciales
- Se notifica a todo el personal por megafonía o alarma
- Se evacúa al personal de las áreas afectadas
- Si es necesario, se avisa a los servicios de emergencia externos

2. Corte de alimentación de metanol y aire del proceso (reactivos)

- Se cierran las válvulas de alimentación al reactor
- Se evita cualquier reacción adicional
- Se mantiene la inertización con nitrógeno si es necesario

3. Depresión controlada del reactor

Si existe riesgo de sobrepresión:

- Se abre la válvula de seguridad del reactor
- Se controla la presión para evitar daños mecánicos

4. Activación de sistema de seguridad

- Rociadores automáticos en caso de incendio
- Ventilación forzada en caso de fugas de gas
- Aislamiento eléctrico de zonas afectadas

5. Evaluación de la situación

El personal de operación y seguridad formado:

- Identifica la causa del incidente
- Evalúa si es seguro acceder a la zona
- Determina si es necesario evacuar toda la planta

6. Registro y análisis del accidente

- Se documenta el incidente en el libro de operaciones
- Se realiza un análisis de causa
- Se definen acciones correctivas antes de reiniciar la planta

8.5.3 Requisitos para el reinicio

Antes de volver a arrancar la planta, son imprescindibles las siguientes acciones:

- Verificación completa del estado del reactor y/o equipos afectados
- Comprobación de integridad de válvulas, tuberías y juntas
- Recalibración de instrumentación afectada
- Revisión de alarmas
- Validación del sistema de control
- Autorización formal del responsable de planta

8.6 Bibliografía

- [1]Validaciones DQ IQ OQ PQ. (s/f). Leadertecna.com. Recuperado el 27 de mayo de 2026, de <https://leadertecna.com/servicios/otros-servicios-de-consultoria/validaciones-dq-iq-oq-pq>
- [2] Killcross, M. (2021). Chemical and process plant commissioning handbook: A practical guide to plant system and equipment installation and commissioning (2a ed.). Butterworth-Heinemann.
- [3] *NTP 334: Planes de emergencia interior en la industria química*. (s/f). Portal INSST. Recuperado el 27 de mayo de 2026, de <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/10-serie-ntp-numeros-331-a-365-ano-1995/ntp-334-planos-de-emergencia-interior-en-la-industria-quimica>