



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
NACIONAL  
FACULTAD  
REGIONAL  
DELTA

## PROCESO PRODUCTIVO DE FOSFATO DIAMÓNICO

# PUESTA EN MARCHA

Antúñez Rosell, Candela  
Guerra, Maya  
Magalú, Iara Belén  
Pelloli, María del Pilar



## Índice

9.1 Etapas previas a la puesta en marcha.....	2
9.2 Planificación de la puesta en marcha .....	3
9.2.1 Pasos previos a ejecutar la PEM .....	3
9.2.2 Puesta en marcha por zonas.....	4
9.2.2.1 Puesta en marcha área 800 .....	4
9.2.2.2 Puesta en marcha área 600 .....	5
9.2.2.3 Puesta en marcha área 100 .....	5
9.2.2.4 Puesta en marcha área 200 .....	6
9.2.2.5 Puesta en marcha áreas 300, 400 y 600 .....	6
9.2.2.6 Puesta en marcha áreas 500 y 700 .....	6

# Puesta en Marcha

La puesta en marcha (PEM) de una planta industrial se refiere al proceso de preparar, configurar, poner en funcionamiento y optimizar todos los equipos y procesos necesarios para iniciar la producción. La PEM implica pruebas exhaustivas para asegurar la fiabilidad de las instalaciones, asegurando el correcto funcionamiento de los equipos, el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad.

## 9.1 Etapas previas a la puesta en marcha

El primer paso es realizar un correcto pre-comisionado del sistema, cuyo alcance consta en realizar ensayos estáticos e inspecciones sin energía y/o fluidos de proceso, con el objetivo de garantizar que las instalaciones y los sistemas fueron diseñados conforme a la ingeniería de diseño. Esta etapa se ejecuta posterior a la construcción de la planta. En ella se incluye:

- ✓ Pruebas FAT (Factory Acceptance Test) y SAT (Site Acceptance Test). Las pruebas FAT se basan en la verificación del rendimiento, la calidad y la seguridad del equipo. Se realizan en las instalaciones del proveedor antes de la entrega al cliente. Por otra parte, las pruebas SAT se realizan en la instalación del cliente.  
El objetivo de estas pruebas es asegurar el correcto funcionamiento de los equipos en el entorno real de la producción, que el cliente pueda operar sin dificultades y que los equipos no han sufrido ningún daño durante el transporte. Una vez finalizadas estas pruebas, se entrega un informe detallado sobre los resultados obtenidos acerca de las pruebas de aceptación.
- ✓ Verificar visualmente el estado de los equipos y la calidad de las instalaciones.
- ✓ Calibración de instrumentos, alineación de maquinaria, ajuste de válvulas de seguridad, etc.
- ✓ Pruebas hidráulicas y neumáticas de tuberías: en el caso de las pruebas hidráulicas, consiste en llenar completamente la tubería con agua y luego presurizarla con el objetivo de verificar la estanqueidad y si las propiedades mecánicas del material son las correctas. Por otro lado, el procedimiento de las pruebas neumáticas es similar al de las hidráulicas, pero en este caso se utiliza aire como fluido de prueba.
- ✓ Limpieza y barrido de tuberías y recipientes.
- ✓ Control de documentación: garantizar que se cuente con toda la documentación necesaria de cada componente de un sistema o equipo, tales como planos, instructivos, manuales, hojas de datos, registro de pruebas FAT y SAT, registros de torques, registros de calidad de soldaduras, registros de puesta a tierra, entre otros.

Una vez verificado el pre-comisionado, se prosigue a realizar el comisionado de las instalaciones. El comisionado implica realizar pruebas con energía. Entre ellas se encuentran:

- ✓ Pruebas de señales punto a punto.
- ✓ Pruebas funcionales de instrumentos y válvulas de control.
- ✓ Pruebas de lazos de control e interlocks.
- ✓ Verificación de sentido de giro, análisis de vibraciones y de consumos de energía de motores de bombas, compresores, bombas, etc.
- ✓ Alineación de equipos rotantes.

## 9.2 Planificación de la puesta en marcha

En tanto las etapas de pre-comisionado y comisionado estén completas, se procede a ejecutar la PEM.

### 9.2.1 Pasos previos a ejecutar la PEM

Previo a ejecutar la puesta en marcha del proyecto con fluido de procesos, es necesario tener en consideración ciertas acciones. Estas son:

1. **Planificación:** establecer un plan detallado que identifique las distintas etapas del proceso y las necesidades correspondientes en términos de recursos humanos, maquinaria, materiales, fuentes de energía, entre otros. Algunos aspectos a tener en cuenta son:
  - Abastecimiento de materias primas y DAP: asegurar las cantidades necesarias de ácido fosfórico en tanque TK-01 y amoníaco en TK-05, y disponer de al menos
  - Servicios auxiliares: consolidar la disponibilidad de agua de torre, aire comprimido y vapor.
  - Disponibilidad de recursos humanos: asegurar la disponibilidad de operadores, supervisores, personal de seguridad e higiene, brigadistas, etc.
  - Lectura e interpretación de manuales de operación y mantenimiento: es importante comprender cómo funciona cada equipo y tener conocimiento de cómo proceder en caso de imprevistos para solucionar problemas inherentes a los mismos.
  - Disponibilidad de repuestos: garantizar al menos el stock mínimo de repuestos de materiales.
  - Protocolos e instructivos de operación y emergencia: para que todo el personal esté al tanto del alcance e impacto de sus funciones y, al mismo tiempo, saber actuar en caso de cualquier inconveniente.
2. **Inspección de equipos:** ingresar a todos los tanques y equipos con los respectivos planos constructivos, los objetivos principales son:
  - Verificar el correcto montaje de instrumentos y agitadores.
  - Analizar si coinciden las cantidades y medidas de las boquillas versus lo que se encuentra representado en el plano.
  - Asegurar la correcta limpieza interna.
3. **Verificación de señales:** en este punto se verifican todas las señales eléctricas de los distintos elementos de control, tales como:
  - Rotación de motores.
  - Paradas de emergencia.
  - Apertura y cierre de válvulas actuadas.
  - Medición de instrumentos de nivel, caudal, posición, pH, entre otros.
4. **Configuración de equipos y calibración:** en esta fase se configuran de una forma óptima los equipos del proyecto y se realizan las calibraciones de los equipos que así lo requieran. El alcance de este punto es:
  - Setear los parámetros normales de operación.
  - Establecer los rangos normales de operación de instrumentos, como caudalímetros, pHmetros, sensores de nivel, etc.
  - Parametrización de nivel: se configura el sensor con las alturas a las que se encuentran el 0% y el 100% de nivel.
  - Configuración de lazos de control.
5. **Pruebas en vacío:** tras completar las fases mencionadas anteriormente, se procede a poner en marcha los distintos circuitos del proyecto en vacío y así comprobar su funcionamiento.

6. **Gestión de riesgos:** identificar, evaluar y controlar los riesgos contra la seguridad de las personas, equipos y medioambiente. Para ello se recomienda tener en cuenta lo siguiente:
  - Procedimiento de protección contra incendios.
  - Procedimiento de remediación de suelos.
  - Procedimiento de respuesta de emergencia.
  - Disponibilidad de brigadistas y ambulancias.
  - Disponibilidad de todos aquellos elementos de protección del personal requeridos, como antiparras, tyveks, protectores auditivos, ropa de trabajo ignífuga, etc
  - Disponer de una matriz de responsables de áreas.
7. **Capacitación del personal:** el personal de planta, tanto en operaciones como en mantenimiento, deben realizar cursos de formación sobre operación de equipos y gestión de riesgos.
8. **Puesta en marcha de servicios auxiliares:** es importante llevar a cabo un correcto arranque de los servicios auxiliares. Para esto, es necesario cumplir con los siguientes pasos:
  - Energizar todos los equipos involucrados.
  - Arranque de las bombas de agua cruda (agua de pozo).
  - Arranque de los compresores de aire de instrumentos.
  - Poner en marcha el sistema de torre de enfriamiento para la camisa del RX-01.
  - Poner en marcha el sistema de tratamiento de agua (ósmosis inversa).
  - Arranque de caldera para generar vapor como fluido de calentamiento en los HX-02 y HX-03.

#### 9.2.2 Puesta en marcha por zonas

Una vez testeado el funcionamiento de la planta en vacío, se procede a realizar pruebas con producto, para así comprobar la performance real de los equipos. La puesta en marcha se debe realizar por zonas y de forma escalonada, como se detalla a continuación.

##### 9.2.2.1 Puesta en marcha área 800

El área 800 corresponde al almacenamiento y preparación de ácido fosfórico que se utiliza en el proceso para la recuperación del amoníaco presente en los vapores resultantes de los reactores RX-01 y 02. El paso a paso de la puesta en marcha de esta área es el que se detalla a continuación:

1. Conectar el camión cisterna a la conexión disponible. Abrir la válvula VB-800.
2. Comenzar con el llenado del tanque de almacenamiento de ácido al 85% (TK-01). Una vez que se alcance el nivel mínimo, encender el agitador. Continuar con el llenado hasta el nivel máximo.
3. Para la preparación de ácido al 64% se debe tener en cuenta que no se debe agregar agua a un ácido concentrado ya que puede provocar una reacción violenta, en la cual se libera una gran cantidad de energía en forma de calor y puede provocar la liberación de vapores tóxicos. Por esto mismo, en primer lugar, se alimenta agua al tanque TK-02, y se debe encender el agitador una vez alcanzado el nivel mínimo. La carga de agua se finaliza cuando el FQI-809 indica la cantidad necesaria.
4. Realizar la alineación de las válvulas de succión y descarga de la bomba PU-01.
5. Energizar la bomba PU-01. Realizar el trasvase de ácido desde el TK-01 hacia el TK-02 a través de la PU-01 hasta que el totalizador FQI-808 indique la cantidad necesaria de ácido para cumplir con la relación ácido:agua de 3,03.
6. Una vez finalizada la preparación, tomar una muestra para confirmar la concentración obtenida. Si en los resultados de la muestra obtenemos que la concentración se encuentra dentro de especificación, habilitar el envío de ácido preparado hacia el tanque de almacenamiento de

ácido diluido TK-03 mediante la bomba PU-02 hasta alcanzar el nivel máximo. En caso contrario, efectuar una corrección de la preparación.

#### 9.2.2.2 Puesta en marcha área 600

Una vez ya asegurado el stock de ácido fosfórico al 64%, se debe habilitar el envío de ácido hacia el scrubber SC-01. Los pasos por seguir son los siguientes:

1. Dejar en modo automático el lazo de control 606 y en modo manual el lazo de control RC-607. Este último debe estar en manual ya que se trata de un control de relación másica de ácido:vapor, y a esta altura del start up aún no se generaron vapores para lavar.
2. Alinear las válvulas de succión y descarga de las bombas PU-03 y PU-04.
3. Energizar y encender la PU-03 con el objetivo de transportar el ácido hacia el calentador HX-03
4. El ácido preparado se encuentra a temperatura ambiente, mientras que en el proceso se necesita a 60°C. Para cumplir con esta temperatura y evitar problemas de expansión térmica, se debe habilitar el transporte de vapor de manera simultánea al envío de ácido. Monitorear el funcionamiento del lazo de control TC-606 (controlado por la válvula FV-606).
5. Energizar y encender la PU-04 para almacenar el ácido en el TK-04 (tanque de ácido recuperado) hasta el nivel máximo.

#### 9.2.2.3 Puesta en marcha área 100

Para arrancar la primera etapa de reacción en el tanque agitado RX-01, se comenzará con una preparación tipo batch hasta producir el slurry con las concentraciones y propiedades deseadas. Los pasos por seguir son:

1. Dejar los lazos de control RC-102 y LC-100 en modo manual. El RC-102 es un controlador de relación molar amoníaco:ácido, y al inicio únicamente llenaremos el RX-01 con ácido fosfórico diluido proveniente de la corriente [3]; mientras que el LC-100 es el controlador de nivel que actúa sobre la velocidad de las bombas de slurry PU-06A/B.
2. Alinear las válvulas de succión y descarga de la bomba PU-05.
3. Energizar y encender la PU-05. Habilitar el transporte de ácido hacia el RX-01 hasta alcanzar un nivel de 70%.
4. Encender el agitador del reactor RX-01.
5. Alinear válvulas de succión y descarga de PU-08
6. Encender ventilador FN-01 (gas limpio a la atmósfera). Abrir HV-611 (ingreso de vapor a scrubber) y dejar en automático lazo de control RC-607
7. Habilitar el circuito cerrado de agua de torre hacia la camisa del RX-01
8. Dado que el 70% de nivel representa 4044 kg de ácido fosfórico puro, se requiere de alimentar 905 kg de amoníaco para cumplir con la relación molar de 1,29. Para cumplir con esta receta, se necesita alimentar amoníaco durante 50 minutos a un caudal operativo de 1082 kg/h.
9. En cuanto comience la reacción de formación de MAP, comenzará a aumentar la temperatura. Por ello, es necesario monitorear la temperatura del reactor, la cual se visualiza con el sensor TT-101. Monitorear el funcionamiento del lazo TC-101.
10. Cuando se alcance una temperatura estable de 115,5°C significa que el slurry ya alcanzó la composición deseada de MAP. En este punto, abrir las válvulas de succión y descarga de la bomba PU-06 A o B según corresponda, tomar muestra, monitorear el pH medido por el sensor AE-105 y almacenar el slurry en el TK-06.
11. Prender el agitador del TK-06.

12. Analizar los resultados de laboratorio. En caso de que se cumpla la concentración de MAP y agua deseada, seguir con la operación en continuo y colocar los lazos en modo automático. Caso contrario, dosificar más amoníaco al RX-01.

#### 9.2.2.4 Puesta en marcha área 200

Ya con un slurry dentro de especificación, procedemos a arrancar la segunda etapa de reacción, en donde la reacción se completa de MAP a DAP mediante la adición de amoníaco en el granulador RX-02. Los pasos por seguir son:

1. Encender motor del granulador MT-209 y motovibrador de tolva de descarga MT-208.
2. Alinear válvulas de succión y de mando de PU-07 y PU-09.
3. Energizar y encender bomba PU-07
4. Comenzar a transportar el slurry desde el TK-06 hacia el granulador. En simultáneo, comenzar a dosificar amoníaco al RX-02.
5. En esta etapa, no habrá recirculación de finos a través de la corriente [7], lo cual es crucial tanto para la formación del gránulo como para reducir la humedad total de entrada al granulador. Por lo tanto, se requiere alimentar producto terminado seco en la cinta CT-505. El material generado por la corriente [9] se debe segregar y recircular hasta que la humedad de salida del RX-02 alcance alrededor del 4 – 4,50%. Esto se realiza para evitar sobrecargas en el secador.

#### 9.2.2.5 Puesta en marcha áreas 300, 400 y 600

1. Energizar y encender los ventiladores FN-02, FN-03 y FN-04 sucesivamente.
2. Encender el motor del secador rotatorio MT-300 y el motor del enfriador MT-405.
3. En esta instancia del start up, la caldera ya debe estar encendida y funcionando con normalidad. Para poder calentar el aire que ingresa al secador, se debe abrir la válvula que permite el ingreso de vapor, FV-306. Se debe dejar en automático el lazo de control TC-306, de manera tal que se regule el caudal de vapor de ingreso en función de la temperatura de salida del aire del calentador HX-02.
4. Una vez alcanzada la temperatura objetivo del aire (115°C), encender las cintas CT-300/308 y los motovibradores MT-302/400.
5. Abrir la válvula cuchilla VG-600 y encender la válvula rotativa VG-601 para descargar el producto fino arrastrado por la corriente de aire.
6. Monitorear la humedad de salida del secador, medida por el sensor de humedad ME-305.
7. Monitorear la temperatura de salida del enfriador HX-01, medida por el sensor TIT-404

#### 9.2.2.6 Puesta en marcha áreas 500 y 700

1. Encender el motor del screener MT-500.
2. Poner en marcha el triturador de gruesos TR-01.
3. Abrir válvulas manuales VM-505/506/508.
4. Encender las transportadoras de cangilones TY-01 y TY-02.
5. Tomar muestras a través de la válvula VM-507 y mediante el análisis de laboratorio, monitorear la granulometría del producto.
6. Una vez que el silo de producto terminado tenga un nivel superior al LALL-700, encender el fondo vibratorio MT-702 para descargar el producto hacia el sector de envasado.