

 **PROYETECH**

 **PLANICOST**
INGENIERIA, CONSULTORIA Y FORMACION

LECCIONES APRENDIDAS PARADAS DE PLANTA

UNIDADES DE PARAFINAS

**Cero Desviaciones: Un Framework de
Lecciones Aprendidas para la Excelencia en
Paradas de Planta de Parafinas**

Una investigación conjunta de Proyeteck Consultores SAS y Planicost Venezuela, desarrollada para la comunidad de IngenieroPlanner.com.

Resumen Ejecutivo

Las unidades de parafinas representan uno de los entornos operativos más complejos y de mayor riesgo dentro de una refinería. La confluencia de solventes de alta inflamabilidad (MEK, tolueno), sistemas de refrigeración con amoníaco (NH₃), equipos criogénicos y procesos a vacío, crea un escenario donde la **disciplina técnica** no es una opción, sino un prerrequisito para la seguridad y la rentabilidad. Estas unidades producen ceras de alto valor para las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria, y aceites base de Grupo II/III, donde la pureza y la consistencia del producto final son críticas.

Una parada de mantenimiento en estas plantas es un evento de alto impacto. Desviaciones mínimas —un procedimiento de purga incompleto, un torque mal aplicado en una brida, una rampa de enfriamiento no controlada— escalan rápidamente, traduciéndose en días de extensión del cronograma, sobrecostos exponenciales y, más importante, incidentes graves de seguridad de procesos (Process Safety Incidents).

Este informe, desarrollado por **Proyotech Consultores SAS** y **Planicost Venezuela**, codifica décadas de experiencia en campo. No es una mera lista de errores, sino un **framework estructurado de lecciones aprendidas**. Su objetivo es transformar incidentes pasados en controles auditables para el futuro, proveyendo a los equipos de planificación, mantenimiento y operaciones una guía táctica para ejecutar paradas de planta con **cero desviaciones** en seguridad, cronograma y presupuesto.

Metodología: El Framework de Auditoría Técnica

Este análisis se fundamenta en un modelo de tres pilares, diseñado para convertir la experiencia empírica en conocimiento aplicable y verificable:

1

Gobernanza Normativa (Normative Governance)

Se realizó una revisión exhaustiva de los estándares que rigen el ciclo de vida de los activos en estas unidades. La normativa de **API, ASME, NFPA, IIAR, IEC/ISA** y los requerimientos de **OSHA** no son vistos como guías, sino como los criterios de aceptación mínimos para cualquier intervención.

2

Análisis Causa-Raíz de Campo (Field Root-Cause Analysis)

Se documentaron y analizaron eventos y cuasi-accidentes de paradas de planta en refinerías de Latinoamérica y Europa. El análisis se centró en identificar patrones recurrentes, separando el síntoma (ej. "fuga en el sello") de la causa raíz sistémica (ej. "falta de un protocolo de alineación láser verificado").

3

Codificación de Controles (Control Codification)

Cada lección aprendida fue deconstruida y transformada en un protocolo de control auditable. El objetivo es claro: dotar a los equipos de mecanismos preventivos (qué hacer antes), detectivos (cómo verificar durante) y correctivos (cómo reaccionar si algo falla) que sean medibles y documentables.

El resultado es una guía que habla el lenguaje del ingeniero de campo pero con el rigor de un auditor de procesos, diseñada para ser implementada directamente en los planes de trabajo y matrices de calidad (QA/QC).

Nota sobre la Aplicabilidad y Confidencialidad

Política de Confidencialidad

En línea con los acuerdos de confidencialidad y para proteger la propiedad intelectual de las fuentes colaboradoras, **se han omitido deliberadamente nombres, ubicaciones y otros datos específicos de las refinerías y plantas analizadas.** El enfoque de este informe es la lección aprendida y el protocolo de mitigación, no el caso de estudio individual.

Adaptabilidad del Contenido

Este documento es una guía estratégica y no reemplaza el juicio de ingeniería, el análisis de riesgo formal (HAZOP, JSA) ni los procedimientos específicos de cada instalación. **Se insta al lector a utilizar este framework como una base para desarrollar o fortalecer sus propios estándares de trabajo,** adaptando cada recomendación a las realidades técnicas, normativas y operacionales de sus activos y proyectos.

El Rol Estratégico de las Unidades de Parafinas

Estas unidades procesan cortes de aceite lubricante de la unidad de destilación a vacío (VDU) para remover las parafinas que solidifican a bajas temperaturas. Un proceso típico incluye:

Desparafinado con Solvente (Solvent Dewaxing)

La carga se mezcla con solventes (ej. MEK/tolueno) y se enfría progresivamente en cristalizadores para precipitar las ceras.

Separación Sólido-Líquido

Filtros de tambor rotatorio al vacío o centrifugas separan la torta de cera del aceite desparafinado (DAO).

Desaceitado de Cera (Deoiling)

La cera cruda se procesa en etapas adicionales de mezclado, enfriamiento y filtración para reducir el contenido de aceite a menos del 0.5%, cumpliendo especificaciones de grado alimentario o farmacéutico.

Recuperación de Solvente

Un tren de destilación (columnas de stripping y fraccionamiento) recupera el solvente para su recirculación, una etapa de altísimo consumo energético.

Acabado del Producto

Puede incluir hidrotratamiento (hydrofinishing) para mejorar el color, olor y estabilidad de las ceras y aceites base.

Sistemas Auxiliares Críticos

La operación depende de sistemas de refrigeración con amoníaco, hornos de calentamiento, redes de intercambiadores, trazado eléctrico y sistemas de control instrumentado (SIS).

Comprender la interdependencia de estos sistemas es fundamental para una planificación de paradas que mitigue los riesgos en las interfaces de cada equipo.

Análisis de Fallas y Protocolos de Mitigación: Hornos (API 560)

Riesgo Crítico

Ignición de vapores de solvente residuales durante la apertura para inspección o trabajos en caliente.

Análisis Causa-Raíz

Confianza excesiva en la purga por vapor, sin una verificación cuantitativa de la ausencia de hidrocarburos. Procedimientos de inertización con nitrógeno (N₂) mal ejecutados o acortados para cumplir con el cronograma.

Impacto Operacional y de Negocio

- **Seguridad:** Riesgo fatal de explosión y fuego. Clasificado como un escenario de alto potencial (High-Potential Incident).
- **Cronograma:** Retraso de 24-48 horas por ciclo de purga/verificación adicional.
- **Costo:** Consumo no planificado de N₂, uso extendido de equipos de ventilación forzada y horas-hombre adicionales.

Protocolo de Control Auditable

1. **Inertización Forzada:** Realizar purga con nitrógeno hasta alcanzar una concentración de oxígeno (O₂) inferior al 2% v/v.
2. **Verificación de Atmósfera:** Medir el LEL en múltiples puntos del interior del horno. El permiso de trabajo solo se firma con un valor de 0% LEL.
3. **Registro QA/QC:** Adjuntar al permiso de trabajo el registro firmado de las mediciones de O₂ y LEL, con fecha, hora y equipo de medición calibrado.

Normativa de Referencia: API 560, NFPA 51B, OSHA 1910.146.

Recomendaciones Específicas para el Contratista Ejecutor

- **Mitigación de Tiempos y Costos:** Antes de movilizar al personal, exija al cliente la entrega del "**Certificado de Liberación de Equipo**". Este documento debe confirmar que el equipo está aislado, drenado, purgado e inertizado. No inicie el trabajo basándose en una confirmación verbal.
- **Prevención de Retrabajos:** Su supervisor debe realizar una medición independiente de O₂ y LEL con su propio equipo calibrado antes de que su personal ingrese al espacio confinado. Desconfíe de las mediciones realizadas horas antes.
- **Condiciones Inseguras:** Entrene a su equipo para reconocer los peligros de los solventes de parafina (el tolueno es más pesado que el aire y puede acumularse en zonas bajas). Asegúrese de que la ventilación forzada se mantenga activa durante *toda* la jornada de trabajo.
- **Productividad:** Incluya en su planificación una línea de tiempo para la "verificación de condiciones seguras". Esto formaliza la actividad y la protege de presiones para iniciar antes de tiempo.

Análisis de Fallas y Protocolos de Mitigación: Intercambiadores de Calor (TEMA / ASME BPVC Sec. VIII)

Riesgo Crítico

Daño mecánico a las superficies de sellado (caras de brida) y juntas durante el intento de apertura en frío de equipos bloqueados con cera solidificada.



Análisis Causa-Raíz

Presión del cronograma que lleva a omitir el precalentamiento. Falta de un procedimiento específico que defina rampas térmicas y puntos de control de temperatura.



Impacto Operacional

Costo: Compra de emergencia de juntas especiales, costos de mecanizado en sitio de las caras de brida, pérdida de material de junta.

Cronograma: Desviación de 1 a 2 días por equipo afectado, con efecto dominó en la ruta crítica.



Protocolo de Control

- Procedimiento de Calentamiento:** Definir una rampa de temperatura controlada (ej. no más de 50°C/hora).
- Monitoreo y Registro:** Medir la temperatura superficial en al menos 3 puntos. El desmontaje solo se autoriza cuando la temperatura supera el punto de fusión de la cera (> 70°C).
- Evidencia Fotográfica:** Incluir en el dossier de calidad una fotografía del registro de temperaturas antes de iniciar el torqueo.

Recomendaciones Específicas para el Contratista Ejecutor

- Prevención de Retrabajos y Sobrecostos:** Nunca intente abrir un intercambiador "a la fuerza". Si encuentra resistencia, detenga el trabajo. Documente la situación y eleve una "Solicitud de Información" (RFI) formal al cliente, preguntando si el protocolo de precalentamiento fue completado. Esto lo protege de responsabilidades por daños.
- Productividad:** Tenga listo el kit completo de herramientas (llaves de torque, extractores, herramientas no ferrosas) en el sitio *antes* de que se autorice la apertura.
- Condiciones Inseguras:** Al aflojar la primera brida, asuma siempre que hay presión atrapada. Siga el procedimiento de aflojar los espárragos más alejados de usted y nunca se posicione directamente frente a la línea de apertura.

Análisis de Fallas y Protocolos de Mitigación: Columnas de Destilación (API 510)



Riesgo Crítico

Incorrecta reinstalación de internos, comprometiendo la eficiencia de separación de solventes.

Análisis Causa-Raíz

Falla en la documentación (marcado, fotos, planos) de la configuración y orientación de los internos antes de su remoción.

Impacto Operacional y de Negocio

- **Calidad y Eficiencia:** Producto fuera de especificación, mayor consumo energético y pérdidas de solvente.
- **Cronograma:** Requiere una segunda parada no planificada para reabrir y corregir (retraso de 5-10 días).

Mapeo 3D/Fotográfico

Generar un registro detallado de la posición y estado de cada interno antes del desmontaje.

Checklist de Montaje (QA/QC)

Crear un checklist de instalación para cada elemento (nivelación, orientación, sellado).

Verificación por Terceros

Un supervisor de operaciones o inspector debe firmar el checklist en cada punto de control.

Recomendaciones Específicas para el Contratista Ejecutor

- **Prevención de Retrabajos:** Antes de remover nada, cree su propio **mapa de desmontaje**. Use etiquetas metálicas numeradas y tome fotografías detalladas que muestren la orientación. No confíe en los planos del cliente, pueden estar desactualizados.
- **Productividad:** Organice un área de acopio (laydown area) donde los internos se coloquen en la misma secuencia en que fueron removidos. Esto reduce drásticamente el tiempo de reinstalación.
- **Mitigación de Sobrecostos:** Si durante el montaje un componente no encaja según su mapa, no lo fuerce. Detenga el trabajo y emita una consulta técnica formal. Forzar un componente puede causar daños que serán imputados a su empresa.

Normativa de Referencia: API 510, API 571.

Análisis de Fallas y Protocolos de Mitigación: Bombas, Centrífugas y Filtros (API 610/682)

Riesgo Crítico

Falla prematura de sellos mecánicos y rodamientos post-arranque, causando fugas de solventes inflamables.

Análisis Causa-Raíz

Desalineación, uso de sellos incorrectos, o cierre de carcasas sin el torque adecuado.

Impacto Operacional y de Negocio

- **Seguridad:** Fugas de solventes que pueden generar atmósferas explosivas.
- **Costo:** Compra expedita de partes, costos de retrabajo.
- **Cronograma:** Pérdida de 1-3 días de producción por cada equipo que falla.

Protocolo de Control Auditable

1. **Alineación Láser:** Exigir un reporte de alineación con valores dentro de las tolerancias del fabricante.
2. **Certificación de Materiales (OEM):** Utilizar únicamente kits de reparación y sellos del fabricante original (OEM).
3. **Protocolo de Torqueo:** Aplicar torque siguiendo una secuencia cruzada y en etapas.
4. **Análisis de Vibraciones Basal:** Realizar un análisis de vibraciones una vez instalado para establecer una línea base.

Normativa de Referencia: API 610, API 682, OSHA 1910.147 (LOTO).

Recomendaciones Específicas para el Contratista Ejecutor

- **Prevención de Retrabajos y Disputas:** Entregue al cliente el "Reporte de Alineación Láser" y la "Hoja de Torqueo" como parte de su paquete de cierre. Estos documentos son su evidencia irrefutable de un trabajo ejecutado correctamente.
- **Productividad:** Estandarice los kits de reparación por modelo de bomba. Su equipo debe llegar al sitio con una caja que contenga todas las juntas, sellos y rodamientos necesarios.
- **Mitigación de Costos:** Antes de instalar un sello, verifique que el número de parte coincida con la orden de trabajo. Un error aquí resultará en una falla y el costo del nuevo sello será imputado a su empresa.
- **Condiciones Inseguras:** Verifique personalmente el bloqueo y etiquetado (LOTO). Su supervisor debe aplicar un candado departamental.

Modelo de Gobernanza para la Excelencia en Paradas de Planta



1. Planificación Estratégica

- **Integrar QA/QC en la Ruta Crítica:** Actividades como inertización, pruebas de atmósfera y alineación deben tener predecesoras y sucesoras en el cronograma.
- **Gestión de Inventarios Críticos:** Establecer un stock mínimo de parada para juntas, sellos, y telas filtrantes. Su disponibilidad no puede depender de la logística durante la ejecución.

2. Aseguramiento de Calidad (QA/QC) Activo

- **Dossier de Calidad por Equipo:** Cada equipo intervenido debe tener una carpeta con todos los registros firmados. El cierre mecánico no se autoriza sin el dossier completo.
- **Puntos de Espera Obligatorios (Hold Points):** Definir puntos donde el trabajo no puede continuar sin la inspección y firma de un representante de operaciones o calidad.

3. Gestión de Competencias

- **Entrenamiento Específico:** Realizar talleres prácticos sobre los riesgos clave de la unidad: manejo de NH_3 , peligros del tolueno/MEK, control de energía estática.
- **Certificación de Contratistas:** Exigir que el personal que realiza tareas críticas presente certificaciones que validen su competencia.

4. Comunicación y Liderazgo

- **Reuniones Verticales Diarias:** Implementar reuniones de 15 minutos al inicio del turno, con foco en las restricciones, la seguridad y la calidad.
- **Liderazgo Visible en Campo:** La presencia de la gerencia en sitio refuerza el compromiso con los estándares y agiliza la toma de decisiones.

Conclusión: De la Reacción a la Anticipación

La ejecución exitosa de una parada de planta en una unidad de parafinas es el resultado directo de una cultura organizacional que valora la **disciplina y la prevención** por encima de la velocidad. Las lecciones documentadas en este informe convergen en una única verdad: los sobrecostos, los retrasos y los incidentes no son producto de la mala suerte, sino de la ausencia de controles sistémicos.

La adopción de un framework como el presentado aquí permite a las organizaciones y a sus socios contratistas pasar de un modelo reactivo —que corrige errores sobre la marcha— a un **modelo predictivo y controlado** que anticipa los riesgos y los neutraliza desde la planificación. La verdadera ventaja competitiva no reside en recuperar el tiempo perdido, sino en no perderlo en primer lugar.

Prevención

Implementar controles preventivos basados en lecciones aprendidas documentadas.

Verificación

Establecer puntos de control y verificación en cada etapa crítica del proceso.

Documentación

Mantener registros auditables de todas las actividades y decisiones tomadas.

Glosario Técnico

API	American Petroleum Institute.
ASME BPVC	Boiler and Pressure Vessel Code de la American Society of Mechanical Engineers.
DAO	Aceite desparafinado (Dewaxed Oil).
DCS/PLC	Distributed Control System / Programmable Logic Controller.
IIAR	International Institute of Ammonia Refrigeration.
IEC/IEEE	International Electrotechnical Commission / Institute of Electrical and Electronics Engineers.
LEL	Lower Explosive Limit (Límite Inferior de Explosividad).
LOTO	Lockout/Tagout (Bloqueo y Etiquetado de Energías Peligrosas).

MEK	Metil Etil Cetona.
NFPA	National Fire Protection Association.
OEM	Original Equipment Manufacturer (Fabricante de Equipo Original).
OSHA	Occupational Safety and Health Administration.
PSM	Process Safety Management (Gestión de Seguridad de Procesos).
QA/QC	Quality Assurance / Quality Control (Aseguramiento y Control de Calidad).
SCBA	Self Contained Breathing Apparatus (Equipo de Respiración Autónomo).
SIS	Safety Instrumented System (Sistema Instrumentado de Seguridad).
TEMA	Tubular Exchanger Manufacturers Association.

Riesgos Específicos en Sistemas de Refrigeración con Amoníaco

Riesgo Crítico

Exposición a amoníaco durante trabajos de mantenimiento en sistemas de refrigeración, con potencial de lesiones graves o fatalidades.

Análisis Causa-Raíz

Procedimientos inadecuados de aislamiento y purga de sistemas de refrigeración con amoníaco antes de intervenciones de mantenimiento.

Impacto Operacional

- **Seguridad:** Exposición a gas tóxico con riesgo de lesiones respiratorias graves o fatalidades.
- **Ambiental:** Liberación de amoníaco al ambiente con impacto en áreas circundantes.
- **Operacional:** Evacuación de planta y parada de emergencia de unidades adyacentes.

Protocolo de Control

1. Implementar procedimiento específico de aislamiento y purga para sistemas de NH_3 .
2. Verificar concentración de amoníaco con detectores calibrados antes de autorizar trabajos.
3. Disponer de equipos SCBA y trajes de protección química en el área de trabajo.
4. Realizar simulacros de emergencia por fuga de amoníaco antes de la parada.

Normativa de Referencia: IIAR 6-2019, OSHA 1910.119, ASHRAE 15.

⊗ Recomendaciones para el Contratista

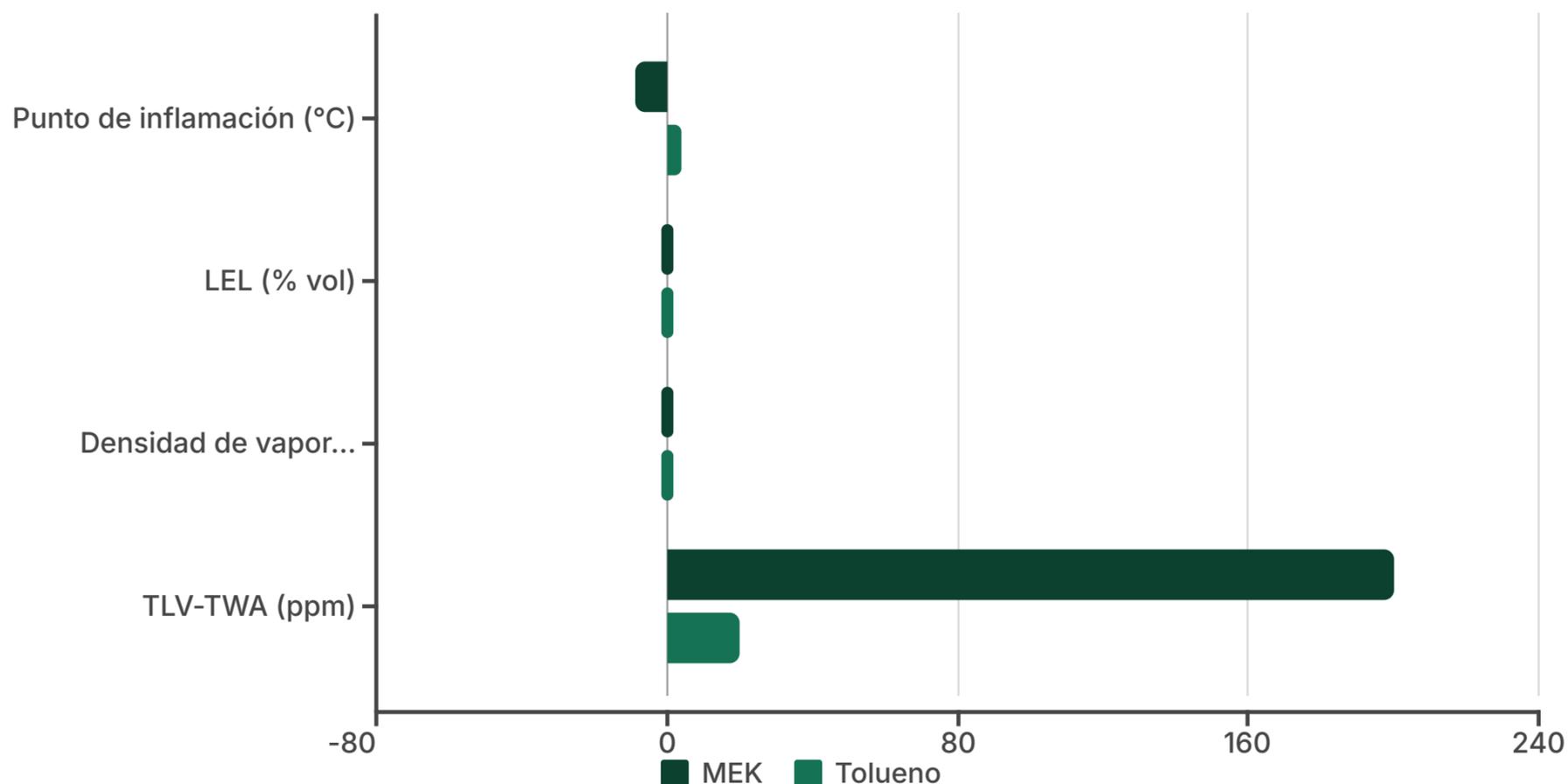
Nunca inicie trabajos en sistemas de refrigeración con amoníaco sin verificar personalmente que el sistema ha sido correctamente aislado, drenado y purgado. Exija la presencia de un representante de operaciones durante todo el trabajo y asegúrese de que su personal esté entrenado en el uso de equipos de protección respiratoria.

Gestión de Riesgos en Trabajos con Solventes Inflamables

Características de Riesgo

Los solventes utilizados en el proceso de desparafinado (MEK y tolueno) presentan riesgos específicos que deben ser gestionados durante las paradas de planta:

- Alta inflamabilidad y formación de atmósferas explosivas
- Acumulación en puntos bajos por mayor densidad que el aire
- Potencial de generación de electricidad estática
- Toxicidad por inhalación e irritación por contacto



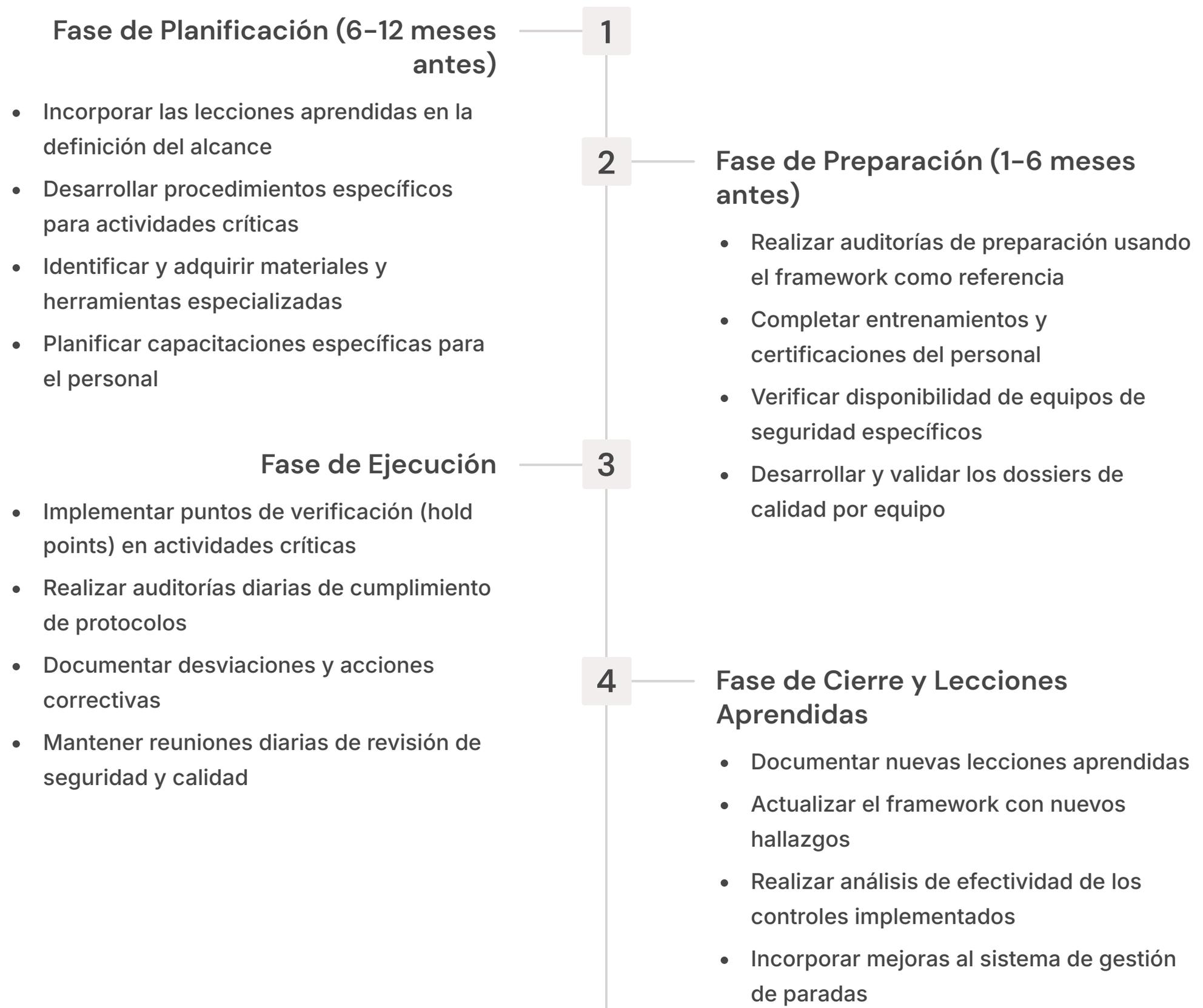
Protocolo de Control para Trabajos con Solventes

1. **Conexión a Tierra:** Todos los equipos y contenedores deben estar conectados a tierra para prevenir descargas estáticas.
2. **Monitoreo Continuo:** Implementar monitoreo continuo de LEL durante toda la intervención.
3. **Ventilación Forzada:** Mantener ventilación mecánica en espacios confinados donde se hayan manejado solventes.
4. **EPP Específico:** Utilizar guantes de nitrilo, protección respiratoria con filtros para vapores orgánicos y protección ocular.

Normativa de Referencia: NFPA 30, OSHA 1910.106, API RP 2003.

Implementación del Framework en la Planificación de Paradas

Para implementar efectivamente este framework de lecciones aprendidas en la planificación y ejecución de paradas de planta, se recomienda seguir estos pasos estructurados:



La implementación sistemática de este framework permite transformar el conocimiento tácito en procedimientos explícitos y auditables, creando un ciclo de mejora continua que reduce progresivamente las desviaciones en paradas futuras.