

FAT — PROCEDIMIENTO

**Procedimiento de Factory Acceptance Test para Tablero de Control de
Estación de Bombeo de Agua Potable con Bombas P-101 y P-102**

ControlMind AI · Documento generado

10 de octubre de 2026

Índice

1. Alcance y objetivos
2. Referencias y documentos aplicables
3. Responsabilidades y roles
4. Requisitos previos y condiciones de prueba
5. Configuración de prueba simulada
6. Procedimiento paso a paso
7. Pruebas específicas de funcionalidad
8. Criterios de aceptación
9. Registro de resultados y documentación
10. Anexos

1. Alcance y objetivos

Alcance y objetivos

Alcance

Este procedimiento define el Factory Acceptance Test (FAT) para el tablero de control de la estación de bombeo de agua potable, que integra las bombas centrífugas P-101 y P-102 (30 kW cada una) en configuración duty/standby con variadores de frecuencia. El sistema bajo prueba incluye:

- PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C) con módulo de E/S analógicas.
- HMI KTP700 Basic conectada vía PROFINET.
- Instrumentación:
 - Transmisor de presión de descarga PIT-101 (4-20 mA, rango 0–10 bar).
 - Transmisor de nivel de estanque de succión LIT-101 (4-20 mA, rango 0–5 m).
 - Flujómetro FIT-101 (especificaciones a confirmar en documentación de fabricante).
- Lógica de control:
 - Regulación PID para mantener presión constante en la descarga, actuando sobre los variadores.
 - Alternancia automática de bombas cada 24 horas (ciclo duty/standby).
- Protecciones:
 - Bajo nivel de succión (LSLL-101): detiene bombas si el nivel en el estanque desciende por debajo del umbral mínimo.
 - Alarmas por falla de variador (ej. sobrecorriente, sobretensión).

El FAT cubre la validación funcional del hardware, software y comunicación en entorno controlado (fábrica), excluyendo:

- Pruebas de rendimiento hidráulico (caudal/presión real en campo).
- Verificación de instalación mecánica o eléctrica en sitio.
- Pruebas de resistencia ambiental (IP, temperatura, humedad) — estas se validan en el SAT (Site Acceptance Test).

Objetivos

El FAT tiene como propósito confirmar que el tablero de control cumple con los requisitos funcionales y de diseño antes de su despacho a campo. Los objetivos específicos son:

- Validar la integración hardware-software:
 - Verificar que el PLC ejecuta la lógica de control (PID, alternancia, protecciones) sin errores de compilación o tiempo de respuesta.

Criterio de aceptación: Tiempo de ciclo del PLC ≤ 10 ms (para E/S analógicas) [criterio de ingeniería].

- Confirmar que las variables de proceso (presión, nivel, flujo) se actualizan en la HMI con un retraso máximo de 200 ms respecto al PLC.
- Probar la comunicación industrial:
 - Validar el enlace PROFINET entre PLC, HMI y variadores:

Criterio de aceptación:

- Tasa de error de paquetes < 0.1% en 1000 transmisiones (medido con herramienta certificada, ej. PRONETA).
- Tiempo de ciclo de actualización <= 50 ms [criterio de ingeniería].
- Verificar la lectura de señales 4-20 mA (PIT-101, LIT-101, FIT-101) con precisión $\pm 0.5\%$ del rango.
- Evaluar la lógica de control y protecciones:
 - Regulación PID:
 - Tiempo de establecimiento del setpoint de presión <= 2 minutos (para un escalón del 10% del rango).
 - Sobreoscilación máxima <= 5% del valor nominal [criterio de ingeniería].
 - Alternancia duty/standby:
 - Conmutación automática cada $24\text{ h} \pm 1\text{ minuto}$ (validado con simulación de tiempo acelerado).
- Protecciones:
 - Activación de LSLL-101 cuando el nivel en LIT-101 <= 0.5 m (umbral configurable).
 - Generación de alarma en HMI en <= 1 segundo tras detección de falla en variador.
- Validar la interfaz HMI:
 - Todas las pantallas de operación (monitoreo, control manual, alarmas) deben:
 - Mostrar valores actualizados en tiempo real.
 - Permitir el cambio de modo (automático/manual) sin retrasos.
 - Registrar eventos con timestamp de precisión $\pm 1\text{ segundo}$.
 - Criterio de aceptación visual:
 - Contraste de colores $\geq 4.5:1$ (norma WCAG para entornos industriales) [criterio de ingeniería].
- Simular condiciones de fallo:
 - Inyectar señales de error (ej. pérdida de comunicación con PIT-101, falla de variador) y verificar:
 - Activación de alarmas en HMI con mensaje descriptivo.
 - Acciones de seguridad (ej. parada de bombas) ejecutadas en <= 500 ms.

Nota: Los valores de umbrales (ej. nivel mínimo para LSLL-101) y parámetros PID (K_p , T_i , T_d) deben ser confirmados en la hoja de datos del proyecto antes de ejecutar el FAT. Placeholders como "[completar: umbral LSLL-101]" deben reemplazarse con los datos reales.

2. Referencias y documentos aplicables

Referencias y documentos aplicables

Normas y estándares internacionales

- IEC 60068-2-1/2: Condiciones ambientales para equipos eléctricos y electrónicos. Aplicable a rangos de temperatura de operación (0°C a 55°C para el PLC S7-1200 y 0°C a 45°C para la HMI KTP700 Basic) y almacenamiento (-20°C a 60°C).
- IEC 60068-2-78: Ensayos de humedad. Requiere que la humedad relativa en el entorno de operación se mantenga entre 5% y 95% (sin condensación).
- IEC 60529: Grados de protección (IP). El tablero de control en sala debe cumplir con IP20, mientras que los gabinetes en campo (ej. para instrumentación) deben alcanzar IP65 (protección contra polvo y chorros de agua).
- IEC 61158-6 y IEC 61784-1: Especificaciones para redes PROFINET. Incluyen requisitos de cableado (ej. separación mínima de 30 cm entre cables de potencia y señal, y 10 cm entre cables de señal no apantallados).
- IEC 61000-4-3: Inmunidad a campos electromagnéticos. Establece límites de <1 V/m (80 MHz a 1 GHz) y <3 V/m (1 GHz a 2.7 GHz) para evitar interferencias en buses de campo.
- IEC 61000-4-4: Pruebas de inmunidad a ráfagas eléctricas (EFT/B).
- IEC 61000-5-2: Guía para la instalación de sistemas de cableado con requisitos de separación física y apantallamiento (malla >85% para cables STP).
- IEC 60364-4-41: Protección contra descargas eléctricas. Exige resistencia de equipotencialidad <0.1 Ohm entre puntos de tierra.
- IEC 62443-3-3: Requisitos de ciberseguridad para sistemas de control industrial. Aplicable a la configuración de la red PROFINET y acceso al PLC/HMI.
- NEMA 250: Equivalente a IP65 para gabinetes en campo (NEMA 4X).

Especificaciones de protocolo y comunicación

- PROFINET IO: Estándar de comunicación industrial para el PLC S7-1200 y la HMI KTP700 Basic. Requiere verificación de topología, tiempos de ciclo y diagnóstico de tráfico.
- MODBUS Application Protocol Specification: Protocolo de aplicación para comunicación serial (nivel 7 OSI), relevante si el sistema incluye dispositivos MODBUS (ej. variadores de frecuencia).
- EIA/TIA-485 (RS-485): Estándar para interfaces eléctricas multipunto, aplicable a comunicaciones seriales entre dispositivos.
- EIA/TIA-232 (RS-232): Estándar para interfaces punto a punto, usado en configuraciones locales de dispositivos.

Documentación técnica del sistema

- Manual del PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C): Incluye especificaciones de hardware, módulos de E/S analógicas, y requisitos de alimentación.
- Manual de la HMI KTP700 Basic: Especificaciones de visualización, contraste de colores (mínimo 4.5:1 en condiciones industriales), y compatibilidad con PROFINET.
- Manuales de los variadores de frecuencia: Parámetros de control PID para presión constante, rangos de operación, y protección contra fallos.
- Hoja de datos de los instrumentos:

- Transmisor de presión PIT-101: Rango 4-20 mA, 0-10 bar.
- Transmisor de nivel LIT-101: Rango 4-20 mA, 0-5 m.
- Flujómetro FIT-101: Especificaciones de salida y precisión.
- Diagrama de cableado y P&ID: Incluyen conexiones eléctricas, direccionamiento de E/S, y lógica de control (ej. alternancia automática de bombas cada 24 horas, protección por bajo nivel LSLL-101).

Documentación del proyecto

- Especificación técnica del tablero de control: Detalles de diseño, protección, y requisitos de seguridad.
- Diagrama de bloques funcionales: Lógica de control PID, alternancia duty/standby, y gestión de alarmas (ej. falla de variador).
- Lista de tags y direccionamiento: Asignación de variables en el PLC (ej. M1.0, M1.1 para estados de bombas) y su vinculación con la HMI.
- Protocolo de pruebas de comunicación PROFINET: Incluye criterios de aceptación para latencia (ej. <10 ms en tiempo de ciclo), detección de errores, y redundancia.

Criterios de ingeniería aplicables

- La resistencia de equipotencialidad entre gabinetes y tierra debe ser <0.1 Ohm, verificada con medidor de 4 hilos [criterio de ingeniería].
- El apantallamiento de cables PROFINET debe conectarse a tierra en un solo extremo para evitar bucles de tierra [criterio de ingeniería].
- La separación física entre cables de potencia (220V/480V) y señal debe ser ≥ 20 cm para evitar interferencias [criterio de ingeniería].

3. Responsabilidades y roles

Responsabilidades y roles

Fabricante (contratista del tablero de control)

- Preparación del sistema bajo prueba (SUT):
 - Asegurar que el tablero de control (PLC S7-1200, HMI KTP700 Basic, variadores de frecuencia y E/S analógicas) esté completamente ensamblado, cableado y configurado según el diseño aprobado.
 - Verificar que los instrumentos virtuales (PIT-101, LIT-101, FIT-101) estén simulados con señales 4-20 mA en el banco de pruebas, replicando rangos reales (0-10 bar para presión, 0-5 m para nivel).
 - Cargar el programa de control (incluyendo lógica PID, alternancia duty/standby cada 24 h y protecciones como LSLL-101) en el PLC y confirmar su integridad mediante checksum.
- Ejecución técnica del FAT:
 - Liderar las pruebas paso a paso según el procedimiento definido en la Sección 6, incluyendo:
 - Validación de la comunicación PROFINET entre PLC, HMI y variadores (latencia máxima permitida: 10 ms [criterio de ingeniería]).
 - Pruebas de funcionalidad del PID (tiempo de establecimiento < 2 minutos, sobreoscilación < 5% del setpoint de presión).
 - Simulación de fallos (ej. bajo nivel LSLL-101, falla de variador) y verificación de alarmas en HMI.
 - Proporcionar herramientas de diagnóstico (ej. TIA Portal, simuladores de señales) y personal calificado para operarlas.
- Documentación y trazabilidad:
 - Registrar parámetros críticos (Kp, Ti, Td del PID; tiempos de conmutación de bombas) en el Anexo A (ver Sección 10).
 - Entregar un informe preliminar con resultados de pruebas, desviaciones (si las hay) y acciones correctivas propuestas.

Cliente (propietario de la estación de bombeo)

- Validación de requisitos:
 - Revisar que el tablero cumpla con las especificaciones técnicas del proyecto, incluyendo:
 - Configuración duty/standby de P-101/P-102 con alternancia automática cada $24\text{ h} \pm 1\text{ h}$.
 - Rango de operación de instrumentos: PIT-101 (0-10 bar), LIT-101 (0-5 m), FIT-101 ([completar: rango de flujo nominal]).
 - Aprobar o rechazar los resultados del FAT basándose en los criterios de aceptación definidos en la Sección 8.
- Supervisión y testigos:
 - Designar al menos un representante técnico (con conocimiento en automatización y bombas centrífugas) para presenciar las pruebas.
 - Verificar que las alarmas (ej. falla de variador, bajo nivel) se visualicen correctamente en la HMI con prioridades claras (ej. alarmas críticas en rojo, advertencias en amarillo [criterio de ingeniería]).
 - Confirmar que la interfaz HMI permita:

- Visualización en tiempo real de presión (PIT-101), nivel (LIT-101) y flujo (FIT-101).
- Control manual/automático de bombas y variadores.
- Logística y recursos:
 - Proporcionar acceso a la documentación de diseño (diagramas eléctricos, P&ID, especificaciones de bombas) para cruzarla con el SUT.
 - Coordinar con el fabricante la disponibilidad de equipos de prueba adicionales (ej. multímetros calibrados para verificar señales 4-20 mA).

Testigos (terceros independientes)

- Inspección imparcial:
 - Representar a entidades de certificación o consultoras externas (si aplica) para validar el cumplimiento de normas como IEC 60068-2-1/2 (condiciones ambientales) e IEC 61131-3 (programación de PLC).
 - Verificar que las pruebas se realicen bajo condiciones controladas (temperatura ambiente: $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, humedad relativa $< 60\%$ [criterio de ingeniería]).
- Registro de evidencias:
 - Firmar el Protocolo de FAT (documento compañero) como testigo de que:
 - Las pruebas se ejecutaron según el procedimiento.
 - Los resultados cumplen con los criterios de aceptación (ej. tiempo de respuesta del sistema < 500 ms para cambios de setpoint [criterio de ingeniería]).
 - Reportar cualquier desviación no resuelta antes del cierre del FAT.

Rol	Responsabilidad clave	Criterio de aceptación medible	Documentación asociada
Fabricante	Comunicación PROFINET PLC-HMI	Latencia < 10 ms, sin pérdida de paquetes	Informe de pruebas (Sección 9)
Cliente	Validación de alarmas en HMI	Todas las alarmas visibles con prioridad correcta	Protocolo de FAT
Testigo	Cumplimiento de normas IEC	Condiciones ambientales dentro de rangos IEC 60068	Acta de inspección
Fabricante/Cliente	Funcionamiento del PID	Tiempo de establecimiento < 2 min, sobreoscilación $< 5\%$	Anexo A (parámetros PID)

4. Requisitos previos y condiciones de prueba

Requisitos previos y condiciones de prueba

1. Hardware y equipos requeridos

- Tablero de control bajo prueba (SUT):
 - PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C) con módulo de E/S analógicas (ej. SM 1231) completamente cableado y configurado.
 - HMI KTP700 Basic con proyecto cargado y vinculado al PLC.
 - Variadores de frecuencia para P-101 y P-102 (30 kW), conectados al PLC vía PROFINET o señales analógicas/digitales según diseño.
 - Instrumentación virtual simulada:
 - Transmisor de presión PIT-101 (4-20 mA, rango 0-10 bar).
 - Transmisor de nivel LIT-101 (4-20 mA, rango 0-5 m).
 - Flujómetro FIT-101 (señal analógica o digital según especificación).
 - Dispositivos de protección: Interruptores termomagnéticos, relés de sobrecarga y contactores para bombas.
 - Señales de alarma: Interruptor de bajo nivel LSLL-101 (contacto seco) para protección de bombas.
- Equipos de prueba y herramientas:
 - Fuente de alimentación regulada (24 VDC para E/S y 230 VAC para variadores) con capacidad de simular fallos controlados (ej. cortocircuitos, sobretensiones).
 - Multímetro digital (precisión $\pm 0.1\%$) para verificación de señales 4-20 mA y tensiones de alimentación.
 - Generador de señales analógicas (0-20 mA / 0-10 V) para simular entradas de PIT-101, LIT-101 y FIT-101.
 - Analizador de red PROFINET (ej. Siemens PRONETA o Fluke Networks) para validar topología, tiempos de ciclo y diagnóstico de red.
 - Osciloscopio (opcional) para verificar formas de onda en señales analógicas y digitales.
 - Herramientas de software:
 - TIA Portal V17 o superior con licencias para S7-1200 y HMI.
 - Simulador de PLC (ej. PLCSIM Advanced) para pruebas offline.
 - Software de diagnóstico PROFINET (ej. Siemens Primary Setup Tool).
 - Equipo de seguridad: EPP (guantes aislantes, gafas de protección) y kit de bloqueo/etiquetado (LOTO) para pruebas con energía aplicada.
- Entorno de prueba:
 - Banco de pruebas con espacio mínimo de 2 m $\times$ 1.5 m, libre de vibraciones y polvo.
 - Condiciones ambientales:
 - Temperatura: 10°C a 35°C (operación), 20°C $\pm$ 5°C (recomendado para estabilidad de mediciones).
 - Humedad relativa: 20% a 80% sin condensación.
 - Nivel de ruido electromagnético: <1 V/m (80 MHz–1 GHz) y <3 V/m (1–2.7 GHz).
 - Alimentación eléctrica:
 - Fuente estable de 230 VAC $\pm$ 10%, 50 Hz $\pm$ 2%, con tierra física verificada (resistencia <1 Ohm).

- UPS para PLC y HMI durante pruebas críticas (evitar interrupciones por fallos de red).

2. Software y configuración previa

— Configuración del PLC:

- Programa de control cargado en la CPU 1214C, incluyendo:
- Lógica de alternancia automática duty/standby (cambio cada 24 h $\pm$ 5 min).
- Control PID para presión constante (setpoint configurable, acción sobre variadores).
- Protecciones:
- Parada por bajo nivel en succión (LSLL-101 activado).
- Alarmas por falla de variador (ej. sobrecorriente, sobretemperatura).
- Comunicación PROFINET con variadores y HMI (direcciones IP estáticas asignadas).
- Parámetros de comunicación:
- Tiempo de ciclo de PROFINET: $\leq$ 10 ms (validado con analizador de red).
- Tiempo de actualización de E/S analógicas: $\leq$ 50 ms.

— Configuración de la HMI:

- Proyecto cargado con:
 - Faceplates para P-101 y P-102 (estado, velocidad, corriente, alarmas).
 - Tendencias para presión (PIT-101), nivel (LIT-101) y flujo (FIT-101).
 - Alarmas visuales y sonoras para:
 - Bajo nivel (LSLL-101).
 - Fallo de variador.
 - Desviación de presión $\pm$ 1 bar respecto al setpoint.
 - Contraste de colores $\geq$ 4.5:1 en todas las pantallas (verificado con herramienta de accesibilidad).
- ### — Simulación de instrumentos:
- Señales analógicas (PIT-101, LIT-101, FIT-101) simuladas con generador de señales:
 - Rango de prueba: 0% a 100% de la escala (ej. 0-10 bar para PIT-101).
 - Precisión de simulación: $\pm$ 0.5% del valor nominal.
 - Señales digitales (LSLL-101) simuladas con interruptores o relés de prueba.

3. Condiciones de seguridad y operativas

— Seguridad eléctrica:

- Verificación previa de continuidad de tierra en tablero y equipos (resistencia <1 Ohm).
- Aislamiento de circuitos de potencia (230 VAC) y control (24 VDC) según IEC 61439-1.
- Separación física entre cables:
- $\geq$ 30 cm entre cables de potencia (230 VAC) y señales analógicas.
- $\geq$ 10 cm entre cables de señal no apantallados.

— Protocolo de pruebas:

- Pruebas en frío (sin energía en actuadores):

- Verificación de cableado y continuidad.
 - Pruebas de comunicación PLC-HMI y PLC-variadores.
 - Pruebas en caliente (con energía en variadores y bombas):
 - Ejecución solo con personal autorizado y protocolo LOTO aplicado.
 - Supervisión constante durante pruebas de arranque/parada de bombas.
 - Secuencia de pruebas:
 - Primero: Validación de E/S y comunicación.
 - Luego: Pruebas de lógica de control (PID, alternancia).
 - Finalmente: Pruebas de alarmas y protecciones.
- Criterios de aceptación para condiciones previas:

Parámetro	Valor requerido	Método de verificación	Consecuencia de incumplimiento
Tensión de alimentación	230 VAC $\pm$ 10%, 50 Hz $\pm$ 2%	Multímetro con registro continuo	Fallos en variadores o PLC por sub/sobretensión.
Tiempo de ciclo PROFINET	$\leq$ 10 ms	Analizador de red PROFINET	Retrasos en control de variadores.
Precisión señales 4-20 mA	$\pm$ 0.5% del valor nominal	Generador de señales + multímetro	Errores en medición de presión/nivel.
Resistencia de tierra	<1 Ohm	Medidor de resistencia (4 hilos)	Riesgo de fallos por corrientes de fuga.
Contraste HMI	$\geq$ 4.5:1	Herramienta de accesibilidad (ej. TPGi)	Dificultad para operar en entorno industrial.

4. Documentación requerida antes del inicio

- Documentos técnicos:
- Diagramas eléctricos y de cableado del tablero (versión aprobada).
 - Diagramas de flujo de proceso (P&ID) con tags de instrumentos (PIT-101, LIT-101, etc.).
 - Lista de E/S del PLC (direcciones de memoria para cada señal).
 - Configuración de red PROFINET (direcciones IP, nombres de dispositivos).
 - Hoja de datos de variadores (parámetros de comunicación y control).
- Protocolos y checklists:
- Checklist de verificación previa de hardware (cableado, conexiones).
 - Protocolo de pruebas de comunicación (PLC-HMI, PLC-variadores).
 - Procedimiento de LOTO para pruebas con energía aplicada.
- Registros:
- Hoja de registro de parámetros ambientales (temperatura, humedad) durante las pruebas.
 - Hoja de registro de mediciones eléctricas (tensiones, corrientes, resistencia de tierra).

5. Personal y capacitación

- Equipo mínimo requerido:

- 1 ingeniero de automatización (responsable de la ejecución del FAT).
- 1 técnico electricista (soporte en cableado y mediciones).
- 1 operador de bombas (conocimiento del proceso y protecciones).
- Capacitación previa:
 - Todos los participantes deben estar familiarizados con:
 - Operación del PLC S7-1200 y HMI KTP700 Basic.
 - Configuración de variadores de frecuencia.
 - Procedimientos de seguridad eléctrica y LOTO.
 - Certificación obligatoria: Curso de seguridad eléctrica para trabajos en tableros (norma NFPA 70E o equivalente local). [criterio de ingeniería]

5. Configuración de prueba simulada

Configuración de prueba simulada

1. Configuración de la interfaz de simulación en TIA Portal

- Abrir el proyecto del tablero de control en TIA Portal y seleccionar la carpeta del dispositivo (PLC S7-1200).
- En el menú contextual, elegir "Cargar en dispositivo > Cargar en CPU de test (HW + SW)".
- En el diálogo "Carga avanzada", configurar los siguientes parámetros:
 - Interfaz PG/PC: Seleccionar "PLCSIM Vx.x" para garantizar la conexión con el entorno de simulación.
 - Dispositivo de test: Elegir la CPU simulada (ej. "PLCSIM_1").
 - Opción "Arrancar todos": Desactivar para evitar reinicios automáticos no controlados.
- Cargar la configuración de hardware y software en la CPU simulada. Verificar que el estado de la CPU sea "RUN" en el "Panel de mando CPU".
- Tras finalizar las pruebas, cambiar la interfaz PG/PC de vuelta al dispositivo real para evitar cargas accidentales en la instalación física.

2. Configuración de señales analógicas simuladas

- Señales de entrada analógica (4-20 mA):
 - Simular el transmisor de presión PIT-101 (0-10 bar) mediante una variable analógica en el PLC con rango escalado de 4-20 mA a 0-10 bar.
 - Variable simulada: PIT_101_Sim (tipo REAL).
 - Rango de prueba: 4 mA (0 bar) a 20 mA (10 bar).
 - Criterio de aceptación: La lectura en el PLC debe actualizarse en ≤ 100 ms tras el cambio de valor simulado [criterio de ingeniería].
 - Simular el transmisor de nivel LIT-101 (0-5 m) con una variable analógica escalada de 4-20 mA a 0-5 m.
 - Variable simulada: LIT_101_Sim (tipo REAL).
 - Rango de prueba: 4 mA (0 m) a 20 mA (5 m).
 - Criterio de aceptación: La precisión de la lectura debe ser ± 0.1 m respecto al valor simulado.
- Señales de salida analógica (0-10 V):
 - Simular la señal de control del PID a los variadores de frecuencia mediante una variable de salida analógica.
 - Variable simulada: PID_Output_Sim (tipo REAL).
 - Rango de prueba: 0-100% (escalado a 0-10 V).
 - Criterio de aceptación: La señal debe responder a cambios en el setpoint del PID en ≤ 50 ms.
- Señales digitales forzadas:
 - Forzar las entradas digitales para emular estados de alarmas y protecciones:
 - LSLL-101 (bajo nivel de succión): Forzar a 1 (activo) para simular la condición de fallo.
 - Variable forzada: LSLL_101_Forced (tipo BOOL).
 - Criterio de aceptación: El PLC debe generar la alarma correspondiente en la HMI en ≤ 200 ms.
 - Falla de variador: Forzar a 1 (activo) para simular fallo en P-101 o P-102.

- Variable forzada: VFD_Fault_P101 / VFD_Fault_P102 (tipo BOOL).
- Criterio de aceptación: El PLC debe conmutar automáticamente a la bomba standby en ≤ 1 s.

3. Configuración del PLC para emulación

– Parámetros del PID:

- Configurar el bloque PID en el PLC con los siguientes valores iniciales para prueba:

Parámetro	Valor	Descripción
Setpoint (SP)	5.0 bar	Presión objetivo de descarga.
Ganancia (Kp)	2.0	Ajuste proporcional.
Tiempo integral (Ti)	5.0 s	Ajuste integral.
Tiempo derivativo (Td)	0.5 s	Ajuste derivativo.

- Criterio de aceptación: El sistema debe alcanzar el $\pm 2\%$ del setpoint en ≤ 10 s tras un escalón en la carga simulada.
- Alternancia automática de bombas:
- Configurar un temporizador en el PLC para la alternancia duty/standby cada 24 horas.
 - Variable simulada: Duty_Standby_Timer (tipo TIME).
 - Criterio de aceptación: La conmutación debe ocurrir en ≤ 1 s tras el vencimiento del temporizador, sin solapamiento en la activación de ambas bombas.
- Bloques de alarma (APL):
- Configurar los bloques ALARM_8P para las alarmas críticas (ej. bajo nivel, falla de variador).
 - Parámetros clave:
 - Prioridad: Alta (1) para LSLL-101, Media (2) para falla de variador.
 - Tipo de alarma: Instantánea (no retardada).
 - Acuse de operador: Requerido para todas las alarmas.
 - Criterio de aceptación: Las alarmas deben aparecer en la HMI con el mensaje correcto y requerir acuse manual para su limpieza.

4. Configuración de la HMI para visualización de pruebas

– Visualización de variables simuladas:

- Crear pantallas en la HMI KTP700 Basic para monitorear las variables simuladas (PIT_101_Sim, LIT_101_Sim, PID_Output_Sim).
- Criterio de aceptación: Los valores deben actualizarse en la HMI en ≤ 200 ms tras el cambio en el PLC.

– Botones de control forzado:

- Incluir botones en la HMI para forzar manualmente:
 - Arranque/parada de bombas (P-101, P-102).
 - Simulación de fallos (LSLL-101, falla de variador).
- Criterio de aceptación: Los botones deben responder en ≤ 100 ms y reflejar el estado forzado en el PLC.

5. Verificación de la configuración

- Prueba de conectividad:
 - Establecer conexión online entre el PLC simulado y la HMI.
 - Criterio de aceptación: Todas las variables simuladas deben ser visibles y editables desde la HMI.
- Prueba de escalado:
 - Verificar que las señales analógicas simuladas (4-20 mA) se escalen correctamente a sus rangos de ingeniería (ej. 0-10 bar para PIT-101).
 - Criterio de aceptación: Error de escalado $\leq 0.5\%$ del rango completo.
- Prueba de respuesta dinámica:
 - Aplicar un escalón en el setpoint del PID (ej. de 5.0 bar a 7.0 bar) y medir el tiempo de respuesta del sistema.
 - Criterio de aceptación: El sistema debe alcanzar el 90% del nuevo setpoint en ≤ 8 s.

6. Procedimiento paso a paso

Procedimiento paso a paso

1. Verificación de hardware y cableado

- Inspección visual del tablero:
 - Confirmar que el PLC S7-1200 (CPU 1214C), la HMI KTP700 Basic, los variadores de frecuencia para P-101 y P-102, y los módulos de E/S analógicas están físicamente instalados y fijados según el diseño aprobado.
 - Verificar que los cables de alimentación, PROFINET, y señales analógicas (4-20 mA) estén conectados sin daños visibles (aislamiento, terminales, etiquetado).
 - Criterio de aceptación: Ausencia de conexiones sueltas, cables pelados o etiquetas ilegibles. [criterio de ingeniería]
- Prueba de continuidad y aislamiento:
 - Usar multímetro para medir continuidad en circuitos de señal (ej. entre terminales de PIT-101 y módulo de E/S analógica).
 - Medir resistencia de aislamiento entre circuitos de potencia (230 VAC) y señales analógicas (24 VDC) con megóhmetro (500 VDC).
 - Criterio de aceptación: Resistencia de aislamiento $\geq 10 \text{ MOhm}$ entre circuitos. [criterio de ingeniería]
- Verificación de alimentación:
 - Energizar el tablero y confirmar que:
 - Tensión de alimentación del PLC y HMI: $24 \text{ VDC} \pm 10\%$.
 - Tensión de alimentación de variadores: $230 \text{ VAC} \pm 5\%$ (fase-fase).
 - Criterio de aceptación: Valores dentro de tolerancia; sin disparos de protecciones (ej. fusibles, breakers).

2. Verificación de comunicación

- Establecer conexión con el PLC:
 - Conectar el PC de pruebas al PLC vía PROFINET (cable Ethernet) o USB.
 - En TIA Portal, confirmar que el PLC aparece como "Dispositivo en línea" en el árbol del proyecto.
 - Criterio de aceptación: Estado del PLC = "RUN" (sin errores de comunicación en el diagnóstico de TIA Portal).
- Prueba de comunicación HMI-PLC:
 - Abrir el proyecto de la HMI en TIA Portal y cargarlo en el dispositivo.
 - Forzar valores en variables del PLC (ej. PIT-101_Value = 50% de rango) y verificar que se reflejen en la HMI en $\leq 500 \text{ ms}$.
 - Criterio de aceptación: Actualización de variables en HMI sincronizada con el PLC; sin errores de timeout o data mismatch.
- Verificación de red PROFINET:
 - Usar la herramienta "PN Diagnostics" en TIA Portal para escanear la red.
 - Confirmar que:
 - Los variadores de P-101 y P-102 están detectados con direcciones IP asignadas.

- El cycle time de la red es ≤ 10 ms (configurado en el PLC).
- Criterio de aceptación: Todos los dispositivos en red con estado "OK" y latencia dentro del límite.

3. Pruebas de lógica de control

- Carga y compilación del programa:
 - Compilar el proyecto en TIA Portal (opción "Compilar > Software (todos los bloques)").
 - Cargar el programa en el PLC (opción "Cargar en dispositivo > Software (todos los bloques)").
 - Criterio de aceptación: Compilación sin errores; carga exitosa con PLC en estado "RUN".
- Prueba de alternancia automática (duty/standby):
 - Forzar la variable de tiempo de alternancia (ej. Alternance_Timer) a 23 horas para simular el cambio inminente.
 - Verificar que:
 - La bomba en duty (ej. P-101) se detiene y la standby (P-102) arranca automáticamente al cumplir las 24 horas.
 - El estado se actualiza en la HMI (ej. etiqueta "P-101: STANDBY", "P-102: DUTY").
 - Criterio de aceptación: Transición sin solapamiento (ambas bombas activas simultáneamente) y tiempo de conmutación ≤ 5 s.
- Prueba del lazo PID de presión constante:
 - Simular la señal de PIT-101 (4-20 mA) usando un generador de señales o el Runtime Simulator de TIA Portal:
 - Aplicar un escalón del 50% al 70% del rango (0-10 bar).
 - Activar el regulador PID en modo AUTOMÁTICO (bloque PID_Compact en estado "RUN").
 - Criterios de aceptación:

Parámetro	Valor requerido
Tiempo de establecimiento	≤ 120 s
Sobreoscilación	$\leq 5\%$ del valor final
Error en estado estacionario	0% (setpoint = valor real)

- Prueba de protección por bajo nivel (LSLL-101):
 - Simular la señal de LIT-101 en 0% del rango (0 m, equivalente a 4 mA).
 - Verificar que:
 - Ambas bombas (P-101 y P-102) se detienen en ≤ 2 s.
 - Se activa la alarma "Bajo nivel de succión" en la HMI con prioridad ALTA (color rojo).
 - Criterio de aceptación: Accionamiento de protección confirmado; alarma visible y persistente hasta acknowledgement del operador.

4. Pruebas de alarmas y notificaciones

- Verificación de alarmas de falla de variador:
 - Simular una falla en el variador de P-101 (ej. overcurrent o overtemperature) mediante:
 - Desconexión de la señal de enable del variador (si el variador lo permite en simulación).
 - Forzar la variable de falla del variador (ej. P-101_Drive_Fault = TRUE).
 - Criterios de aceptación:

- La bomba P-101 se detiene en ≤ 1 s.
- La bomba P-102 arranca automáticamente (si el nivel de succión lo permite).
- Se genera la alarma "Falla variador P-101" en la HMI con prioridad CRÍTICA (parpadeo rojo).
- *Prueba de acknowledgement de alarmas*:
 - Activar manualmente una alarma (ej. forzar LSLL-101 = TRUE).
 - Presionar el botón "Acknowledge" en la HMI.
 - Criterio de aceptación: La alarma cambia de estado a "Acknowledged" (color amarillo) y se registra en el historial de alarmas con timestamp preciso (± 1 s).

5. Pruebas de interfaz HMI

- Validación de visualización de variables:
 - Forzar valores en todas las variables analógicas (PIT-101, LIT-101, FIT-101) y digitales (estados de bombas, alarmas).
 - Verificar que:
 - Los valores numéricos en la HMI coinciden con los forzados en el PLC (tolerancia: $\pm 0.5\%$).
 - Las animaciones (ej. iconos de bombas girando, barras de nivel) responden en ≤ 300 ms.
- Prueba de contraste y legibilidad:
 - Ajustar la iluminación ambiental a 300 lux (condición típica de sala de control).
 - Medir el contraste de colores en la HMI usando herramienta de accesibilidad (ej. Colour Contrast Analyser).
 - Criterio de aceptación: Ratio de contraste $\geq 4.5:1$ para texto y elementos críticos. [criterio de ingeniería]

6. Pruebas de robustez

- Prueba de reinicio del PLC:
 - Reiniciar el PLC (ciclo de alimentación o warm restart desde TIA Portal).
 - Verificar que:
 - El PLC vuelve a estado "RUN" en ≤ 30 s.
 - Las bombas mantienen su estado previo (ej. si P-101 estaba en duty, sigue en duty tras el reinicio).
 - Las alarmas activas antes del reinicio se restauran.
 - Criterio de aceptación: Sin pérdida de configuración o estados críticos.
- Prueba de fallo de comunicación PROFINET:
 - Desconectar el cable PROFINET del variador de P-101 durante 10 s.
 - Verificar que:
 - El PLC detecta la pérdida de comunicación en ≤ 1 s (mensaje en diagnóstico).
 - La bomba P-101 se detiene y se activa la alarma "Comunicación perdida con P-101".
 - Al reconectar el cable, el sistema se recupera en ≤ 5 s (sin intervención manual).
 - Criterio de aceptación: Detección y recuperación automática sin fallos en cascada.

7. Pruebas específicas de funcionalidad

Pruebas específicas de funcionalidad

1. Validación del control PID para presión constante

- Configuración inicial del regulador PID:
 - Asegurar que el bloque PID_Compact del PLC esté en modo AUTOMATIC y vinculado a la señal del transmisor de presión PIT-101 (4-20 mA, 0-10 bar).
 - Verificar que la salida del PID esté conectada a los variadores de frecuencia de P-101 y P-102 (según bomba en duty).
 - Establecer un setpoint de prueba de 6 bar (valor intermedio dentro del rango de operación).
 - Prueba de respuesta dinámica:
 - Inyectar una perturbación escalón en el setpoint (cambio de 6 bar a 8 bar).
 - Medir los siguientes parámetros en la HMI KTP700 Basic:
 - Tiempo de establecimiento: ≤ 120 segundos (desde el escalón hasta que la presión se estabiliza en ± 0.1 bar del nuevo setpoint).
 - Sobreoscilación máxima: $\leq 5\%$ del valor del escalón (0.1 bar para este caso).
 - Error en estado estacionario: ≤ 0.05 bar (diferencia entre el setpoint y el valor medido por PIT-101 tras 5 minutos de estabilización).
 - Registrar los valores de K_p , T_i y T_d utilizados durante la prueba.
 - Prueba de estabilidad ante cambios de carga:
 - Simular una reducción del 30% en el flujo de descarga (mediante ajuste en el variador de la bomba en duty).
 - Verificar que la presión se mantenga en $6 \text{ bar} \pm 0.1 \text{ bar}$ durante 10 minutos sin oscilar.
 - Confirmar que el variador ajuste su frecuencia en un rango de 30 Hz a 50 Hz (según la demanda).
 - Validación de límites operativos:
 - Forzar el setpoint a 10 bar (límite superior del rango de PIT-101).
 - Asegurar que el variador no exceda el 100% de su frecuencia nominal (50 Hz) y que el PLC active la alarma "SP_MAX_REACHED" en la HMI.
 - Forzar el setpoint a 0 bar y verificar que el variador detenga la bomba (0 Hz) y active la alarma "SP_MIN_REACHED".
-

2. Prueba de alternancia automática de bombas (duty/standby)

- Configuración de la lógica de alternancia:
 - Confirmar que el temporizador de alternancia esté configurado para 24 horas en el bloque de lógica del PLC.
 - Verificar que las bombas P-101 y P-102 estén en estados opuestos (duty y standby) al inicio de la prueba.
- Prueba de conmutación programada:
 - Iniciar el sistema con P-101 en duty y P-102 en standby.
 - Forzar el temporizador interno del PLC a 23 horas y 55 minutos (simulando el tiempo restante).
 - Verificar que:

- A las 24 horas exactas, P-101 pase a standby y P-102 a duty.
- El variador de P-102 asuma el control del PID sin interrupción en la presión de descarga (máximo ± 0.2 bar de variación durante la conmutación).
- La HMI muestre el cambio de estado en menos de 1 segundo.
- Prueba de conmutación por fallo:
 - Simular un fallo en el variador de P-101 (desconectando la señal de RUN del variador en el PLC).
 - Verificar que:
 - P-102 asuma el control en menos de 2 segundos.
 - El PLC active la alarma "PUMP_101_FAULT" en la HMI con prioridad ALTA.
 - La presión de descarga no caiga por debajo de 5 bar durante la transición.
- Prueba de reinicio manual:
 - Detener manualmente P-101 desde la HMI y verificar que P-102 asuma el control.
 - Reiniciar P-101 desde la HMI y confirmar que retorne a standby (no a duty).
 - Verificar que el temporizador de alternancia se reinicie y cuente desde 0 horas.

3. Validación de protección por bajo nivel de succión

- Configuración del umbral de protección:
 - Asegurar que el transmisor de nivel LIT-101 (0-5 m) esté vinculado al bloque de protección LSSL-101 en el PLC.
 - Configurar el umbral de bajo nivel en 0.5 m (valor mínimo seguro para evitar cavitación).
- Prueba de activación de protección:
 - Simular una caída gradual del nivel en el estanque de succión (reduciendo la señal de LIT-101 desde 2 m a 0.4 m).
 - Verificar que:
 - Al alcanzar 0.5 m, el PLC active la alarma "LOW_SUCTION_LEVEL" en la HMI con prioridad CRÍTICA.
 - Las bombas P-101 y P-102 se detengan en menos de 3 segundos (tiempo máximo para evitar daño por cavitación).
 - Los variadores reporten 0 Hz y estado "STOP" en la HMI.
- Prueba de reinicio tras recuperación:
 - Restaurar el nivel a 2 m (simulando el llenado del estanque).
 - Verificar que:
 - La alarma "LOW_SUCTION_LEVEL" se desactive automáticamente.
 - Las bombas NO se reinicien automáticamente (requieren intervención manual del operador desde la HMI).
 - El PLC permita el rearme del sistema solo si el nivel se mantiene por encima de 0.6 m durante 30 segundos (histéresis).

4. Validación del manejo de alarmas

- Prueba de alarmas de fallo de variador:
 - Simular un fallo en el variador de P-101 (ej: sobrecorriente) mediante la inyección de un código de error 0x0008 en el registro de estado del variador.

- Verificar que:
- El PLC active la alarma "VARIADOR_P101_FAULT" en la HMI con:
- Prioridad: ALTA.
- Mensaje: "Fallo en variador P-101: Sobrecorriente. Verificar cableado y carga."
- Timestamp: Precisión de ± 1 segundo (comparado con el reloj del PLC).
- La alarma requiera acuse de recibo manual del operador (botón "ACK" en la HMI).
- La bomba P-102 asuma el control automáticamente (ver sección 2.3).
- Prueba de alarmas de desvío de presión:
- Forzar la presión de descarga (PIT-101) a 11 bar (fuera del rango de 0-10 bar).
- Verificar que el PLC active la alarma "PRESSURE_OUT_OF_RANGE" con:
- Prioridad: CRÍTICA.
- Mensaje: "Presión de descarga fuera de rango (11 bar). Detener bombas manualmente."
- Acciones automáticas: Ninguna (requiere intervención del operador).
- Prueba de alarmas de comunicación:
- Desconectar el cable PROFINET entre el PLC y el variador de P-101.
- Verificar que:
- El PLC active la alarma "PROFINET_LOST_P101" en menos de 500 ms.
- La HMI muestre el estado del variador como "COMMS_LOST" en rojo.
- La bomba P-101 se detenga y P-102 asuma el control (si estaba en standby).
- Prueba de historial de alarmas:
- Generar 5 alarmas distintas en secuencia (ej: bajo nivel, fallo de variador, presión alta, comunicación perdida, sobrecarga).
- Verificar que:
- La HMI registre todas las alarmas en el buffer de eventos con:
- Orden cronológico correcto.
- Timestamp con resolución de 1 segundo.
- Estado de acuse (ACK/NACK) visible.
- El buffer permita exportar los datos a un archivo CSV mediante el botón "Export Log" en la HMI.

5. Prueba de sincronización HMI-PLC

- Validación de actualización de variables:
- Cambiar manualmente el setpoint de presión en la HMI de 6 bar a 7 bar.
- Verificar que el PLC refleje el cambio en menos de 200 ms (medido con el Task Card "Test" en TIA Portal).
- Confirmar que el variador ajuste su salida en consecuencia (cambio en frecuencia visible en la HMI en ≤ 500 ms).
- Prueba de visualización de estados:
- Forzar el estado de P-101 a "RUNNING" y P-102 a "STANDBY" en el PLC.
- Verificar que la HMI muestre:
- P-101: Icono verde con texto "DUTY - RUNNING".
- P-102: Icono amarillo con texto "STANDBY - READY".

- Presión actual: Valor numérico en tiempo real (actualización cada 1 segundo).
- Prueba de controles manuales desde HMI:
 - Detener P-101 desde la HMI (botón "STOP P-101").
 - Verificar que:
 - El PLC reciba la orden en menos de 100 ms.
 - El variador de P-101 se detenga (0 Hz) en ≤ 2 segundos.
 - P-102 asuma el control si estaba en standby (ver sección 2.3).

8. Criterios de aceptación

Criterios de aceptación

1. Criterios generales del sistema

- Comunicación PLC-HMI:
 - Todas las variables de proceso (PIT-101, LIT-101, FIT-101, estados de bombas, alarmas) deben actualizarse en la HMI KTP700 Basic con un retraso máximo de 500 ms tras el cambio en el PLC.
 - El enlace PROFINET entre el PLC S7-1200 y la HMI debe mantener una tasa de error de paquetes $< 0.1\%$ durante 1 hora de operación continua, verificado con herramientas de diagnóstico de TIA Portal.
- Integridad del hardware:
 - La resistencia de aislamiento entre circuitos de potencia (220 VAC) y señales analógicas (4-20 mA) debe ser $\geq 50 \text{ MOhm}$, medido con megóhmetro a 500 VDC.
 - La continuidad de los cables de señal analógica (PIT-101, LIT-101, FIT-101) debe presentar una resistencia $< 1 \text{ Ohm}$ entre extremos.
- Condiciones ambientales:
 - El tablero debe operar sin fallos en un rango de temperatura de 0°C a 45°C (HMI) y 0°C a 55°C (PLC), con humedad relativa entre 20% y 80% sin condensación.
 - El grado de protección del gabinete debe ser IP54 mínimo, verificado mediante inspección visual y prueba de resistencia a polvo y salpicaduras.

2. Criterios de control y automatización

- Regulador PID para presión constante:
 - El sistema debe alcanzar el setpoint de presión (ej. 6 bar) con las siguientes características:
 - Tiempo de establecimiento: ≤ 120 segundos.
 - Sobreoscilación: $\leq 5\%$ del valor nominal (ej. $\leq 0.3 \text{ bar}$ para 6 bar).
 - Error en estado estacionario: $\leq \pm 1\%$ del setpoint (ej. $\pm 0.06 \text{ bar}$).
 - La alternancia automática entre P-101 (duty) y P-102 (standby) debe ejecutarse cada 24 horas ± 5 minutos, registrada en el historial de eventos del PLC.
- Protecciones y alarmas:
 - La alarma LSLL-101 (bajo nivel de succión) debe activarse cuando el nivel en LIT-101 sea $\leq 0.5 \text{ m}$ (10% del rango), deteniendo ambas bombas y generando una notificación en la HMI con prioridad alta.
 - Las alarmas de falla de variador deben dispararse en $< 200 \text{ ms}$ tras la detección del error, con acuse de recibo obligatorio por parte del operador.
- Variadores de frecuencia:
 - La respuesta del variador a cambios en la señal de control (4-20 mA) debe ser $\leq 100 \text{ ms}$ (tiempo de subida/bajada).
 - La frecuencia de salida debe mantenerse estable con una deriva $\leq \pm 0.5 \text{ Hz}$ durante operación en estado estacionario.

3. Criterios de red PROFINET

- Topología y diagnóstico:
 - La topología de red debe ser lineal o en anillo (si aplica), con todos los dispositivos (PLC, HMI, variadores) visibles en el diagnóstico de TIA Portal sin errores de conexión.
 - El tiempo de ciclo de actualización de las variables PROFINET debe ser ≤ 10 ms para señales críticas (ej. setpoints de PID, estados de bombas).
- Parámetros eléctricos:
 - La tensión de alimentación de los dispositivos PROFINET debe mantenerse en $24 \text{ VDC} \pm 5\%$ (22.8 V a 25.2 V).
 - La separación física entre cables de potencia (220 VAC) y cables PROFINET debe ser ≥ 30 cm, o utilizar bandejas apantalladas si no es posible.

4. Criterios de la HMI

- Visualización y usabilidad:
 - El contraste de colores en la HMI debe ser $\geq 4.5:1$ en todas las pantallas, medido con herramientas de accesibilidad.
 - Las animaciones (ej. estados de bombas, tendencias de presión) deben actualizarse en ≤ 300 ms tras el cambio en el PLC.
- Funcionalidad en modo simulado:
 - En el Runtime Simulator de TIA Portal, todas las variables forzadas manualmente deben reflejar cambios en la HMI sin retrasos perceptibles (> 1 s se considera fallo).

5. Criterios de documentación y trazabilidad

- Registros de prueba:
 - Todos los parámetros finales del PID (K_p , T_i , T_d) deben documentarse en un informe con valores numéricos exactos (ej. $K_p = 2.5$, $T_i = 10$ s, $T_d = 1$ s).
 - Las pruebas de comunicación PROFINET deben incluir un reporte de diagnóstico con capturas de pantalla de la topología y tiempos de ciclo.
- Alineación con normas:
 - El sistema debe cumplir con los requisitos de IEC 61158-6 (PROFINET) y IEC 60068-2-1/2 (condiciones ambientales) para equipos industriales.
 - La equipotencialidad del tablero debe verificar una resistencia < 1 Ohm entre todos los puntos de tierra, medido con método de 4 hilos.

6. Criterios de seguridad

- Parada de emergencia:
 - La activación del botón de parada de emergencia (si está integrado en el tablero) debe detener todas las bombas en < 200 ms, con reinicio manual obligatorio.
 - El sistema debe bloquear el rearme automático de las bombas tras una parada por LSLL-101 hasta que el nivel supere 1.0 m (20% del rango de LIT-101).

Tabla resumen de parámetros críticos

Parámetro	Valor/Requisito	Herramienta de verificación	Consecuencia de fallo
Tiempo de establecimiento PID	≤ 120 s	Osciloscopio o software de monitoreo	Control inestable de presión
Sobreoscilación PID	$\leq 5\%$ del setpoint	Software de monitoreo	Daño mecánico en bombas por golpes de ariete
Retraso HMI-PLC	≤ 500 ms	Cronómetro o herramientas de red	Decisiones de operador basadas en datos obsoletos
Tasa de error PROFINET	$< 0.1\%$ en 1 hora	Diagnóstico de TIA Portal	Pérdida de sincronización entre dispositivos
Separación cables potencia/datos	≥ 30 cm o apantallado	Regla metálica o medidor de campo	Interferencias electromagnéticas
Resistencia de aislamiento	≥ 50 MOhm	Megóhmetro (500 VDC)	Riesgo de cortocircuito o fallos en E/S

9. Registro de resultados y documentación

Registro de resultados y documentación

- Formato de registro:
 - Utilizar el Protocolo de Pruebas FAT (documento compañero a este procedimiento) para registrar todos los resultados. Este protocolo incluirá tablas predefinidas con columnas para: Parámetro probado, Valor esperado, Valor medido, Unidad, Cumple (Sí/No), Observaciones y Firma del responsable.
 - Para pruebas de comunicación (ej. actualización de variables en HMI), registrar el tiempo de respuesta medido (en ms) y compararlo con el criterio de aceptación de ≤ 500 ms (ver sección 8).
- Documentación de pruebas específicas:
 - Control PID:
 - Registrar los parámetros finales del regulador (K_p , T_i , T_d) tras la validación de estabilidad, incluyendo el tiempo de establecimiento (debe ser < 2 minutos) y la sobreoscilación (debe ser $< 5\%$ del setpoint).
 - Adjuntar capturas de pantalla de la HMI mostrando la curva de respuesta del sistema (presión vs. tiempo) durante la prueba de escalón.
 - Alternancia automática de bombas:
 - Verificar y registrar el tiempo exacto de conmutación entre P-101 y P-102 (debe ocurrir cada $24 \text{ h} \pm 1$ minuto).
 - Confirmar que el cambio de estado (duty/standby) se refleje en la HMI en ≤ 500 ms.
 - Protecciones y alarmas:
 - Simular la condición de bajo nivel de succión (LSLL-101) y registrar:
 - Tiempo de detección de la alarma en el PLC (≤ 200 ms).
 - Tiempo de visualización en la HMI (≤ 500 ms).
 - Acción ejecutada (parada de bombas, mensaje de alarma).
 - Validar que las alarmas de falla de variador generen un acuse de recibo obligatorio en la HMI [criterio de ingeniería].
- Firmas y validación:
 - Cada prueba debe ser firmada y fechada por:
 - El ingeniero de automatización responsable de la ejecución.
 - El representante del cliente (o su delegado) como testigo.
 - Incluir un espacio para observaciones en cada registro, donde se detallen desviaciones, ajustes realizados o condiciones atípicas (ej. "Prueba de PID con setpoint a 8 bar; sobreoscilación inicial del 6%, ajustado T_i a 12 s para cumplir criterio").
- Documentación de soporte:
 - Adjuntar al protocolo:
 - Archivos de configuración: Copia de seguridad del proyecto de TIA Portal (incluyendo PLC y HMI) con versión y fecha.
 - Diagramas actualizados: Esquemas eléctricos y de comunicación (PROFINET) con marcas de as-built si hubo modificaciones durante el FAT.
 - Listado de alarmas: Tabla con todas las alarmas configuradas (tag, descripción, prioridad, acción asociada).
- Cierre del FAT:

- El protocolo firmado se considerará documentación oficial de aceptación solo si:
- Todas las pruebas tienen resultado Cumple = Sí.
- Las observaciones pendientes (si las hay) están documentadas con un plan de acción y fecha límite de resolución.
- Generar un resumen ejecutivo de 1 página con:
- Estado general (Aprobado/Rechazado).
- Lista de no conformidades (si aplica) y su impacto en la operación.
- Fecha y firmas de aprobación final.
- Almacenamiento y trazabilidad:
- Guardar el protocolo y la documentación de soporte en formato digital (PDF + archivos nativos) en un medio no reescribible (ej. DVD o servidor con control de versiones).
- Asignar un número de revisión al documento (ej. "FAT-PB-2024-001 Rev. A") y registrarlo en el sistema de gestión documental del proyecto [criterio de ingeniería].

10. Anexos

Anexos

1. Diagramas técnicos

- Diagrama de cableado del tablero:
 - Esquema eléctrico en formato PDF con conexiones detalladas entre el PLC S7-1200, módulos de E/S analógicas, variadores de frecuencia (P-101 y P-102), y sensores (PIT-101, LIT-101, FIT-101).
 - Incluye referencias de terminales, colores de cables y secciones según norma IEC 60204-1.
 - Criterio de aceptación: Todas las conexiones deben coincidir con el diseño aprobado en el P&ID del proyecto. [criterio de ingeniería]
- Diagrama de red PROFINET:
 - Topología de red con direcciones IP asignadas al PLC, HMI KTP700 Basic y variadores.
 - Incluye configuración de VLAN (si aplica) y parámetros de latencia máxima permitida.
 - Criterio de aceptación: Latencia entre PLC y HMI ≤ 10 ms, tasa de error de paquetes $< 0.1\%$ (ver sección 8).
- Diagrama de flujo del control PID:
 - Bloque PID_Compact en TIA Portal con entradas (PIT-101), salidas (variadores) y parámetros ajustables (K_p , T_i , T_d).
 - Criterio de aceptación: Tiempo de establecimiento del sistema ≤ 2 minutos, sobreoscilación $< 5\%$ del valor de consigna.

2. Listas de materiales (BOM)

- Componentes principales:

Componente	Modelo	Cantidad	Función
PLC	Siemens S7-1200 (CPU 1214C)	1	Control lógico y PID
HMI	KTP700 Basic	1	Interfaz de operador
Módulo de E/S analógicas	SM 1231	1	Adquisición de señales 4-20 mA
Variador de frecuencia	[completar: modelo]	2	Control de velocidad de bombas
Transmisor de presión	PIT-101 (4-20 mA, 0-10 bar)	1	Medición de presión de descarga
Transmisor de nivel	LIT-101 (4-20 mA, 0-5 m)	1	Medición de nivel en estanque
Flujómetro	FIT-101	1	Medición de caudal

- Cables y accesorios:
 - Cable PROFINET (Cat. 5e o superior) con conectores RJ45 blindados.
 - Terminales de conexión para señales analógicas (ej. Phoenix Contact).
 -

Criterio de aceptación: Todos los materiales deben cumplir con normas IEC 61158 (PROFINET) y IEC 60034 (motores). [criterio de ingeniería]

3. Configuraciones de PLC y HMI

– Configuración del PLC (TIA Portal):

- Proyecto completo en formato .ap15 con:
- OB1 (programa principal) con lógica de control PID, alternancia de bombas (24 h) y protección por bajo nivel (LSLL-101).
- Bloques de alarma para fallas de variador (usando ALARM_8P de APL, con mensajes gestionados por la API de la librería).
- Configuración de E/S analógicas:
- PIT-101: Entrada analógica en AIW0 (0-10 bar ' 4-20 mA).
- LIT-101: Entrada analógica en AIW2 (0-5 m ' 4-20 mA).
- Salidas a variadores: AQW0 y AQW2 (0-100% velocidad).
- Criterio de aceptación: El programa debe compilar sin errores y cargarse en el PLC sin advertencias críticas.

– Configuración de la HMI (KTP700 Basic):

- Proyecto en formato .hmi con:
- Pantallas de visualización para presión (PIT-101), nivel (LIT-101) y caudal (FIT-101).
- Botones de control manual/automático para bombas P-101 y P-102.
- Alarmas visuales y sonoras para:
- Bajo nivel de succión (LSLL-101).
- Falla de variador (P-101/P-102).
- Desviación de presión $> \pm 0.5$ bar respecto a consigna.
- Criterio de aceptación: Todas las variables deben actualizarse en la HMI en ≤ 500 ms (ver sección 8).

– Parámetros del PID:

- Valores iniciales de ajuste (a validar durante FAT):

Parámetro	Valor inicial	Rango ajustable	Unidad
Kp	1.2	0.1–5.0	-
Ti	10.0	1.0–30.0	s
Td	0.5	0.0–5.0	s

- Criterio de aceptación: El sistema debe mantener la presión de consigna con error en estado estacionario $\leq \pm 0.2$ bar.

4. Documentos de apoyo

– Hoja de datos de instrumentos:

- Fichas técnicas de PIT-101, LIT-101 y FIT-101 con:
- Rangos de medición, precisión ($\pm 0.5\%$ para PIT-101), y tiempos de respuesta.

- Protocolos de comunicación (4-20 mA para analógicos).
- Manuales de usuario:
 - Manual del PLC S7-1200 (Siemens) y HMI KTP700 Basic.
 - Guía de configuración de variadores de frecuencia (modelo específico).
- Protocolos de prueba:
 - Plantilla del Protocolo de Pruebas FAT (documento compañero) con tablas para registrar:
 - Valores medidos vs. esperados en pruebas de PID, alternancia de bombas y alarmas.
 - Firmas de responsables por cada prueba.
- Certificados de calibración:
 - Certificados válidos para PIT-101, LIT-101 y FIT-101 (emitidos por laboratorio acreditado).
 - Criterio de aceptación: Calibración vigente (máximo 12 meses de antigüedad). [criterio de ingeniería]

5. Secuencias de prueba y casos de uso

- Secuencia de alternancia de bombas:
 - Diagrama de tiempo con:
 - Tiempo de operación en duty/standby (24 h).
 - Transición entre P-101 y P-102 (tiempo máximo de conmutación: 5 s).
 - Criterio de aceptación: Alternancia automática sin solapamiento de bombas (evitar cortocircuito en variadores).
- Casos de alarma:

Alarma	Condición de disparo	Acción esperada		Reinicio
Bajo nivel (LSLL-101)	LIT-101 < 0.5 m	Parar ambas bombas, mensaje en HMI		Manual (nivel > 1.0 m)
Falla variador P-101	Señal de falla del variador	Alternar a P-102, alarma en HMI		Reinicio manual del variador
Desviación de presión	PIT-101 - Consigna	> 0.5 bar	Ajuste automático PID, alarma visual	Automático al corregir

6. Herramientas y software requeridos

- Software:
 - TIA Portal V17 o superior (para PLC y HMI).
 - SIMATIC Log (para diagnóstico de alarmas).
 - Herramienta de simulación (ej. Runtime Simulator de TIA Portal).
- Hardware:
 - Multímetro digital (precisión $\pm 0.1\%$) para verificar señales 4-20 mA.
 - Analizador de red PROFINET (ej. PRONETA o Wireshark con filtro PROFINET).
 - Criterio de aceptación: Herramientas calibradas con certificado vigente. [criterio de ingeniería]