

Especificación Técnica de Instrumentación y Software

Sistema de Preparación y Distribución de Lechada de Cal

1. Introducción

El presente documento tiene por objetivo describir de manera **detallada, estructurada y trazable** los alcances funcionales, requerimientos de instrumentación y brechas existentes para el desarrollo de un **software avanzado de supervisión, control y optimización** del sistema de preparación y distribución de **lechada de cal** en una planta concentradora.

El análisis se basa en:

- El **diagrama de proceso (PFD/PDC)** del sistema de lechada de cal.
- La **data operacional real** contenida en el archivo Excel entregado (variables PLC/SCADA).

Para efectos de este documento, se redefinen las etapas de implementación de la siguiente forma:

- **Etapas 2:** Supervisión, registro, mensajería automática y análisis operacional.
 - **Etapas 3:** Control avanzado, regulación química automática, supervisión de loops hidráulicos y optimización predictiva.
-

2. ETAPA 2 – Supervisión Integral y Análisis Operacional

2.0 Alcance de instrumentación – detalle por sensor

En esta sección se detallan **todos los sensores e instrumentos requeridos para la Etapa 2**, indicando:

- Tipo de instrumento (según ISA-5.1)
 - Variable medida o manipulada
 - Tipo de señal (AI, AO, DI, DO)
 - Tag típico recomendado
 - Existencia real (confirmado por datos operacionales) o brecha
-

2.1 Objetivos de la Etapa 2

La Etapa 2 tiene como objetivo principal habilitar un **sistema de software centralizado** capaz de:

1. Emitir **mensajes automáticos** cuando los estanques de lechada alcanzan niveles críticos:
 - 50 % de nivel operativo para distribución.
 - 20 % de nivel de almacenamiento.
2. Capturar datos en tiempo real desde el PLC relacionados con:
 - Nivel.
 - Flujo.
 - Dosificación de agua y cal.
 - Estados de equipos asociados (bombas, agitadores, válvulas).
3. Controlar y registrar todas las variables de medición y manipulación involucradas en cada subproceso del sistema.
4. Generar **alertas operacionales** frente a desviaciones de proceso y permitir un **análisis básico de causas**, asociado a:
 - Variaciones en calidad de cal.
 - Condición del agua.
 - Consumo energético.
 - Fallas o degradación de equipos.

2.2 Instrumentación disponible (confirmada y detallada)

2.2.1 Medición de nivel (inventarios y alarmas)

Instrumento	Descripción	Señal	Tag típico	Existe
LT	Transmisor de nivel continuo silo cal viva	AI	LT-2270-SILO	Sí (datos PLC)
LT	Transmisor de nivel continuo TK-068	AI	LT-2270-068	Sí
LT	Transmisor de nivel continuo TK-069	AI	LT-2270-069	Sí
LAL	Alarma nivel bajo lógica	DI	LAL-2270-068	Lógica PLC
LAH	Alarma nivel alto lógica	DI	LAH-2270-068	Lógica PLC

Estos instrumentos permiten disparar mensajes automáticos y generar pedidos por umbral.

2.2.2 Medición de flujo y dosificación

Instrumento Variable		Señal Tag típico		Existe
FT	Caudal agua a apagado de cal	AI	FT-2270-H2O-SLAKE	Sí
FT	Caudal lechada header distribución	AI	FT-2270-MOL-HDR	Sí
FT	Caudal lechada a SAG	AI	FT-2270-MOL-SAG	Sí
FT	Caudal lechada a Ball Mill	AI	FT-2270-MOL-BM	Sí
FT	Caudal lechada a Rougher	AI	FT-2270-MOL-RGH	Sí

2.2.3 Equipos: bombas, agitadores y válvulas

Equipo	Variable	Señal Tag típico		Existe
Bomba lechada	Marcha/Paro	DI	P-2270-028-RUN	Sí
Bomba lechada	Falla	DI	P-2270-028-FAULT	Sí
Bomba lechada	Velocidad	AI	P-2270-028-SPD	Sí
Bomba lechada	Corriente	AI	P-2270-028-I	Sí
Agitador TK	Marcha/Paro	DI	AG-2270-068-RUN	Sí
Agitador TK	Corriente	AI	AG-2270-068-I	Sí
Válvula dosificación	Comando	DO	XV-2270-RGH	Sí
Válvula dosificación	Posición	DI	ZSO/ZSC-2270-RGH	Sí

2.3 Capacidades que se pueden implementar solo con software (Etapa 2)

Con la instrumentación existente, el software puede implementar:

- Dashboards de operación en tiempo real.
- Registro histórico continuo y trazable de todas las variables críticas del proceso por:
 - Nivel fuera de rango.
 - Caudal anómalo.
 - Equipos fuera de servicio.
- Análisis de causa básica mediante correlación:
 - Corriente vs caudal.

- Densidad vs dosificación.
 - Consumo energético vs desempeño hidráulico.
-

2.4 Brechas de instrumentación en Etapa 2

Para la Etapa 2, **no existen brechas críticas** que impidan su implementación. Sin embargo, se identifican mejoras recomendables:

- Falta de medición directa de presión hidráulica (PT) para diagnóstico más preciso.
- Falta de medición directa de diferencial de presión en líneas de distribución.

Estas brechas **no bloquean** la Etapa 2, pero limitan la profundidad del diagnóstico.

3. ETAPA 3 – Control Avanzado y Optimización del Sistema

3.0 Instrumentación adicional requerida – detalle por sensor

La Etapa 3 incorpora instrumentación **no disponible actualmente**, necesaria para control avanzado, diagnóstico hidráulico y optimización predictiva.

3.1 Objetivos de la Etapa 3

La Etapa 3 busca llevar el sistema a un nivel de **control avanzado y optimización**, permitiendo:

1. Supervisión detallada de **loops de distribución**, incluyendo inferencia de condiciones en codos y tramos críticos.
 2. Regulación automática de la dosificación y del acondicionamiento químico en cada punto de aplicación.
 3. Implementación de **retroalimentación en línea** que mantenga o corrija la dosificación configurada en el software.
 4. Generación anticipada de pedidos basada en:
 - Niveles.
 - Consumo real.
 - Tendencias históricas.
 - Calidad del insumo.
-

3.2 Instrumentación requerida adicional (brechas Etapa 3)

3.2.1 Supervisión hidráulica (loops y codos)

Instrumento Variable		Señal Tag típico		Existe
PT	Presión descarga bomba	AI	PT-2270-HDR-OUT	No
PT	Presión header remoto	AI	PT-2270-HDR-REM	No
DP	Δ P línea secundaria crítica	AI	DPT-2270-RGH	No

Estos sensores permiten detectar taponamientos, sedimentación y pérdida de eficiencia hidráulica.

3.2.2 Control químico por punto

Instrumento Variable		Señal Tag típico		Existe
pHT	pH en Rougher	AI	pHT-2270-RGH	Sí
pHT	pH en Cleaner	AI	pHT-2270-CLN	No
CV	Válvula modulante lechada	AO	CV-2270-RGH	No
FT	Caudal lechada punto control	AI	FT-2270-RGH	Sí

3.2.3 Calidad de lechada y proceso

Instrumento Variable		Señal Tag típico		Existe
DT	Densidad lechada	AI	DT-2270-HDR	Sí
TT	Temperatura apagado cal	AI	TT-2270-SLAKE	No

3.2.4 Energía y confiabilidad

Instrumento Variable		Señal Tag típico		Existe
EM	Potencia eléctrica	AI	EM-2270-P028	Sí
VIB	Vibración bomba	AI	VIB-2270-P028	No

3.3 Capacidades habilitadas en Etapa 3

Con la instrumentación adicional, el software podrá:

- Ejecutar control PID y control en cascada (pH → dosificación).
 - Ajustar automáticamente setpoints según calidad de insumos.
 - Detectar fallas antes de que impacten la operación.
 - Optimizar consumo de cal y agua.
 - Predecir fechas óptimas de reposición de cal.
-

4. Conclusión General

- **Etapas 2** puede implementarse **inmediatamente**, utilizando mayoritariamente instrumentación existente y enfocándose en desarrollo de software. 2 meses de trabajo.
- **Etapas 3** requiere inversiones selectivas en instrumentación para alcanzar un nivel de control avanzado y optimización predictiva. 2 meses de trabajo.
- La arquitectura propuesta permite una implementación **escalonada, de bajo riesgo y alto impacto operacional**.

Este enfoque asegura trazabilidad, mejora continua y retorno progresivo de la inversión.