

Tecnología para Flotación de Partículas Gruesas (CPF): Diseño, Puesta en Marcha y Operación AAQ.

Juan José Cahuana Cuba
Gerente de Procesos – AngloAmerican Quellaveco

**JUNTOS POR MÁS
OPORTUNIDADES Y
BIENESTAR PARA TODOS**



Contenido

1. **Introducción.**
2. **Fundamentos de la Flotación de Gruesos.**
3. **Casos de la Aplicación de Flotación de Gruesos.**
4. **Flotación de Gruesos en Quellaveco.**
5. **Desafíos de la Puesta en Marcha.**
6. **Resultados de la Puesta en Marcha.**
7. **Desafíos en la Operación de la Planta CPF más Grande del Mundo.**
8. **Road Map – Planta CPF.**





AngloAmerican Quellaveco



Región Moquegua al sur del Perú



Operado y desarrollado en sociedad por Anglo American (60%) y Corporación Mitsubishi (40%).



Mina a tajo abierto con un Proceso de Flotación convencional para producir concentrado de cobre y molibdeno.



Mina digital, automatizada con capacidad de producir una mayor cantidad de datos y realizar un mejor análisis para reducir incertidumbres.

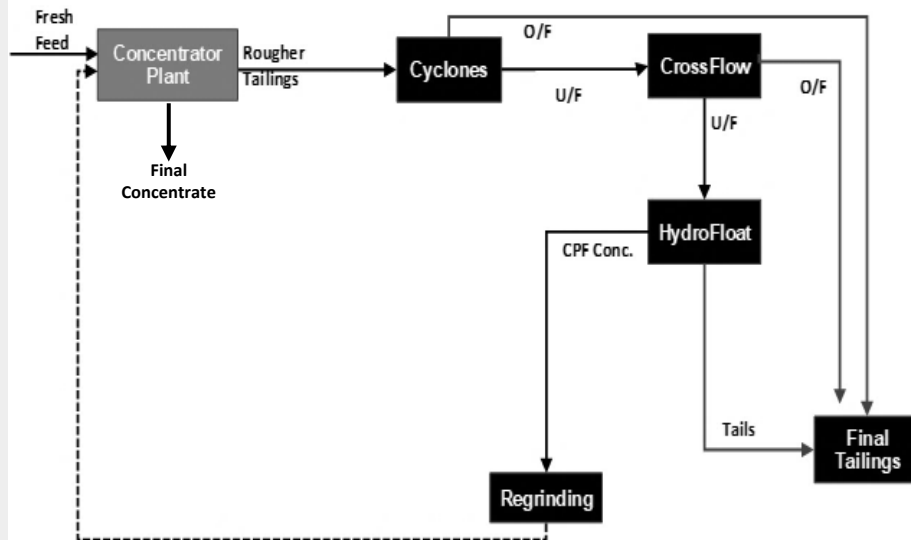
Introducción

El proceso de flotación bulk de AngloAmerican Quellaveco consta de un circuito de flotación Rougher seguido de dos etapas de Limpieza para producir concentrado de Cu-Mo.

Los **relaves de la flotación rougher contienen minerales valiosos de cobre en las fracciones de tamaño más grueso > 150µm.**

Por esta razón AngloAmerican Quellaveco consideró instalar una planta de recuperación de partículas gruesas (CPF).

Diagrama de flujo Planta Flotación Partículas Gruesas (CPF) - Quellaveco



Fundamentos de la Flotación de Gruesos



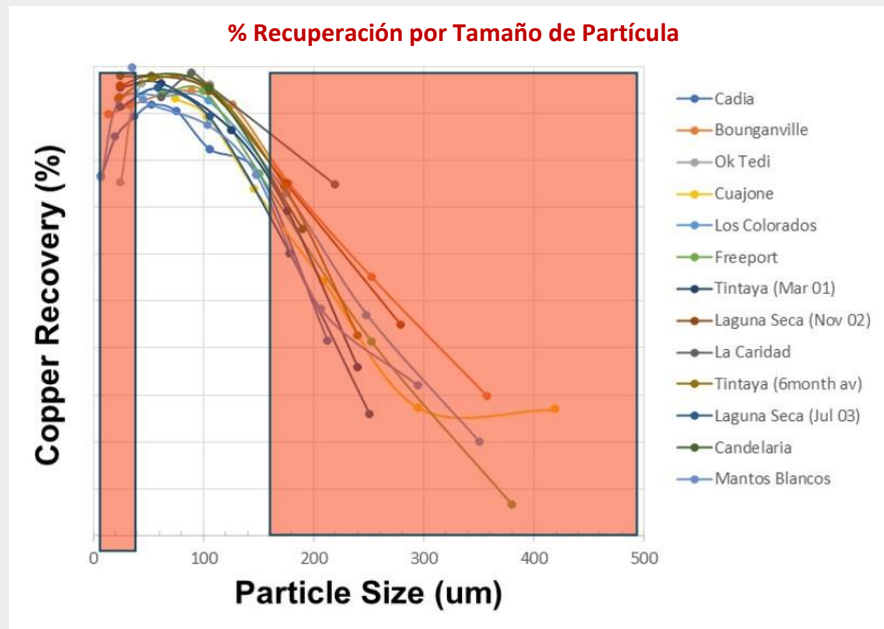
Retos que Enfrenta la Flotación Convencional

Recuperación de Partículas Finas:

- Probabilidad de adherencia muy baja.
- La cinética de flotación es lenta.

Recuperación de Partículas Gruesas:

- Probabilidad de desprendimiento es alta para partículas gruesas.
- Las partículas gruesas tienen dificultad de atravesar el colchón de espuma.



Source: Vollert et al., 2019

Tecnología de Flotación de Partículas Gruesas - CPF

La tecnología apunta:

- A eliminar la turbulencia para evitar desprendimiento.
- Trabajar sin colchón de espuma.

Diseñada para recuperar minerales valiosos con poca liberación contenidos en las fracciones de minerales gruesos (no molidos).

Con pequeñas áreas expuestas de liberación de 1% a 2% y en rangos de tamaño de 100 a 700um.



La tecnología recupera mediante la reducción del peso específico de las partículas gruesas usando un lecho fluidizado de agua, mineral, burbujas de aire y reactivos.

Flotación Convencional vs Flotación en Lecho Fluidizado (CPF)



Celdas Convencionales Mecánica

- Agitador mecánico
- Agitación de alto cizallamiento entre partícula y burbuja.
- Mezcla por convección forzada (produce turbulencia y cortocircuito).
- Contacto aleatorio entre burbujas y partículas.
- Baja densidad de partículas (Máximo 35% Solidos).
- Opera con colchón de espuma.



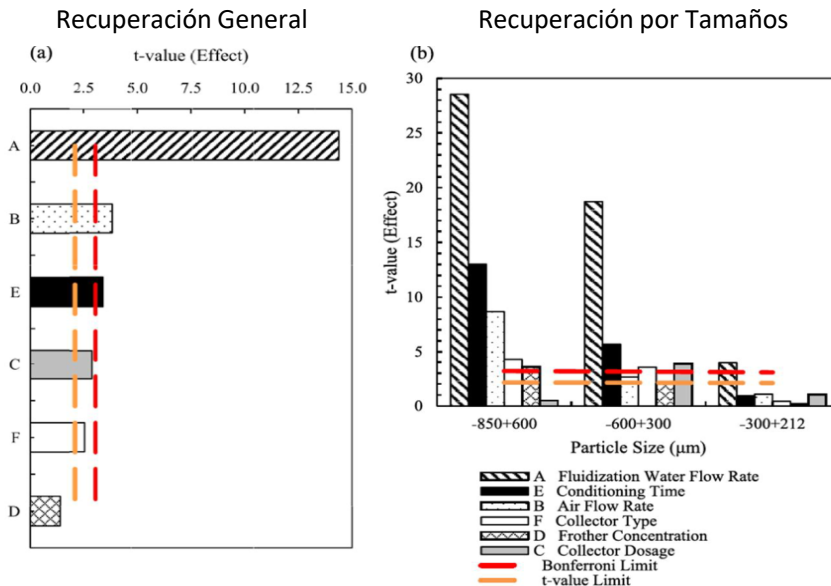
Flotación en Lecho Fluidizado

- Sin agitación mecánica.
- Lecho fluidizado de bajo cizallamiento.
- Mayor flotabilidad de partículas gruesas.
- Contacto alimento y burbujas es a contracorriente.
- Alta densidad de población de partículas dentro del lecho fluidizado (50% solidos).
- Trabajando sin colchón de espuma.

Principales Variables Operativas de la Tecnología CPF



Significancia Estadística de los Principales Factores

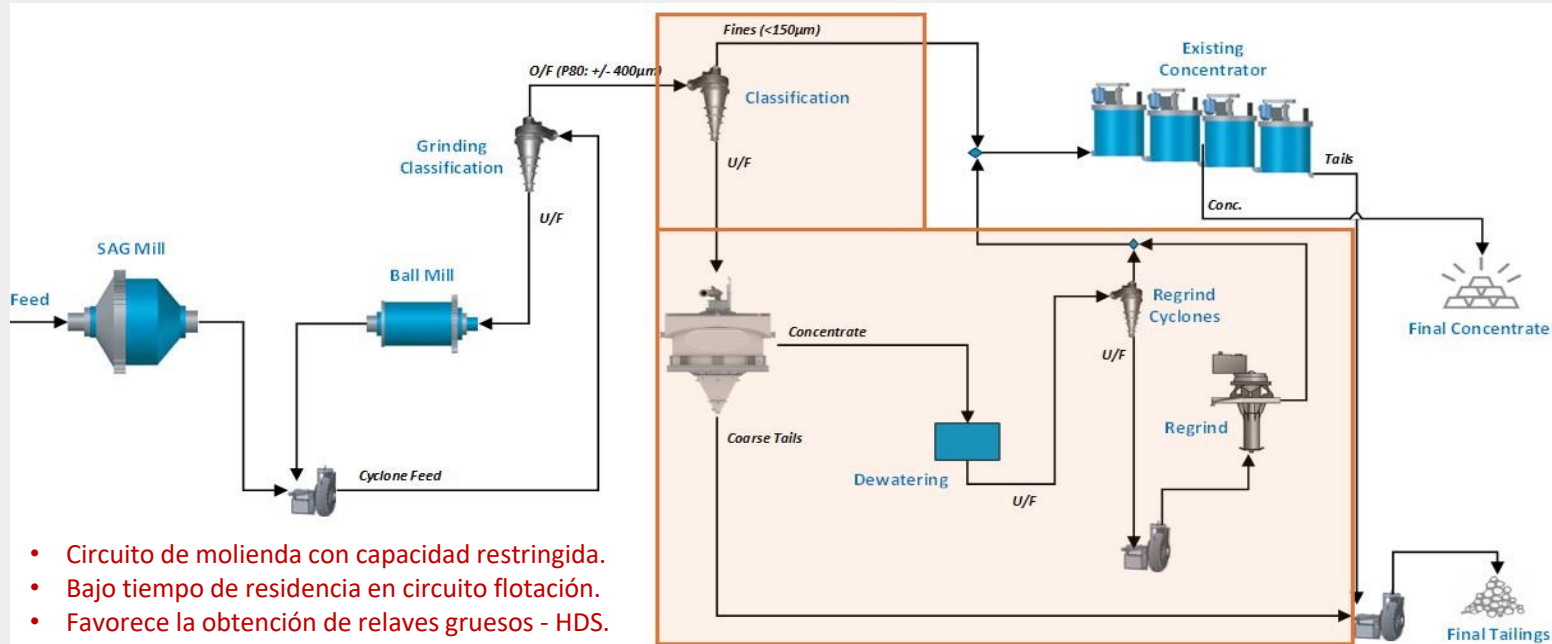


Source: Ozsoy et. al. 2025

Casos de la Aplicación de Flotación de Gruesos

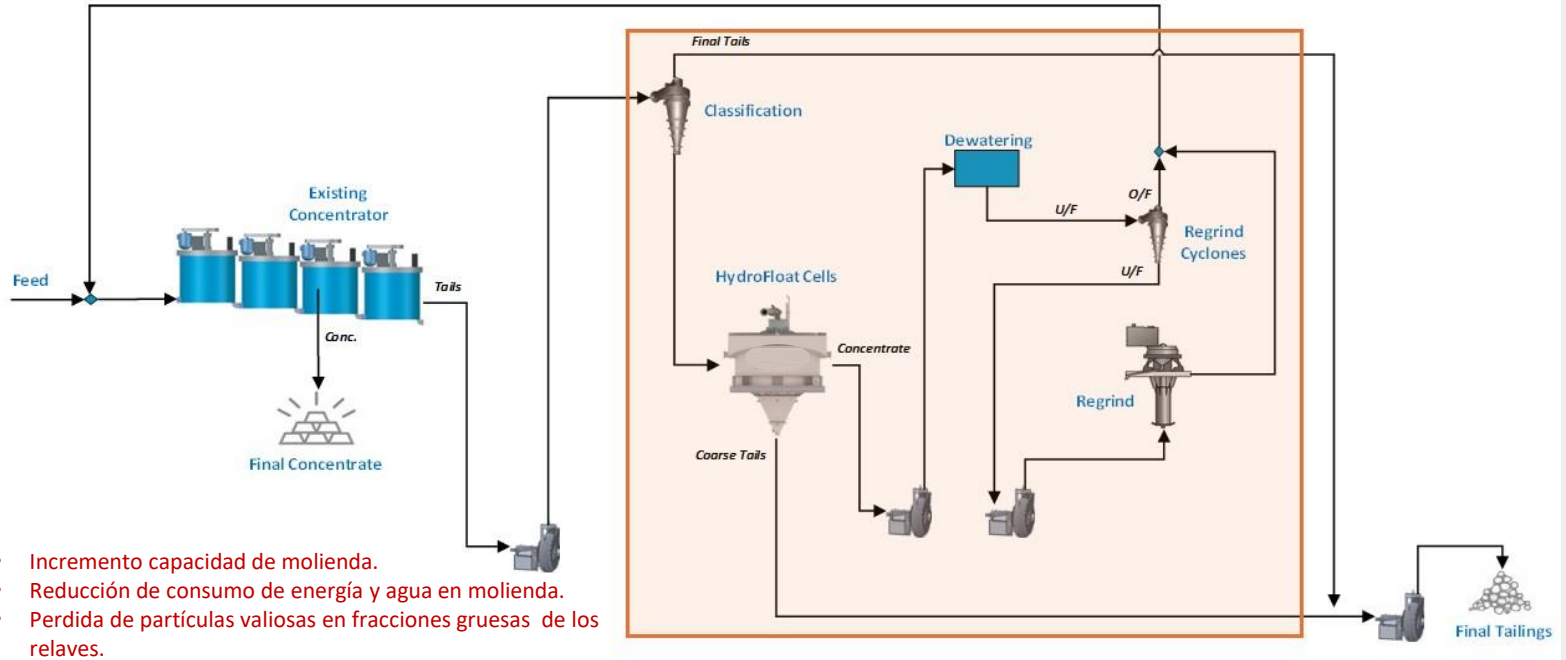


CPF como Pre-Concentración



- Circuito de molienda con capacidad restringida.
- Bajo tiempo de residencia en circuito flotación.
- Favorece la obtención de relaves gruesos - HDS.

CPF como Concentrador de Relaves (Ro & Ro-Scv)



- Incremento capacidad de molienda.
- Reducción de consumo de energía y agua en molienda.
- Perdida de partículas valiosas en fracciones gruesas de los relaves.

Flotación de Gruesos en Quellaveco



Conceptualización en AngloAmerican

- Pruebas a Nivel Laboratorio (Chile).
- Planta Demo Industrial
El Soldado
20ktpd Cu.
- Planta Industrial
Mogalakwena
29ktpd – PGM.
- CPF
Quellaveco
127.5 ktpd
Cu-Mo.



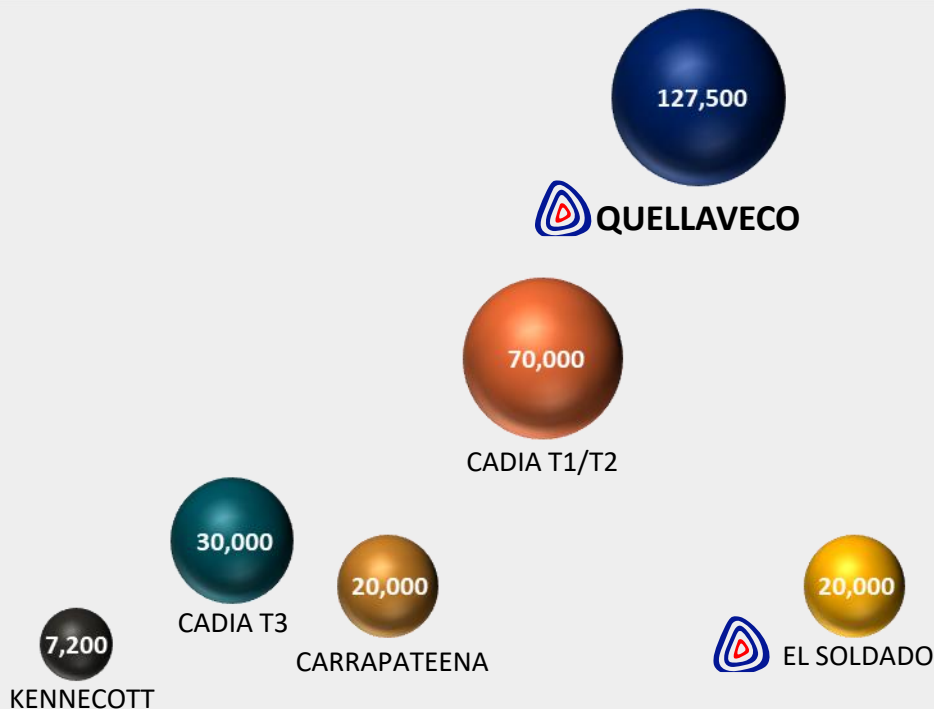
Distribución de las Operaciones Unitarias en Planta CPF - Quellaveco



Benchmarking de Plantas CPF de Cobre en el Mundo

PROYECTO	APLICACIÓN	AÑO INICIO DE OPERACIÓN
KENNECOTT	SCAVENGER RELAVES	2016
CADIA T3	SCAVENGER RELAVES	2018
EL SOLDADO	PRE-CONCENTRACIÓN	2020
CADIA T1/T2	SCAVENGER RELAVES	2023
QUELLAVECO	SCAVENGER RELAVES	2024
CARRAPATEENA	SCAVENGER RELAVES	2025

Planta CPF de Quellaveco, la más grande del mundo



Desafío de la Puesta en Marcha



Desafío Inicial


-  Planta de mayor capacidad en el Mundo.
-  Nueva tecnología en Perú.
-  Incertidumbre mineralógica y temas de escalamiento.
-  Incertidumbre en los ratios de desgaste de equipos (flotación gruesa).
-  Personal sin ninguna experiencia operativa en la tecnología en Perú.
-  Primera planta CPF en Gran Minería en yacimiento a tajo abierto.

Estrategia



**Enfoque
Multidisciplinario
Basado en Relación
Vendor - Owner**

Objetivos

-  Mitigar Riesgos (cero daños).
-  Asegurar el comisionamiento y Ramp-Up.
-  Alcanzar capacidad de diseño.
-  Lograr estabilidad maximizando la recuperación de partículas gruesas.

Elaboración del ORP (Plan de Preparación Operacional)

La forma en que alineamos los múltiples problemas para lograr los objetivos



Estrategia del Ramp-up

Objetivos

Optimización

Lazos de control
Mejoras al diseño
Ajustes de parámetros



Estabilización

Estrategia operacional
Ajustes en el control (lazos de control, lógicas)
Disponibilidad planta CPF



Estandarización

Calibración Analizador e instrumentación
Establecer rutinas y controles operacionales
Alineamiento operacional
Estrategia de mantenimiento

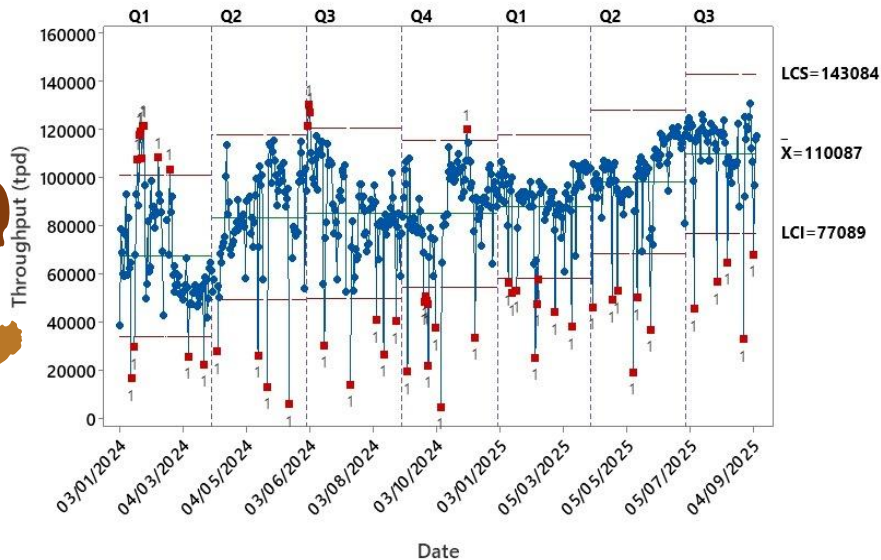


Evaluación

Revisión Diseño (DRA, Ausenco, Eriez, Weir, FLS, T&S, AAQ)
Pruebas Metalúrgicas (OVC)
Análisis de datos (DRA, Ausenco, T&S)



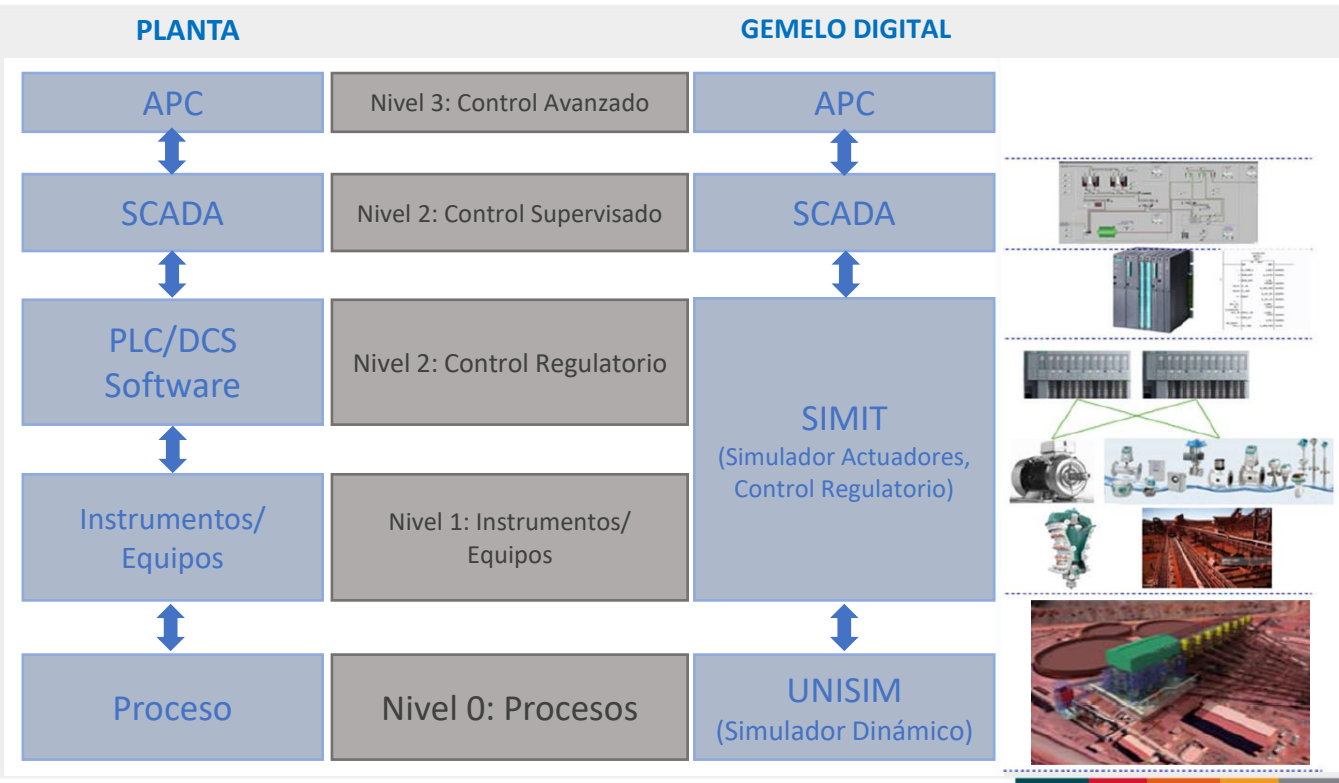
Tratamiento CPF (tpd)



Estructura Gemelo Digital

Permitió:

- Detección temprana de fallas.
- Optimización de procesos.
- Reducción de incertidumbres.
- Mejora en entrenamiento operativo.
- Familiarización de Diagnostico.



Comisionamiento Digital: Automatización, Simulación y Control Avanzado.

- Entrenamiento previo con gemelo digital para operadores de sala de control.
- Simulación de 41 escenarios y 24 de entrenamiento.
- Operación y control remoto desde el IOC con arquitectura segura.
- Sistema de control basado en mejores prácticas operativas.
- Infraestructura lista para integrar machine learning y APC.

Caso General



Caso Quellaveco

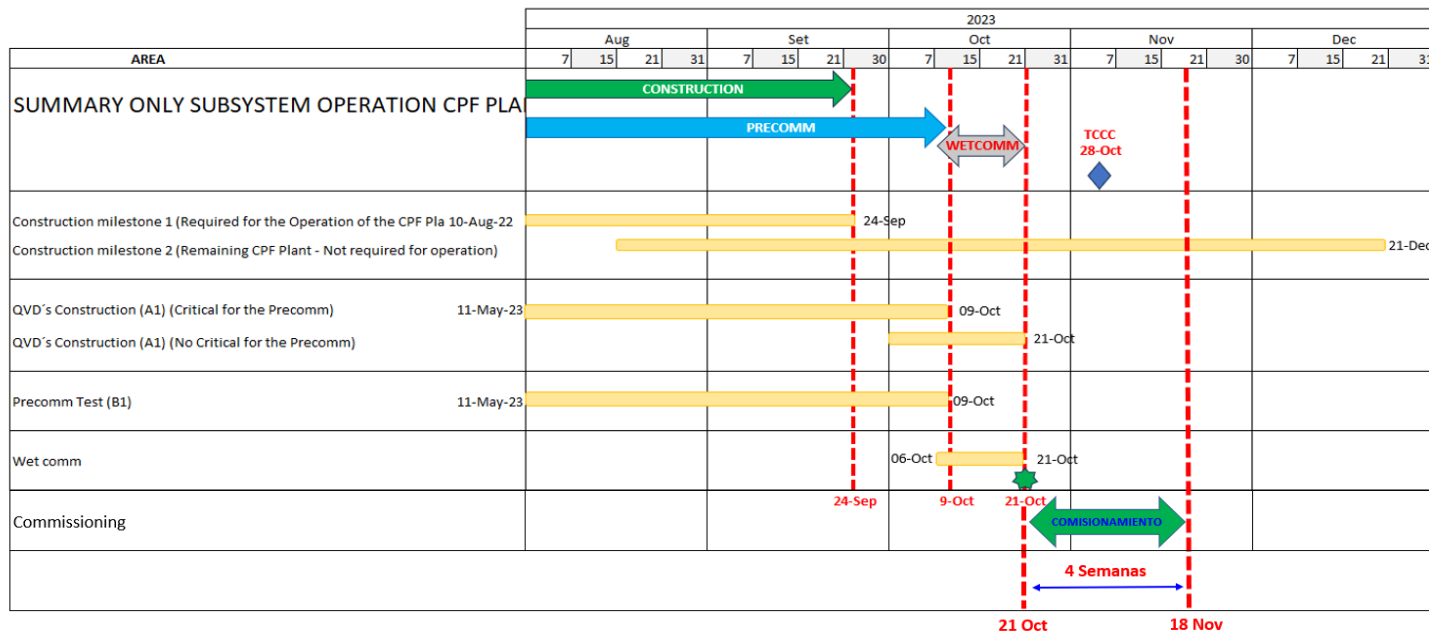
- Mejora por Comisionamiento Virtual
 - Punch List de Campo Reducido
- Entrenamiento Exhaustivo en Digital Twin permite Transferencia de Custodia al comenzar Wet Comm



Resultados de la Puesta en Marcha

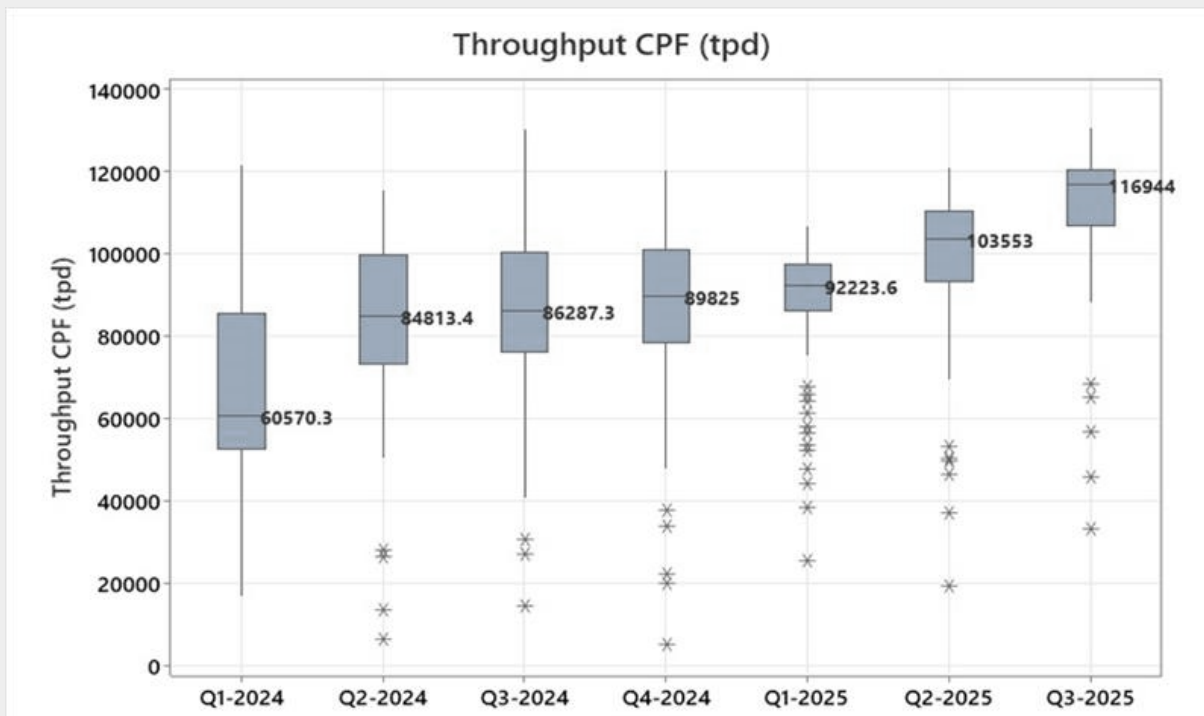


Linea de Tiempo Comisionamiento y Puesta en Marcha

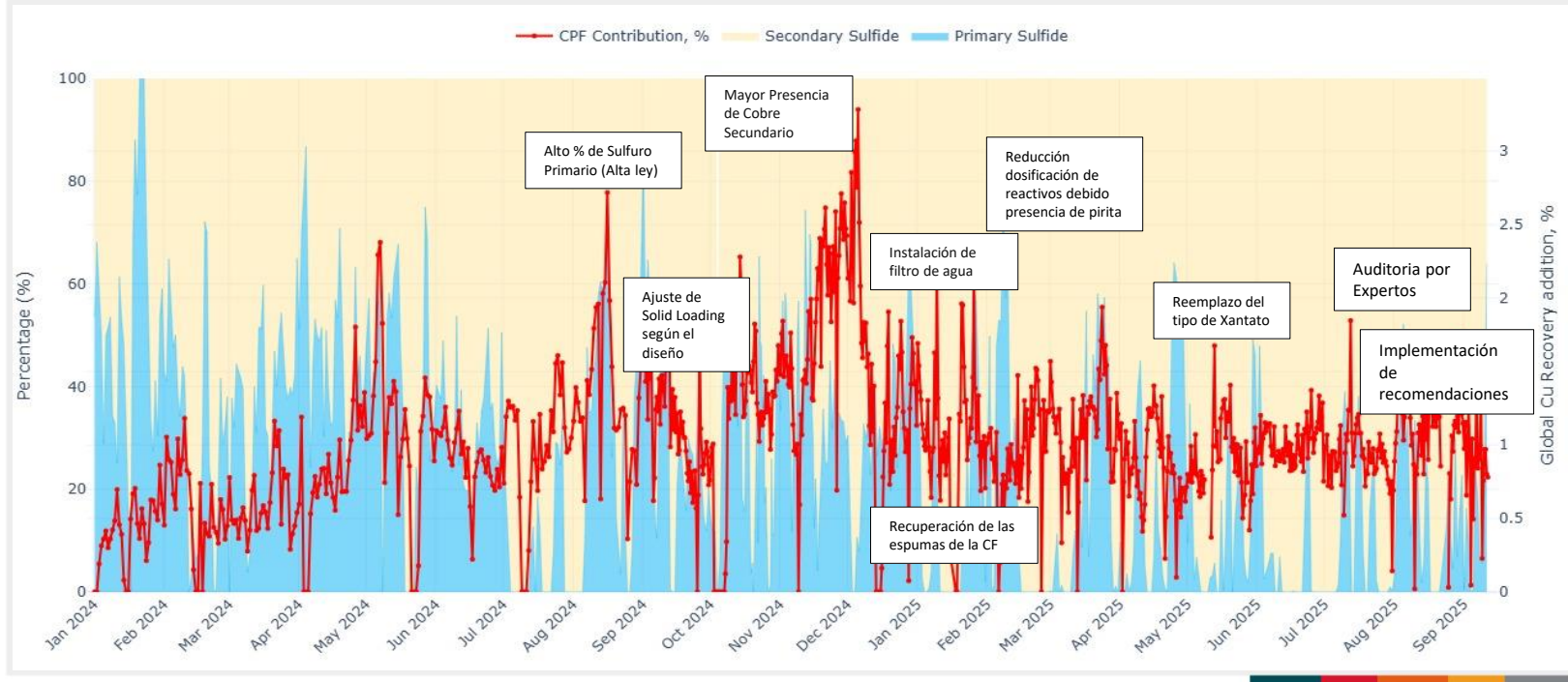


Histórico del Procesamiento Tonelaje en planta CPF

- Capacidad nominal de tratamiento se alcanzó en el 1er trimestre del 2024.
- Incremento de utilización y disponibilidad de planta permitieron incremento sostenido del tonelaje.

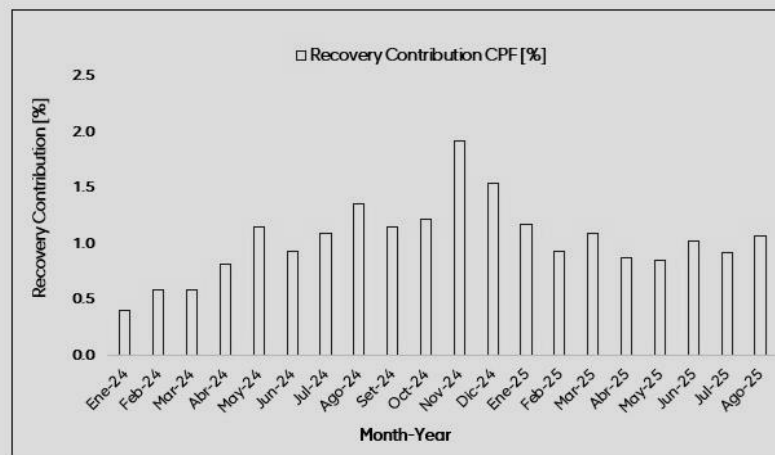
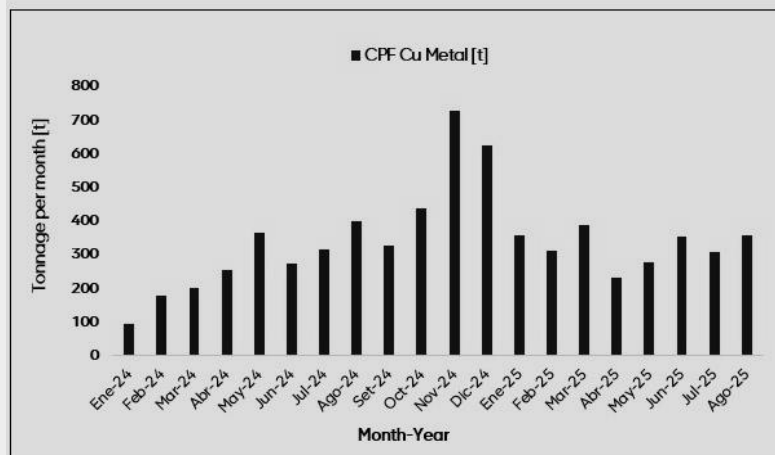


Hitos de la Recuperación de Cobre en la Planta CPF



Histórico de Producción de Cobre Fino

Item	Units	Ene-24	Feb-24	Mar-24	Abr-24	May-24	Jun-24	Jul-24	Ago-24	Set-24	Oct-24	Nov-24	Dic-24	Ene-25	Feb-25	Mar-25	Abr-25	May-25	Jun-25	Jul-25	Ago-25	Total FY 2024	Total YTD 2025
CPF Cu Metal [t]	fmt	96	180	200	253	364	273	316	398	328	438	729	626	358	311	390	234	276	354	307	358	4,201	2,588
Recovery Contribution CPF [%]	%	0.4	0.6	0.6	0.8	1.2	0.9	1.1	1.4	1.2	1.2	1.9	1.5	1.2	0.9	1.1	0.9	0.9	1.02	0.92	1.07	1.1	1.0



Desafíos en la Operación de la Planta CPF más Grade del Mundo



Impacto de la Calidad de Agua en la Performance

Restricción de agua de fluidización afecta a la operación del circuito causando:

- Detención de la planta para realizar limpieza de filtros y strainers
- Acumulación de carga en TK de agua de fluidización
- Menor disponibilidad de equipos causando que se opere a valores mayores de solid Loading.

% Operación Línea 1



% Operación Línea 2



Impacto en la Disponibilidad por Daños en Válvulas de Control U/F

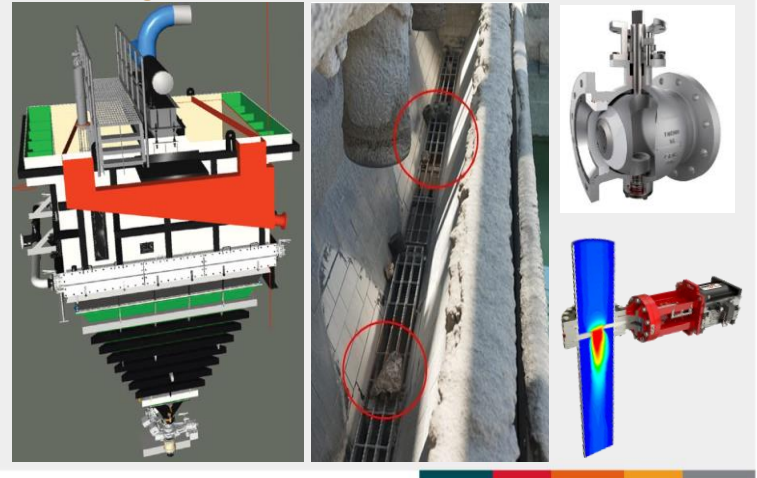
Reto:

- Ruptura de válvulas debido la presencia de elementos extraños en el relave.
- Desgaste acelerado del cuerpo de la válvula.



Solución:

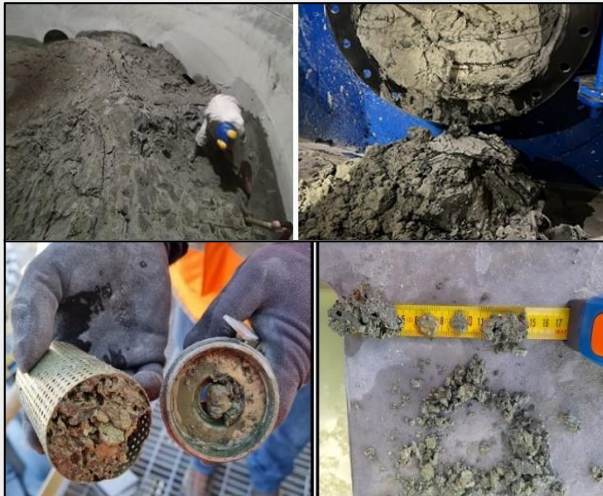
- Implementación de mallas retenedoras
- Reemplazo de válvulas de cerámico a tungsteno



Impacto de los Sólidos en Suspensión en el Agua de Procesos

Reto:

- Alto contenido de sólidos en agua de procesos y encostramiento.



Solución:

- Instalación de Filtro Auto limpiante.
- Adición de anti incrustante en agua de procesos
- Diseño e instalación de nuevo manifold de fluidización



Impacto de la Presencias de Aire y Espumas

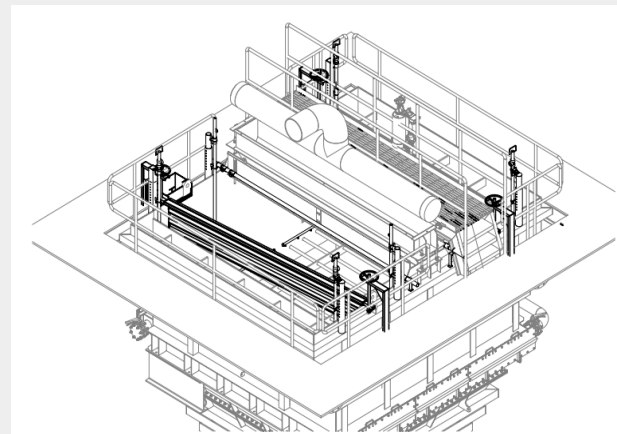
Reto:

- Arrastre de aire en el sistema de alimentación a CrossFlow producen espumación en el rebose.

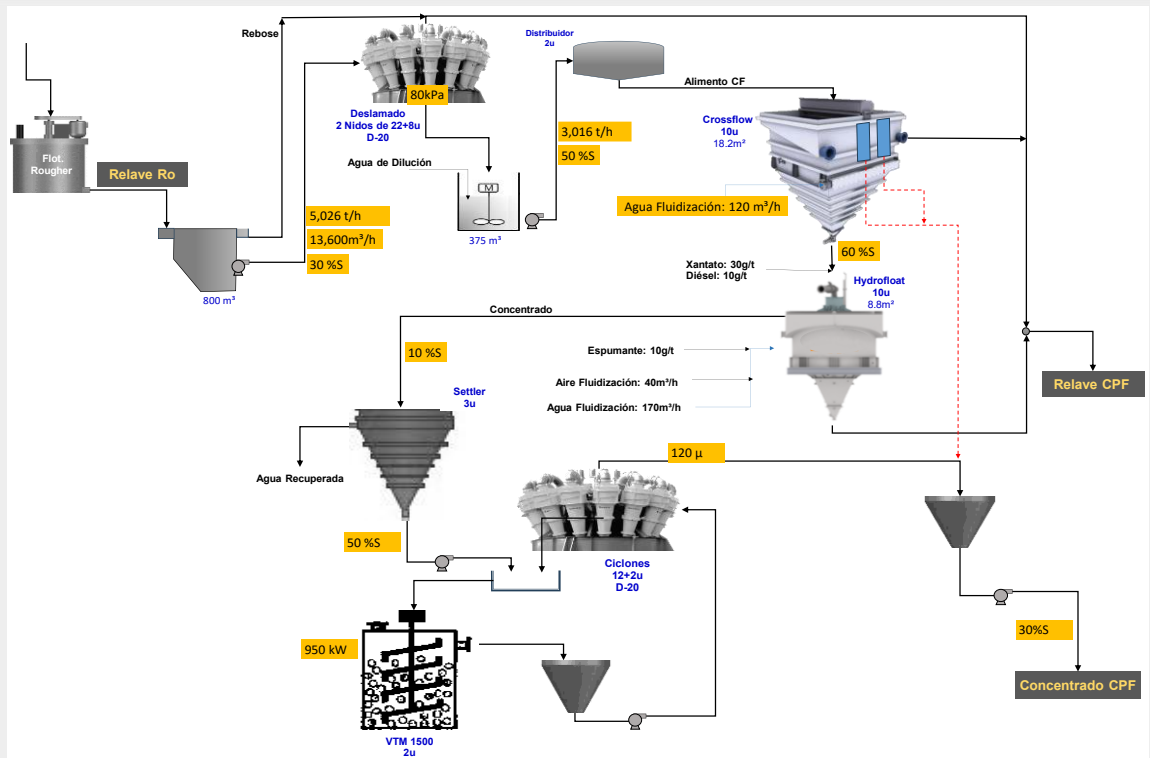


Solución:

- Temporalmente se instaló sistema para recuperar espumas.



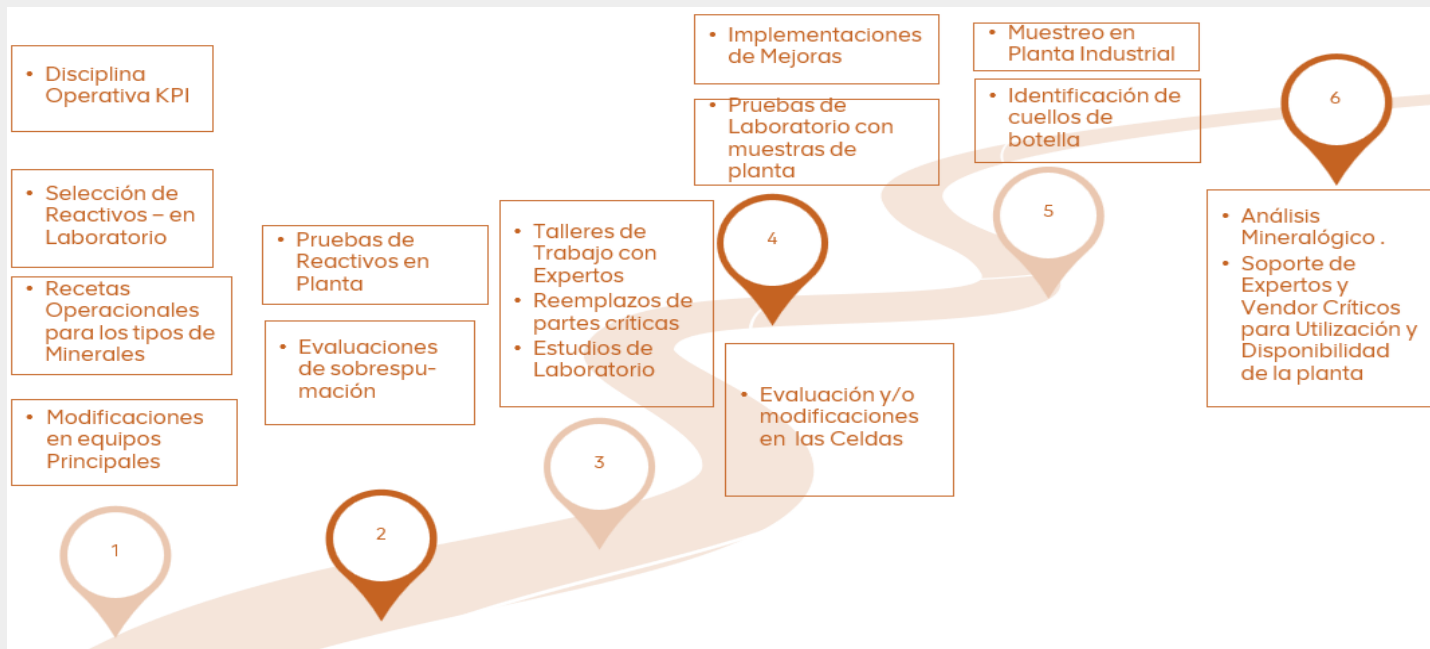
Definición de las Principales Variables de Operación en la Planta CPF



Road Map – Planta CPF



Mejora Continua (Road Map) – Planta CPF



Reflexiones Finales

Recursos Mineral & Agua

- Presencia de Arcillas y Óxidos en el relave Rougher
- Presencia de Ultrafinos en el relave Rougher.
- Grados de Liberación.
- Calidad del agua (sólidos)
- Alcalinidad del agua.
- Reactivos residuales en el agua de procesos.

Equipos / Capacidad

- Capacidad de diseño.
- Repuestos críticos.
- Disponibilidad & Utilización de los equipos.
- Estrategia de Mantenimiento.

Control Operativo

Identificación de Instrumentos :

- Analizador de Partículas
- Medidores de ORP / pH
- Flujómetros
- Analizadores en línea

Estrategia de calibración de Instrumentos.
Analizadores en línea.

Proceso / Operación

- La seguridad de las personas y el cuidado ambiental (HAZOP)
- Diseño del Circuito y su mantenibilidad.
- Interacción entre las plantas de Cobre y CPF.
- Flexibilidad en el circuito.
- Flexibilidad en los puntos de dosificación de reactivos.

Sistema de Control

- Lazos de control bien sintonizados.
- Alarmas racionalizadas.
- Secuencias de Arranque Automático.
- Pantallas de operación general.
- Uso de tabletas portátiles para monitoreo en campo.
- Política Cero Bypass/forzados.

Recurso Humano

- Entrenamiento de los proveedores.
- Mejora continua y flexibilidad al cambio.
- Seguimiento a los planes de trabajo.
- Comunicación entre las diferentes área de soporte a la operación.

SOMOS ANGLOAMERICAN CREANDO UNA CULTURA DE LIDERAZGO

**Guiados por
Nuestro Propósito**

Re-imaginar la minería
para mejorar las vidas
de las personas

**Unidos por nuestros
Valores**



Seguridad



Integridad



Colaboración



Responsabilidad



Preocupación
y Respeto



Innovación

**Conducidos por
Nuestro Marco de
Liderazgo**



Despeja el camino



Demuestra que te importa



Da espacio

GRACIAS

Juan Cahuana – Gerente de Procesos – AngloAmerican Quellaveco – juan.cahuana@angloamerican.com

JUNTOS POR MÁS
OPORTUNIDADES Y
BIENESTAR PARA TODOS



PERUMIN
37 CONVENCION MINERA



**INSTITUTO
DE INGENIEROS
DE MINAS
DEL PERÚ**

