



FILTROS EN PLANTAS MINERAS

Aspectos de Diseño en Plantas de Filtración en Mineras



13 DE ENERO DE 2026

ALFONSO VIDEGAIN
avidegain9@gmail.com

Contenido

1. Un Poco de Teoría Más Bien Casi Nada	5
2. Filtración con Vacío	8
3. Filtración con Presión	11
4. Filtros de Algunas Concentradoras y Otras Faenas	13
5. Filtración en Minera Los Pelambres	15
6. Filtración en Minera Collahuasi	23
7. Filtración en Minera Antamina	27
8. Filtración en Minera Cerro Verde	30
9. Filtración en Minera Laguna Seca de Escondida	35
10. Filtración en Minera El Teniente	39
11. Filtración en la Concentradora Las Tórtolas	46
12. Filtración de Relaves en Planta de Pellets	51
13. Filtración de Relaves en La Coipa	65
14. Filtros de Electrolito de Quebrada Blanca	71
Figura N° 1: Representación de medio filtrante y ΔP	5
Figura N° 2: Sistemas de Separación Sólido Líquido	6
Figura N° 3: Formación de Queque sobre Soporte Filtrante	7
Figura N° 4: Instalación típica de un filtro de disco con vacío	9
Figura N° 5: Filtro de disco cerâmico Metso Outotec	10
Figura N° 6: Filtro de banda horizontal utilizado en El Peñón	11
Figura N° 7: Filtro Metso VPA	12
Figura N° 8: Filtro Multicapa o Multimedia	12
Figura N° 9: Esquema simplificado de um Filtro de Electrolito para Circuitos de SX-EW .	14
Figura N° 10: Filtro Cerâmico Outotec CC-45 como los Instalados em MLP	16
Figura N° 11: Fotografía de dos Bombas de Filtrado instaladas en un foso en Punta Chungo	17
Figura N° 12: Simulación Vector de Producción de Concentrado MLP	18
Figura N° 13: Diagrama P&ID Genérico de un Filtro Cerâmico	19
Figura N° 14: Diagrama P&ID de una Ampliación Proyectada para la Planta de Filtros de MLP	20
Figura N° 15: Fotografía de Filtro Cerâmico de MLP	21

Figura N° 16: Esquema Nave de Filtración Punta Chungo MLP	22
Figura N° 17: Esquema Simplificado Plot Plan Punta Patache Planta de Filtros Collahuasi	23
Figura N° 18: Esquema Simplificado de La Planta de Filtros en Punta Patache	24
Figura N° 19: Filtros de Concentrado de Cobre Collahuasi.....	25
Figura N° 20: Proyecto (no realizado) de Nuevo Filtro tipo Hiperbárico para Collahuasi ..	26
Figura N° 21: Alimentación Filtros Antamina	27
Figura N° 22: Filtros de Concentrado Minera Antamina	28
Figura N° 23: Pictorial Circuito de Procesamiento de Sulfuros Concentradora C1 de Cerro Verde.....	31
Figura N° 24: Diagrama de Flujo Filtros Larox Cerro Verde	32
Figura N° 25: Esquema Layout Filtros Larox Cerro Verde	33
Figura N° 26: Esquema en Corte Filtros Larox Cerro Verde	34
Figura N° 27: Esquema Planta de Molienda Laguna Seca Proyecto Original.....	35
Figura N° 28: Filtros Larox en Puerto Coloso	37
Figura N° 29: Planta de Filtros Coloso Filtro Larox PF-04	38
Figura N° 30: Plan de Negocio y Desarrollo para División El teniente Año 2015	39
Figura N° 31: Esquema Simplificado Mineroductos desde Colón a Caletones	40
Figura N° 32: Esquema Simplificado de Instalaciones Planta de Filtros de El Teniente ...	40
Figura N° 33: Esquema Equipos Principales Planta de Filtración	41
Figura N° 34: Fotografía del Panel de Control de uno de los Filtros de Teniente	42
Figura N° 35: Fotografía de los Filtros LASTA	43
Figura N° 36: Esquema Simplificado Layout Planta de Filtros	43
Figura N° 37: Derrames Acumulados en Estanque de Alimentación	45
Figura N° 38: Esquema General Filtros, Secadores, Correas Transportadoras y Acopios	45
Figura N° 39: Esquema simplificado de los Filtros Hiperbáricos de 60 m2 en Las Tórtolas	46
Figura N° 40: Diagrama de Flujo Filtro Hiperbárico Planta N°2 Las Tórtolas	46
Figura N° 41: Datos de Andritz de Tasas de Filtración de Filtros de Vacío e Hiperbáricos	47
Figura N° 42: Esquema Filtro Hiperbárico	49
Figura N° 43: Gráfico de Utilizaciones Efectivas de los Filtros Hiperbáricos Tórtolas en Año 2017.....	50

Figura N° 44:Diagrama General de Proceso de Filtrado y Depósito de Relaves.....	53
Figura N° 45: Estanques Reguladores Pulpa de Relaves.....	54
Figura N° 46: Esquema de un Estanque Regulador	55
Figura N° 47: Esquema simplificado Enclavamientos Bombas Alimentación Filtros.....	56
Figura N° 48: Curvas para Agua de una Bomba Típica Alimentación Filtros	57
Figura N° 49: Esquema Bomba Alimentación a Filtro N°1	58
Figura N° 50: Esquema Bomba N°4 Standby para respaldo de cualquiera de las otras tres Bombas.....	58
Figura N° 51: Esquema Típico de Instrumentación y Control Válvula tipo V4.....	59
Figura N° 52: placa Filtro Prensa DIEMME	63
Figura N° 53: Esquema simplificado Arreglo General Equipos Principales Área Filtrado .	64
Figura N° 54: Esquema de las Entradas y salidas Principales de Fluidos del Filtro de Relaves	64
Figura N° 55: Instalaciones de Proceso La Coipa.....	66
Figura N° 56: Planta de Molienda La Coipa	66
Figura N° 57: Barras de Oro y Plata de La Coipa Producto Final	67
Figura N° 58: Esquema General Circuito de Procesos La Coipa (Diseño Original)	68
Figura N° 59: Filtros de Banda Filtración de Relaves La Coipa	69
Figura N° 60: Depósito de Relaves Filtrados La Coipa	70
Figura N° 61: Gráfico de Promedios de Temperatura de QB en el Año 2002.....	71
Figura N° 62: Esquema de los trenes de SX de QB en su diseño Original	72
Figura N° 63: Esquema de Filtros de Electrolito Rico en QB.....	73
Figura N° 64: Esquema en Planta y Corte de los Filtros de Electrolito de QB1.	73

Un Poco de Teoría Más Bien Casi Nada¹

La filtración es un proceso en el cual se remueven partículas sólidas en un fluido líquido o gaseoso mediante el uso de un medio filtrante que permite que el fluido pase a través, pero retenga las partículas sólidas. La Figura N° 1 presenta un esquema con un medio filtrante para separar sólidos de líquido.

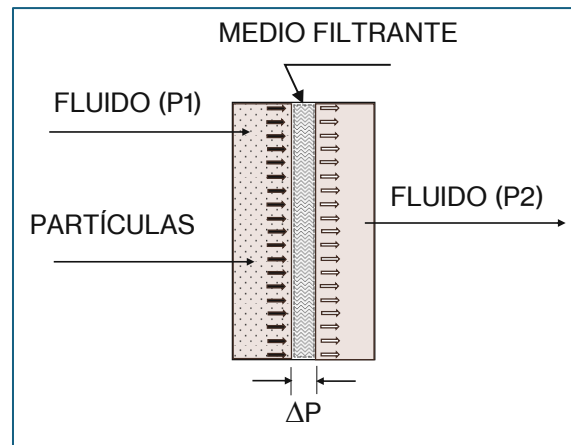


Figura N° 1: Representación de medio filtrante y ΔP

La fuerza impulsora para el flujo del fluido a través del medio filtrante puede ser vacío, presión o una mezcla de presión y vacío.

La separación sólido líquido mediante filtración requiere un diferencial de presión, ΔP , a través de un queque de sólidos. El ΔP requerido puede ser definido en forma general vía la ley de Kelvin, la cual describe las fuerzas capilares dentro de los poros intersticiales de un queque de sólidos y solución:

Donde:

$$\Delta P = \frac{4T \cos \theta}{D}$$

T = tensión superficial

θ = ángulo de contacto

D = diámetro de poro

Según esto, a menor diámetro de poro mayor la fuerza o ΔP requerida para vencer las fuerzas capilares y desplazar la solución intersticial para alcanzar la humedad final deseada del queque. El tamaño de poros tiene una relación directa con el P_{80} y el P_{10} del material que se filtrará.

Para aplicaciones de filtración con minerales granulares que requieren menos de 1 bar (aproximadamente 10 m columna de agua) de ΔP , se emplean métodos de filtración con vacío.

¹ Design Features and Types of Filtration Equipment. C. Cox (Metso Minerals Inc. Colorado Springs, Colorado) and F. Traczyk (EIMCO Process Equipment Company, Salt Lake City, Utah).

Hay que recordar que a nivel del mar la presión atmosférica es aproximadamente 10,33 metros columna de agua.

Para aplicaciones que requieren ΔP mayores a 1 bar, se utiliza la filtración a presión en sus variadas formas. Además, en altura geográfica, la presión atmosférica disminuye y ya no se cuenta con esos 10 metros columna de agua de presión que puede usarse con filtración con vacío.

Figura N° 2 presenta² un esquema de los tipos principales de filtros utilizados en plantas mineras.

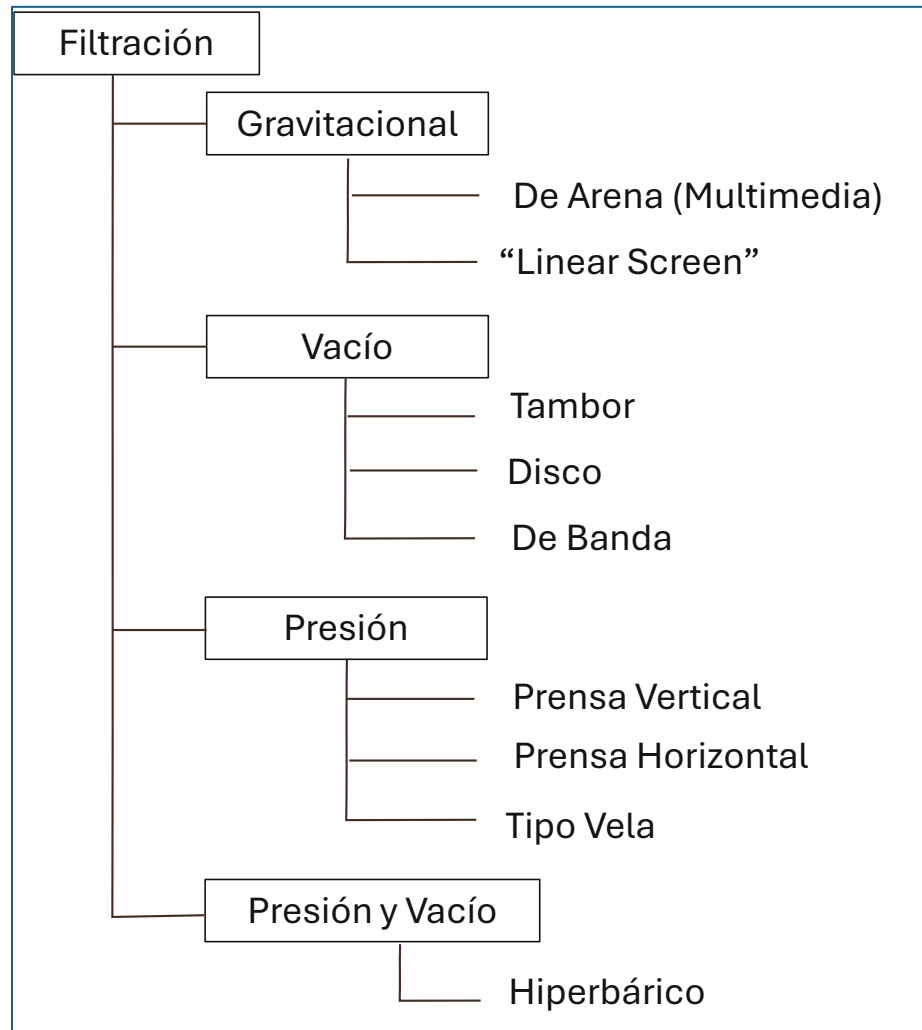


Figura N° 2: Sistemas de Separación Sólido Líquido

Hablaremos de una operación unitaria, que se enmarca en la separación sólido-líquido.

Abordaremos el tema con un foco en los equipos, sus características y variables operacionales principales. La filtración con formación de queque puede caracterizarse en forma gráfica con la Figura N° 3. El proceso de “puenteo” de las partículas sólidas sobre la tela filtrante es un

² Extraído de “Marco Conceptual de los sistemas de Filtración” de F. Concha, 1995.

fenómeno de formación de una estructura porosa, que se convierte en el verdadero medio filtrante y la tela pasa a ser un soporte.

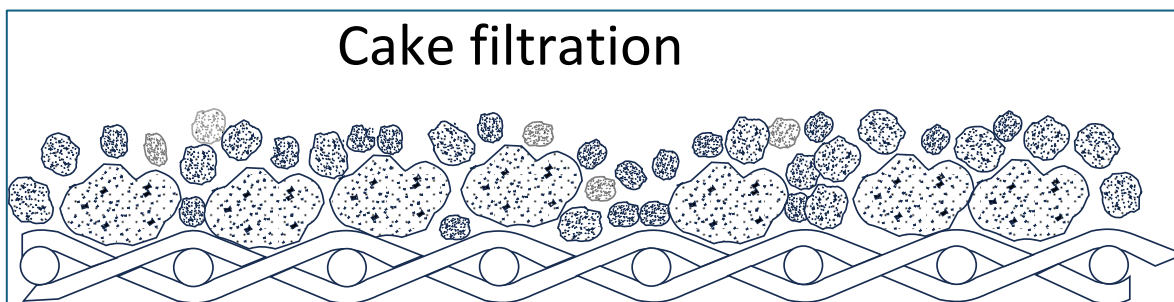


Figura N° 3: Formación de Queque sobre Soporte Filtrante

Para efectos del proceso de filtración, ya sea de concentrados o relaves, la existencia de altos porcentajes de finos provoca problemas para la eficiencia con equipos diseñados para partículas de mayor tamaño. Los ultrafinos, generalmente arcillas o minerales con contenidos de talco tienden a “colmatar” los medios filtrantes de soporte, es decir las telas.

Se acostumbra a realizar pruebas de filtración que generalmente realizan los proveedores de equipos de filtración, para lo cual se necesitan muestras desde campañas de pilotajes. Sin embargo, para estudios de perfil se pueden utilizar tasas de filtración típicas que se pueden obtener como promedios en diferentes tipos de filtros.

Para estudios de ingeniería básica o de detalles se recomienda realizar pruebas de filtración con materiales obtenidos de los pilotajes efectuados.

En la Tabla N° 1 se presenta un conjunto de datos de tasas de filtración aproximadas según el tipo de filtro. Estas tasas se pueden utilizar en estudios de perfil, cuando no se dispone de datos de pruebas.

Tabla N° 1: Tasas de Filtración Varios Filtros

Tipo de Filtro	Kg/h-m ²	Rango	Minera
Hiperbárico	1.300	1.200 – 2.000	Las Tórtolas
Cerámico	650	600 - 800	Pelambres
Larox PF	540	450 - 600	Muchas mineras
Lasta MC	190	180 - 250	Muchas mineras
Metso c/membrana	500	500 - 580	Muchas mineras
Banda Horizontal	600	600-800	La Coipa- El peñón

La caracterización de la alimentación a un tipo de filtro es requerida para la selección. La caracterización de la pulpa debe incluir:

- Distribución de tamaño de partículas
- Concentración de sólidos en suspensión
- Concentración de sólidos disueltos
- pH de la pulpa
- Tonelaje para procesar
- Temperatura y volatilidad

Distribución de tamaño de partículas. La distribución de tamaño de partículas tiene un impacto significativo en la tasa de formación del queque y en la selección del equipo. La cantidad de material presente bajo tamaño de 44 micrones puede ser un factor decisivo para la selección del equipo de filtración. Por ejemplo, para el uso de filtros de discos cerámicos existe una restricción de tamaño. Cuando el fino (< 10 micrones) es mayor al 20%, no es aplicable la tecnología de filtros cerámicos.

Concentración de sólidos suspendidos. Esta variable juega un rol clave en la selección del equipo. Una baja concentración de sólidos, por ejemplo, en el proceso Merrill Crowe, en que se filtra un precipitado de oro, plata y otros metales mediante la adición de zinc metálico en polvo fino a soluciones con complejos aurocianurados, se requiere el uso de un ayuda filtrante. En otras aplicaciones en que se requiere obtener una solución con muy baja concentración de sólidos suspendidos puede ser necesaria una etapa de clarificación antes del proceso de filtración.

Concentración de sólidos disueltos. Esto puede impactar la viscosidad lo cual cambia las tasas de filtración, como se observa en MLP en que las tasas de filtración en verano son mayores que las obtenidas en invierno. Los sólidos disueltos, por otra parte, pueden producir incrustaciones en las telas debido a precipitaciones.

El pH de la corriente de alimentación. El pH inicial de la alimentación y la posibilidad de hacer cambios en el pH impacta el desempeño de la filtración. Cambios en el pH pueden suministrar alguna flexibilidad en el pretratamiento de la pulpa como resultado de cambios en la química de superficies. El uso de coagulantes y floculantes son afectados por el pH.

Tonelaje para procesar. El tonelaje que debe ser procesado tiene un impacto económico en la selección de equipo. Equipos de filtración continua puede no ser económicamente justificada para bajos tonelajes. Para bajos tonelajes o bajas concentraciones de sólidos (Merrill Crowe), hay una ventaja económica en el uso de procesos batch, semi automatizados, tales como la filtración en filtros prensa.

Temperatura y volatilidad. La alta temperatura y la volatilidad del líquido de alimentación puede tener un impacto en el diseño del equipo. Para operaciones sobre 50°C , y/o líquidos volátiles, el equipo de filtración por vacío necesitará provisiones para el aumento de vapor en la carga de flujo de aire de vacío ya que puede ocurrir “flashing”. Los vapores presentes podrían tener riesgos de explosión o riesgos para la salud, o pueden provocar daños a la bomba de vacío. Para líquidos volátiles, y altas temperaturas, debe considerarse filtración a presión.

Filtración con Vacío

El filtro de discos y el de tambor son los filtros típicos usados desde hace años en las concentradoras. Sin embargo, han sido reemplazados por filtros con tecnologías que mejoran su desempeño. Esto se verá con mayor detalle en el apartado de filtros cerámicos.

La Figura N° 4 muestra un esquema con una instalación típica con un filtro de discos con vacío. Los discos giran dentro de un estanque lleno de pulpa y el vacío es proporcionado con una bomba de vacío. La Figura N° 4 presenta el circuito de vacío que incluye un separador de aire-líquido (moisture trap), con una pierna barométrica con estanque de sello, la bomba centrífuga de filtrado, el estanque de filtrado, y la bomba de vacío.

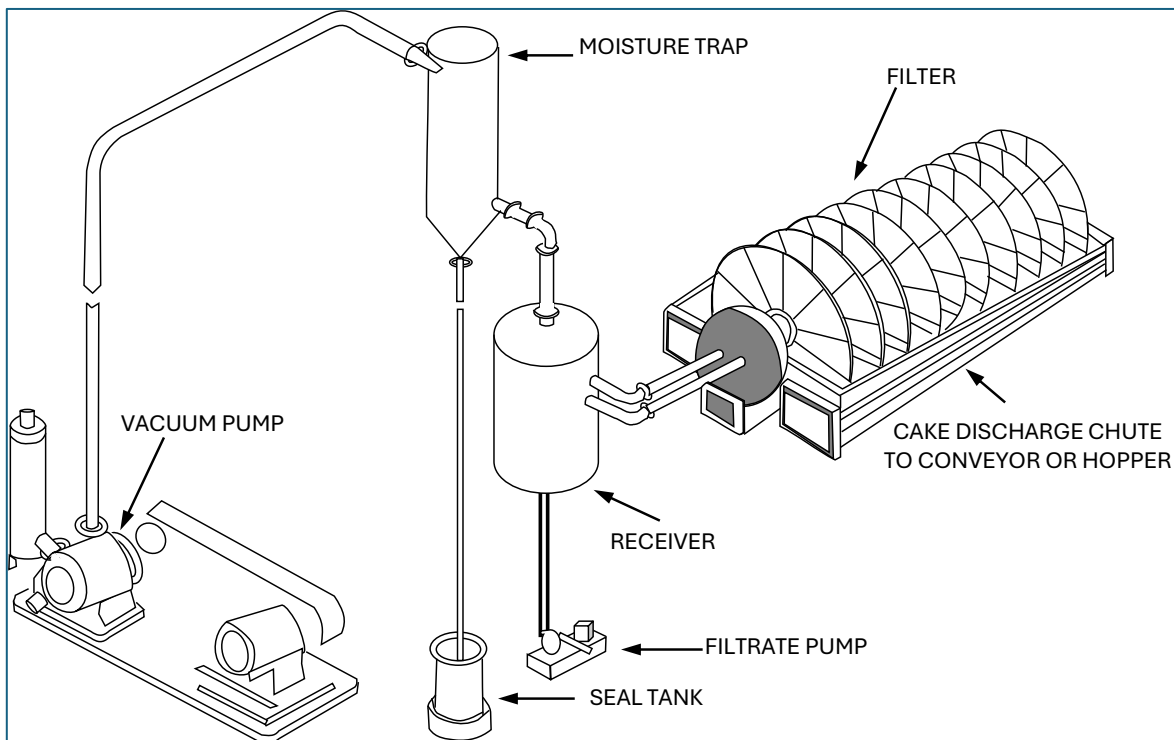


Figura N° 4: Instalación típica de un filtro de disco con vacío

Cada disco del filtro consiste en sectores individuales dispuestos para formar el disco circular. El vacío se aplica en ambos lados del disco y el filtrado se colecta internamente y fluye por una tubería central. Cada sector individual del disco está cubierto con una tela filtrante cuya vida útil depende del material tanto de la tela como del sólido a filtrar.

El estanque incluye sistema de agitación para evitar la sedimentación de sólidos. El vacío se aplica en el área sumergida o zona de captura donde se forma un queque. El vacío se mantiene en el disco a medida que, rota, pero al llegar a la zona de descarga el sistema cuenta con válvulas y un sistema para inyectar aire a presión para inflar el sector y ayudar a la descarga.

Una variación sustancial de un filtro de discos es el **filtro de discos cerámicos**, que utiliza la estructura de poros muy finos de cada disco cerámico para ayudar mediante fuerzas capilares a la filtración. Dejando de lado consideraciones teóricas para respaldar el mejoramiento sustancial de estos filtros cerámicos se puede comentar que la bomba de vacío de estos filtros cerámicos es de muy pequeña capacidad comparada con la bomba de vacío de un filtro de discos convencional. Por ejemplo, un filtro cerámico Metso Outotec de 45 m² está equipado con una bomba de vacío de apenas 2,2 kW de potencia.

La Figura N° 5 presenta un filtro cerámico Metso Outotec. En este diseño cada sector es una pieza completa de cerámica. La fuerza impulsora primaria en el fluido es realizada por acción capilar. La aplicación principal de este tipo de filtros es para concentrados de cobre o de otro mineral.

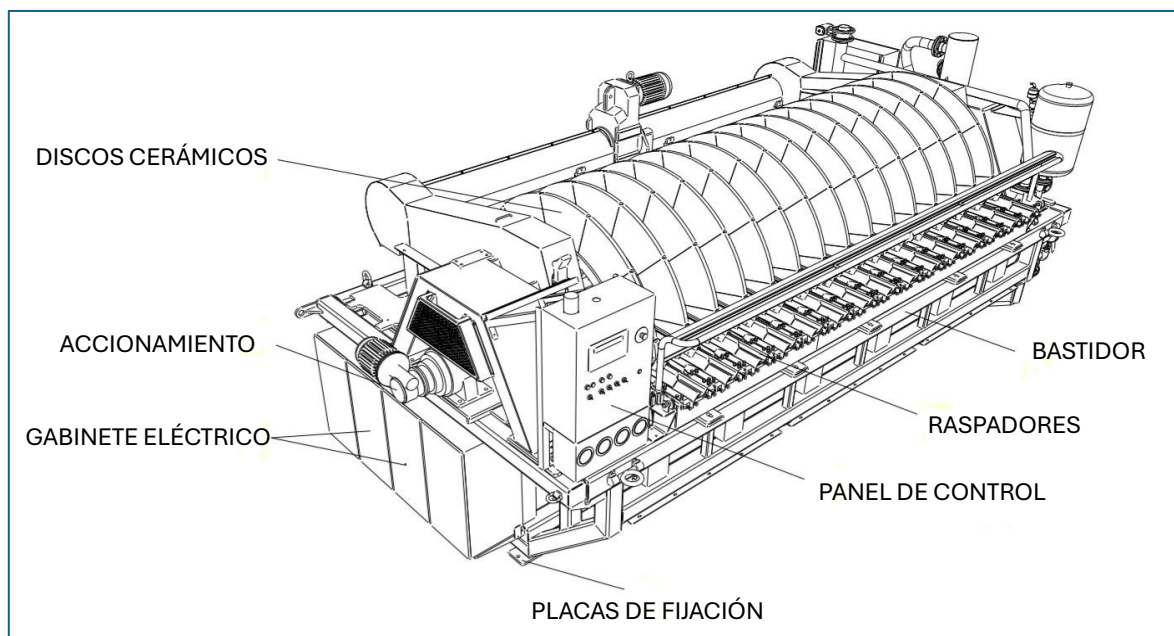


Figura N° 5: Filtro de disco cerámico Metso Outotec

Un tipo de filtros con vacío que son utilizados en faenas de pequeña capacidad (plantas de oro) para filtración de rípios o relaves es el **filtro horizontal de banda**. En la planta de oro y plata de La Coipa se cuenta³ con 12 filtros de banda horizontales de 100 m² cada uno para filtración de sus relaves.

Los filtros de vacío horizontales de banda son utilizados para filtrar sólidos gruesos y que requieren alta eficiencia de lavado. El lavado en plantas de oro significa recuperar el metal disuelto en la solución antes de disponer del relave en la relavera. Estos filtros no alcanzan el nivel de humedad que logran otros filtros, por ejemplo, los cerámicos, siendo típico de un filtro de banda una humedad de alrededor de 20% en peso.

En la Figura N° 6 se muestra un esquema de un filtro de banda horizontal marca DELKOR instalado en la faena minera de oro El Peñón.

En La Coipa se cuenta con 12 filtros de vacío de banda con 100 m² cada uno, para filtrar los relaves de su faena de lixiviación por agitación y Merrill Crowe.

³ A la fecha de escribir este documento, La Coipa con Kinross Chile ha extendido su vida útil que se estimaba que operaría hasta 2026/2027, están implementando proyectos como el de Lobo Marte para asegurar la continuidad operacional hasta después de 2040.

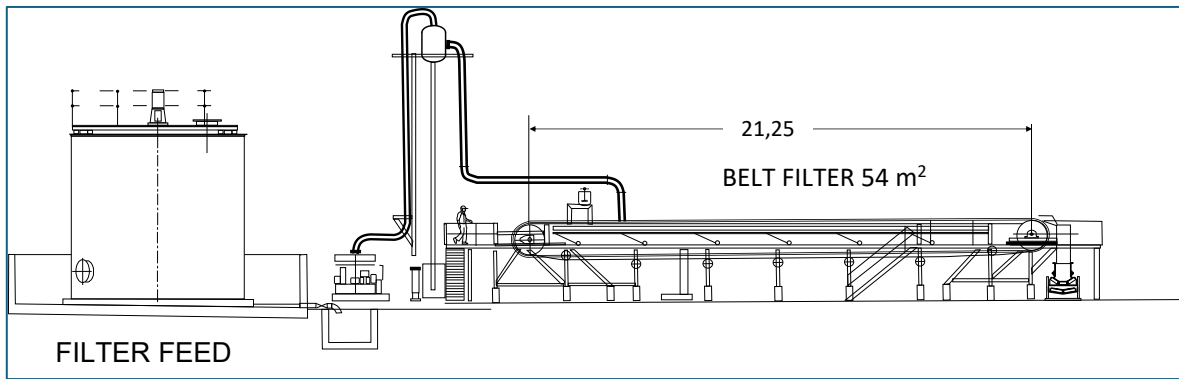


Figura N° 6: Filtro de banda horizontal utilizado en El Peñón

Filtración con Presión

Para concentrados finos, como los requeridos en algunas concentradoras, la mayor caída de presión a través del queque puede requerir un tipo de filtro diferente al de vacío. Se requieren contenidos de humedad en los concentrados a ser embarcados de 8 a 10% en peso. Estas cifras no son alcanzables por filtros de vacío. Por lo tanto, para estos productos la tendencia es la filtración en presión.

La filtración con presión incluye siempre un equipo de impulsión de pulpa, el cual generalmente es una bomba centrífuga, pero puede ser de otro tipo. Larox recomienda usar una bomba centrífuga cuyo flujo máximo sea de $1 \text{ L/m}^2/\text{s}$, lo cual da para un filtro de 144 m^2 un flujo máximo de $518 \text{ m}^3/\text{h}$. En Collahuasi donde tienen bombas de $440 \text{ m}^3/\text{h}$ con 170 m^2 de área cada filtro VPA, se tiene un parámetro de $0,72 \text{ L/m}^2/\text{s}$. En cualquier caso, la recomendación es que la bomba centrífuga este equipada con variador de frecuencia para optimizar el proceso de filtración.

El tipo de filtros con presión pueden ser con una configuración vertical (filtros prensa convencionales) o con una configuración de placas horizontal (filtros tipo Larox). Estos equipos han evolucionado a tal punto que actualmente bastan tres o cuatro filtros para manejar la producción de concentrados de concentradoras grandes de más de 150 ktpd de alimentación de mineral a molienda.

La Figura N° 7 muestra un filtro VPA como los instalados en Collahuasi. La sigla VPA significa Vertical Press Airblow y se refiere a la filtración con aire comprimido, el cual se usa tanto para inflar el diafragma⁴, como para secar el queque haciendo pasar aire a través de las cámaras y permitiendo que el líquido sea evacuado por ranuras ubicadas en las esquinas de cada placa.

En algunos diseños, por ejemplo, en filtros de torre o de placas horizontales del tipo de filtros Larox PF, el aire comprimido para inflado de membranas de estruje de queque tiene una presión de 10 a 12 bar, lo que requiere un compresor distinto de los típicos que levantan 6 a 7 bar. Para aire comprimido de secado de queque se requiere un compresor de 6 a 7 bar de presión.

⁴ Los filtros equipados con “diafragma” tienen un sistema o membrana que comprime la torta al final de la etapa de alimentación y antes de la etapa de soplado del queque. Esto permite compactar en forma pareja el queque antes del soplado para secar o disminuir la humedad antes del final de cada ciclo.

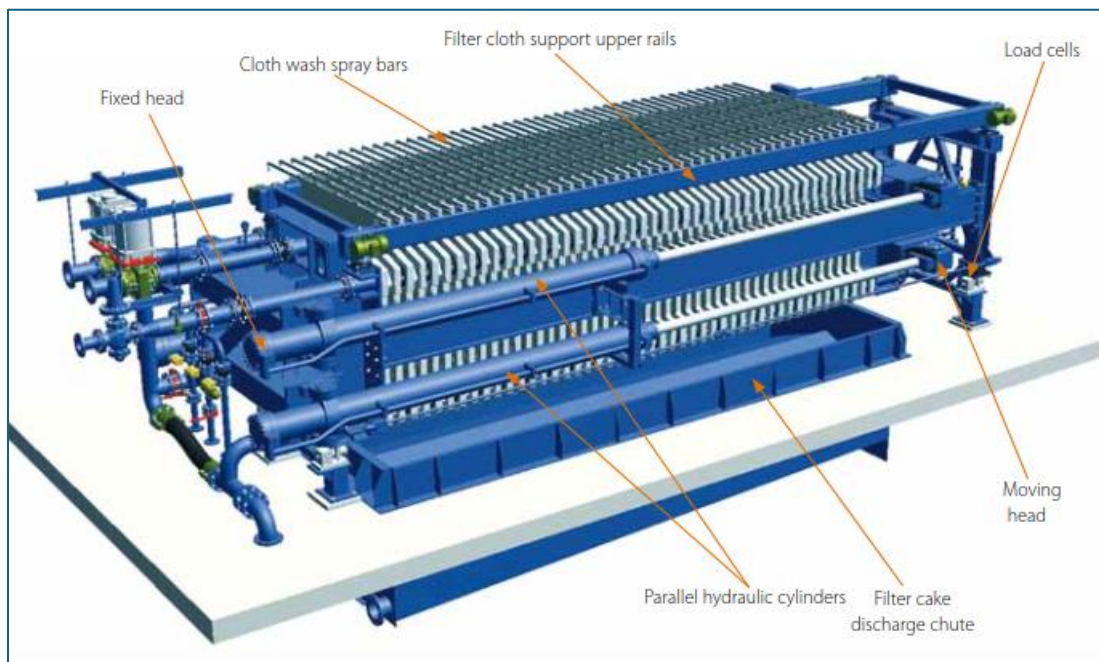


Figura N° 7: Filtro Metso VPA

Existen muchos otros tipos de filtros que serán descritos más adelante. De los más comunes en minería podemos mencionar los filtros multicapa.

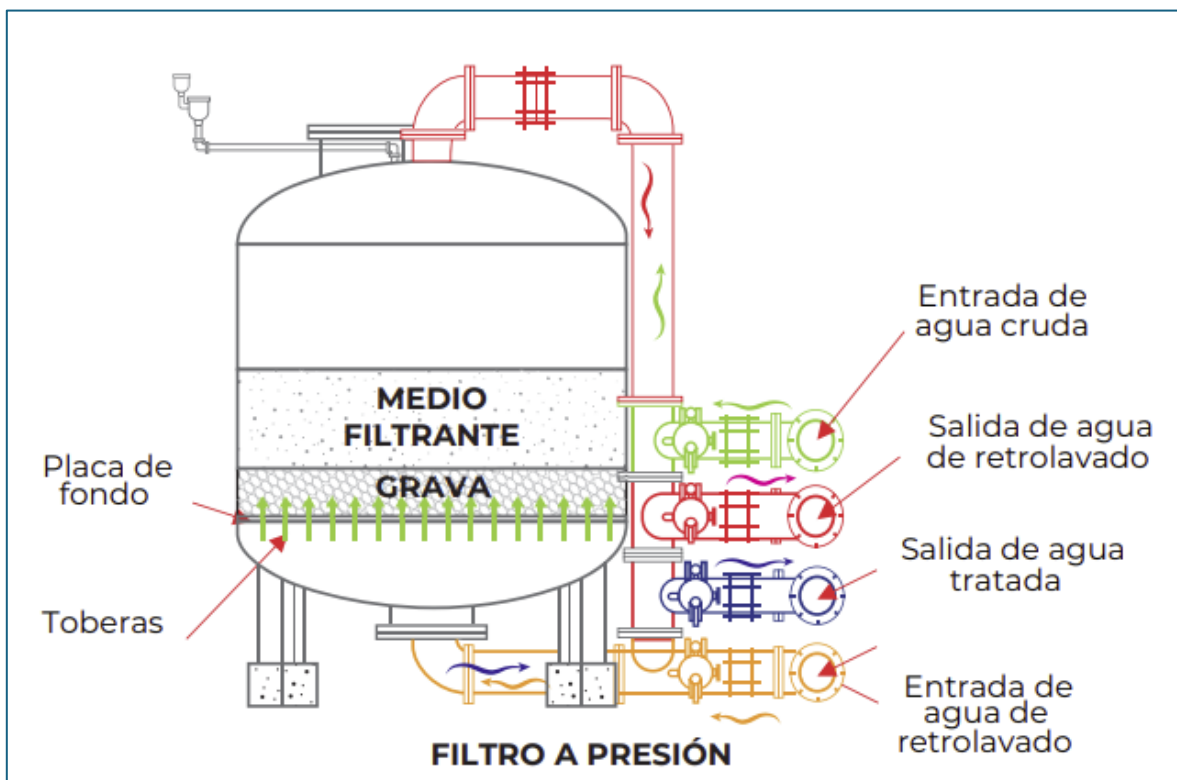


Figura N° 8: Filtro Multicapa o Multimedia

Filtros de Algunas Concentradoras y Otras Faenas

Antes de someter una pulpa a la filtración se utilizan otros equipos para aumentar la concentración de sólidos en la pulpa. Los equipos más utilizados en minería son los espesadores y los clarificadores. El aumento del porcentaje de sólidos en la pulpa que se filtrará mejora el rendimiento de la etapa de filtración aumentando la tasa de filtración.

En el caso de concentrados de cobre, debido a la GE del concentrado, alrededor de 4.1, la descarga de un espesador alcanza fácilmente 65% de sólidos en peso en espesadores de alta capacidad. Se ha tratado de aumentar dicho porcentaje de sólidos con espesadores de mayor tiempo de residencia y mayores pendientes del fondo, con resultados positivos⁵.

En Antamina, después de la ampliación a 130 kt/d se estudió la posibilidad de agregar un quinto filtro Larox PF, sin embargo, se optó por la alternativa de incluir un espesador de pasta que al entregar una pulpa con mayor porcentaje de sólidos a los filtros aumentó la capacidad de éstos. Al alimentar con 70% de sólidos un filtro, el tiempo de llenado se acorta y con ciclos más cortos se aumenta la capacidad por hora de cada filtro. Esto significó una curva de aprendizaje para la operación del espesador de pasta que al operar con tensiones de fluencia elevadas se debe cuidar el torque y además se deben reforzar ciertos componentes del filtro.

En filtración de relaves en filtros de banda con presión de vacío se han utilizado floculantes y en el caso de La Coipa se sometía la pulpa a una clasificación previa con hidrociclones para descargar el grueso en la alimentación y los finos del overflow más adelante en una zona donde el queque ya estaba en desarrollo.

En el caso de operaciones en plantas de oro con el proceso Merrill Crowe, la filtración de soluciones se realiza en diferentes equipos. Como Merrill Crowe requiere soluciones con muy bajos contenidos de sólidos en suspensión, normalmente se debe utilizar una etapa de clarificación antes de agregar zinc metálico en polvo. Pero como es difícil lograr soluciones tipo “cristal clear”, es decir con menos de 1 ppm de sólidos, después de la clarificación en clarificadores, se requiere una etapa de filtración, con filtros tipo “Pressure Leaf Filters”, los cuales requieren uso de ayuda filtrante. Posteriormente, luego de la precipitación del oro, plata y otros metales que se solubilizan con cianuro, se procede a filtrar con filtros prensa convencionales, de nuevo con ayuda filtrante. La ayuda filtrante puede ser un mineral tipo perlita, aunque es más común el uso de tierra de diatomeas.

Filtración de Relaves Planta de Pellets un proyecto que incluyó tres filtros prensa italianos, una correa tubular y otras instalaciones para finalizar la depositación de relaves en el mar e iniciar su depositación en una plataforma donde mediante compactación y uso de reactivos se logra unas capas con costra dura que mejora sustancialmente la disposición de estos relaves.

En faenas de oro y plata como La Coipa y el Peñón se utilizan filtros de banda horizontales con vacío para producir relaves en forma de queques con disposición en condiciones de alta recuperación de agua y menor complejidad que un tranque de relaves convencional.

En la hidrometalurgia del cobre, después de la lixiviación y la extracción por solventes, es usual utilizar filtros de electrolito para llegar con soluciones limpias a la etapa de electrowinning.

⁵ Por ejemplo, en Antamina el uso de un espesador de pasta permitió mantener el número de filtros Larox a pesar del aumento de capacidad, después de la ampliación a 130 kt/d. Operaciones de Antamina debió pasar por una curva de aprendizaje para el manejo del espesador de pasta.

Estos filtros de electrolito son del tipo multicapa de materiales granulares a través de los cuales pasan las soluciones dejando los sólidos y alguna cantidad de orgánico atrapada en las capas de los materiales granulares. Cada cierta presión diferencial los filtros son sometidos a un retrolavado para recuperar su funcionalidad.

Normalmente los filtros de medios duales (Dual Media) tienen una capa de antracita para retener el orgánico atrapado en el electrolito rico, y otra capa de granate para retener los sólidos suspendidos, y una capa de arena que va en la parte inferior y sustenta el medio filtrante. En Electrowinning se requiere solución de electrolito rico con menos de 2 ppm de orgánico y menos de 5 ppm de sólidos en suspensión.

La Figura N° 9 presenta un esquema simplificado de un filtro de electrolito. Se incluyen la alimentación, y para el retrolavado las líneas de aire para agitar los medios filtrantes y pasar agua que retire los sólidos y el orgánico atrapado. El retrolavado se realiza cuando la presión diferencial alcanza un valor determinado.

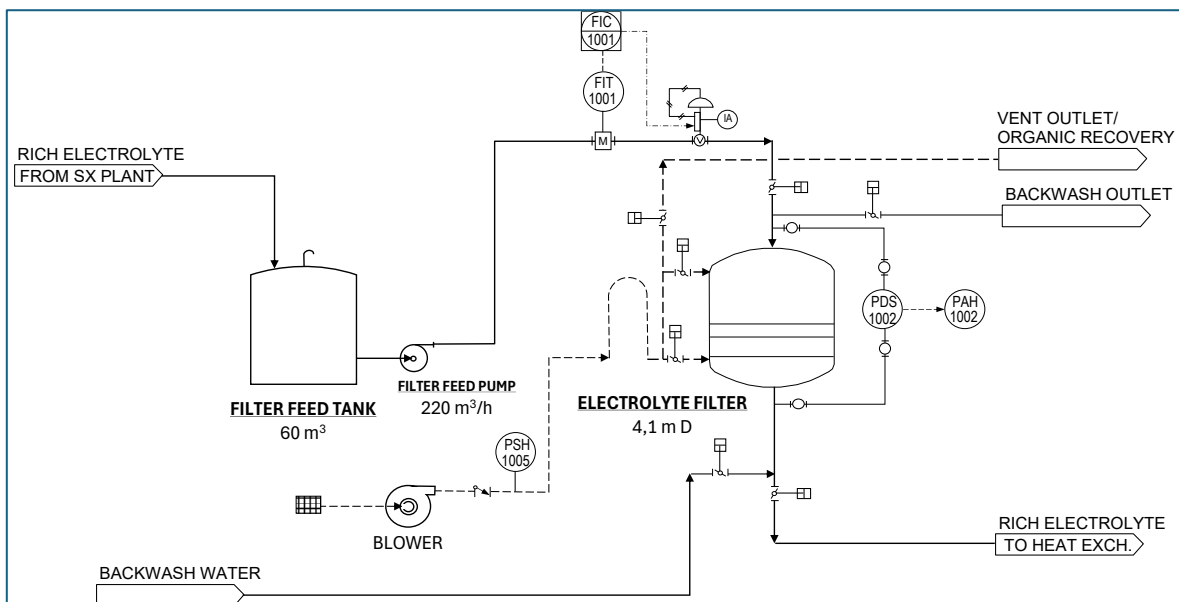


Figura N° 9: Esquema simplificado de um Filtro de Electrolito para Circuitos de SX-EW

Filtración en Minera Los Pelambres

MLP cuenta con una planta de filtros en Punta Chungo. La planta de filtros se compone de 8 filtros cerámicos Outotec CC-45 capaces de tratar la producción de concentrados de cobre de MLP.

Hasta donde se dispone de información, seis de los ocho filtros están desde la puesta en marcha del Proyecto de 85 ktpd, y dos filtros nuevos se instalaron con el Proyecto de Repotenciamiento II (2009).

Los filtros cerámicos Outotec Larox CC HiFlow descargan sólidos y filtrado en forma continua y el proceso completo de filtración es totalmente automático.

La pulpa es alimentada en la batea del filtro donde giran los discos cerámicos. Estos discos están sumergidos parcialmente y los sólidos se adhieren a la superficie en cada ciclo de giro, para ser descargados en un sector que los captura. El principio de filtración es una mezcla de vacío y de fuerzas de capilaridad dada la estructura de los discos. El líquido es forzado a fluir a través de los discos hacia la cañería interna del filtro que lo transporta hacia un estanque de filtrado. El filtrado contiene solamente trazas de sólidos debido al pequeño tamaño de los poros en los discos.

MLP posee ocho filtros CC-45 de 45 m² de área de filtración cada uno. Las tasas de filtración dependen de la estación del año, más específicamente, de la temperatura y por lo tanto de la viscosidad del filtrado. Los rangos fluctúan entre 513 kg/h/m² en invierno y 564 kg/h/m² el resto del año. Obviamente estos son valores de promedios estadísticos y varían según otras condiciones.

Los filtros cerámicos requieren de limpieza de los discos, lo cual se efectúa en MLP alrededor de dos veces al día, con lavado ácido y posteriormente con agua y aplicación de ultra frecuencia. El lavado ácido se realiza con ácido nítrico (HNO₃) al 64%, el cual se diluye hasta alrededor de 1 – 2 g/L. Operaciones al igual que el proveedor del filtro, declaran que para cada lavado ácido se requieren alrededor de 15 kg de HNO₃ industrial (62 – 66 %).

Las tasas de filtración presentan una media del orden de 500 kg/h/m², con valores máximos de 800 kg/h/m² y valores mínimos de 300 kg/h/m². El porcentaje de sólidos de la alimentación se mueve en un rango acotado entre 60 a 65%.

La humedad del queque fluctúa entre 8 a 10 %. Una vez al mes se detiene cada filtro por 24 horas para mantenimiento general. Esto significa una detención de 2.304 h/a, lo cual representa alrededor de 73,1 % de disponibilidad. Sin embargo, el que escribe está convencido que la utilización de la planta de filtros es inferior a esta cifra. Cada operación define sus parámetros de mantenimiento y sus métodos para la medición de la disponibilidad electromecánica de la planta de filtros. Sin embargo, existen otras situaciones que aun con un equipo disponible no puede utilizarse por razones de operaciones, lo cual, para efectos de dimensionamiento de equipos, se aconseja usar el parámetro utilización efectiva que siempre es inferior a la disponibilidad electro- mecánica.

Un dato importante de layout es la altura de la base de un filtro cerámico con respecto a la cota de instalación de la bomba de filtrado. Se requiere una distancia de 4,5 a 5,0 metros, pero Metso Outotec recomiendan usar 5,0 metros. En la Figura N° 10 se muestra un filtro cerámico en corte donde se puede apreciar la distancia que se comenta para la instalación de la bomba de filtrado.

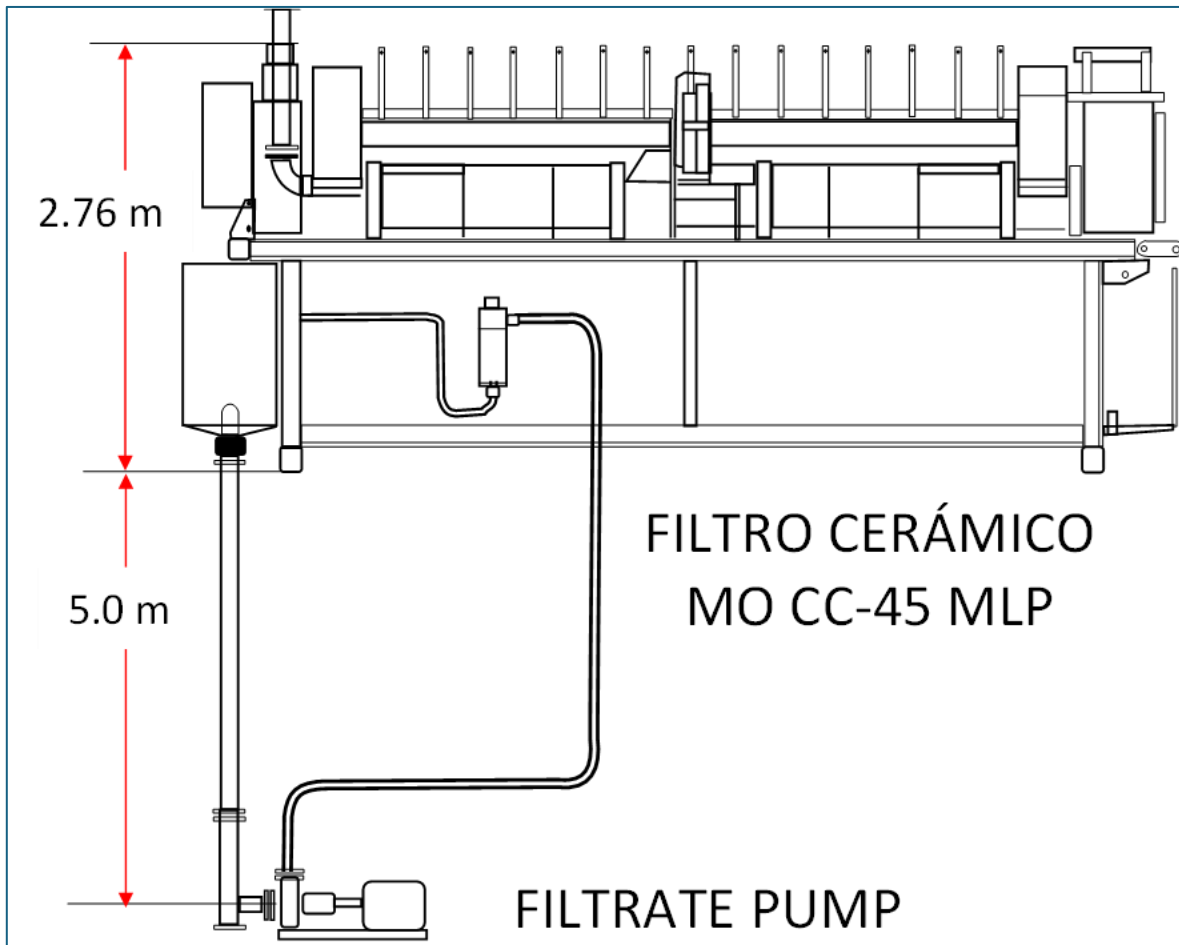


Figura N° 10: Filtro Cerámico Outotec CC-45 como los Instalados en MLP

La Figura N° 11 muestra dos bombas de filtrado de filtros cerámicos instaladas en un foso para poder cumplir la distancia requerida para evitar cavitación. Hay que recordar que dichas bombas están conectadas con el sistema de vacío, de manera que requieren esa cabeza estática para funcionar apropiadamente. Es una “pata barométrica” de 5 m de altura que evita la cavitación de la bomba debido al vacío que enfrenta la bomba de filtrado.

El filtrado impulsado por la bomba tiene dos opciones:

- Descarga a la piscina de filtrado
- Alimentar el retrolavado del filtro

Durante el año 2024 se estudió una ampliación de la planta de filtros agregando dos nuevas unidades y reemplazando dos unidades existentes.

Para el lavado ácido, que puede programarse para que se realice cada 12 horas en forma automática, aunque el cliente puede decidir cuando iniciar el lavado. Este lavado se inicia con la evacuación de la pulpa de la tina y luego entra el agua de lavado para enjuague de la cuba. Posteriormente se vuelve a llenar la cuba con agua y se agrega el ácido. El ácido está bastante diluido ya que para los 12 m³ de agua se emplean 15 kg de ácido nítrico comercial de 62% de concentración. El ultrasonido se empieza a aplicar solamente cuando el nivel de la cuba esta

un 60%. La evacuación del agua de lavado ácido se realiza hacia la misma piscina donde va el filtrado. El caudal de agua de lavado es de $47 \text{ m}^3/\text{h}$.



Figura N° 11: Fotografía de dos Bombas de Filtrado instaladas en un foso en Punta Chungo

La Figura N° 13 muestra un esquema genérico de P&ID de un filtro cerámico. En la Figura N° 14 se presenta un esquema simplificado de un P&ID que muestra una posible ampliación agregando dos filtros nuevos a los ocho existentes en Punta Chungo de MLP.

El suministro de un filtro nuevo es con el filtro completo en un frame (que viene reforzado para Chile). Debe ser fijado con ocho pernos (cuatro por lado). En MLP existe sensor tridimensional para temblores. Los filtros pasan a una pausa. Las placas se abatían y se quebraban durante temblores muy fuertes. Con temblores sobre 7,5 las pérdidas de placas pueden ser catastróficas.

Los discos giran a 2,1 -2,2 rpm. Si se aumenta la velocidad de rotación mejora el rendimiento del filtro, pero no es recomendable subir sobre 2 rpm. Sin embargo, MLP trabajaron a 2,4 rpm y posteriormente se dieron cuenta que trabajar a 1,4 rpm les permitía mejorar la producción al lavar con menor frecuencia, pero bajando las rpm del filtro. El tiempo de llenado de la cuba disminuye la productividad del filtro.

El proveedor declara que cuando el fino (material < 10 micrones) es mayor al 20% no es aplicable esta tecnología. Tampoco es posible lavar el queque con estos filtros.

Cada filtro está equipado con un PLC Siemens. El despliegue del panel local se puede replicar en el sistema de control en sala de control.

Las tasas de filtración son variables, como en todos los filtros, pero el promedio declarado es de 551 kg/h/m², y han alcanzado un máximo de hasta 670 kg/h/m² en MLP.

Actualmente los chutes de acero inoxidable están recubiertos con TIVAR 88 lo que les permite mantenerlos más limpios.

En algún momento del año pasado MLP tenía un plan de producción cuyo resumen se muestra en la Figura N° 12 se muestra una simulación teórica del vector de producción de concentrados de cobre de MLP.

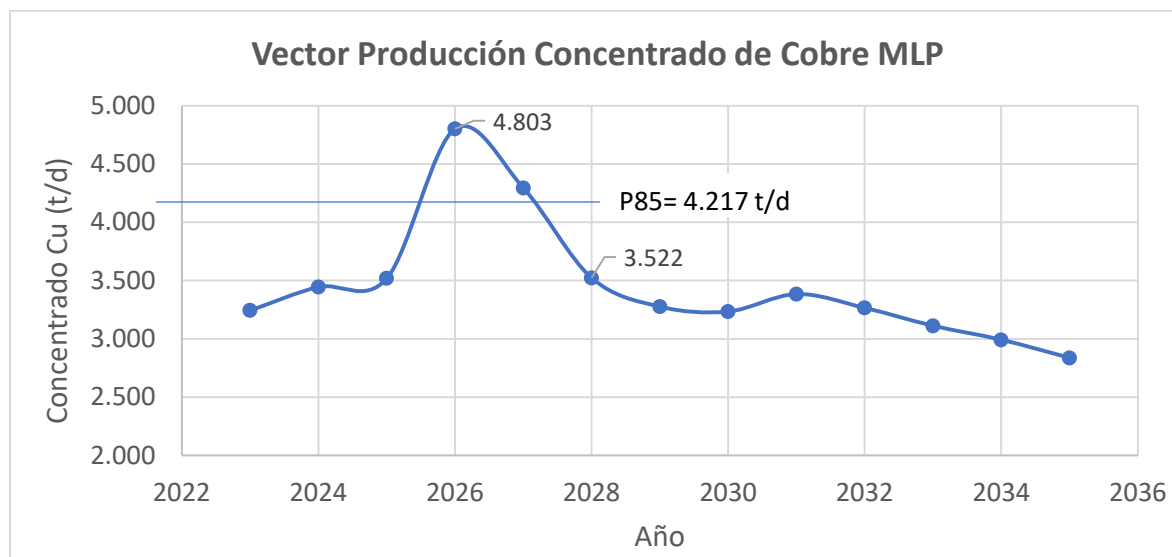


Figura N° 12: Simulación Vector de Producción de Concentrado MLP

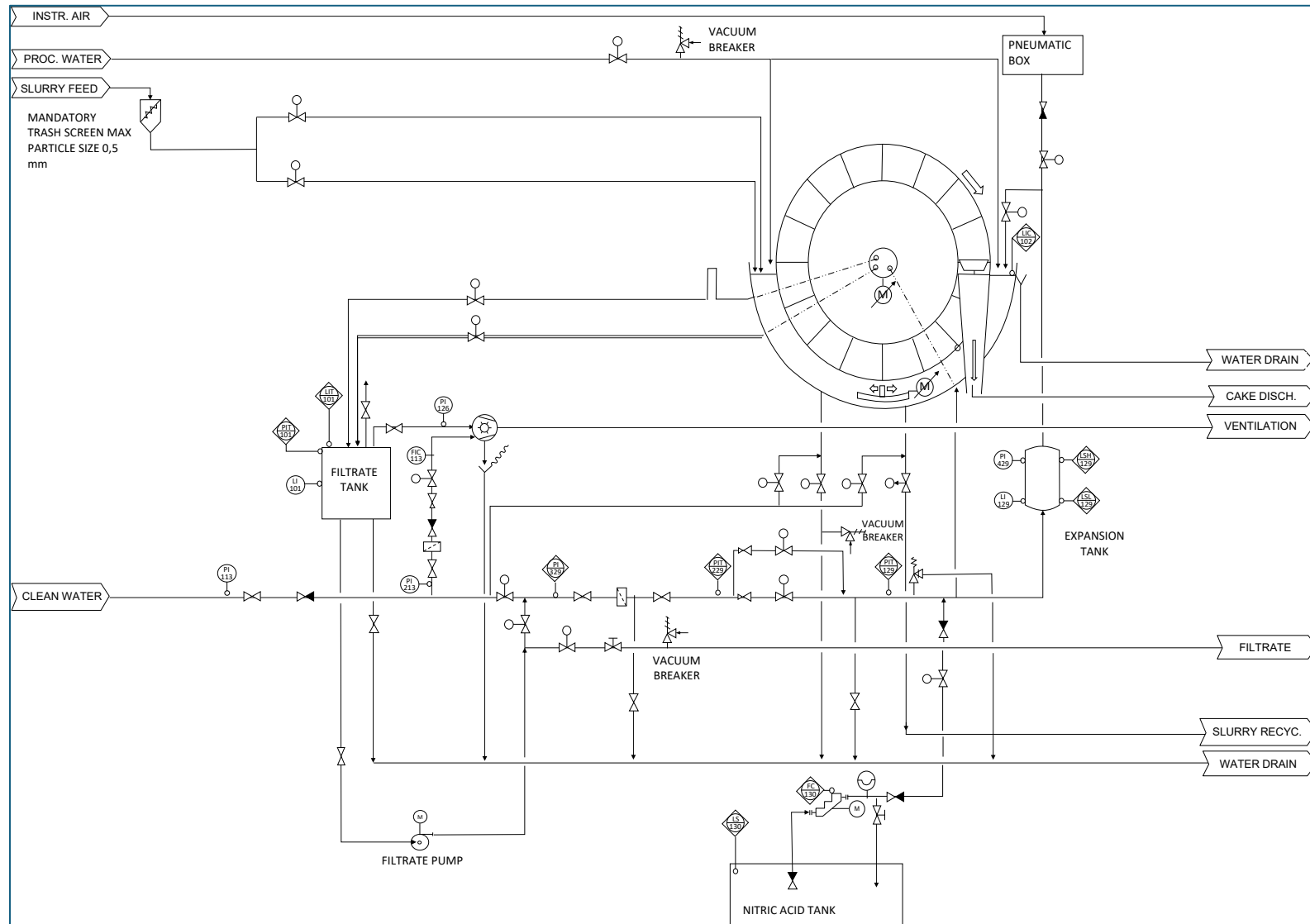


Figura N° 13: Diagrama P&ID Genérico de un Filtro Cerámico

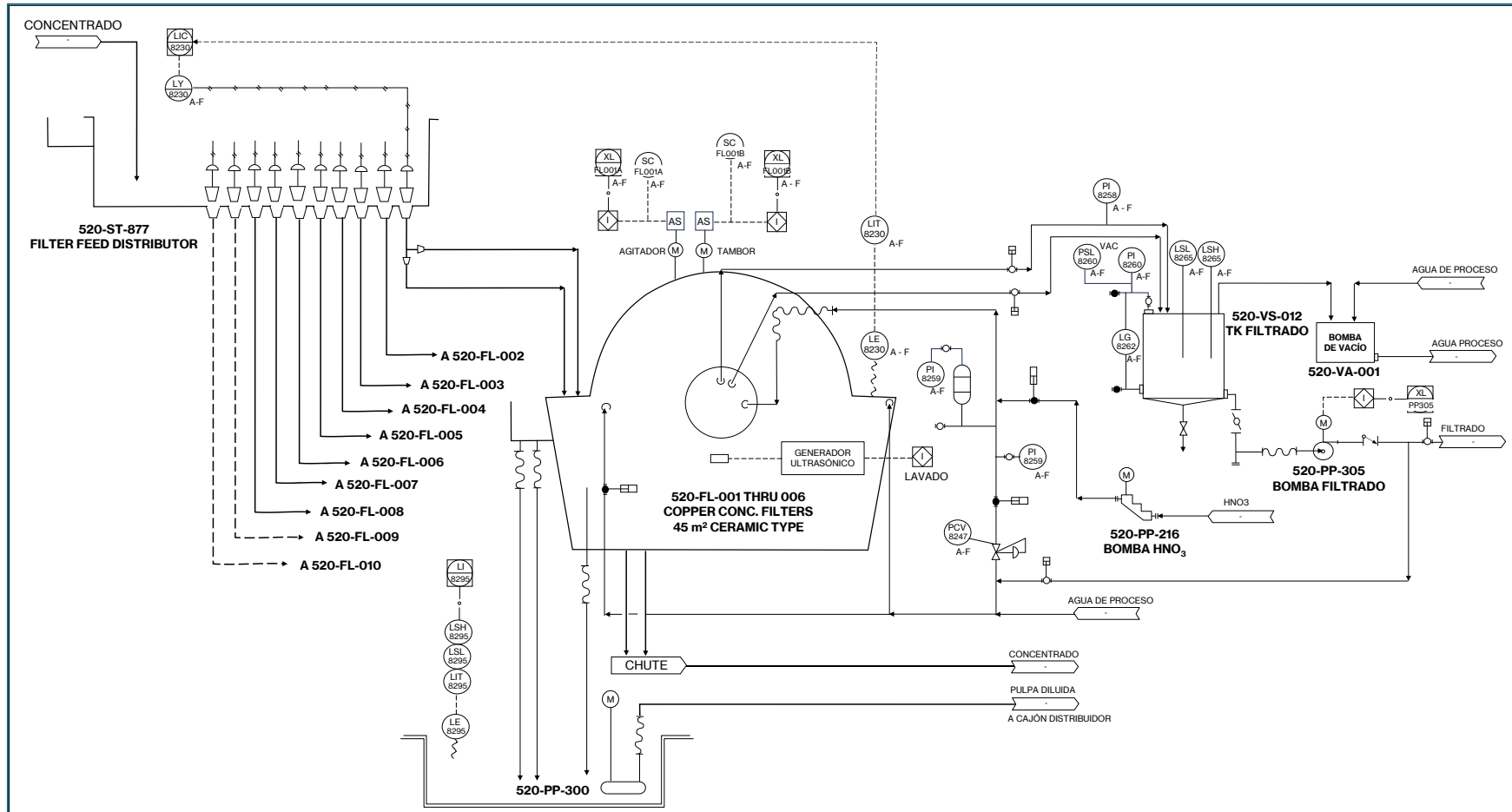


Figura N° 14: Diagrama P&ID de una Ampliación Proyectada⁶ para la Planta de Filtros de MLP

⁶ A la fecha de escribir este documento no se dispone de información de si se agregaron dos filtros a la instalación de Punta Chungo de Minera los Pelambres.



Figura N° 15: Fotografía de Filtro Cerámico de MLP

La Figura N° 15 muestra una fotografía de un filtro cerámico de Punta Chungo de MLP. En la La Figura N° 15 Se observa la bomba dosificadora de ácido nítrico.

En la Figura N° 16 se presenta un esquema simplificado de la nave de filtros de Punta Chungo de MLP.

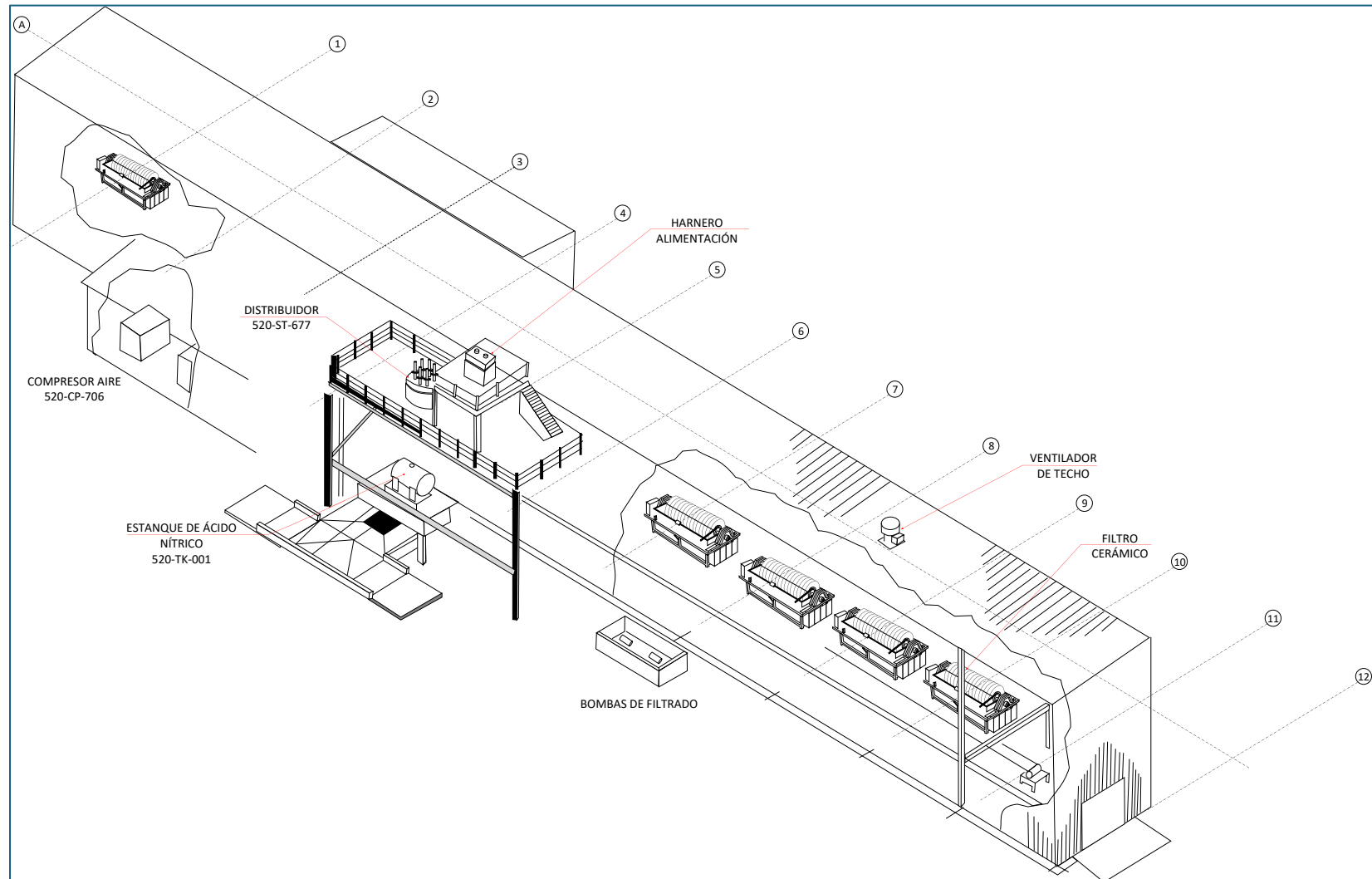


Figura N° 16: Esquema Nave de Filtración Punta Chungo MLP

Filtración en Minera Collahuasi

En Collahuasi tenían hasta el año 2018 cinco filtros tipo VPA 1540-50. Estos filtros están equipados con diafragma para estruje de queque, lo cual representa una ventaja para la obtención de queques con menores porcentajes de humedad después del soplado.

Cada VPA 1540-54 de Collahuasi tiene 50 cámaras de 1,7 m² cada una, pero como cada cámara lleva dos telas filtrantes, el filtro tiene un área de filtración de 170 m². Datos de operación del año 2018 indicaban tasas de filtración en el rango de 500 a 575 kg/h/m², con lo cual a 100% de utilización la capacidad sería de alrededor de 11.000 t/d. Sin embargo, datos extraoficiales del año 2018 indicaban que la utilización estaba entre 55 a 60%. Con cinco filtros de este tipo y una utilización de solamente 55%, la capacidad de la planta de Collahuasi sería de un poco más de 6.000 t/d, con lo cual se podría cumplir el LOM definido a esa fecha. Collahuasi presenta un diseño de alimentación a sus filtros que es diferente a los esquemas típicos. En Collahuasi, al año 2018 se disponía de un estanque de alimentación de 13 m de diámetro por 13 m de altura, equipado con dos pares de bombas Warman ASH de 8x8 y 440 m³/h, instaladas en serie, con la segunda bomba de cada tren equipada con variador de frecuencia.

La Figura N° 17 presenta un esquema de algunas instalaciones en Punta Patache.

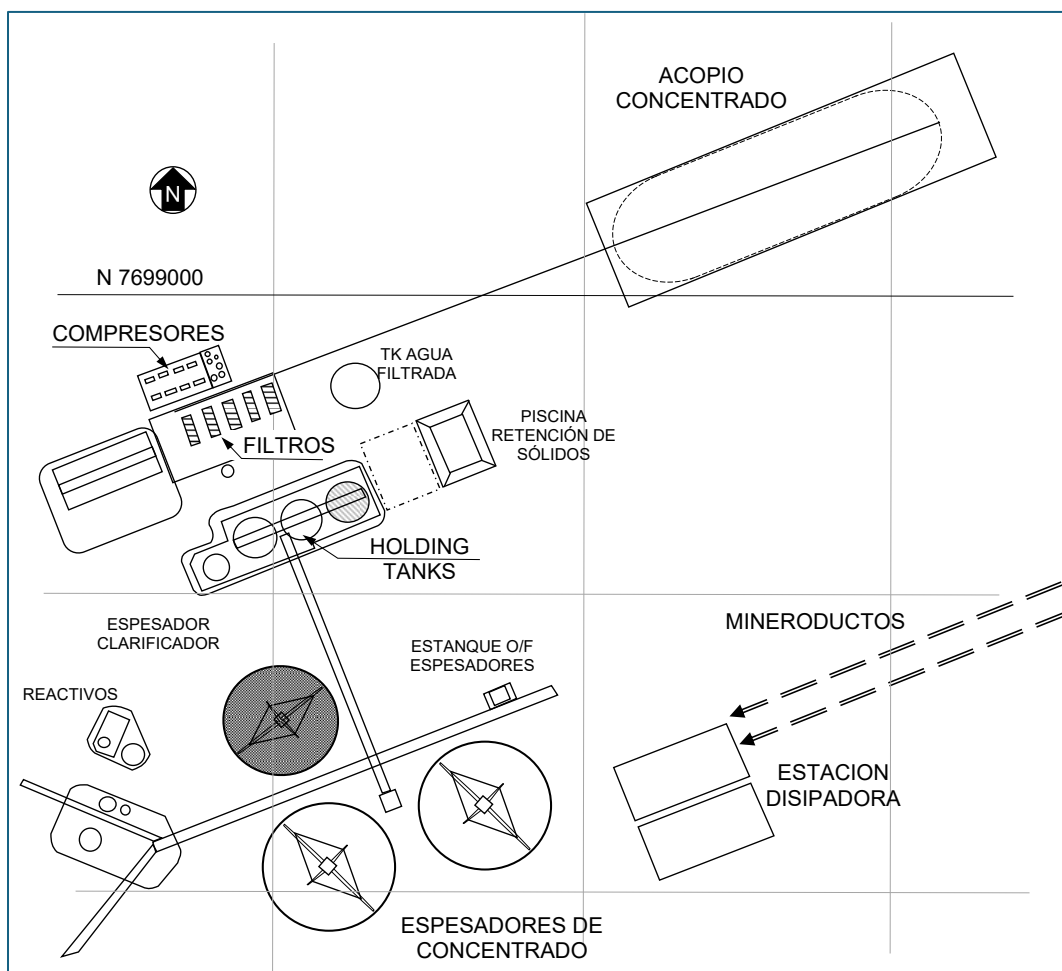


Figura N° 17: Esquema Simplificado Plot Plan Punta Patache Planta de Filtros Collahuasi

La Figura N° 18 muestra un esquema simplificado del arreglo general de los filtros de concentrado de cobre de Collahuasi.

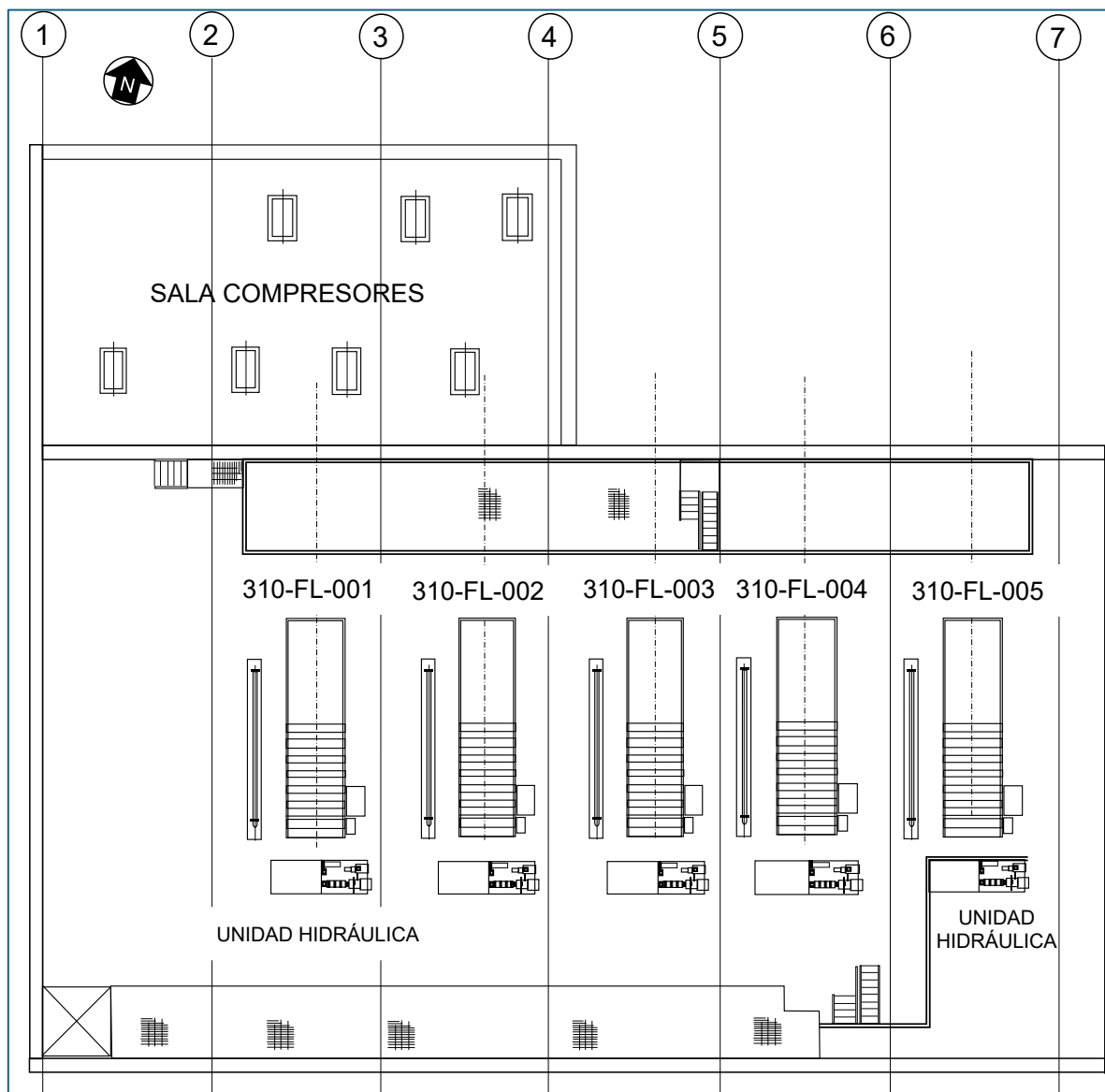


Figura N° 18: Esquema Simplificado de La Planta de Filtros en Punta Patache

La Figura N° 19 muestra un diagrama de flujo que incluye solamente uno de los estanques de alimentación de la planta de filtros. También muestra solamente un tren de bombas en serie de los dos (uno en espera) que alimentan los filtros.

Actualmente son cinco filtros. Collahuasi partió con tres filtros y luego incorporó dos más. Los filtros están especificados para filtrar, cada uno, hasta 70 t/h secas y entregan queques con una humedad remanente de 9% base seca, con ciclos de 7,5 minutos de duración por ciclo.

Los filtros son alimentados de forma secuencial a tasas de filtración de diseño de 583 kg/h/m² y con un porcentaje de sólidos de 65%. El loop de bombeo tiene un tramo en el que se recircula el concentrado y lo retorna a los estanques de cabeza.

Dos estanques con capacidad de 1.725 m³ cada uno, equipados con agitador de 75 kW alimentan los filtros.

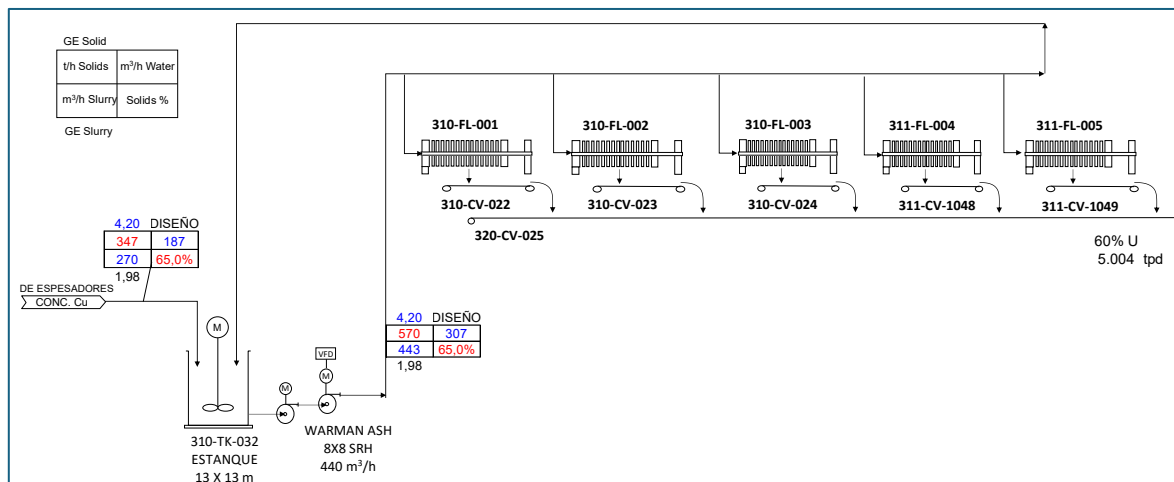


Figura N° 19: Filtros de Concentrado de Cobre Collahuasi

La Tabla N° 2 muestra un ejercicio teórico de datos de producción de concentrado de cobre de Collahuasi en el año 2014, con estimados de tasa de filtración.

Tabla N° 2: Filtros Prensa Concentrado de Cobre Collahuasi Data Años 2014

Filtros Prensa Verticales Collahuasi	Unidad	Valor
Capacidad nominal mineral	t/d	140.000
Días por año	d/a	365
Ley cabeza Cu	%	0,95%
Recuperación Cu	%	89%
Ley de concentrado de Cu	%	27%
Producción anual Cu fino	t/a	432.051
Producción anual concentrado Cu	t/a	1.600.187
Producción diaria concentrado Cu	t/d	4.384
Número de filtros prensa instalados	c/u	5
Número de filtros prensa en operación	c/u	3
Modelo Filtro Prensa	-	VPA-1540-50
Área cada filtro	m ²	170
Área filtros en operación	m ²	850
Tasa de filtración estimada	Kg/m ² /h	358,2

En algún momento Collahuasi contempló la posibilidad de usar un filtro hiperbárico para cubrir sus futuras necesidades de filtración de concentrados de cobre. Sin embargo, finalmente se decidió por un recambio total de piezas principales de sus filtros prensa. Este trabajo de mantenimiento mayor de sus filtros actuales contó con la participación de Metso.

La Figura N° 20 presenta un esquema de un proyecto abortado para incluir un nuevo filtro tipo hiperbárico en Collahuasi.

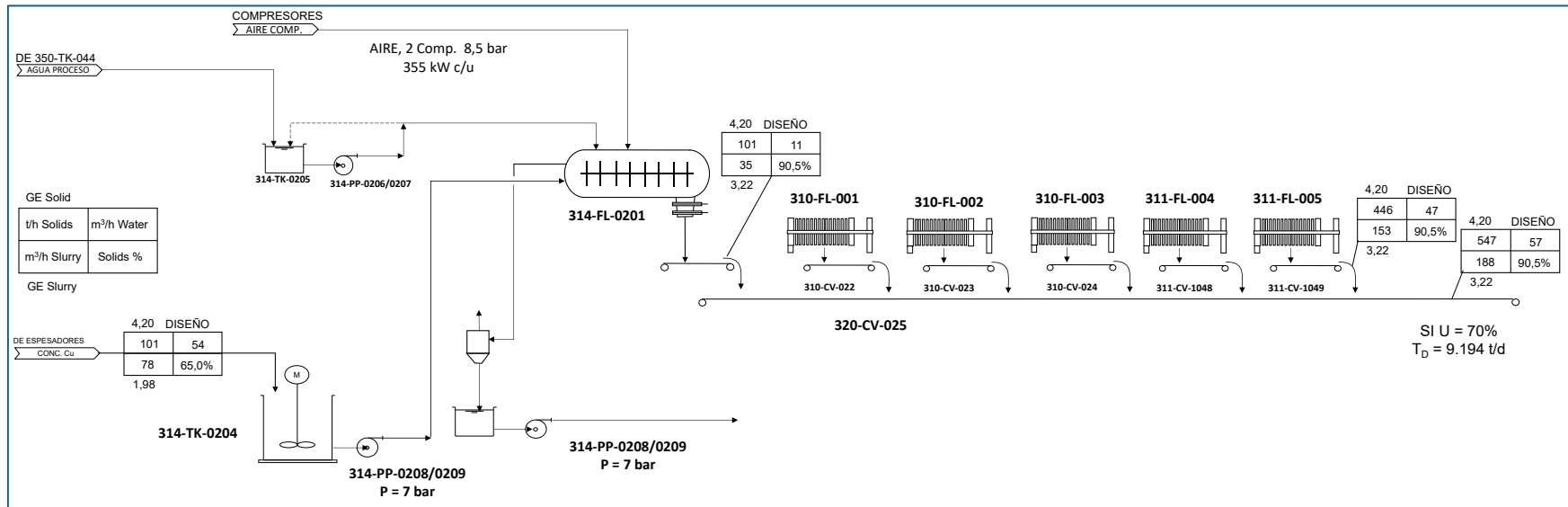


Figura N° 20: Proyecto (no realizado) de Nuevo Filtro tipo Hiperbárico para Collahuasi

Filtración en Minera Antamina

En Antamina en el año 2004 se disponía de cuatro filtros prensa verticales marca Larox modelo PF 144, es decir de 144 m² cada uno.

Hay diferentes esquemas de alimentación a estos filtros prensa tipo torre. Por ejemplo, en Antamina el esquema de alimentación se muestra en la Figura N° 21. En esa figura se observa que cada filtro tiene su bomba de alimentación dedicada. Cada bomba está equipada con variador de frecuencia (no mostrado) de manera que solamente durante el ciclo de alimentación aumenta su velocidad para minimizar el tiempo de llenado del filtro.

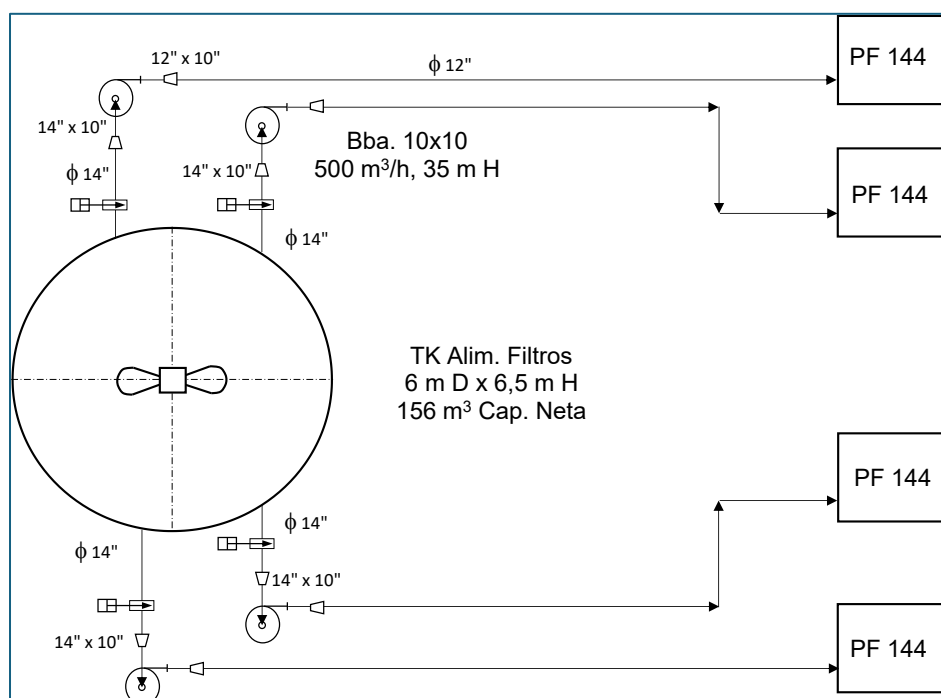


Figura N° 21: Alimentación Filtros Antamina

La Figura N° 22 presenta una planta de los filtros de concentrado de cobre, y de zinc de minera Antamina. Antamina trabaja por campañas sus minerales de cobre-zinc-molibdeno y bismuto. En campañas de cobre-molibdeno recupera el cobre-moly en flotación colectiva para posteriormente separar la molibdenita por flotación selectiva.

Antamina tenía una capacidad de filtración de concentrado de cobre en el año 2008, con cuatro filtros Larox PF 144 de 5.599 t/d con los cuatro filtros trabajando un 100% del tiempo.

Con una utilización⁷ de 75%, que es realista, dicha capacidad de filtración de concentrados de cobre alcanza a 4.199 t/d. Para esa fecha (2008) la capacidad de tratamiento de minerales

⁷ En julio de 2008 operaciones de Antamina indicaba que “la disponibilidad operacional de Antamina de 75% es consistente con plantas de filtros similares, aunque Aker indica 80%”. Se adelanta que en ingeniería se empezó a usar el concepto de “utilización” para referirse a la “disponibilidad operacional”. En épocas pretéritas, las empresas de ingeniería utilizaban la palabra “availability” para referirse a este concepto. Lo verdaderamente relevante es entender que la capacidad de una planta

de Antamina, dependiendo del tipo de mineral, oscilaba entre 70 ktpd y 100 ktpd. En efecto, los minerales duros y competentes tenían un comportamiento muy diferente a la molienda SAG, con respecto a los minerales disgregados y poco competentes.

La ampliación de Antamina desde dichas capacidades a una capacidad de diseño de 130 ktpd efectuada en los años 2010 a 2012, significó agregar otro molino SAG y un cuarto molinos de bolas, ya que el diseño original de Bechtel contempló un circuito de molienda con un molino SAG de 38 ft x 21 ft con GMD de 20 MW, y tres molinos de bolas.

La Figura N° 22 muestra un arreglo general de los filtros de Antamina.

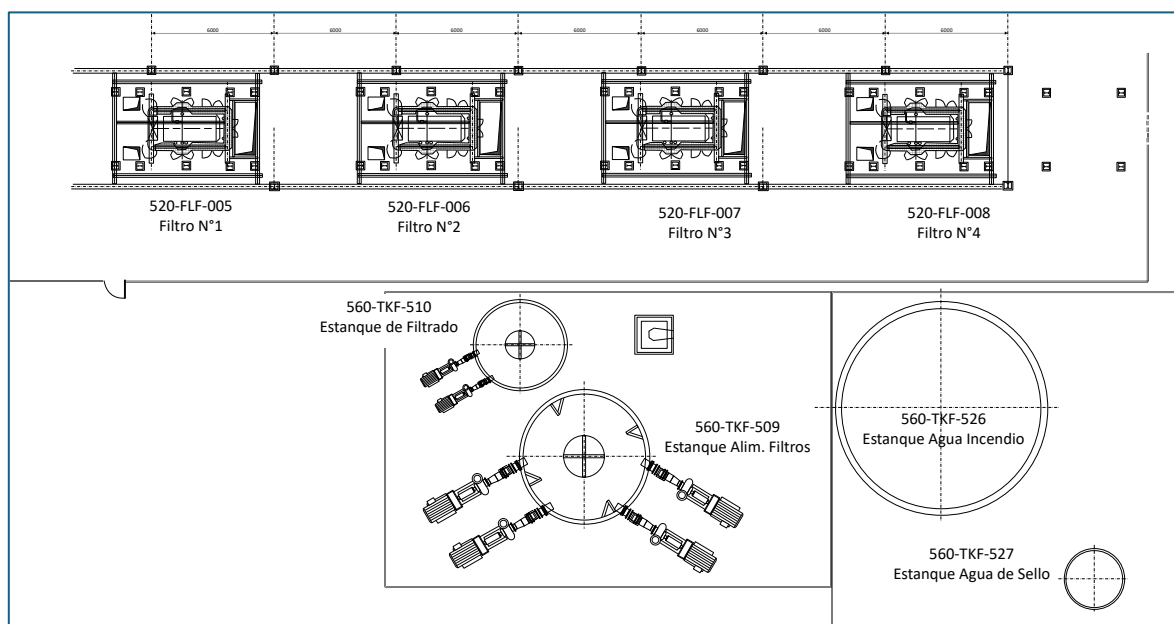


Figura N° 22: Filtros de Concentrado Minera Antamina

En 2008 operaciones Antamina indicaba que “hay una variación considerable en tasas de filtración, las cuales se relacionan con factores tales como: la fuente de mineral, la densidad de la pulpa a filtrar, tensión de fluencia⁸, tamaño de partículas, etc. La variabilidad se expresa en una serie de datos de 2007, en la cual, al suavizar los datos se observan varios valles alrededor de 0,42 t/h/m², que duran tres a cuatro días”. Se releva que estas tasas de filtración que ocurren de tanto en tanto, son bastante bajas para los valores “normales” de 0,55 a 0,70 t/h/m² más típicas para este tipo de filtros.

En esa época (2008) se pensaba en incluir un quinto filtro porque “operaciones no tiene capacidad predictiva de bajas tasas de filtración y entonces, cuando sobrevienen períodos de filtración pobre, el único control operacional de evitar derrames⁹ de concentrado es detener el

de filtros es directamente proporcional a este factor. No se debe pensar que una planta de filtros operará 100% del tiempo.

⁸ La tensión de fluencia (yield stress) es la presión necesaria para que un material capaz de fluir empiece a fluir. Está relacionada con la viscosidad del fluido y es un aspecto reológico fundamental en la conducción o impulsión de pulpas con altos porcentajes de sólidos y distribuciones granulométricas con muchos finos.

⁹ Recordar que la planta de filtros se encuentra en el puerto y las pulpas de concentrados llegan por un mineroducto desde la concentradora.

concentraducto (además de reducir el flujo en la línea). Sin embargo, esta no es una estrategia operacional aceptable debido a riesgos asociados con la dinámica de paradas y partidas. En cualquier momento, el concentraducto puede ser detenido una sola vez por hasta alrededor de 18 horas después de lo cual el contenido completo debe ser lavado antes de que se permita otra detención”.

Se destaca que ya en esa época¹⁰ se barajó no solamente la opción de agregar un quinto filtro, sino de agregar un espesador que aumentara el porcentaje de sólidos de alimentación a la planta de filtros. Se sabe que a mayor porcentaje de sólidos en la alimentación la capacidad de los filtros aumenta.

En efecto, en un trabajo presentado por Eleuterio Rivera Álvarez y Miguel Galindo Romero, de Compañía Minera Antamina, publicación de diciembre de 2024, se describe con gran detalle la implementación de un espesador de pasta para el aumento de la capacidad de filtración de los cuatro filtros Larox PF 144 instalados.

El trabajo publicado indica que “El sistema espesador de pasta y filtros Larox, representa un desafío operativo, debido a las distintas características mineralógicas de los concentrados procesados y por los distintos parámetros de control que optimizan la separación sólido-líquido, el que permite incrementar la tasa de filtrado en alrededor del 20% y, por ende, obtener mayor tonelaje de filtrado con humedades dentro del límite de humedad máxima transportable (HMT). Asimismo, la inadecuada operación del espesador de pasta conlleva a potenciales riesgos operativos como embancamiento por el alto torque de las rastras y la propia contaminación de los concentrados producto de la operación continua de la planta”.

La publicación agrega que: “El sistema de espesamiento de pulpa de concentrado de cobre mediante espesador de pasta como etapa previa a la alimentación de los filtros inició operaciones en 2012, producto de la expansión del procesamiento de la planta concentradora en la unidad minera. Los cuatro filtros prensa Larox iniciaron operaciones en 2001, tienen cada uno 144 m² de superficie filtrante, 108 TPH de capacidad filtrante y tiempo de ciclo de 9.0 minutos con una humedad promedio de 9%”.

El trabajo que se comenta incluye interesantes datos de la curva de aprendizaje de operación de un espesador de pasta. Una de las conclusiones de la publicación es: “La optimización operativa del sistema espesador de pasta filtros Larox, permite incrementar la tasa del filtrado a valores cercanos al 20% y, por ende, aumentar el tonelaje filtrado de 360 a 432 TMS/H, manteniendo los valores de humedad dentro de los rangos límites transportables”.

¹⁰ En julio de 2008 operaciones Antamina declaraba que:” las tasas promedio para concentrados de cobre son 0,54 t/h/m² y 0,80 t/h/m² para concentrados de zinc.

Filtración en Minera Cerro Verde

La Sociedad Minera Cerro Verde explota sus reservas a través del minado a tajo abierto y procesa esas reservas mediante tecnología de lixiviación (alta y baja ley ROM) y concentrados por flotación. A fines del año 2006 inició operaciones la concentradora C1, de la cual el que escribe tiene cierta información de ingeniería y será esta la que ocupará este capítulo. Posteriormente se desarrollaron estudios y se construyó una segunda concentradora C2, diseñada para una capacidad de 240 kt/d

La concentradora C1, de la cual se hablará en este capítulo, tiene una capacidad nominal de 108 kt/d, logrando¹¹ hasta 147 kt/d algunos días. A pesar de esta última información, los comentarios y análisis de este trabajo se basarán en la capacidad nominal del “Process Design Criteria” (PDC Rev. 1), de enero de 2006.

Según el PDC mencionado, el circuito de molienda, con apoyo de un avanzado sistema de automatización, ayudaría a alcanzar una “availability¹²” de 93%, con parámetros metalúrgicos que incluían como objetivo una ley de concentrado de cobre de 28% con una recuperación de 90%.

El proyecto se ubica aproximadamente a 16 km de Arequipa, Perú, a una elevación geográfica de 2.700 m.a.s.l. El mineral es un pórfido de cobre de densidad 2,75 t/m³, una ley de cabeza promedio para los primeros 10 años de 0,64% Cu.

El mismo PDC establece que la producción nominal de concentrado de cobre seco, durante los primeros 10 años será de 2.149 t/d, mientras la producción de diseño alcanzará a 2.812 t/d.

Como los valores de Axb de pruebas de competencia dieron valores entre 30 y 50 y los valores promedios de SPI fluctuaban entre 100 y 179 minutos, con valores máximos de hasta 233 minutos, se decidió utilizar tecnología “High Pressure Grinding Rolls” (HPGR) para tercera etapa de conminución antes de la alimentación a los molinos de bolas.

La molienda se definió con cuatro molinos “Shell Supported” con accionamiento tipo “Gearless” de 12 MW de potencia para cada molino.

La Figura N° 23 presenta un esquema que denominaremos “Pictorial” y que representa las principales operaciones unitarias de la concentradora C1 de Cerro Verde. Se trata de una concentradora convencional basada en chancado primario, secundario y trituración terciaria en equipos HPGR. Los molinos de bolas son alimentados con el bajo tamaño de harneros del circuito cerrado de los HPGR. Ese flujo de mineral triturado es descargado a los cajones de alimentación de hidrociclones de cada circuito cerrado inverso de molienda. Los molinos, como se dijo, son tipo soportados en el manto en vez de ser soportados en los “trunnions” (muñones para ingenieros mecánicos), que caracterizan a los molinos que son un poco más comunes en minería.

Después de la flotación colectiva sigue una flotación selectiva para molibdenita.

¹¹ Informe Visita Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., 30 de julio de 2011.

¹² Ya se ha mencionado en otros trabajos publicados en LinkedIn, que en esas fechas grandes empresas de ingeniería internacionales utilizaban el término “availability” para referirse a una utilización operacional. Posteriormente se empezó a denominar “Utilization” en “Process Design Criteria” de dichas empresas. En planta se utilizan sistemas complejos de administración de activos, por ejemplo, la norma ASARCO.

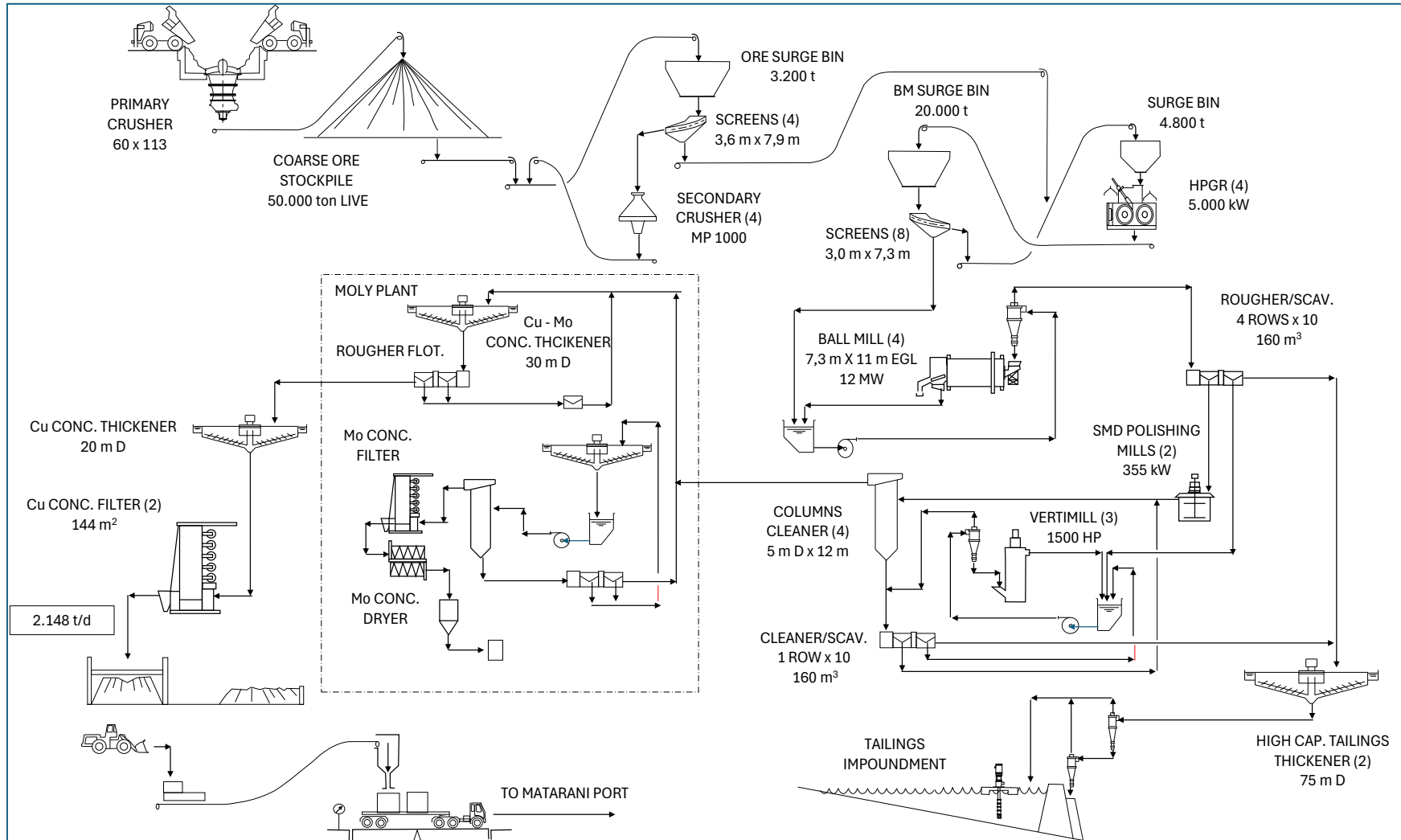


Figura N° 23: Pictorial Circuito de Procesamiento de Sulfuros Concentradora C1 de Cerro Verde

La Figura N° 24 muestra un esquema simplificado del diagrama de flujo del circuito de la planta de filtros de la concentradora C1 de Cerro Verde. Obviamente no existe un balance másico continuo desde la alimentación a los estanques de alimentación (3260-TK-003/004) y el flujo de alimentación desde las bombas centrífugas hacia los filtros Larox. Es un error muy común en proyectos antiguos el tratar de cuadrar los flujos de este circuito, pero se aconseja, en especial para filtros Larox, obtener una simulación del proveedor, quien entrega los flujos de las bombas de alimentación.

Es totalmente necesario contar con bombas de capacidad suficiente para llenar las cámaras del filtro que está siendo alimentado en un tiempo corto de alrededor de 1,5 a 2 minutos. Esto acorta el tiempo total del ciclo batch de filtración y se debe llegar a tiempos de alrededor de 9 a 10 minutos para maximizar el número de ciclos por hora y así, maximizar la capacidad del filtro. Se requiere una estrecha coordinación entre el proveedor del filtro y los ingenieros TICA del proyecto. Por ejemplo, el filtro maestro debe indicar a la bomba centrífuga de alimentación que suba su velocidad en el momento en que el filtro está preparado y abre las válvulas de admisión de pulpa. La bomba recorre la curva del sistema y a medida que aumenta la presión el flujo disminuye tal cual es el comportamiento típico de una bomba centrífuga.

Cada filtro cuenta con su PLC dedicado, en el cual se puede programar los tiempos de cada fase del ciclo. Por ejemplo, después de la carga viene la limpieza del tubo de alimentación, luego el lavado de mangueras de alimentación, luego el prensado, después el drenaje del tubo de alimentación, luego el secado con aire comprimido, después el drenaje de la presión, y finalmente la descarga de la torta.

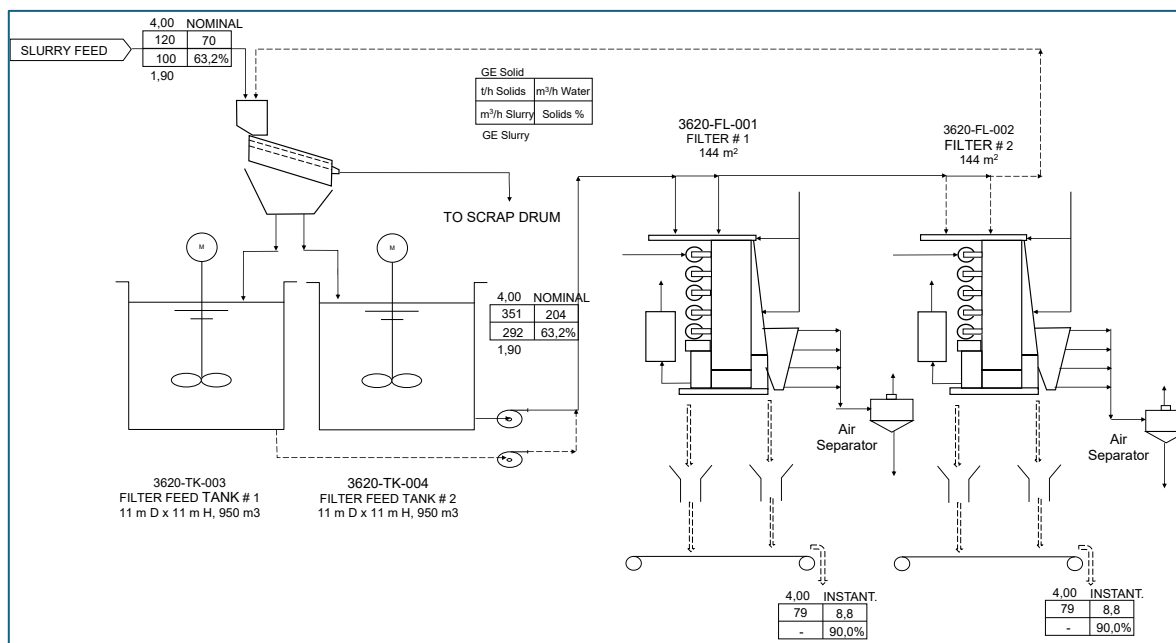


Figura N° 24: Diagrama de Flujo Filtros Larox Cerro Verde

A pedido del cliente se puede equipar el filtro Larox con celdas de carga que ayudan al control del peso del filtro después de cada carga de pulpa. Por ejemplo, supongamos que la tasa de filtración es de 550 kg/h/m², y el tiempo del ciclo de filtración es de 12 minutos, entonces un filtro de 144 m² debe producir 79,2 t/h, lo que equivale a 15,8 t/ciclo aproximadamente. Si la descarga por ciclo es menor a 16 t, el operador deberá aumentar el “setting de carga” del filtro.

En la Tabla N° 1 se presenta un ejemplo, que en esta tabla se configura un tiempo total del ciclo de filtración en 12,5 minutos en vez de 12 minutos del ejemplo anterior. La idea de esta diferencia es relevar que cada tiempo se puede programar, por ejemplo, el tiempo de secado con aire comprimido o el tiempo de alimentación. Estos parámetros de operación deben ser manipulados y controlados por los operadores de la planta de filtros según las características del material que les está llegando.

Tabla N° 3: Tiempos Programados Ciclo Filtro Larox

Fase del Ciclo	Tiempo (seg)	Tiempo (min)
Alimentación	350	5,8
Lavado tubo de alimentación	10	0,2
Lavado de mangueras de Alimentación	20	0,3
Prensado	90	1,5
Drenaje tubo de Alimentación	10	0,2
Secado	200	3,3
Drenaje de presión	25	0,4
Descarga de la torta	45	0,8
Total, ciclo	750	12,5

La Figura N° 25 muestra un esquema en planta de los filtros Larox de la concentradora C1 de Cerro verde.

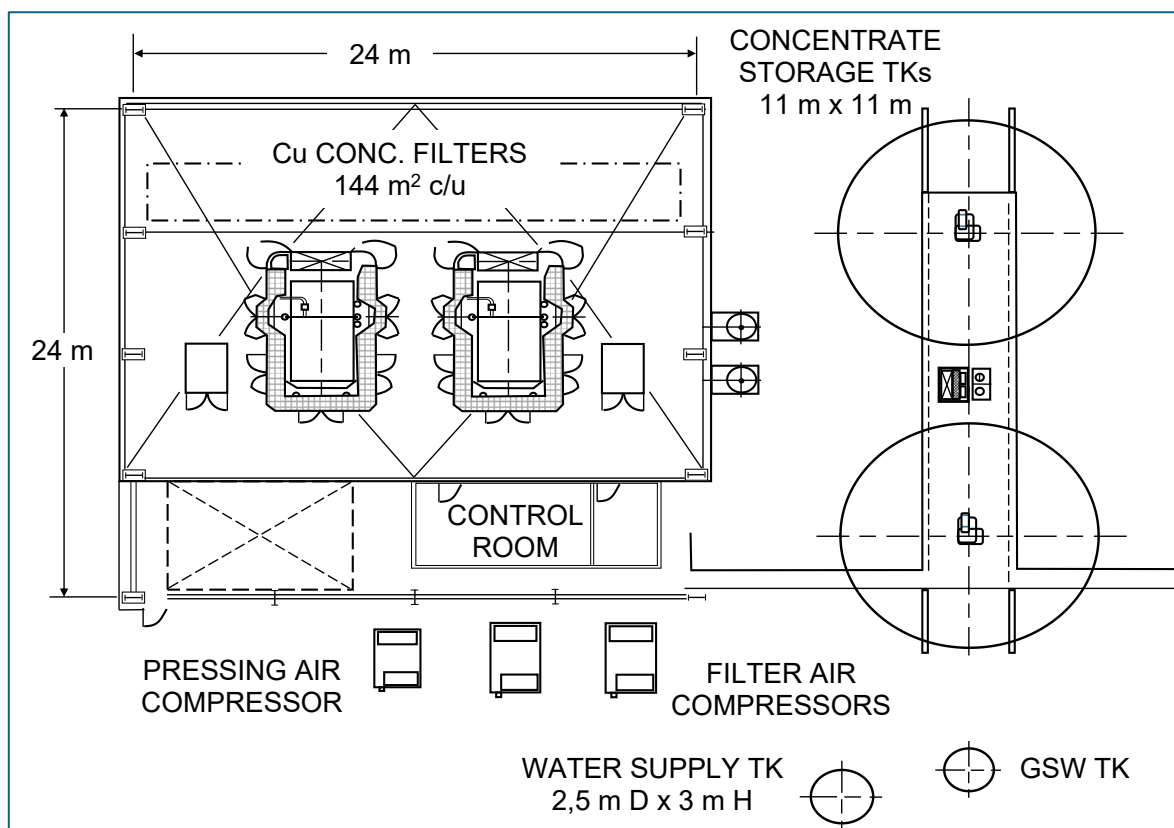


Figura N° 25: Esquema Layout Filtros Larox Cerro Verde

En la Figura N° 26 se presenta un esquema en corte de los filtros de concentrado de cobre de la concentradora C1 de Cerro Verde.

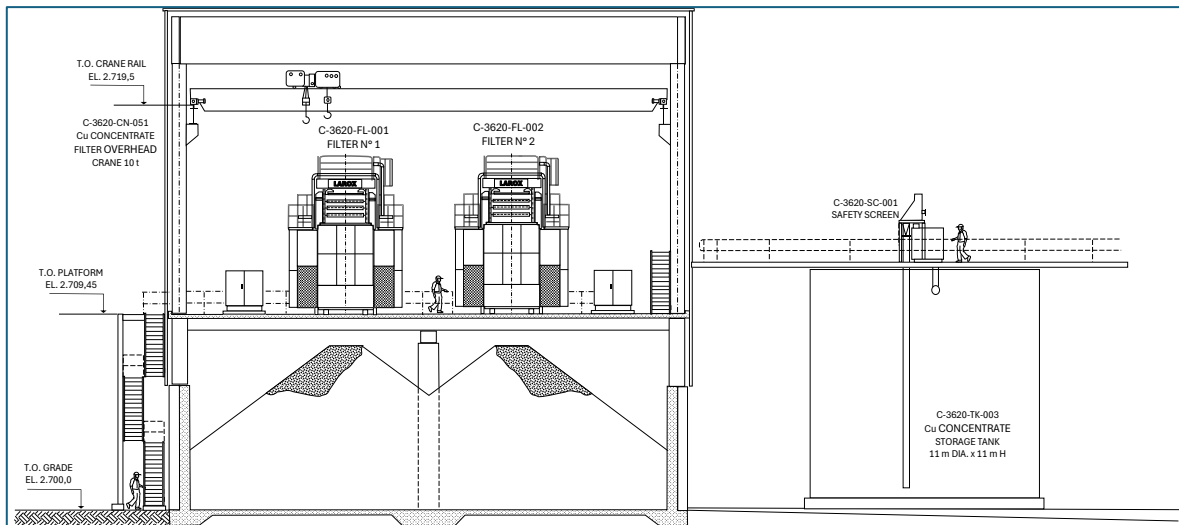


Figura N° 26: Esquema en Corte Filtros Larox Cerro Verde

Para terminar este capítulo agregar un dato interesante. Durante la visita mencionada al principio, personal de Cerro Verde indicó que en la planta de chancado secundario de C1, se habían reemplazado los chancadores de cono MP1000 por el modelo MP1250, lo cual es posible. Después del cambio que se realizó a principios del 2010, la capacidad de la planta que originalmente era de 108 kt/d había logrado en algunos días hasta 147 kt/d.

La concentradora C2 con una capacidad nominal de producción de concentrados de cobre de 3.600 t/d incluye una planta de filtros con tres unidades Larox de 144 m² cada una

Filtración en Minera Laguna Seca de Escondida

Minera Escondida desarrolló una expansión posterior a su concentradora Los Colorados y dicha expansión se denominó Fase IV. Esta expansión consideró un aumento de 110 kt/d de capacidad de procesamiento, alcanzando así un total de 230 kt/d de mineral procesado.

La planta incluye en su circuito de molienda un molino SAG de 38 pies (11,6 m) de diámetro y 20 pies (6 m) de EGL¹³ con un GMD de 19,4 MW de potencia. Tres molinos de bolas de 25 pies de diámetro cada uno equipado con accionamiento “Gearless Mill Drive (GMD), también denominado motor tipo anillo, de 13,4 MW de potencia. La distribución del bajo tamaño del del molino SAG es conducido hacia los molinos de bolas desde un cajón de bombeo equipado con dos bombas centrífugas de 1,1 MW de potencia cada una. Cada bomba alimenta un distribuidor en presión, el cual recibe la pulpa y la distribuye hacia los tres molinos de bolas desde cañerías dedicadas, vía cajones de traspaso y canaletas también dedicadas. El sistema contempla redundancia en distribuidores en presión y su bomba dedicada, lo mismo que los cajones de traspaso y las canaletas.

La Figura N° 27 muestra un esquema de planta del circuito de molienda de Laguna Seca en su diseño original, para 110 kt/d.

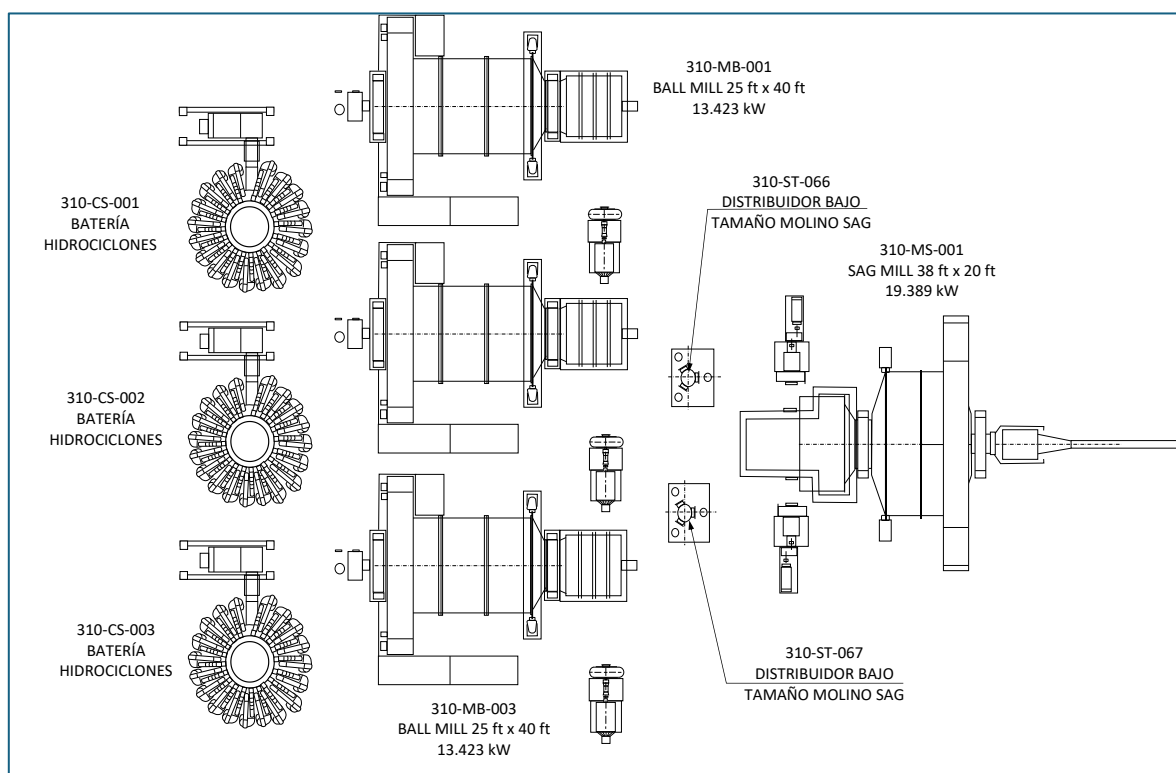


Figura N° 27: Esquema Planta de Molienda Laguna Seca Proyecto Original

¹³ EGL significa: “Effective Grinding Length”. Esto corresponde a la cámara efectiva de molienda al interior del molino.

Laguna Seca, al igual que la planta de Antamina en su expansión a 130 kt/d, cuenta con distribuidores en presión para enviar la pulpa bajo tamaño molino SAG hacia los molinos de bolas.

La flotación Rougher se realiza en seis filas de celdas de 160 m³ cada una. Tanto los concentrados de la flotación Rougher como los de la flotación Scavenger son enviados al circuito de remolienda. El producto de la remolienda alimenta la flotación de primera limpieza que incluye 20 celdas de 160 m³ cada una. La flotación Scavenger se realiza en 16 celdas de 160 m³.

La flotación de segunda limpieza se realiza en seis celdas columna de 4,5 m de diámetro y 13,4 m de altura.

La concentradora Laguna Seca definió en su criterio de diseño del año 2.000 información que curiosamente no contiene nada en materia de filtración de concentrados. Esto puede deberse a que todos los filtros de concentrado de cobre existentes de Escondida se encuentran ubicados en Puerto Coloso, y en el proyecto Laguna Seca solamente se incorporó un filtro Larox PF de 144 m² a los filtros existentes.

El concentrado de cobre procedente tanto de la concentradora Los Colorados como de la concentradora Laguna Seca son transportados por dos mineroductos al puerto Coloso al sur de Antofagasta. En Coloso existen al menos tres filtros Larox, además de otros filtros de concentrados de cobre de etapas anteriores.

En la Figura N° 28 se muestra un esquema simplificado con algunos filtros Larox instalados en Puerto Coloso. El filtro N°4 es de la expansión con la concentradora Laguna seca, también denominada Fase IV de Escondida.

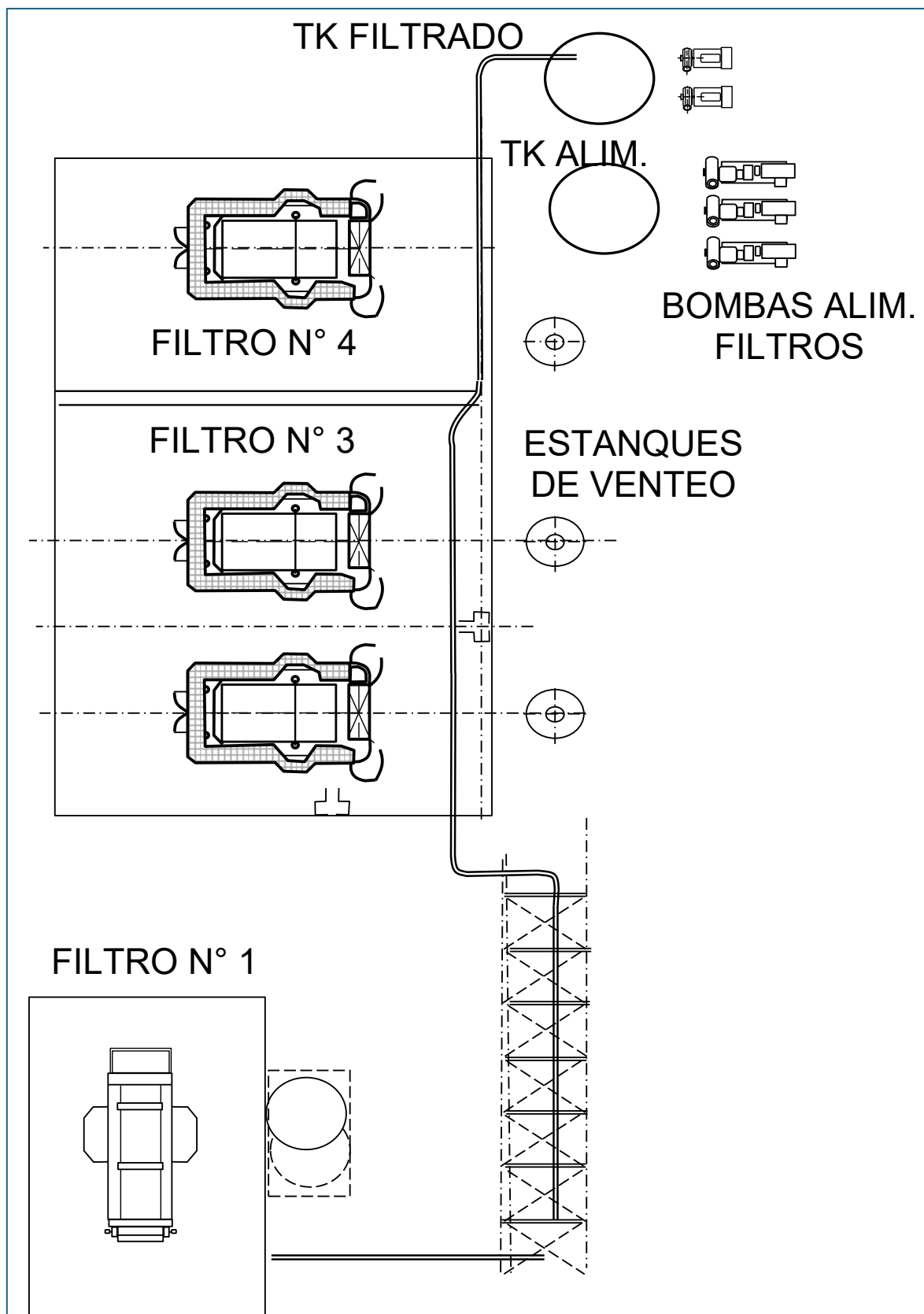


Figura N° 28: Filtros Larox en Puerto Coloso

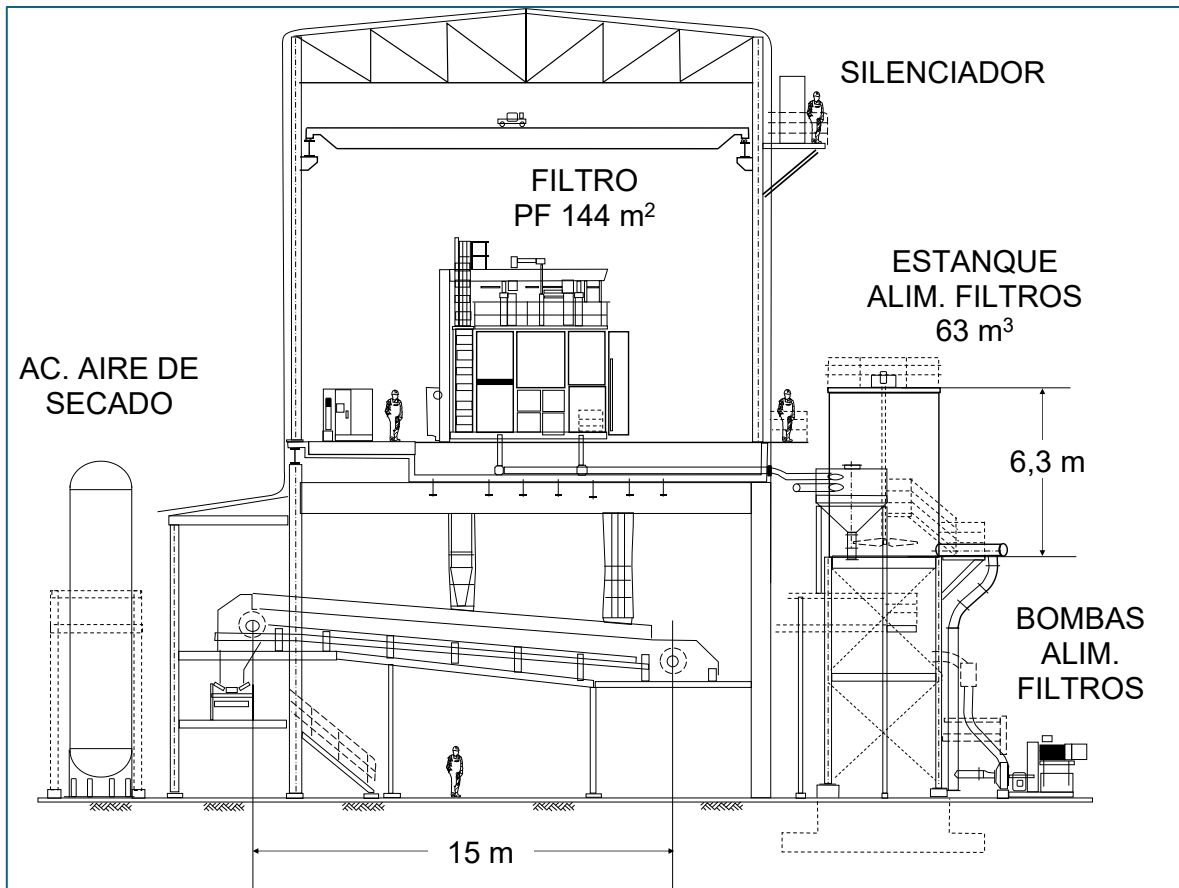


Figura N° 29: Planta de Filtros Coloso Filtro Larox PF-04

En la Figura N° 29 se presenta un esquema del filtro N°4 instalado para la expansión Fase IV de Escondida. Se observa que el estanque de alimentación al filtro se encuentra ubicado en altura lo que mejora la cabeza de la bomba de alimentación.

Filtración en Minera El Teniente

La concentradora El Teniente de Codelco tenía una producción estimada de concentrados¹⁴ de cobre el año 2015 de alrededor de 4.500 t/d. Como dicha producción tenía como base una capacidad de tratamiento de mineral de 140 kt/d, y en la actualidad es inferior, se desarrollará este enfoque para las condiciones que estaban proyectadas en el PND¹⁵ el año 2015. También se justifica este enfoque debido a un estudio desarrollado en el año 2014, en cuyos datos se basa esta presentación.

La Figura N° 30 muestra un gráfico con el PND año 2015. El gráfico presenta las toneladas por día de producción de concentrado de cobre.

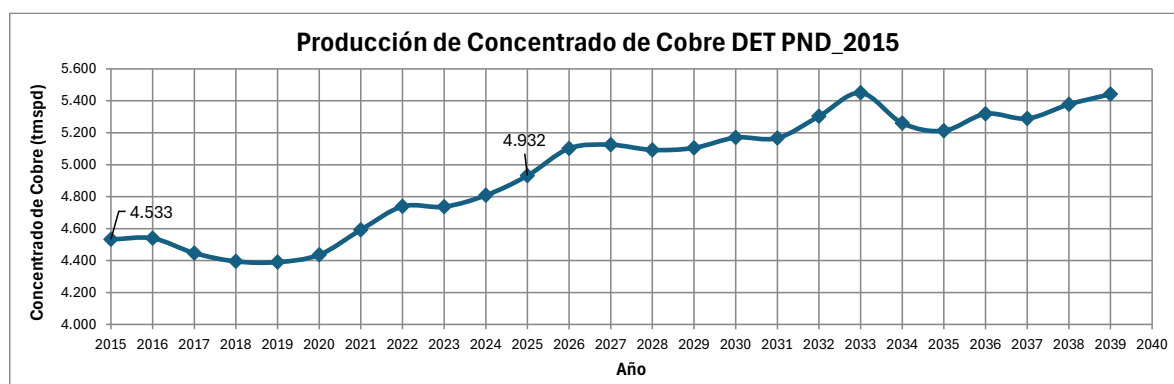


Figura N° 30: Plan de Negocio y Desarrollo para División El Teniente Año 2015

En 2025, la División El Teniente busca recuperar y superar su capacidad de tratamiento, apuntando a superar las 100 kt/d y alcanzar 113 kt/d tras un 2024 afectado por incidentes, con el proyecto Nuevo Nivel Mina asegurando una capacidad sostenible de 131 kt/d a largo plazo para mantener su producción de cobre fino.

La planta de filtros de El Teniente se encuentra ubicada en el sector denominado Caletones, cerca de los secadores y de la fundición. El concentrado producido en las distintas instalaciones de El Teniente es transportado por un mineroducto hacia el sector de la planta de filtros.

En la Figura N° 31 se muestra un esquema simplificado de los mineroductos que transportan en concentrado de cobre desde las concentradoras de Teniente hacia la planta de filtros. El concentrado en forma de pulpa es recibido en un espesador E-1 de 61 m de diámetro. En la fecha de una visita a terreno en 2014, el espesador E-3 de 21 m de diámetro, en general no era utilizado para recibir pulpa desde un cajón distribuidor.

El flujo representado en la Figura N° 31, de 165,6 t/h de sólidos representa para 24 horas un flujo de concentrado de cobre seco de 3.974 t/d.

¹⁴ En el PND del año 2015 se reporta una producción esperada de concentrado de cobre proveniente de mineral más de escorias de 4.533 tms/d.

¹⁵ El Plan de Negocio y Desarrollo (PND) es el escenario de negocio más probable para la compañía y maximiza el valor esperado, sujeto a restricciones estratégicas. Contiene una proyección del negocio para el corto, mediano y largo plazo.

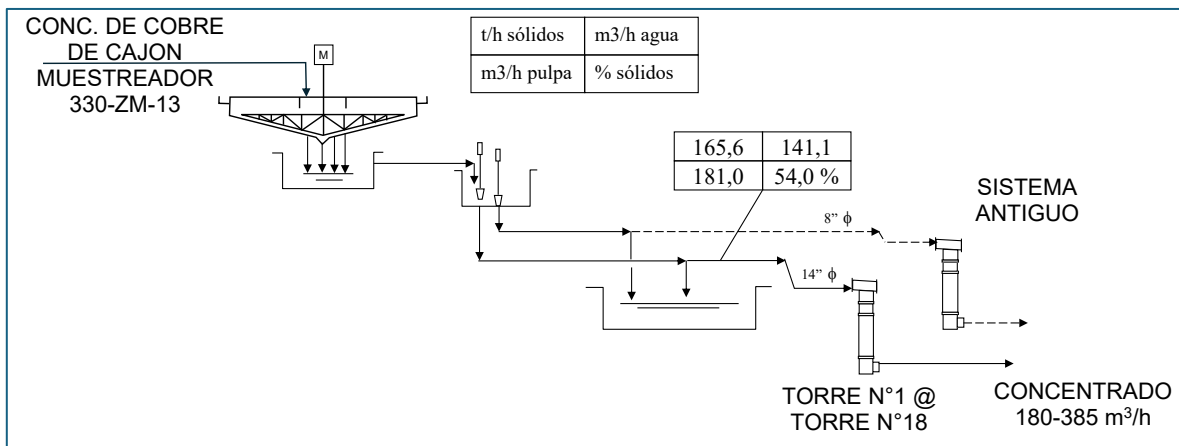


Figura N° 31: Esquema Simplificado Mineroductos desde Colón a Caletones

La Figura N° 32 presenta un esquema simplificado de las instalaciones en la vecindad de la planta de filtros. Se observa el espesador E-1 que envía en concentrado de cobre con una concentración de sólidos de 67% hacia la planta de filtros.

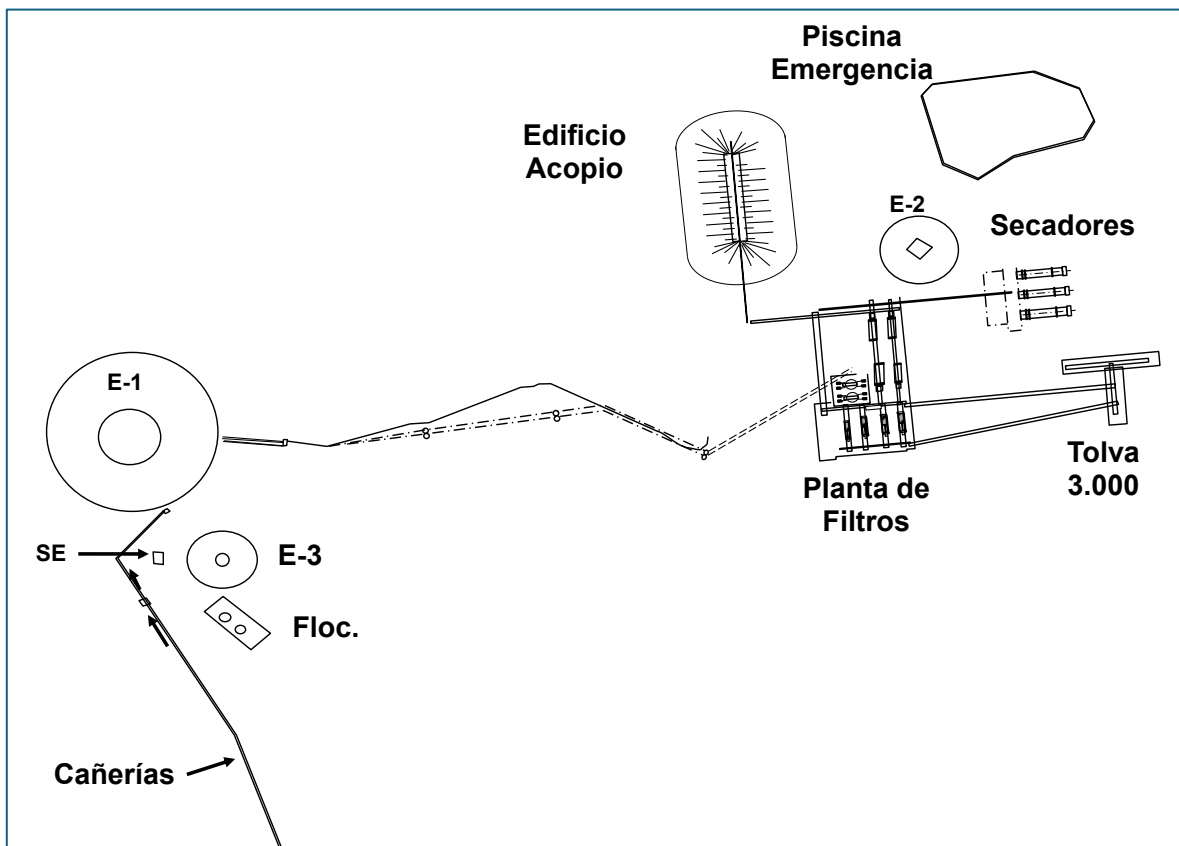


Figura N° 32: Esquema Simplificado de Instalaciones Planta de Filtros de El Teniente

En el área de la planta de filtros se encuentra una instalación con secadores rotatorios que apoyan la función de separación sólido líquido en casos en que la humedad del concentrado excede el límite requerido en la Fundición de Caletones.

La Figura N° 33 muestra un esquema simplificado de los equipos principales de la planta de filtros. Cada conjunto de filtros, es decir los filtros EIMCO y los filtros LASTA son alimentados por los estanques (420-TK-04A) y (420-TK-05A) respectivamente. En el grupo de filtros LASTA, en realidad existe un filtro denominado Filtro Teniente, el cual fue diseñado y construido por Teniente.

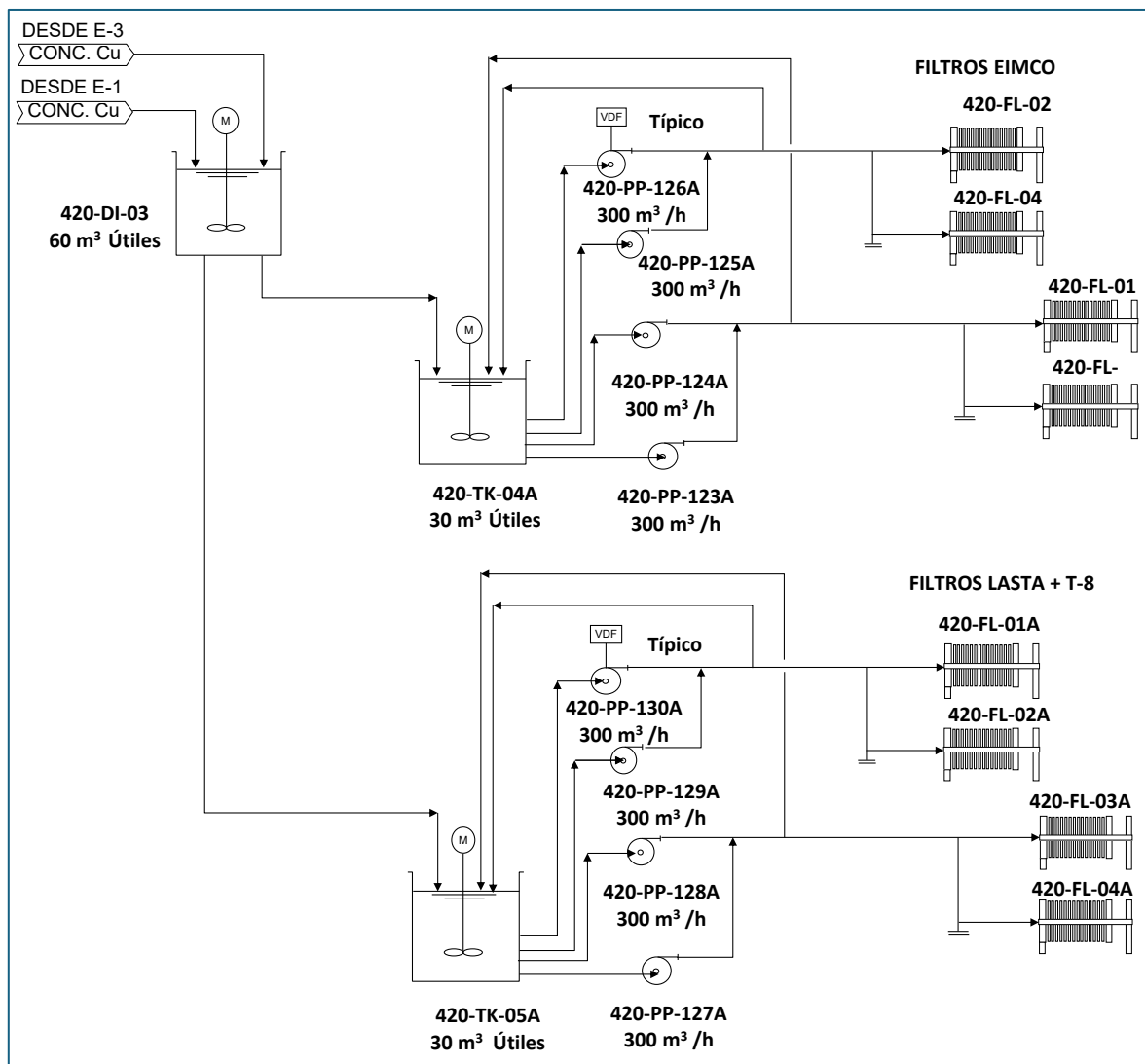


Figura N° 33: Esquema Equipos Principales Planta de Filtración

En general, a la fecha de una visita a la planta de filtros, estos equipos se veían bastante gastados por un tiempo de uso prolongado. Cada filtro cuenta con un panel local de control desde el cual se pueden ajustar parámetros tales como el tiempo de soplado, etc.

La Figura N° 34 muestra una fotografía de un mímico del panel de control Allen-Bradley de uno de los filtros. En esta fotografía se puede apreciar el formato un tanto antiguo de este panel de control.

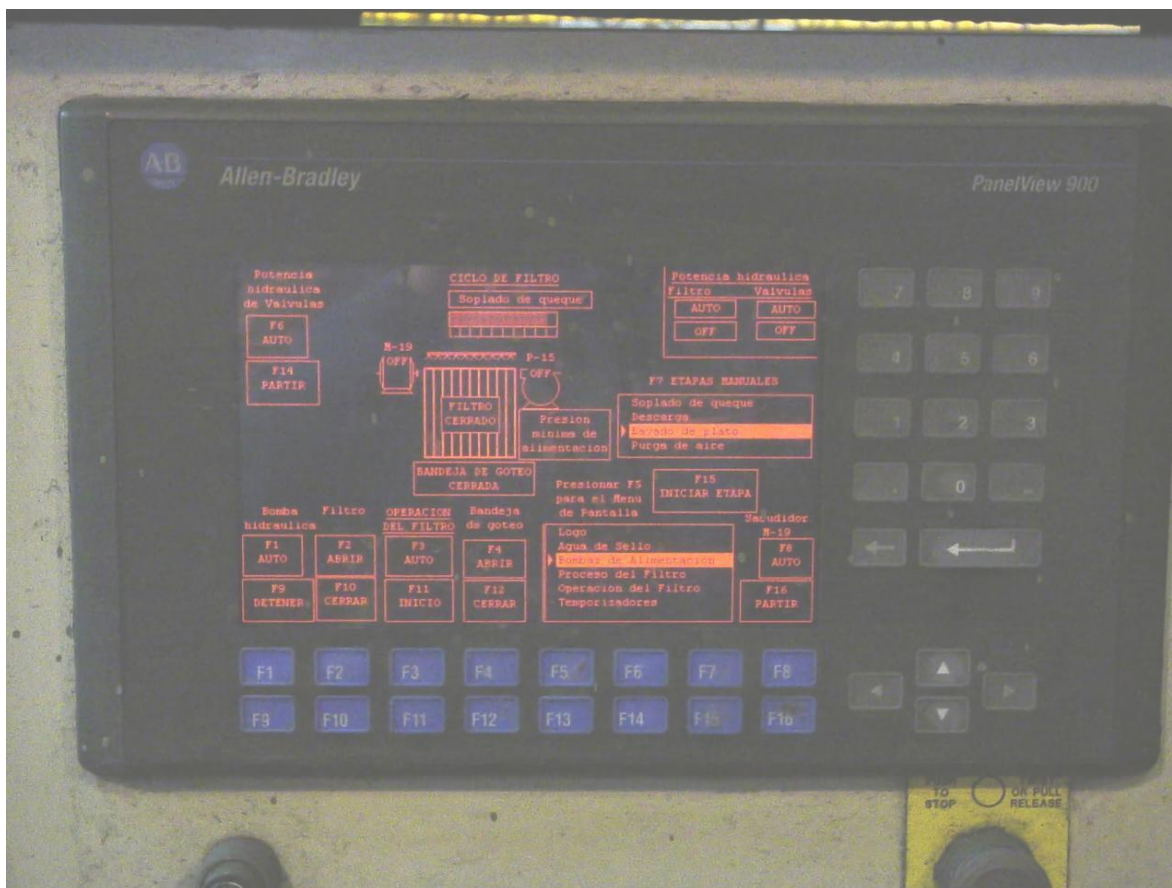


Figura N° 34: Fotografía del Panel de Control de uno de los Filtros de Teniente

La Tabla N° 4 presenta datos de operación de la planta de filtros El Teniente en el año 2014. Se observan cifras promedio diarias, en el período mostrado, con una producción de 4.411 t/d, y una desviación estándar de 289 t/d.

Tabla N° 4: Producciones Mensuales Planta de Filtros El Teniente Año 2014

TMS Producidas Mensual Filtros							
Filtro	Abr-14	May-14	Jun-14	Jul-14	Ago-14	Sep-14	Oct-14
Eimco-1	15.580	20.481	14.687	16.883	16.078	14.060	19.260
Eimco-2	10.445	16.041	13.618	14.143	16.822	20.390	18.810
Eimco-3	17.271	19.212	13.874	16.285	14.048	13.000	20.030
Eimco-4	16.533	17.281	15.552	14.495	17.481	18.800	17.350
Lasta-1	13.717	18.258	19.477	20.152	19.642	17.459	20.528
Lasta-2	13.038	10.803	14.413	18.461	14.851	18.020	11.025
Lasta-3	14.315	18.323	16.617	17.082	13.000	19.814	12.266
Teniente	15.568	19.998	20.522	24.317	20.108	20.280	23.820
Total	116.466	140.397	128.760	141.820	132.029	141.823	143.088
Días	30	31	30	31	31	30	31
Total (t/d)	3.882	4.529	4.292	4.575	4.259	4.727	4.616

Cálculos basados en esos datos, y otros no incluidos, indican que, en promedio, los filtros EIMCO tienen una capacidad de 10 t por ciclo, los filtros LASTA de 8,5 t por ciclo y el filtro Teniente de 12,3 t por ciclo.



Figura N° 35: Fotografía de los Filtros LASTA

La Figura N° 36 muestra un esquema de la disposición general de los filtros, los estanques de alimentación y las correas incluidos los secadores rotatorios y la tolva de concentrado filtrado de 3.000 toneladas.

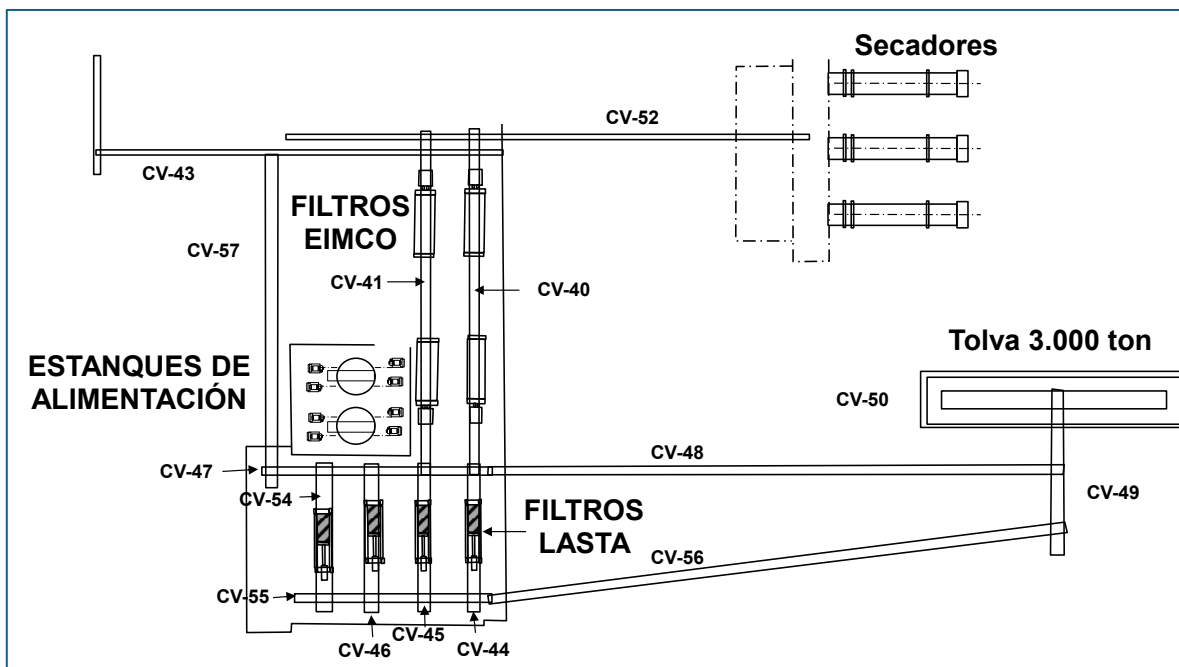


Figura N° 36: Esquema Simplificado Layout Planta de Filtros

La Tabla N° 5: Características Filtros en El Teniente, a continuación:

Tabla N° 5: Características Filtros en El Teniente

Descripción	Unidades	Filtros EIMCO	Filtros LASTA	F. Teniente
Marca y modelo	-	M1500 FBM	-	Teniente
Cantidad filtros	c/u	4	3	1
Placas por filtro	c/u	51	43	61
Área de filtrado	m ²	188	168	246
Tratamiento	t/ciclo	10,0	8,5	14,0
Tasa de filtración	kg/h/m ²	191,5	182,1	180

Un informe de una empresa de ingeniería que desarrolló un estudio de esta planta en el año 2014 presenta las siguientes observaciones:

- Los estanques no poseen boquillas de sacrificio (rotura frecuente)
- Las bombas no cuentan con variador de frecuencia (flujo no se puede controlar durante el llenado)
- Las cañerías no son revestidas
- Los fittings utilizados no son apropiados para impulsión de pulpas
- Las bombas quedan en shut off¹⁶ cuando no alimentan los filtros
- Las salas eléctricas no cuentan con espacios disponibles

Otras observaciones del informe señalan que:

- No se cuenta con pruebas metalúrgicas que actualicen la tasa de filtración
- Los filtros se alimentan en base al tiempo (definido en forma manual)
- Solamente el filtro Teniente cuenta con celdas de carga
- Existen problemas en el secuenciamiento de operación de las compuertas
- No existen pesómetros que permitan determinar el rendimiento de cada una de las plantas
- Se observa que no existe una lógica de ingreso de filtros a la operación
- Existen tiempos muertos durante los ciclos de filtración
- El tiempo de los ciclos disminuye cuando no operan todos los filtros por planta (¿para mantener la producción ya que los secadores pueden paliar un concentrado con humedad muy alta?)
- No hay información que pueda ser rescatada y analizada para la toma de decisiones, respecto a los tiempos de las etapas de los ciclos

La Figura N° 37 muestra una fotografía tomada el año 2015 de uno de los estanques de alimentación a los filtros.

¹⁶ Una bomba centrífuga se dice que está en estado “shut off” cuando está trabajando a su máxima presión al tener flujo cero por una descarga que no fluye.



Figura N° 37: Derrames Acumulados en Estanque de Alimentación

La Figura N° 38 muestra un diagrama de los equipos principales, incluyendo las correas transportadoras y los acopios de concentrado de cobre al año 2015.

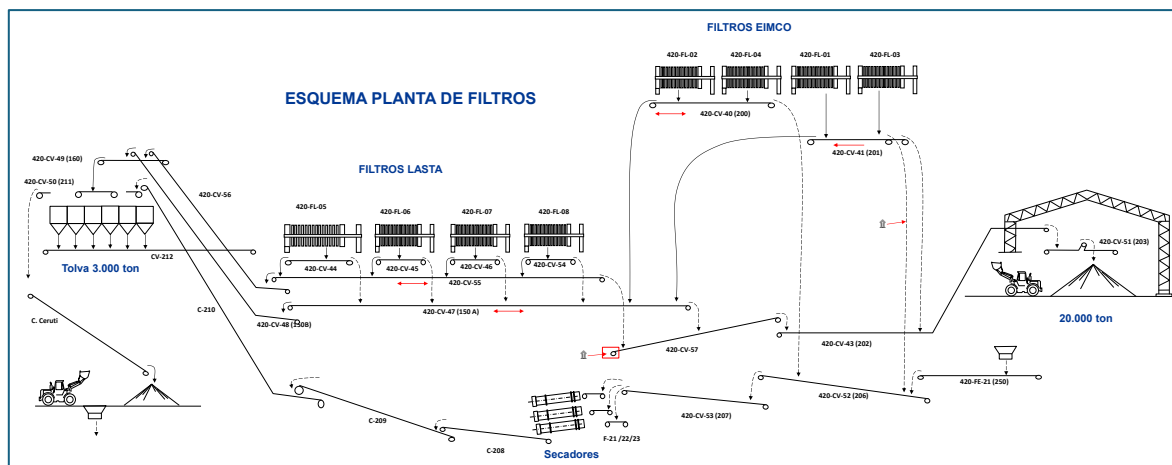


Figura N° 38: Esquema General Filtros, Secadores, Correas Transportadoras y Acopios

Filtración en la Concentradora Las Tórtolas

Existen dos plantas de flotación colectiva y dos de flotación selectiva en la concentradora Las Tórtolas.

La concentradora N°1 tiene una capacidad de tratamiento de alrededor de 60 kt/d, mientras que la concentradora N°2 tiene una capacidad de tratamiento de alrededor de 87 kt/d. No se cuenta en este documento con la capacidad actual de procesamiento en ambas plantas, pero un documento de permisos ambientales declara que la capacidad alcanzaría la tasa de procesamiento total de 160 kt/d con un máximo de 180 kt/d.

La concentradora N°1 de Las Tórtolas, que denominaremos C1, cuenta con dos filtros hiperbáricos de 60 m² de área de filtración cada uno.

La Figura N° 39 presenta un esquema de los filtros hiperbáricos de la concentradora C1 de Las Tórtolas. Este esquema fue tomado de una ingeniería de Minmetal realizada el año 2005 y es posible que se haya construido otro arreglo general.

La concentradora C1 de Las Tórtolas con sus dos filtros hiperbáricos de 60 m² es capaz de filtrar con uno solo de sus filtros la totalidad del concentrado de cobre producido. Sin embargo, la utilización efectiva de los filtros, datos del año 2017, indican que fue en promedio de 58,8% para los hiperbáricos de 60 m².

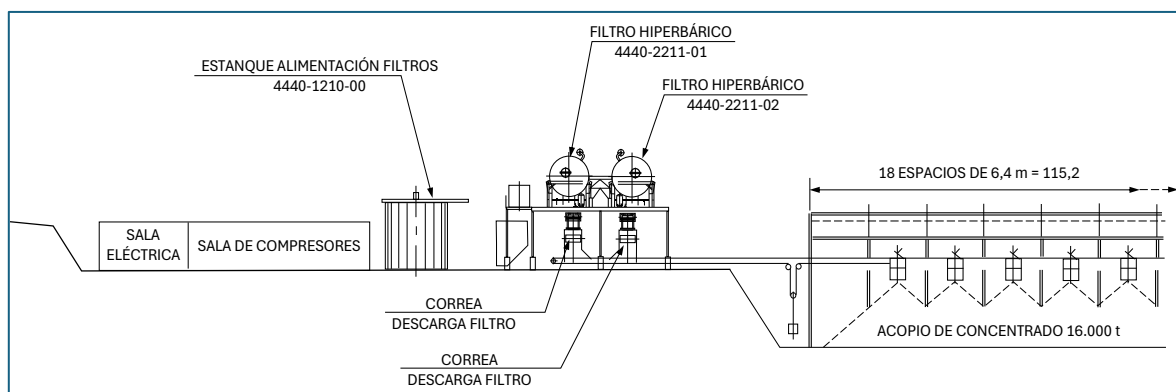


Figura N° 39: Esquema simplificado de los Filtros Hiperbáricos de 60 m² en Las Tórtolas

La Figura N° 40 muestra un esquema simplificado de los filtros hiperbáricos de 120 m².

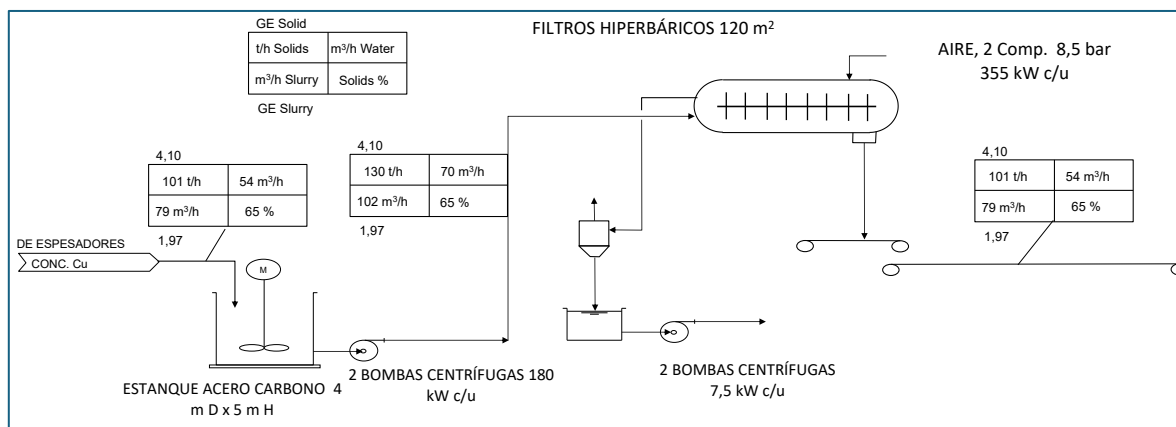


Figura N° 40: Diagrama de Flujo Filtro Hiperbárico Planta N°2 Las Tórtolas

Se presentan, en la Figura N° 41: Datos de Andritz de Tasas de Filtración de Filtros de Vacío e Hiperbáricos. Se observa que a presiones dentro de la cámara del hiperbárico entre 5 a 6 bar las tasas de filtración declaradas por Andritz son de 750 a 1.200 kg/h/m² para concentrados de cobre.

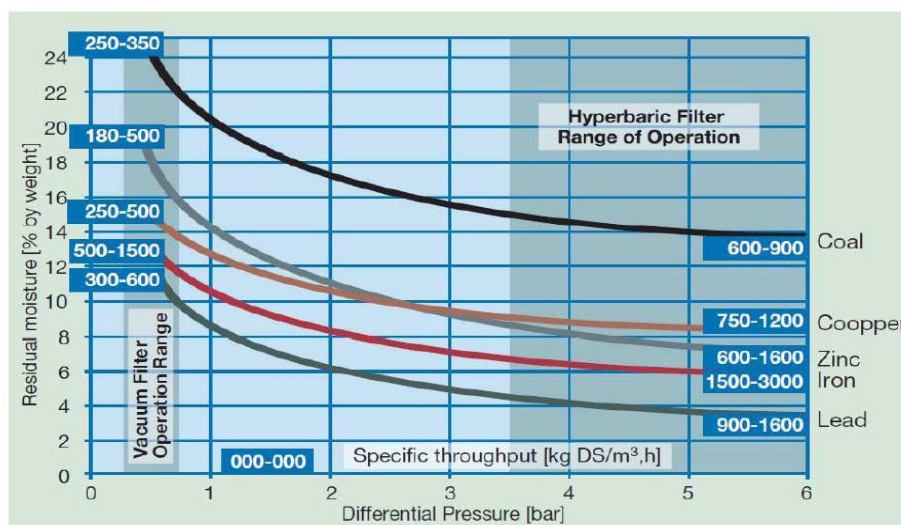


Figura N° 41: Datos de Andritz de Tasas de Filtración de Filtros de Vacío e Hiperbáricos

Es importante recalcar, una vez más, que las tasas de filtración declaradas por los fabricantes de filtros o datos de pruebas con filtros piloto, son datos instantáneos y para diseñar una planta de filtros es necesario utilizar un número (ex ante) para la utilización efectiva del equipo durante su operación en la “realidad” de la faena. A riesgo de parecer majadero, se insiste en ser muy conservadores en el número asignado para la utilización efectiva de los filtros, en la etapa de diseño. Los fabricantes, en general, declaran una disponibilidad muy alta para sus equipos, pero en la práctica el número de horas efectivas de uso de un equipo depende no sólo de la gestión de activos de la planta, sino de otras variables relacionadas con otros equipos con los cuales debe interactuar el filtro. Ver Tabla N° 6.

Tabla N° 6: Porcentajes de Tiempo de Operación Efectiva Filtros Hiperbáricos Año 2017

Mes	LT1	LT2
Enero	41,4%	55,7%
Febrero	60,3%	77,4%
Marzo	62,8%	76,4%
Abril	68,1%	80,1%
Mayo	65,8%	73,3%
Junio	42,3%	56,6%
Julio	57,7%	65,7%
Agosto	61,4%	73,9%
Septiembre	64,9%	55,4%
Octubre	64,0%	53,0%
Noviembre	51,8%	55,3%
Diciembre	64,7%	75,9%
Promedio	58,8%	66,6%
Desv. Std.	8,6%	10,2%

Supongamos que el plan minero incluye una producción de 2.183 t/d de concentrado de cobre. Para dimensionar la planta de filtros se sugiere la siguiente aproximación:

$$T_D = \frac{2.183 \text{ t/d}}{0,7 \cdot 24 \text{ h/d}} = 130(\text{t/h})$$

Donde:

T_D = Tonelaje horario capacidad de filtración (t/h)

0,7= 70% de utilización efectiva

De esta manera, aunque pareciera que estamos sobredimensionando la planta de filtros de concentrado de cobre, se obtiene un dimensionamiento con un factor de diseño que es más realista que utilizar una “disponibilidad” cercana al 85% que es lo que el cliente probablemente quiera imponer. Para que insistir en la variabilidad de las cifras de producción de las plantas mineras, que es una situación que no es posible suavizar ni con las mejores prácticas de gestión de activos. Cualquier planta minera presenta fluctuaciones que pueden llegar a ser del orden de 20% o incluso más.

En los datos que se disponen de plantas de filtros con distintas tecnologías de filtración se puede observar que las utilizaciones efectivas reales medidas en planta difícilmente alcanzan el 85%. En los datos de los filtros hiperbáricos de Las Tórtolas del año 2017, se observa que los tiempos de operación efectivos no alcanzan el 70% como promedio.

En el proyecto Ampliación de Antamina, operadores de los filtros Larox indicaron que “una disponibilidad operacional de 75% es consistente con plantas de filtros similares”. Se referían a filtros tipo torre marca Larox modelo PF.

En Escondida, cuando migraron desde filtros cerámicos a filtros Larox se obtuvo datos de “disponibilidad” desde agosto 2003 a marzo 2004 y el promedio de esos meses entregó una disponibilidad de 59,7% en promedio, con una desviación estándar de 12,2%. Hay que recordar que en esas fechas era común referirse al tiempo efectivo de marcha de un equipo como su disponibilidad. Posteriormente se empezó a utilizar el término “utilización efectiva”.

En cualquier caso, es más importante, desde el punto de vista de la ingeniería de diseño de plantas, entender que, aunque en planta usen la norma ASARCO de gestión de activos, para diseño necesitamos una cifra conservadora de tiempo efectivo de marcha, que cubra los primeros años cuando todavía la operación navega por su curva de aprendizaje.

También hay que recordar que un dato “extraoficial”, pero de buena fuente indica que en el año 2006 (aproximadamente) la utilización promedio de los filtros de Collahuasi (Metso VPA 1540-50) era de 55% a 60%.

Es una idea errónea difícil de corregir que las empresas de ingeniería insistan en usar utilizaciones de 85% para diseño de plantas de filtros. Todos los datos que ha podido recabar, el que escribe, es que dichas utilizaciones no son alcanzadas en forma consistente por las plantas de filtración de concentrados de cobre.

La Figura N° 42 muestra un esquema en corte de un filtro hiperbárico. Se puede observar la figura de un trabajador dentro de la cámara del filtro.

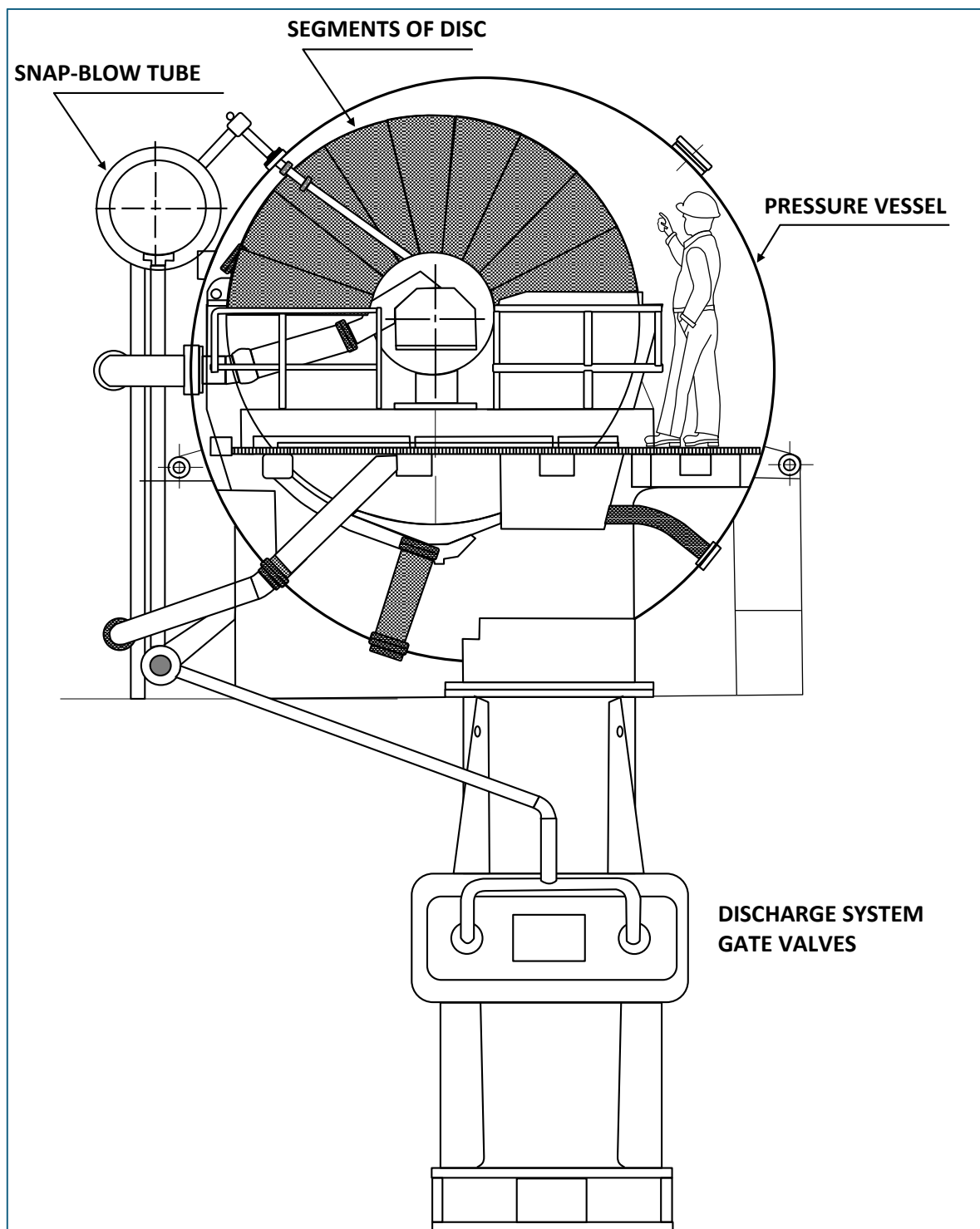


Figura N° 42: Esquema Filtro Hiperbárico

La Figura N° 43 corresponde a un gráfico de los datos de la Tabla N° 6.

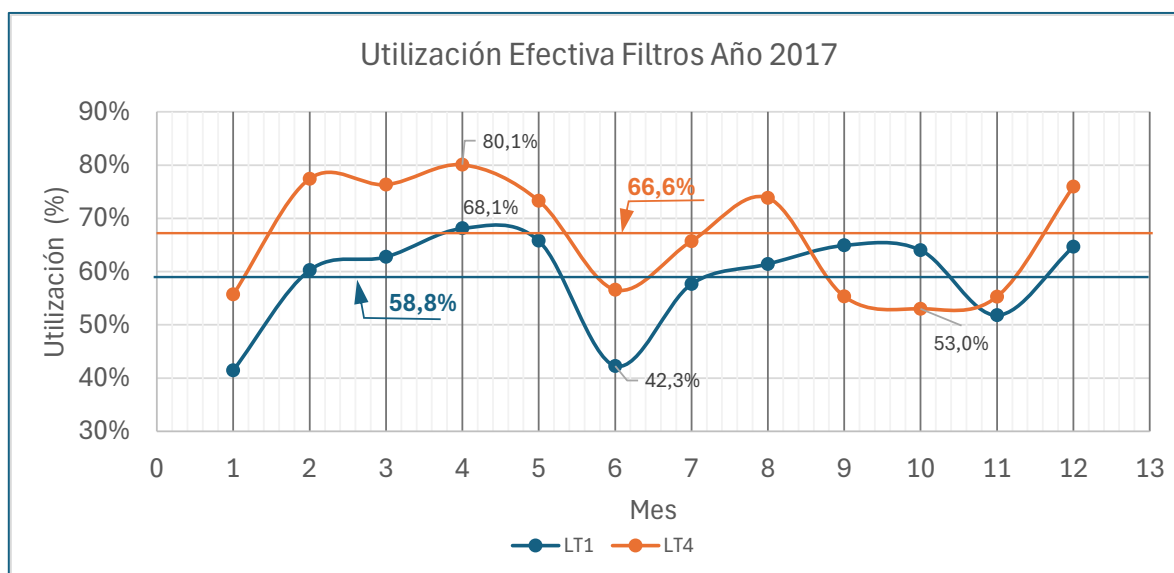


Figura N° 43: Gráfico de Utilizaciones Efectivas de los Filtros Hiperbáricos Tórtolas en Año 2017

Estos son datos entregados por personal de operaciones y han sido simplificados para llegar a cifras que indiquen tiempos efectivos de marcha.

Filtración de Relaves en Planta de Pellets

La Planta de Pellets de Huasco es una instalación minera que data de 1978, y cuyo objetivo es procesar e incorporar valor al producto de la minería del hierro. Su proceso consiste en recibir minerales de hierro preconcentrados, desde minas ubicadas en la franja ferrífera chilena, y someterlos a molienda y concentración mediante procesos físicos (gravimétricos y magnéticos) para generar un producto comercial denominado concentrado de hierro o pellet Feed. Alternativamente este producto puede ser aglomerado y sometido a un proceso térmico para obtener pellets de hierro.

El proyecto que se describirá se denomina “Depósito de Relaves Filtrados Planta de Pellets” y a juicio del que escribe representa un gran logro ya que elimina la disposición de los relaves en el mar y se implementa un sistema de filtración, transporte y depositación en una plataforma en tierra.

La ejecución del proyecto permite dar cumplimiento al compromiso ambiental de Compañía Minera del Pacífico, en adelante CMP, de terminar la descarga de relaves en el mar y asegurar la continuidad operacional de la Planta de Pellets. Considerando que la solución permite una mayor reutilización de las aguas de proceso mediante reingreso de las aguas captadas en la filtración, se mejora también la eficiencia hídrica del proceso global.

El Proyecto está constituido por tres sectores:

- Sector Filtrado: consta de un sistema de tres filtros prensa, con capacidad nominal para procesar hasta 5.000 t/d
- Sector Transporte: constituido por una correa transportadora overland de aproximadamente 0,8 kilómetros de longitud y estación de transferencia y descarga
- Sector Depósito: depósito de relaves filtrados y camincho costero

La forma normal de operación y supervisión de la planta será Remoto/Automático. Esto está declarado en el Anexo 1 del Criterio de Diseño Eléctrico del proyecto RFPP. Dice: “todos los equipos se operarán desde las Estaciones de Trabajo del Operador (ETO) ubicada en la sala de control. Desde aquí se seleccionará la operación local (para caso de mantenimiento) o remoto (para caso de operación normal)”. A menos que se indique lo contrario para un equipo en particular, será el operador de dichas consolas quien determine el modo de operación del equipo, a través de selectores virtuales disponibles en dichas estaciones de operación. Cualquiera sea el modo de operación, este será mostrado en los despliegues gráficos a un costado del símbolo del equipo.

El proceso comienza con la impulsión de relaves espesados desde dos estanques reguladores agitados existentes hacia planta de filtrado de relaves mediante el uso de un sistema de bombas del tipo centrífuga horizontal (PP9925-1, PP9925-2, PP9925-3 y PP9925-4). Estas bombas tienen una recirculación hacia los estanques reguladores, que será usada en el momento en que dejen de alimentar con relave a cada filtro.

El proceso de filtrado se realizará en tres filtros presurizados (PP9921-1, PP9921-2 y PP9921-3), horizontales de placas verticales, con una capacidad máxima de filtrado de 6.000 t/d, donde cada filtro puede procesar hasta 2.000 t/d de relaves. La operación de los filtros se realizará de manera secuencial a fin de asegurar el transporte de pulpa alimentada mediante

bombeo hacia los filtros de relaves y la descarga del queque filtrado hacia cada alimentador de correa (PP9921-4, PP9921-5 y PP9921-6) que posteriormente descargará sobre la correa colectora (PP9931-1). La humedad del queque producido es variable y debe encontrarse, según lo establecido por los criterios para transporte, en el rango 15,3% a 16,7% en base húmeda (equivalente a 18,1% y 20% en base seca respectivamente).

Cada alimentador de correa dispondrá de disgregadores o trituradores (PP9921-19, PP9921-20 y PP9921-21), uno por cada línea de filtrado, ubicados bajo el chute de descarga de cada alimentador de correa, lo cual permitirá garantizar que tanto la correa colectora (PP9931-1) como la correa overland tubular (PP9934-5) reciba un material con un tamaño de partícula adecuado (máximo de 120 mm). Desde el alimentador de correa se descarga el queque filtrado a la correa colectora del tipo convencional (PP9931-1) que dispone de un pesómetro (PP9934-6) para pesar la carga transportada, un electroimán (PP9931-1-1) y un detector de metales (PP9931-1-3). La correa colectora descarga en un chute pantalón equipado con una compuerta hidráulica desviadora. Esta compuerta hidráulica permite descargar ya sea a piso o a una correa overland tubular. Dependiendo de la humedad la compuerta desviará la carga a piso o hacia la correa tubular. La correa overland tubular a medida que avanza, se enrolla tomando una forma tubular para evitar la caída de material y la emisión de polvo. La correa tubular de longitud igual a 848 m descarga el material en el edificio de acopios de relave filtrado, compuesta por dos acopios de 330 t cada uno. Desde los acopios, por medio de cargador frontal, se cargarán los camiones los cuales llevarán los relaves filtrados hasta su disposición final en el depósito de relaves.

El agua filtrada de cada filtro, producto del queque filtrado, será enviada gravitacionalmente a la sentina de agua filtrada (PP9923-1). Mediante el uso de bombas de transferencia (PP9923-2 y PP9923-3) se enviará el agua recuperada hacia los estanques de agua recuperada (PP9923-10 y PP9923-16), los cuales abastecerán al sistema de lavado de telas y manifold de baja presión de manera directa (agua sin tratamiento) y al sistema limpieza de agua (filtro polishing, PP9923-13). El agua limpia generada del filtro polishing será enviada a los estanques de agua limpia para lavado de alta presión (PP9923-14 y PP9923-17), los que proporcionarán al lavado de telas y placas diario de cada filtro de relaves. El agua de sello se obtendrá desde las instalaciones existentes en planta de pellets, y permitirán abastecer a las bombas de impulsión de relaves a la etapa de filtrado.

Finalmente, la solución de lavado de telas, manifold y placas será enviada a la sentina de repulpeo (PP9922-1), para luego ser bombeada al espesador de relaves N°3 para su procesamiento.

La Figura N° 44 presenta el esquema general del proceso de filtrado, transporte y disposición final de los relaves filtrados del proyecto.



Dos estanques reguladores reciben una Pulpa de relaves desde un cajón repartidor y tienen asociadas cuatro bombas centrífugas que alimentan a los filtros de relaves.

La Figura N° 45 muestra un esquema con los estanques reguladores de pulpa de relaves.

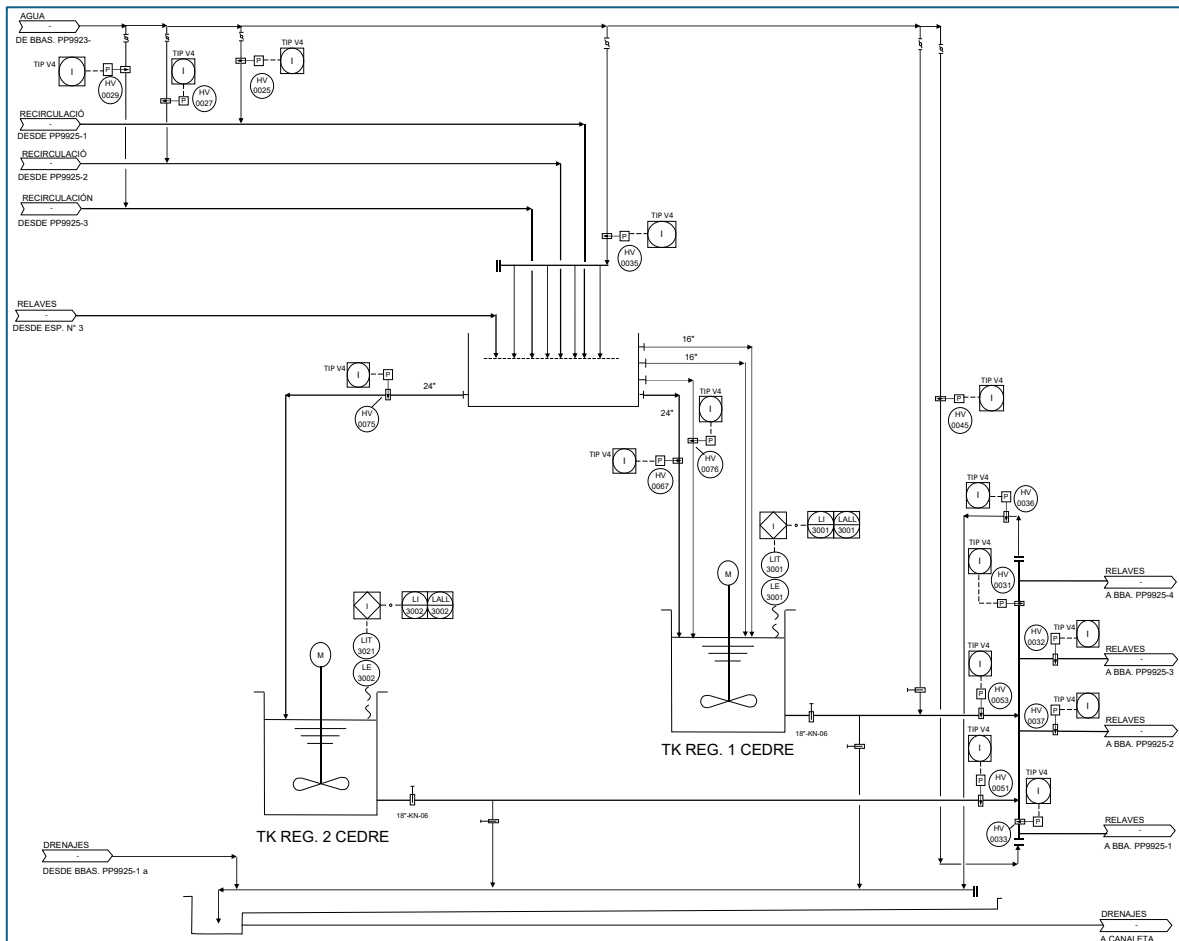


Figura N° 45: Estanques Reguladores Pulpa de Relaves

En la Figura N° 46 se observa un esquema con las dimensiones de uno de los estanques reguladores. La filosofía de operación indica que la operación normal será con uno de los dos estanques mientras el otro permanece en espera para tener capacidad de maniobra en caso de dificultades. Por supuesto habrá rotación entre el estanque el servicio y el estanque en espera.

Existe una condición de nivel mínimo de 690 m^3 correspondiente a un 26,3% de pulpa en el estanque en servicio. Dicho nivel mínimo está relacionado con la protección de los agitadores de manera de evitar que estén en servicio con un nivel por debajo de un valor determinado.

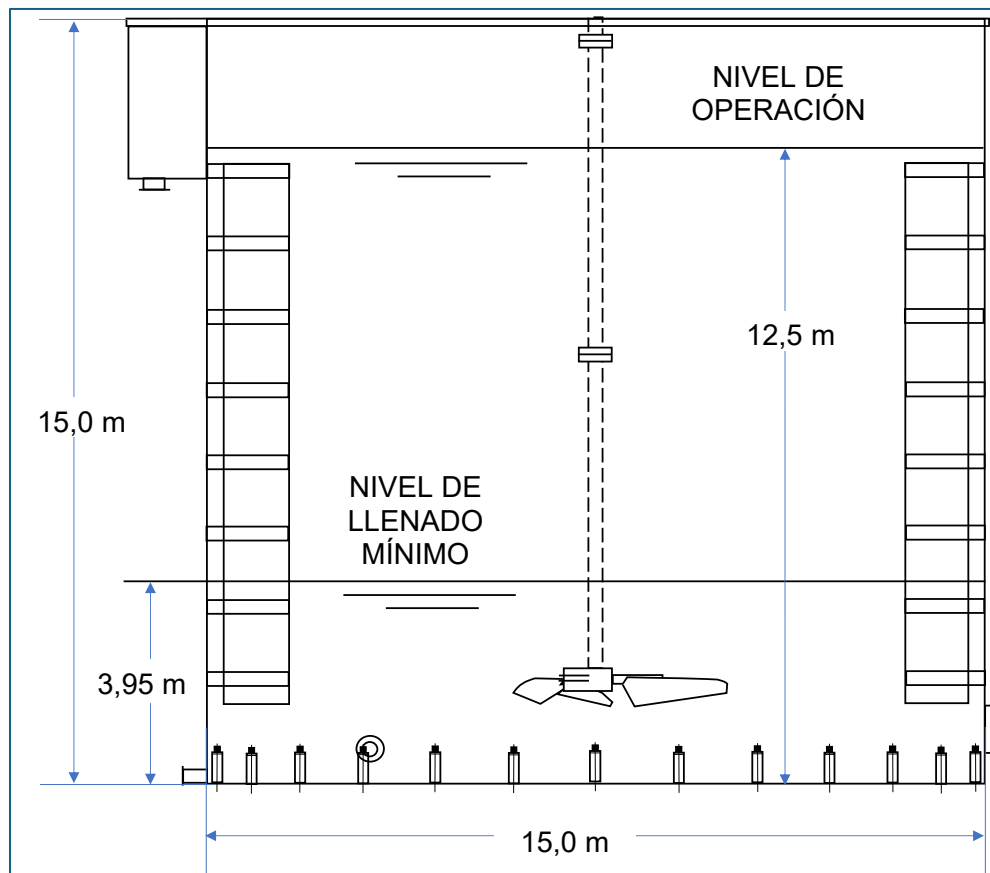


Figura N° 46: Esquema de un Estanque Regulador

La Figura N° 47 muestra un esquema simplificado de los enclavamientos de las bombas de alimentación a los filtros de relaves. No sigue exactamente la norma ANSI/ISA-5.1 sino, más bien es una representación esquemática que indica lo siguiente:

- **Nivel Bajo-Bajo (LALL-3001):** Este valor de nivel del estanque con alarma LALL (Level Alarm Low Low) detiene el agitador y la bomba.
- **El Interruptor de flujo FSL:** Detiene la bomba por flujo demasiado bajo de agua de sello de la bomba. Este flujo puede dañar la camisa del eje donde está alojado el sello prensa estopa por temperatura alta al fallar la lubricación y enfriamiento del sello por flujo insuficiente.
- **Válvula solenoide on/off:** La válvula abre con la partida de la bomba. Cierra con su detención.

La válvula FSL-XXX de la Figura N° 47 representa una válvula que debe abrir segundos antes de la partida de la bomba que debe arrancar para alimentar al filtro correspondiente. También se representa en forma esquemática dos enclavamientos que corresponden a nivel bajo que debe alarmar primero (nivel Bajo) y detener (nivel Bajo-Bajo) tanto la bomba como el agitador en caso de llegar a dicha condición.

Cada filtro tendrá una bomba de alimentación dedicada, pero con cuadros de válvulas de corte actuadas remotamente, donde será posible sacar de operación cualquiera de las tres bombas y usar la bomba standby para su reemplazo.

Las bombas estarán equipadas con Variador de Frecuencia (VDF) para control de velocidad. Partirán al inicio de la operación de los filtros, acelerarán en cada ciclo, en fase de alimentación, y el flujo y la presión se moverán (en su curva de operación) hasta el punto en que el tiempo de alimentación de pulpa del ciclo llegue a su fin. En ese momento el VDF disminuirá la velocidad hasta un punto en que la pulpa pueda retornar sin que se produzca una velocidad límite¹⁷ de depositación en la cañería de retorno. Por restricción del manifold de admisión de las bombas de alimentación a los filtros, se deben mantener tres bombas en recirculación o bien una combinación que asegure un flujo de 810 m³/h por dicho manifold. Esto evita la sedimentación y embanque de tuberías en ese punto.

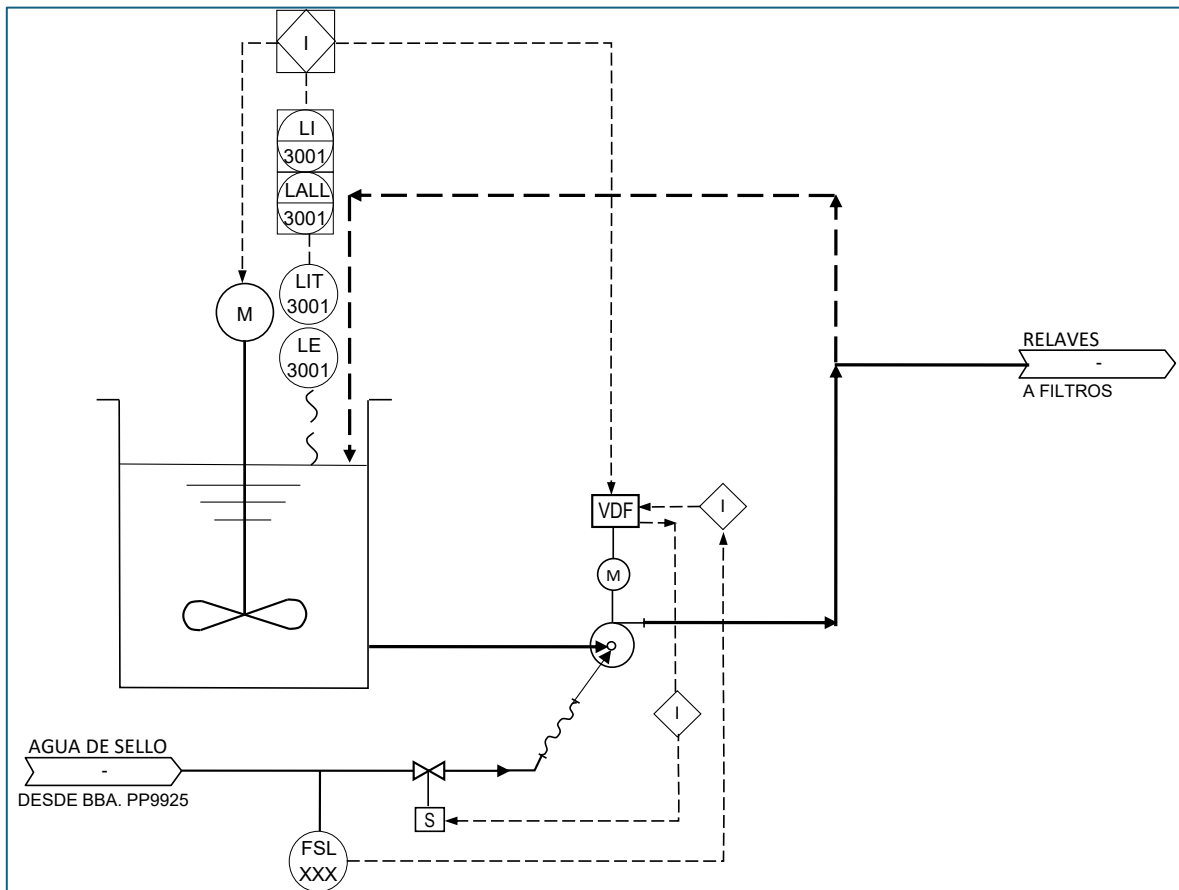


Figura N° 47: Esquema simplificado Enclavamientos Bombas Alimentación Filtros

La Figura N° 48 presenta las curvas de operación, para diferentes velocidades, de una bomba centrífuga tal como la que alimentará a los filtros prensa. Se observan curvas de operación de la bomba con el flujo en el eje horizontal, en m³/h, (eje de las abscisas) y la cabeza dinámica en metros, en el eje vertical (eje de las ordenadas). Cada curva corresponde a una velocidad de giro del rodete en rpm. El “sistema”, considerado en términos de comportamiento de una bomba centrífuga, es todo el circuito exceptuando la bomba misma. Entonces, el sistema

¹⁷ La velocidad límite o velocidad crítica de una pulpa que fluye por una cañería es aquella en que las partículas ya no son arrastradas por el agua y tienden a sufrir un régimen de transporte que se empieza a depositar y puede bloquear eventualmente el flujo por la cañería.

incluye el estanque de alimentación (con un nivel de fluido dado), la cañería de alimentación, la cañería de descarga y todos los “fittings” (accesorios en las cañerías). Todo esto “externo a la bomba”, presenta una resistencia (o ayuda en el caso del nivel del estanque de alimentación) al transporte del fluido y esto equivale a la energía por unidad de masa y volumen que la bomba debe desarrollar para elevar el fluido hasta una altura, en metros, equivalente a tales resistencias al transporte del fluido. La cabeza dinámica total desarrollada por la bomba es igual a la diferencia de presión entre la descarga de la bomba y la succión de la bomba medidos a la misma elevación cuando los diámetros de succión y descarga son iguales.

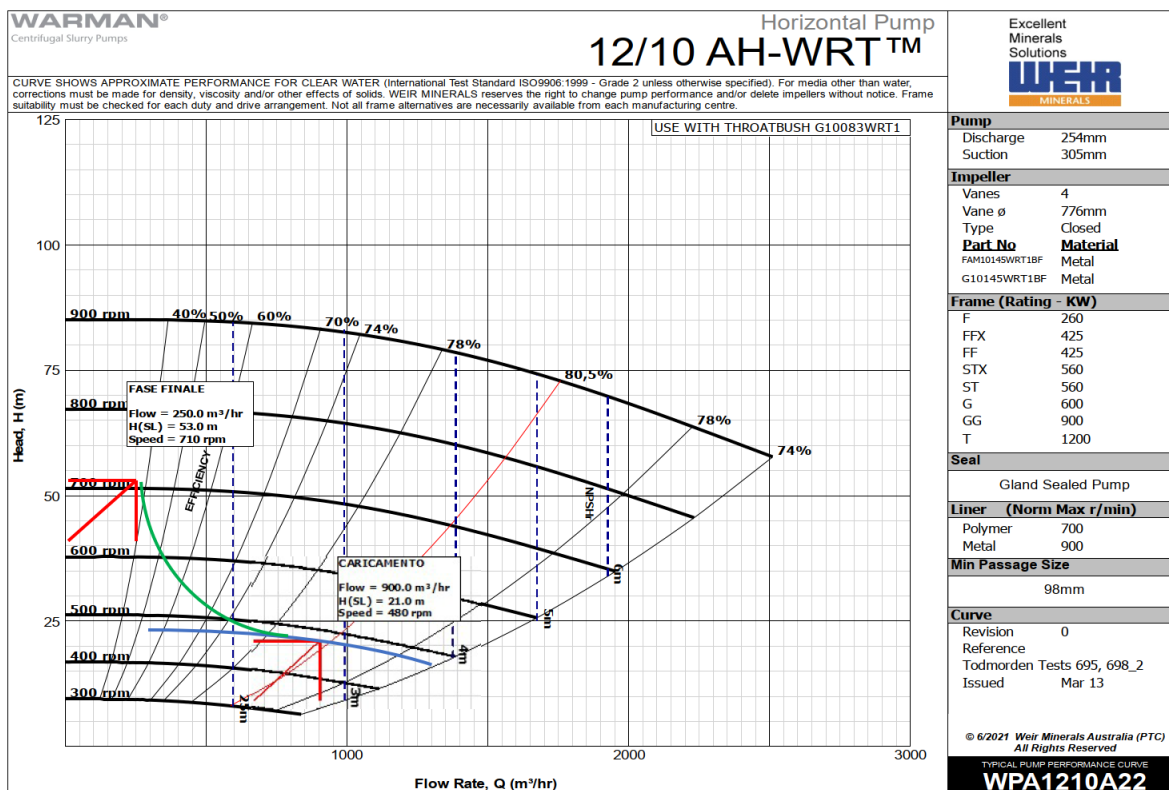


Figura N° 48: Curvas para Agua de una Bomba Típica Alimentación Filtros

La Figura N° 50 muestra un esquema simplificado de la instrumentación de la bomba standby (PP9925-4) de alimentación de filtros de relaves. Esta bomba (PP9925-4) trabaja en espera, para respaldar a cualquiera de las bombas (PP9925-1/2/3). Se observan válvulas actuadas remotamente, tipo V4, para la operación en modo remoto automático de la bomba.

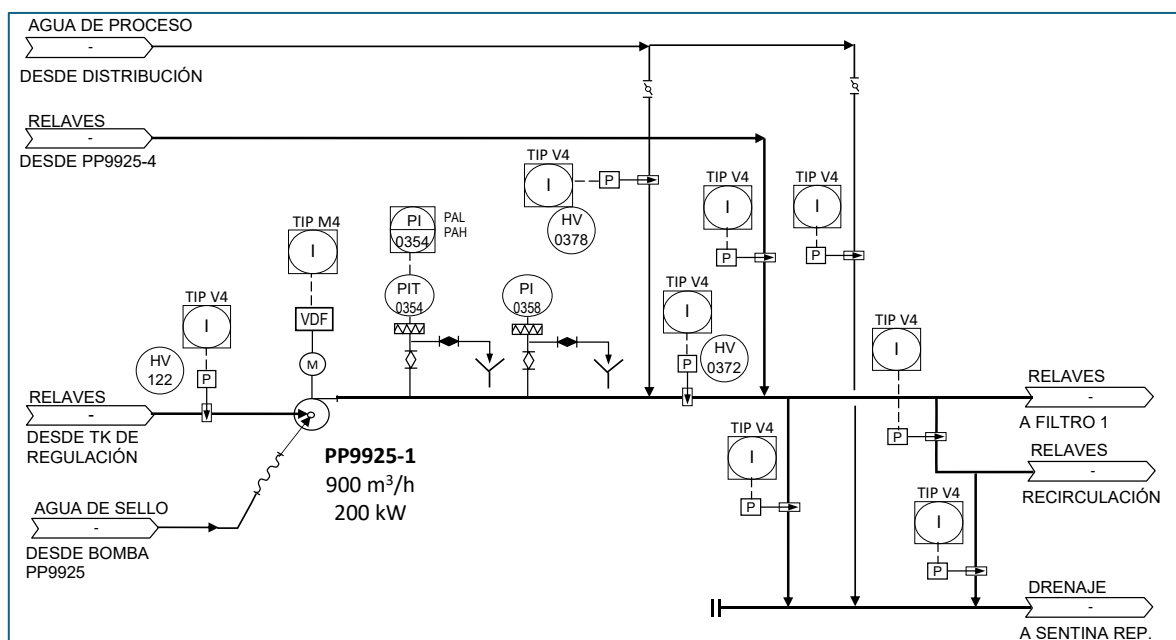


Figura N° 49: Esquema Bomba Alimentación a Filtro N°1

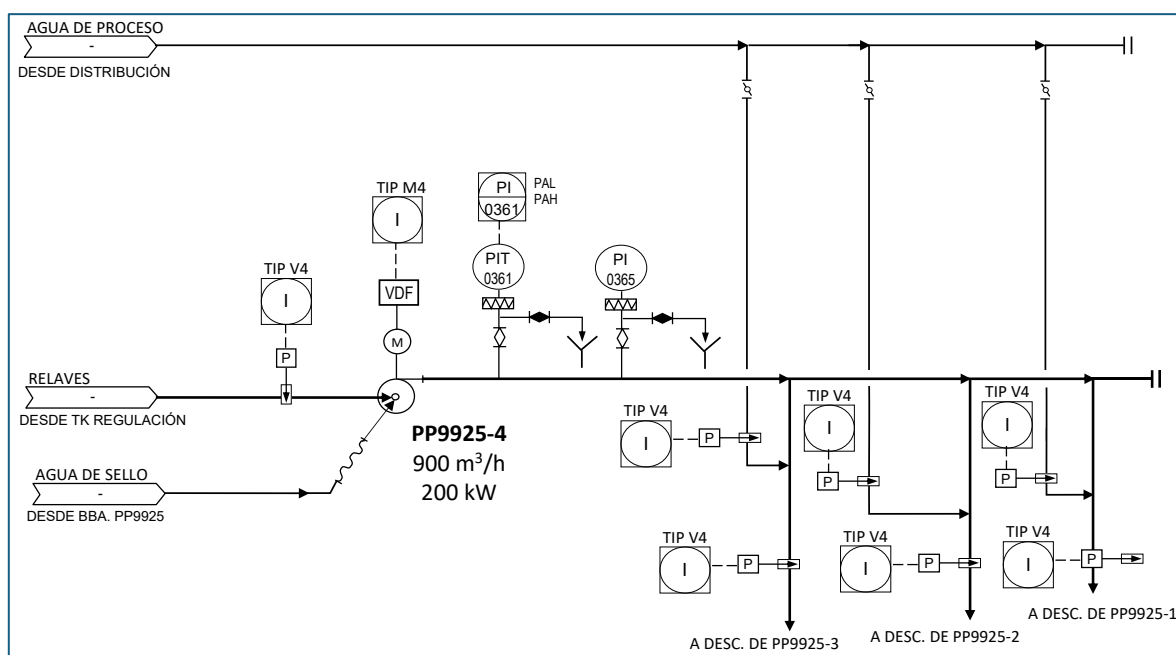


Figura N° 50: Esquema Bomba N°4 Standby para respaldo de cualquiera de las otras tres Bombas

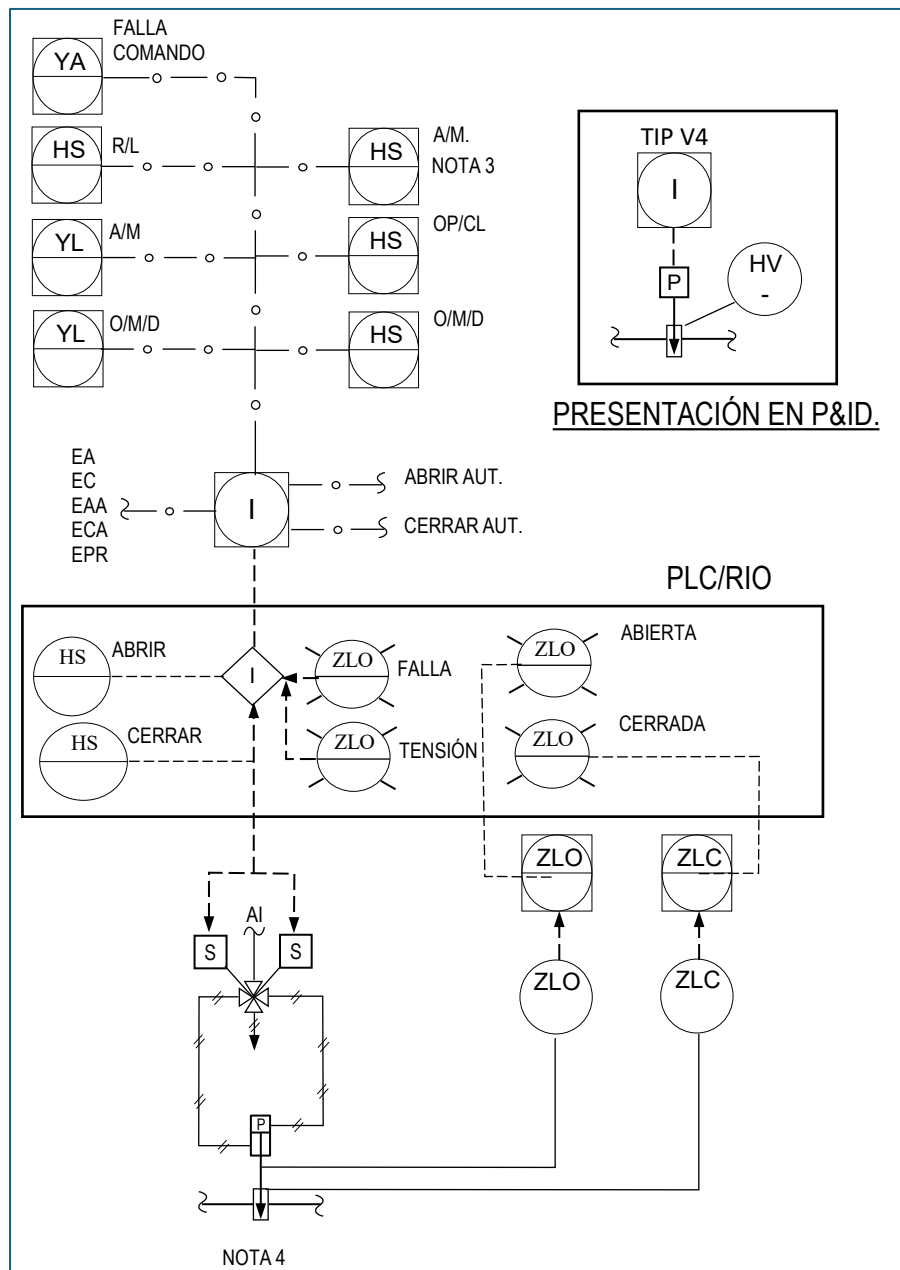


Figura N° 51: Esquema Típico de Instrumentación y Control Válvula tipo V4

La nota 4 indica en el P&ID referenciado, que el tipo de válvula indicada es solo de referencia, pudiendo ser otro tipo de válvula. En realidad, para servicio de corte (On-Off) en pulpas, normalmente se usan válvula tipo cuchillo con actuador neumático hasta diámetros de 20". Sobre dicho diámetro usualmente se utilizan actuadores hidráulicos.

El esquema típico muestra un sector dentro de un rectángulo con la inscripción "PLC/RIO". Esto se refiere, entre otras cosas, a pulsadores físicos y luces de indicación instalados en un panel de terreno, desde el cual se pueden comandar la apertura y cierre de las válvulas, siempre y cuando el selector virtual de sala de control remoto/local, (R/L), habilite dicho modo de operación.

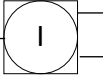
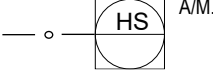
La Tabla N° 7 muestra el significado de algunos símbolos utilizados en los diagramas P&ID y en algunas descripciones en este documento.

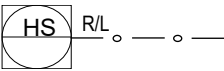
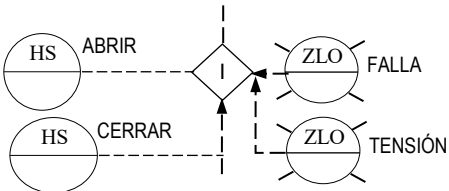
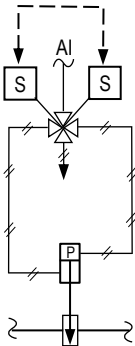
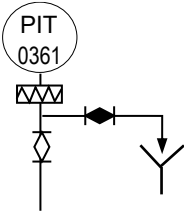
Tabla N° 7: Modos de Control

Selector	Ubicación	Observaciones
O/M/D	En estación de operación del SCP, despliegue en sala de control, estado del modo de control	OPER: OPERACIÓN MANT.: MANTENCIÓN DESC.: DESCONECTADO
A/M	Estación de operación del SCP despliegue en sala de control	AUT.: AUTOMÁTICO MAN.: MANUAL
R/L	Estación de operación del SCP despliegue en sala de control	REM.: REMOTO LOC.: LOCAL

La Tabla N° 8 muestra el significado de algunos símbolos utilizados en los diagramas P&ID y en algunas descripciones en este documento.

Tabla N° 8: Descripción de Símbolos

Símbolo	Observaciones
	Representa un enclavamiento o comunicación con el SCP vía red de comunicaciones y software.
	Representa despliegue en sala de control de estado de la válvula (OPEN)
	Representa despliegue en sala de control de estado de la válvula (CLOSE)
EA EC EAA ECA EPR 	Representa los enclavamientos programados en el SCP que manejan los automatismos de comando de la válvula.
	Representa un interruptor virtual desplegado en pantalla de sala de control. Este “Hand Switch” (HS), permite seleccionar modo de operación automático/manual.

Símbolo	Observaciones
	Representa un interruptor virtual desplegado en pantalla de sala de control. Este “Hand Switch” (HS), permite seleccionar modo remoto/local.
	Representa enclavamiento alambrado de comando Abrir/Cerrar y su respectivo estado en panel local con luces de estados de falla. En la figura del típico también se indica la posición de la válvula.
	Representa el actuador de la válvula de cuchillo. Se incluye el cilindro neumático y las dos válvulas solenoides para entrada de aire de instrumentación al cilindro. Todo el conjunto representa la válvula On-Off actuada que requiere señales eléctricas y aire de instrumentación (AI) para su accionamiento.
	Representa un:” Pressure Indicating Transmitter” (PIT), un instrumento con indicación local de presión y transmisión de señal de presión hacia el SCP. Notar que incluye diafragma y válvulas de cono para interfase, para aislar el instrumento de la pulpa y para drenaje en mantenimiento.

La Figura N° 53 presenta un esquema del arreglo general de los equipos principales del área de los filtros de relaves. En la figura se puede observar que adyacente al edificio de los filtros de relaves se encuentran dos sentinas, una para agua filtrada y la otra para agua de Repulpeo.

Filtros de Relaves

Datos de los Filtros de Relaves

Tag	:	PP9921-1
Motor # 1.	:	Eléctrico 30 kW Motor # 1 unidad hidráulica
Motor # 2.	:	Eléctrico 30 kW Motor # 2 unidad hidráulica
Compuertas	:	Compuertas hidráulicas manejo aguas filtrado

Carro lavado	:	Lavado de telas, motor 0,37 kW
Carro cabezal	:	Carro cabezal filtro, motor 15 kW
Peso filtro	:	155.500 kg en servicio (110.500 kg neto)
Número de cámaras instaladas	:	82 cámaras (para tratamiento de 5.000 tpd)
Número de cámaras máximo	:	90 cámaras (para tratamiento de 6.000 tpd)
Capacidad diseño por filtro	:	2.000 t/d de sólidos secos
Volumen total adicionales)	:	18.220 L (ampliable a 20.007 L, con 8 placas adicionales)
Superficie filtrante	:	771,6 m ² (ampliable a 846,9 m ² , con 8 placas adicionales)

Tres filtros prensa (PP9921-1/2/3) marca DIEMME modelo GHT2500F con placas con membrana para estruje de queque, y de funcionamiento automático tendrán la tarea de filtrar los relaves de la planta de Pellets de CMP. Estos filtros están equipados con dos sistemas de lavado de telas filtrantes. Un sistema de enjuague de baja presión se realiza después de cada ciclo. El sistema de lavado de telas a alta presión se realiza una vez al día.

Cada filtro tiene su propio PLC que controla cada una de las operaciones secuenciales de cada ciclo de filtrado. Las fases de cada ciclo de filtrado son:

- Cierre del filtro
- Llenado de las cámaras con la bomba centrífuga respectiva
- Estrujado del queque mediante las membranas
- Soplado del queque para desplazar agua remanente
- Apertura/descarga del filtro prensa
- Sacudimiento de las telas filtrantes
- Lavado de las telas

Es importante destacar que las placas filtrantes son el “corazón” de la filtración. En la Figura N° 52 se muestra un esquema con una placa filtrante del filtro DIEMME.

Los tres filtros tienen su propia estación local de control, con pantalla que despliega información del programa (tiempos de cada fase del ciclo) y la fase en que se encuentra el filtro. Esta información también es desplegada en la sala de control.

Para coordinar las secuencias y evitar que dos filtros estén en una misma fase, por ejemplo, de aire de estruje de queque, el SCP central comanda el inicio de cada ciclo de cada filtro. Una vez iniciado un ciclo, es el PLC de cada filtro el encargado de aplicar el programa que inicia y termina cada fase en ese filtro. Sin embargo, para iniciar un nuevo ciclo cada PLC debe esperar la habilitación del momento que está dado por el SCP que actúa como controlador maestro.

Los filtros tienen un dispositivo tipo “compuertas de bombardero” que consiste en dos compuertas de apertura y cierre hidráulico para el manejo de aguas de filtrado. La bandeja de recogida de aguas de lavado en posición abierta permite la descarga del queque hacia el alimentador situado debajo. En posición cerrada, protege los queques y el alimentador situado abajo, de los goteos que caen durante la filtración y de las aguas residuales del lavado de telas.

Varios sistemas auxiliares deben entrar en operación, en forma coordinada por el programa del PLC, para suministrar agua o aire en las fases respectivas del ciclo de cada filtro. El operador debe supervisar que el ciclo termine con un queque a la humedad requerida. Dicha humedad no debe sobrepasar el rango de 15,3 a 17,7 % en base húmeda.

Durante el soplado se produce una descarga de aire junto con agua desplazada del queque. Esta mezcla de aire con agua debe pasar por un separador que, además, modere la energía de los fluidos líquido y gaseosos. El filtrado (líquido que se extrae durante la filtración), abandona el filtro por cañería que debe incluir un sifón para montar un turbidímetro que permite medir la claridad del agua que abandona el filtro durante el ciclo de filtrado. Este instrumento permitirá detectar telas rotas.

Se debe tener en cuenta que dada la complejidad de las secuencias de abertura y cierre de válvulas, coordinación con las bombas de alimentación y fases del ciclo de filtración, es altamente aconsejable, e incluso obligatorio, el operar los filtros en modo remoto automático.

La capacidad de un filtro tipo prensa para filtrar sólidos granulares, como el relave de la planta de pellets de CMP, depende de varios factores: volumen de las cámaras formadas entre las placas, superficie filtrante, porcentaje de sólidos de la pulpa de alimentación, capacidad de la bomba centrífuga de alimentación, estado de colmatación de las telas filtrantes. Estas son a juicio del que escribe los principales factores para la capacidad instantánea de un filtro. Su capacidad nominal dependerá del porcentaje de utilización o “run time”, para entregar una capacidad diaria.

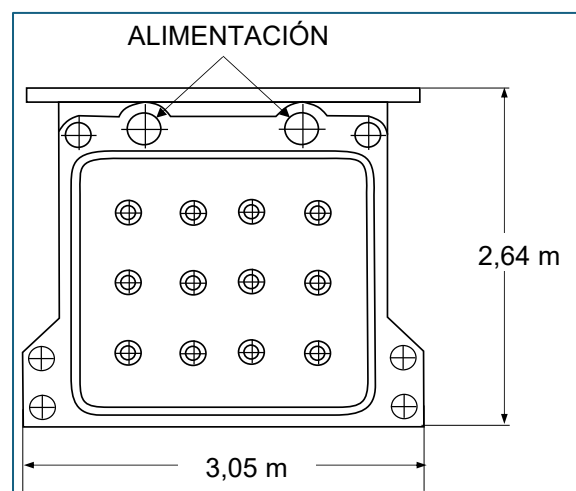


Figura N° 52: placa Filtro Prensa DIEMME

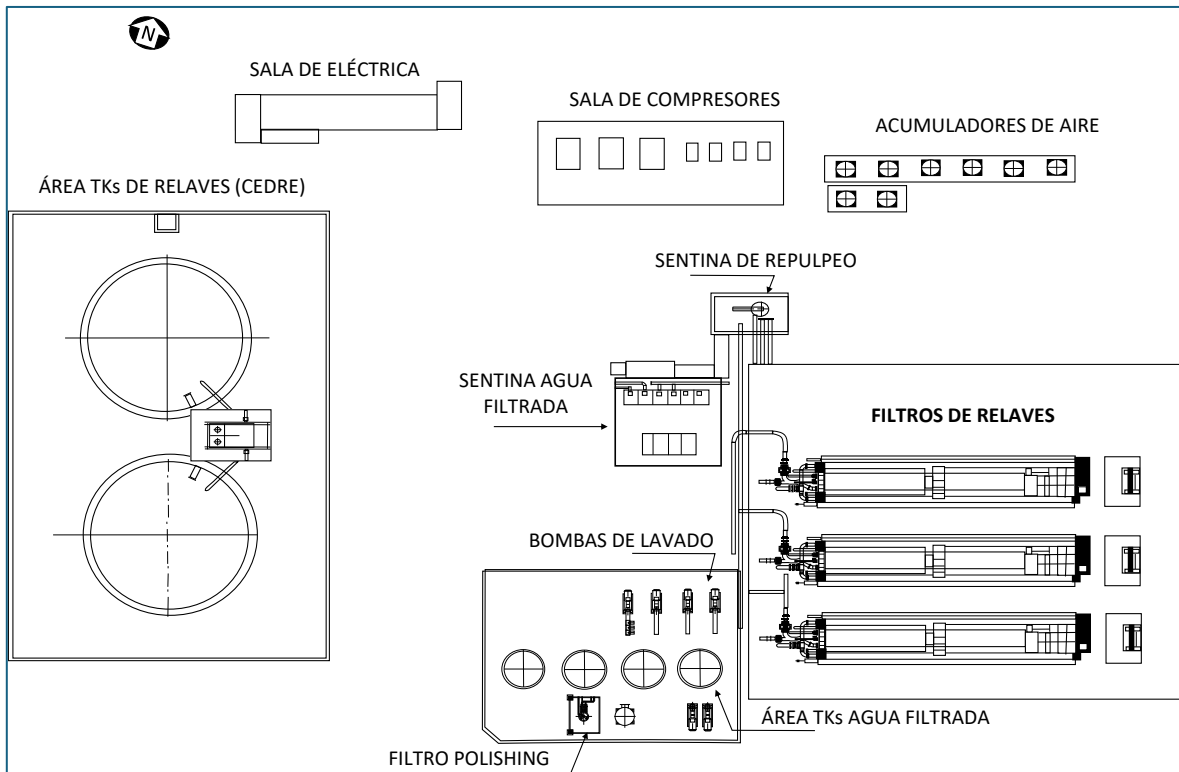


Figura N° 53: Esquema simplificado Arreglo General Equipos Principales Área Filtrado

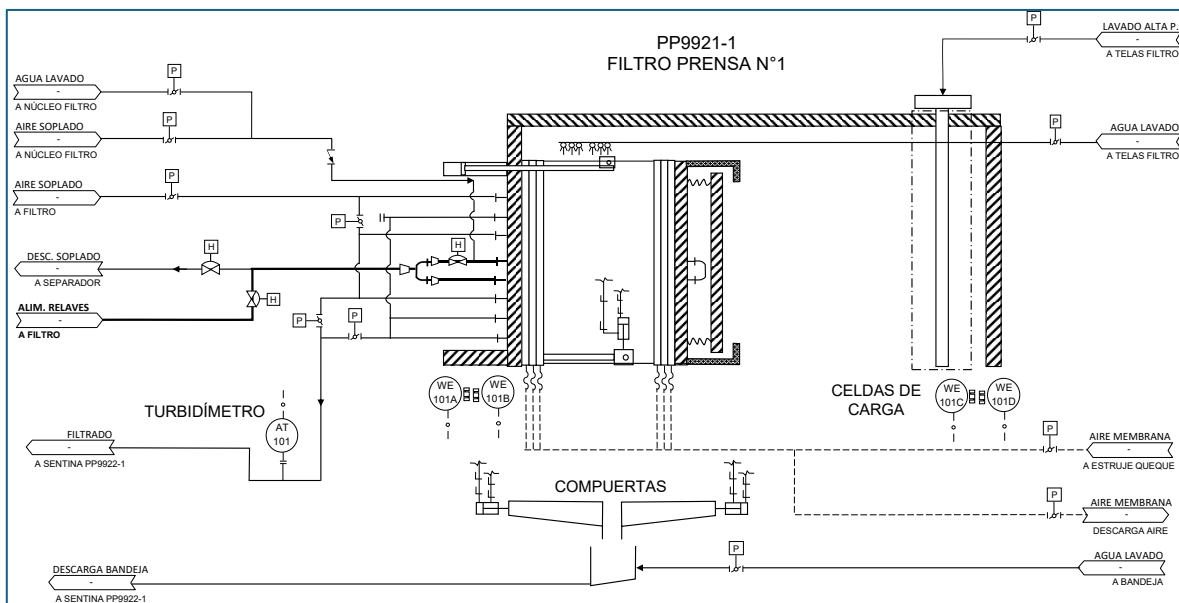


Figura N° 54: Esquema de las Entradas y salidas Principales de Fluidos del Filtro de Relaves

Filtración de Relaves en La Coipa

La historia de la mina La Coipa, en Atacama, Chile, abarca desde sus inicios en los años 80 hasta su suspensión temporal en 2013 y su posterior reactivación a través del proyecto Fase 7 de Kinross. La planificación comenzó en 1987, con las primeras actividades de exploración y rajes entre 1990 y 2003, operando bajo Goldcorp y TVX Gold Inc.

Kinross Gold Corporation se convirtió en el único operador en 2007, a través de su filial Compañía Minera Mantos de Oro. Las operaciones se detuvieron temporalmente en 2013 debido a que la mina, entonces en su Fase 4, se había vuelto poco rentable y los recursos estaban agotándose. Entre 2015 y 2019, Kinross planeó la Fase 7, con una inversión de US\$225 millones para reactivar la mina, y aprovechar depósitos satélites de mayor ley, como el rajo Purén, para sumar más oro y extender la vida útil de la operación. La Fase 7 extendió la vida útil de la mina hasta aproximadamente principios de 2026, aunque se estudian otras oportunidades para extenderla más allá.

En sus inicios, La Coipa presentaba leyes del orden de 1,2 g/t de oro y de 86 g/t de plata, de manera que la plata era significativamente superior en ley. En estos casos, se desarrollan estimaciones en base al oro equivalente¹⁸.

El proyecto original incluyó operaciones de chancado, molienda, lixiviación por agitación con cianuro, CCD, clarificación, Merrill Crowe, recuperación de mercurio con retortas, y refinado a fuego de las calcinas sin mercurio, para obtener lingotes de plata y oro para su comercialización.

El depósito La Coipa está localizado en la provincia de Copiapó, región de Atacama, aproximadamente a 150 km NE de la ciudad de Copiapó. La elevación varía entre 3.800 y 4.400 m.s.n.m. En 1988, se construyó una planta de 1.000 t/d de capacidad y posteriormente, en 1989, Placer Dome Inc. Research Centre (PDIRC) inició un programa de cuatro meses para verificar las pruebas y finalizar un diseño para una planta de una capacidad nominal de 15.000 t/d de tratamiento de mineral.

En esos años, el uso típico para llevar un tonelaje nominal diario a un tonelaje nominal horario era utilizar un “availability”¹⁹ bastante bajo, en este caso de 90% (probablemente debido a la poca información del comportamiento de los molinos SAG en esa fecha).

Entonces, para una capacidad nominal de 15.000 t/d con una “disponibilidad” (así se trabajaba en esos tiempos), de 90% se obtiene un flujo de mineral seco a molienda de 694,4 t/h, la cual sería la carga fresca al molino SAG.

En la Figura N° 55 se presenta una fotografía aérea del área de las instalaciones de proceso de La Coipa.

¹⁸ Por ejemplo, para inicios de 2026, el oro rondaba los \$4.400 a \$4.500 USD por onza troy (31,1 g), y la plata \$70 a \$80 USD la onza. De manera que si dividimos 4.400 por 70 nos da 62,9 y si la ley de plata fuera de 100 g/t, el oro equivalente sería $100/62,9 = 1,59$ g/t, aproximadamente.

¹⁹ Hasta aproximadamente el año 1995 en los criterios de diseño se acostumbraba a hablar de “availability” para el tiempo de marcha de un equipo. Desde el año 2007 se produce un cambio y se habla de utilización para referirse al tiempo efectivo de marcha de una instalación.

En la Figura N° 56 se muestra un diagrama de flujo del circuito de molienda de la planta. Un molino SAG de 28 ft x 14 ft, con accionamiento de 5 MW y dos molinos de bolas de 16 ft x 24 ft con accionamiento de 3,1 MW cada uno.



Figura N° 55: Instalaciones de Proceso La Coipa

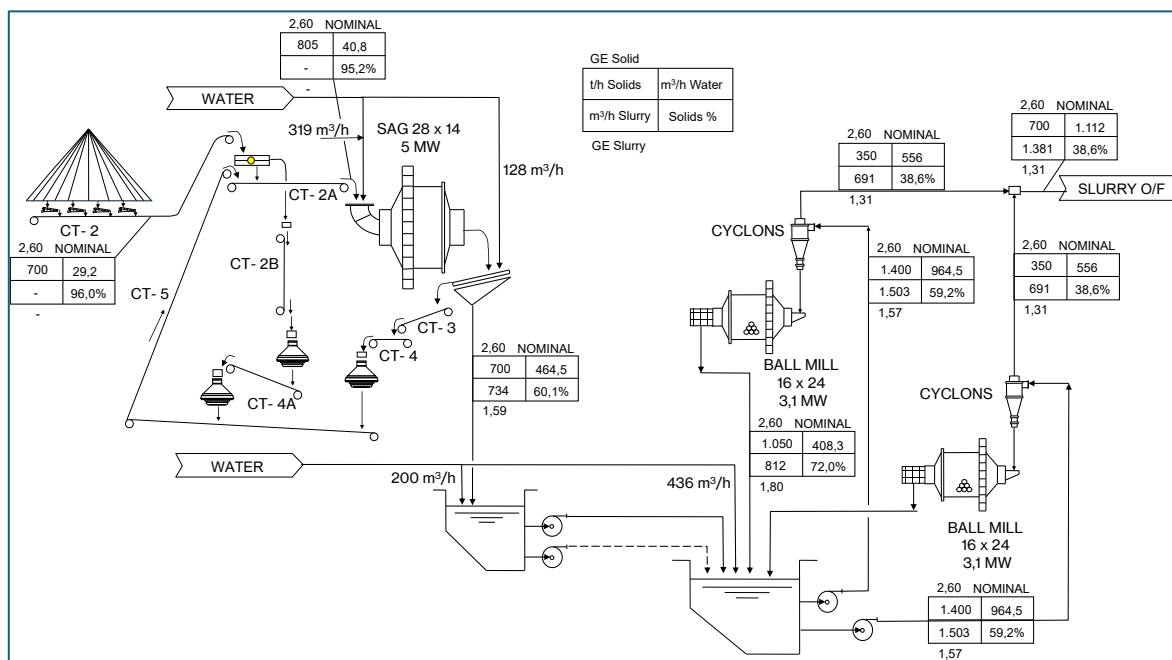


Figura N° 56: Planta de Molienda La Coipa

La Figura N° 57 muestra barras de metal doré de alrededor de 200 kg, cuyo color “plateado” sugiere su composición. Las barras de metal doré, durante una visita, se dijo que contenían una ley de 980 a 985 g/kg en plata y de 3 a 5 g/kg de oro. Estas barras son limpiadas de la escoria y embaladas para ser enviadas a mercados extranjeros para su venta.



Figura N° 57: Barras de Oro y Plata de La Coipa Producto Final

En la Figura N° 58 se presenta un esquema tipo “pictorial” de las operaciones unitarias principales de todo el proceso de La Coipa. Se muestran las unidades de conminución, de lixiviación, separación sólido líquido incluyendo circuito CCD de lavado, clarificación en “Hopper Clarifier”, clarificación en filtro tipo “Pressure Leaf Filters”, desaireación y precipitación con zinc, filtración del precipitado, calcinación y recuperación de mercurio y refino a fuego en horno reverbero.

La Figura N° 59 muestra un diagrama de flujo de los filtros de banda para filtrar los relaves. La Coipa cuenta con doce filtros de banda de vacío de 100 m² cada uno.

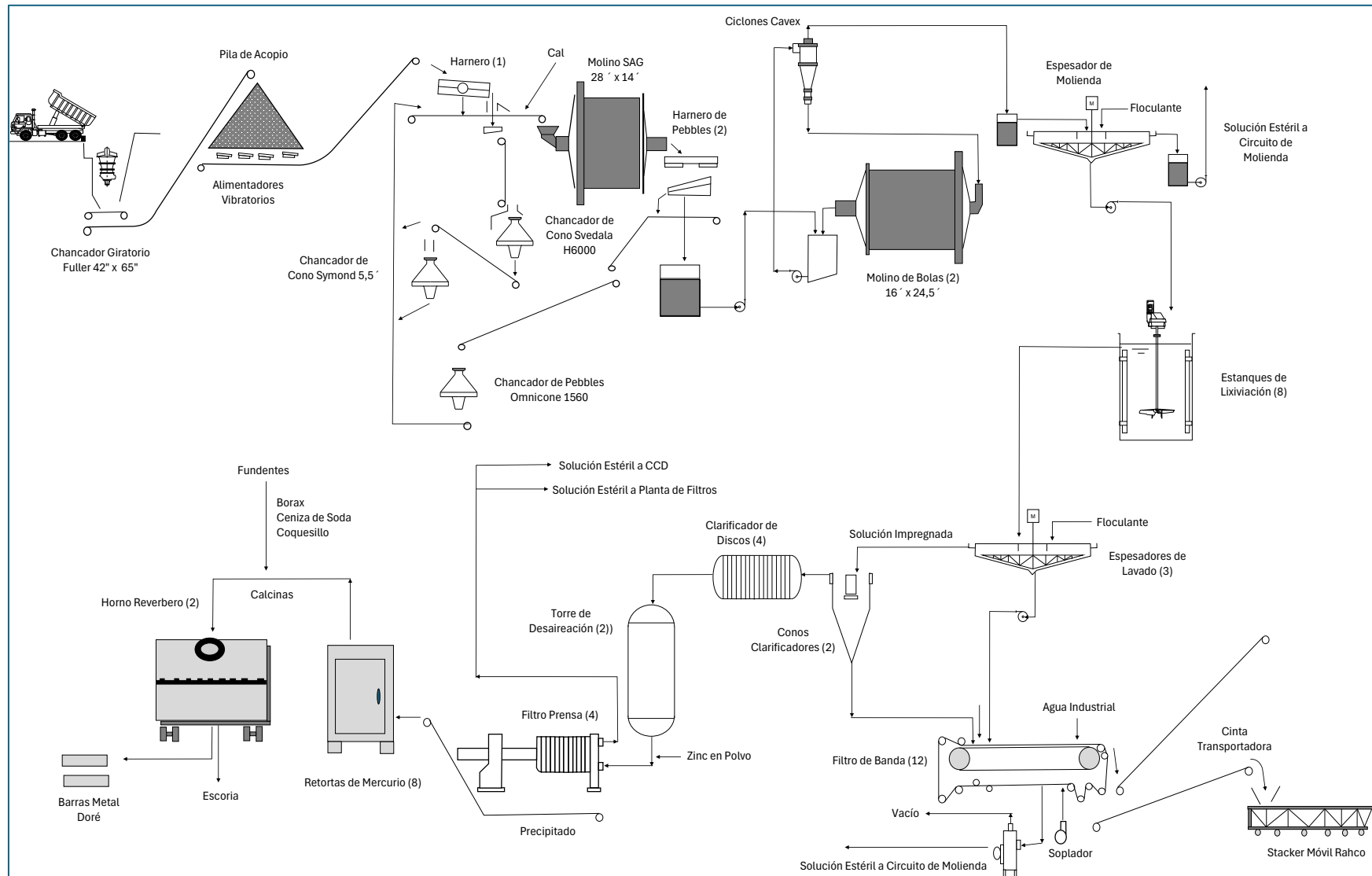


Figura N° 58: Esquema General Circuito de Procesos La Coipa (Diseño Original)

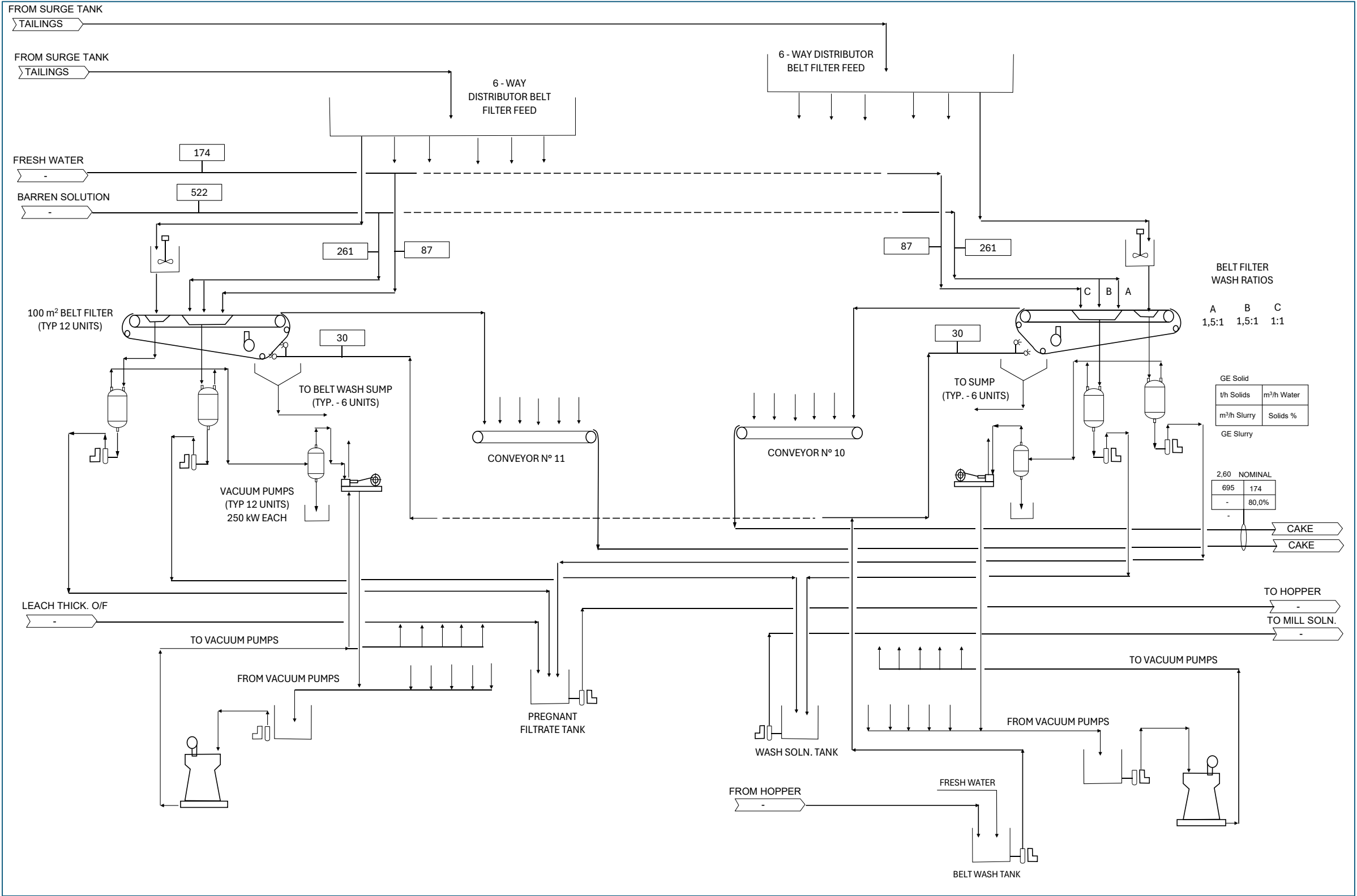


Figura N° 59: Filtros de Banda Filtración de Relaves La Coipa

La Figura N° 60 presenta una fotografía del depósito de relaves filtrados de La Coipa.



Figura N° 60: Depósito de Relaves Filtrados La Coipa

Filtros de Electrolito de Quebrada Blanca

Quebrada Blanca lanzó una nueva Fase (QB2) en 2023, expandiendo significativamente la vida útil y la capacidad. Ahora se centra en producir concentrado de cobre (no sólo cátodos SX-EW como antes), integrando mina, planta concentradora y puerto.

En esta sección se mencionarán algunos aspectos de la planta de SX-EW de Quebrada Blanca. El objetivo es dar un contexto mínimo para hablar de los filtros de electrolito de esta faena.

Toda la información que se expone data del proyecto original, de manera que algunos datos pueden estar obsoletos. Sin embargo, las operaciones unitarias que se describirán son generales y es difícil que hayan cambiado.

El diseño original del año 1993 fue para una capacidad de 75.000 toneladas al año de cátodos de cobre. La capacidad de la planta de chancado primario, secundario y terciario fue de 17.000 a 18.000 tpd de mineral. El año 1997, durante una visita, se dijo que el mineral era 90% calcosina y que el chancado tenía como objetivo llegar a 100% - 9mm. El tiempo de lixiviación era de 340 días, pero en esa fecha de la visita lo habían cambiado a menos de 200 días.

QB eleva la temperatura del mineral desde 5°C a 8°C y calientan el refino en 9°C. La temperatura del PLS²⁰ varía con las estaciones del año. Fue de 12°C el primer invierno, 20°C el último invierno. Alcanzó 27°C el verano del año 1996, pero fue solamente 22°C el año 1997 después de un verano muy frío.

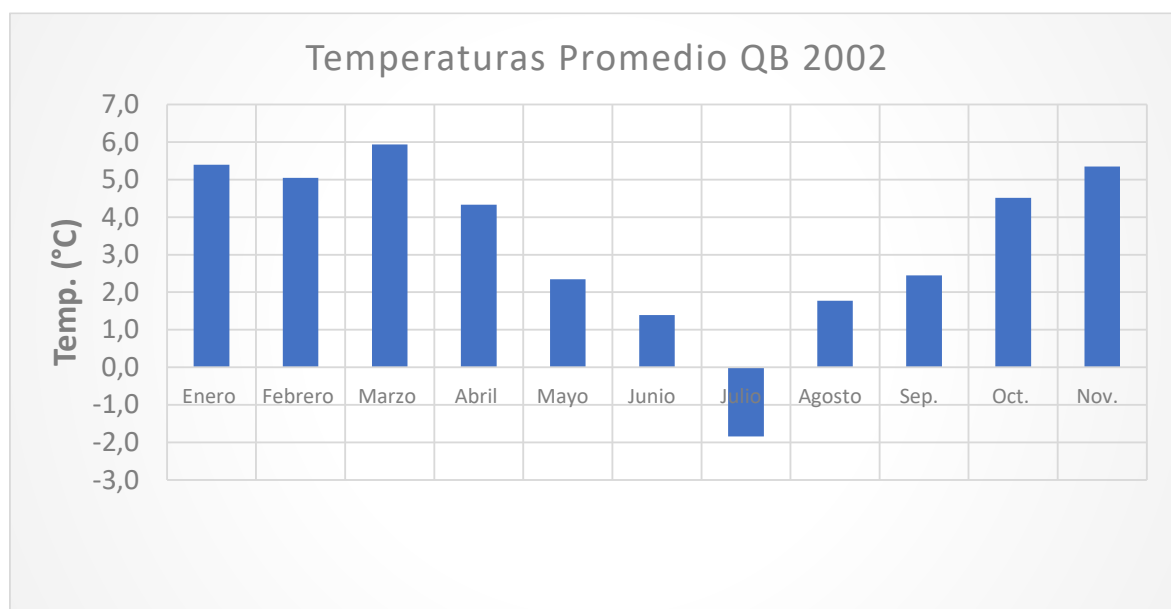


Figura N° 61: Gráfico de Promedios de Temperatura de QB en el Año 2002

La actividad bacteriana comienza en el día 10 de cada ciclo de la pila. Los niveles de fosfato están bien, pero ellos agregan sulfato de amonio cada cuatro meses.

²⁰ Es de uso universal denominar PLS (Pregnant Leach Solution) a las soluciones cargadas de cobre que salen desde las pilas de lixiviación hacia SX.

QB mencionó que la mortalidad de las bacterias que pasan por SX es un 10%. Ellos usan aireación forzada en las pilas con sopladores y líneas de distribución dedicadas. El soplado es continuo y no parece haber efecto de enfriamiento dada la actividad que genera calor.

Después del paso por SX, el electrolito rico debe ser filtrado y calentado antes de ser enviado a EW. La Figura N° 62 muestra un esquema con los trenes de extracción (dos etapas) y de Stripping (una etapa). En el diseño original no hubo tren de lavado. Se desconoce si se ha agregado alguna etapa de lavado.

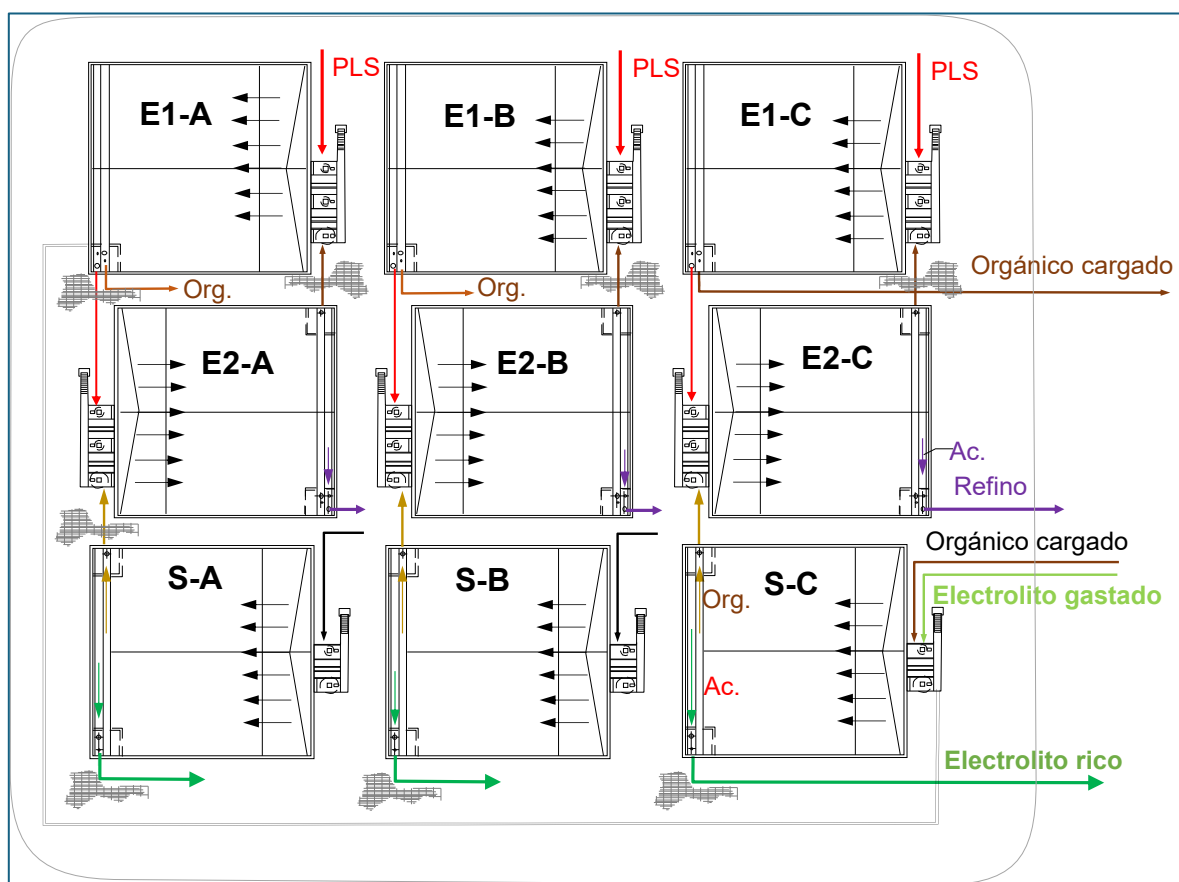


Figura N° 62: Esquema de los trenes de SX de QB en su diseño Original

El electrolito rico²¹ cargado con alrededor de 49 g/L de cobre es enviado a dos columnas de flotación para recuperación de orgánico. Posteriormente el electrolito rico es almacenado en el estanque de alimentación de los filtros multimedia.

Cuatro filtros multimedia de 4,1 m de diámetro se instalaron con tres en servicio y uno es espera. Para un flujo nominal de 660 m³/h de electrolito rico, y con tres filtros operando, la tasa de filtración es de 14 m³/h/m², lo cual es conservador, pero positivo para evitar arrastres.

²¹ Se advierte, una vez más, que toda la información proporcionada corresponde al diseño original de Fluor que desarrolló el proyecto bajo la batuta de procesos del señor J. Sorensen.

La Figura N° 63 presenta un esquema con el diseño original de los filtros de electrolito del proyecto QB1.

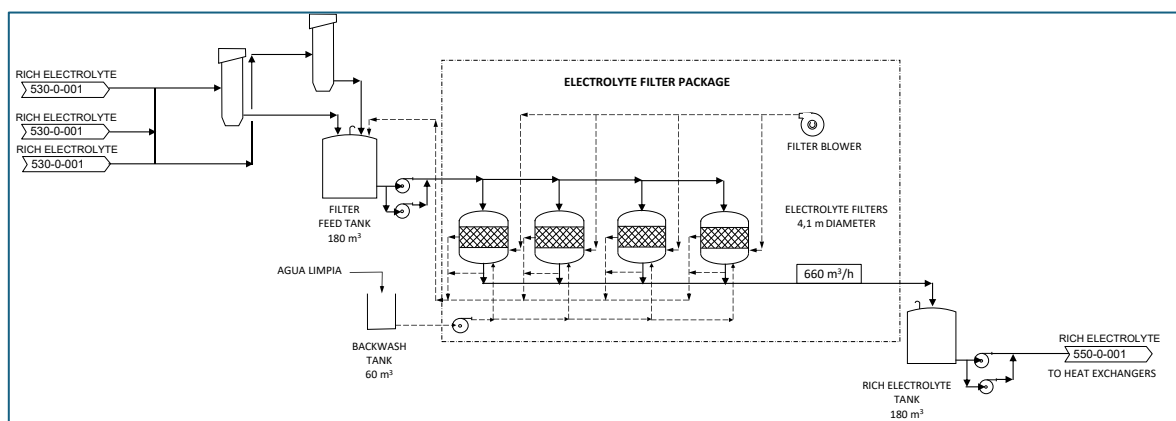


Figura N° 63: Esquema de Filtros de Electrolito Rico en QB

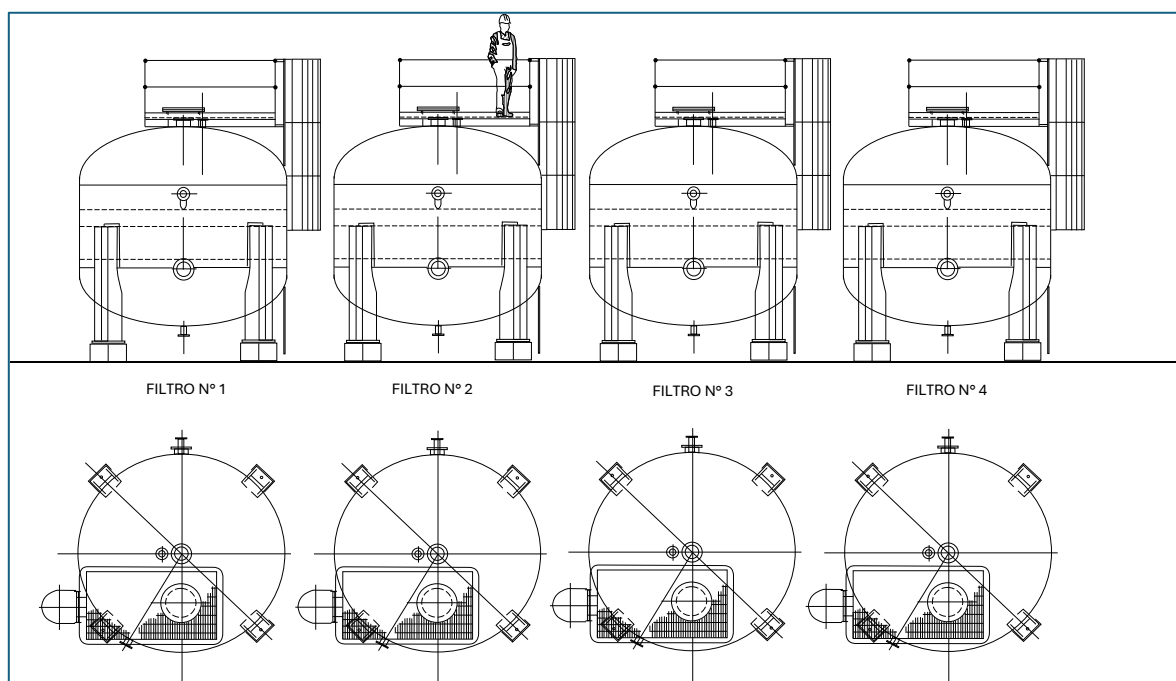
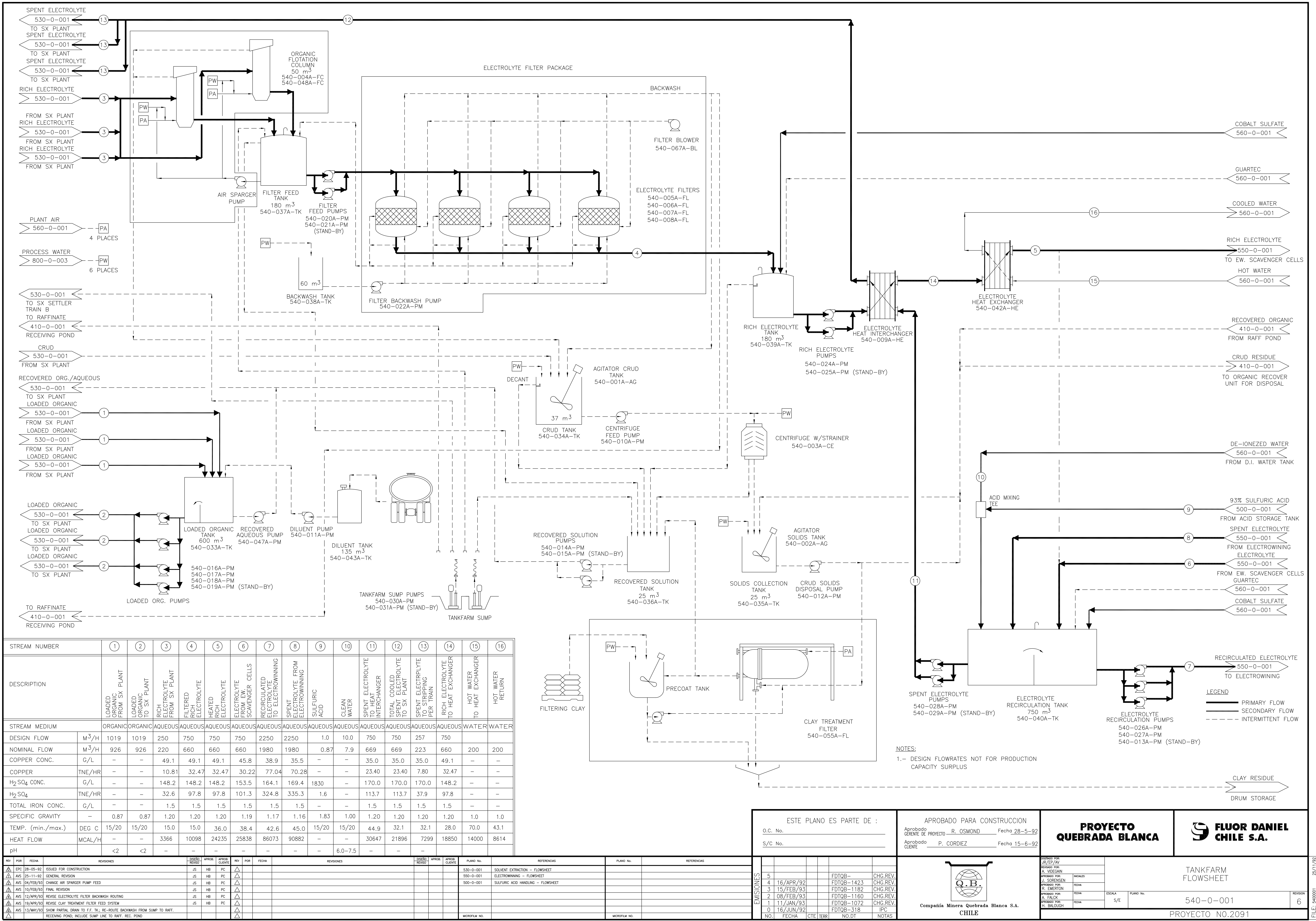


Figura N° 64: Esquema en Planta y Corte de los Filtros de Electrolito de QB1.



ESTE PLANO ES PARTE DE :
O.C. No. _____
S/C No. _____

APROBADO PARA CONSTRUCCION
Aprobado GERENTE DE PROYECTO R. OSMOND Fecha 28-5-92
Aprobado CLIENTE P. CORDIEZ Fecha 15-6-92

PROYECTO QUEBRADA BLANCA

FLUOR DANIEL CHILE S.A.

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4	16/APR/92			FDTQB-1423	CHG.REV.
3	15/FEB/93			FDTQB-1182	CHG.REV.
2	08/FEB/93			FDTQB-1160	CHG.REV.
1	11/JAN/93			FDTQB-1072	CHG.REV.
0	16/JUN/92			FDTQB-318	IPC

COMPANIA MINERA QUEBRADA BLANCA S.A.

CHILE

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES

NO.	FECHA	CTE	TERR	NO.DT	NOTAS
5					
4					
3					
2					
1					
0					

REVISIONES