

Minera La Zanja S.R.L.
Optimización de los sistemas de tratamiento y manejo de aguas
Reporte de Optimización

28-05-2021	B	Para Revisión	T. Leers / R. Palacios / J. Torrealva	V. Khera	M. Greco	
Fecha	Rev.	Emitido para	Preparado Por	Revisado Por	Aprobado Por	Aprobado Por
HATCH						Cliente

1. Introducción

1.1 Propósito

El propósito de este informe es describir cuatro (4) estrategias de optimización que se pueden aplicar al sitio de Minera La Zanja. Hay un total de cuatro (4) plantas de tratamiento de agua, de las cuales tres (3) son plantas de tratamiento de agua ácida y la restante (1) es una planta de tratamiento de agua cianurada. Las cuatro (4) plantas y sus respectivas capacidades de flujo (según la Base de Diseño MLZ), se listan a continuación:

- Planta de tratamiento de aguas ácidas - Pampa Verde (PTAA- PV): 180 m³/h
- Planta de tratamiento de aguas ácidas - San Pedro Sur (PTAA- SPS): 350 m³/h
- Haul Road: 400 m³/h
- Planta de tratamiento de efluentes cianurados – San Pedro Sur (PTEC- SPS): 300 m³/h

El propósito de este documento es realizar un análisis a un alto nivel de las estrategias de optimización de costo y seleccionar / recomendar estrategias para un mayor desarrollo en la etapa de ingeniería posterior.

En la Tabla N° 1-1 se muestra el resumen de capacidad de cada planta y su flujo máximo.

Tabla N° 1-1: Resumen de Capacidad de la Planta y Flujo Máximo (2020)

Planta	Unidad	Capacidad de Planta [Ref 1]	Flujo Máximo [Ref 4]
PTAA-SPS	m ³ /h	350	267
PTAA-PV	m ³ /h	180	25
Haul Road	m ³ /h	400	250
PTEC	m ³ /h	300	274

1.2 Documentos de Referencia

La Tabla N° 1-2 describe los documentos de referencia aplicables a este informe.

Tabla N° 1-2: Documentos de Referencia (Entregables Hatch)

Ítem	Número de Documento	Rev.	Por	Título de Documento
1	H364459-00000-210-210-0001	B	Hatch	MLZ Base de Diseño
2	H364459-00000-210-030-0001	A	Hatch	MLZ Análisis de Brechas
3	H364459-00000-100-051-0001	B	Hatch	MLZ Plan de Visita de Campo
4	H364459-00000-110-056-0003	B	Hatch	MLZ Testwork Lime Consumption
5	H364459-00000-210-068-0001	B	Hatch	MLZ Reporte de Campo
6	H364459-00000-110-056-0001	A	Hatch	MLZ Bench Scale Testwork

2. Estrategia de Optimización N° 1

Los principales objetivos de esta estrategia son:

- Reducir el consumo de H₂O₂,
- Reducir / confirmar el uso de la adición de FeCl₃ y
- Reducir / confirmar el uso de la adición de NaSH.

El *Bench Scale Testwork* (Ver Tabla N° 1-2 Ítem 6) fue desarrollado por Hatch y conducido por MLZ en las plantas de cianuro. Este trabajo de prueba se utilizó para evaluar la eficacia de diferentes adiciones de reactivos.

A continuación, se resume brevemente las condiciones de las pruebas desarrolladas:

- Prueba 0: Control (se simularon condiciones actuales)
- Prueba 1: Cal hidratada (pH alto) y peróxido de hidrógeno (basado en el consumo teórico)
- Prueba 2: Cal hidratada (pH alto), cloruro férrico y peróxido de hidrógeno (basado en el consumo teórico)
- Prueba 3: Cal hidratada (pH alto), cloruro férrico, peróxido de hidrógeno (basado en el consumo teórico) y sulfhidrato de sodio.

Sin embargo, de este trabajo de prueba a escala de banco falta información que se lista a continuación:

- Es necesario proporcionar las cantidades y dosis de reactivo utilizadas para las pruebas.
- Es necesario confirmar el análisis de cianuro libre y total en las muestras de alimento. El cianuro fue más alto en las muestras tratadas de las Pruebas 1, 2 y 3 en comparación con las muestras de alimentación.
- Es necesario confirmar los tiempos de retención para cada prueba, ya que no se proporcionó esta información.

Los resultados del trabajo de prueba MLZ PTEC se resumen en la Tabla N° 2-1:

Tabla N° 2-1: Resultados del trabajo de Prueba a Escala de Banco (Valores Máximos) - MLZ PTEC

Parámetro	LMP	ECA	Unidad	Alimentación	Prueba 0	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
pH	6.0 a 9.0	6.5 a 8.5	-	9.01	7.67	9.10	8.98	9.03
Tiempo de retención	(min.)				25	15	15	15
Cianuro Libre	-	-	mg/L	0.6043	<0.0008	3.6911	4.1695	2.6946
Cianuro Total	-	-	mg/L	1.4238	0.0565	6.3326	7.1158	4.9910
Cianuro WAD	-	0.1	mg/L	1.2979	<0.0008	6.2525	6.5504	4.5509
Sulfato	-	1000	mg/L	1728	1720	1863	1793	1988

Parámetro	LMP	ECA	Unidad	Alimentación	Prueba 0	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Aluminio Total	-	5	mg/L	1.531	0.354	0.739	1.640	1.666
Aluminio Disuelto	-	-	mg/L	1.302	<0.003	0.204	0.172	0.203
Arsénico Total	0.08	0.1	mg/L	0.0202	0.0056	0.0116	0.0198	0.0152
Arsénico Disuelto	-	-	mg/L	0.0194	0.0022	0.0069	0.0052	0.0045
Cobre Total	0.4	0.2	mg/L	12.1618	4.7114	10.6960	16.7919	16.4802
Cobre Disuelto	-	-	mg/L	10.99	1.25	8.26	8.05	7.42
Mercurio Total	0.0016	0.002	mg/L	0.2268	0.0604	0.1714	0.1603	0.1680
Mercurio Disuelto	-	-	mg/L	0.2051	0.0298	0.1551	0.1404	0.1154
Hierro Disuelto	1.6	-	mg/L	0.4463	0.0133	0.0408	0.0363	0.0183

A partir del análisis de los resultados, se pueden presentar las siguientes conclusiones:

- La prueba 0 tuvo los mejores resultados para la eliminación de cianuro, mientras que parece que las pruebas 1 a 3 no tuvieron suficiente H₂O₂. Esto se puede confirmar una vez que se proporcionan las dosis de reactivo para las pruebas 0, 1, 2 y 3.
- Los bajos niveles de arsénico en la alimentación pueden corroborar aún más el hecho de que es posible que no se requiera cloruro férrico. Como tal, esto puede potencialmente ahorrar ~ \$ 85,000 por año [Ref 2]. Se requieren más aportes del sitio para determinar si el cloruro férrico está ayudando con la coagulación y la sedimentación. Se recomienda repetir el trabajo de prueba para confirmar.
- Buenaventura ha explicado en reuniones anteriores que la adición de cloruro férrico ha ayudado a mejorar la sedimentación. Sin embargo, Hatch recomienda optimizar la adición de floculante para mejorar la sedimentación en lugar de cloruro férrico. Por lo tanto, se requieren más pruebas. El reemplazar férrico por floculante será más económico.
- Se recomienda repetir el *testwork* con un tiempo de residencia de 25 minutos para simular mejor los procesos de la planta (de acuerdo a la solicitud del Cliente).
- Se puede agregar NaSH para eliminar el mercurio; sin embargo, los niveles de mercurio aún exceden los límites de LMP y ECA. Como tal, se debe considerar un reactivo diferente para eliminar el mercurio.
- El nivel de cobre en las pruebas 1 a 3 es alto, esto puede indicar un complejo de cianuro de cobre.
- Según el trabajo de prueba, existen otras excedencias, incluido el sulfato. Sin embargo, se le recomendó a Hatch que no considerara estos incumplimientos durante la fase de operaciones.

3. Estrategia de Optimización N° 2

La Estrategia de Optimización N° 2 propone la implementación de equipos de apagado de cal en las plantas de tratamiento de agua ácida donde sea económicamente factible. Actualmente, se utiliza cal viva (CaO) de malla 200 en los procesos en PTAA-PV y PTAA-SPS, sin un control térmico del apagado adecuado. El Haul Road utiliza soda cáustica (NaOH) para la neutralización.

El sistema de apagado de cal incluye lo siguiente:

- Silo de almacenamiento de acero atornillado
- Apagador de cal
- Tanque de lechada
- Bombas de transferencia de lodos
- Panel de control PLC

Se realizó un análisis económico para determinar cuál (si alguna) planta(s) debería instalar equipo de apagado de cal, con base en cotizaciones presupuestarias proporcionadas por un Vendor, valores presentes netos y sus respectivos períodos de recuperación o retorno.

La Tabla N° 3-1 resume las inversiones de capital de cada planta y los ahorros anuales potenciales. El análisis asume que el costo total de instalación es aproximadamente dos veces el costo del equipo.

Tabla N° 3-1: Ahorro de Costos de Tratamiento de Cada Planta

Planta de Tratamiento de agua ácida	Consumo de Cal (CaO) [toneladas/año]	Capacidad de Diseño del Sistema [toneladas/año] (+50%)	Estimación del tamaño del silo de cal (D x A pie)	Costo del equipo del Vendor	Costo Total Estimado (+100% del costo del equipo del Vendor)	Costo Anual Actual de la Cal [\$/año] ¹	Costo teórico anual de la cal [\$/año] ^{2,3}	Potencial Ahorro Anual [\$/año]	Potencial Ahorro [\$/m ³] 2020 Flowrates
PTAA-PV	-2,400	3,600	Diámetro: 4.69m (15.4 pies) X Altura: 12.28 m (40.3 pies)	\$650,000	\$1,300,000	\$314,000	\$253,000	\$61,400	0.94 (basado en 65,430 m ³ tratados en 2020)
PTAA-SPS	-4,100	6,150	Dia: 4.69m (15.4 pies) X Altura: 19.3 m (63.2 pies)	\$680,000	\$1,360,000	\$536,000	\$432,200	\$104,900	0.09 (basado en 1,228,700 m ³ tratados en 2020)
Haul Road	-3,600	7,350	Dia: 4.69m (15.4 pies) X Altura:	\$680,000	\$1,360,000	\$471,600	\$379,480	\$92,100	0.14 (Excluye los ahorros de costos de NaOH)

Planta de Tratamiento de agua ácida	Consumo de Cal (CaO) [toneladas/año]	Capacidad de Diseño del Sistema [toneladas/año] (+50%)	Estimación del tamaño del silo de cal (D x A pie)	Costo del equipo del Vendor	Costo Total Estimado (+100% del costo del equipo del Vendor)	Costo Anual Actual de la Cal [\$/año] ¹	Costo teórico anual de la cal [\$/año] ^{2,3}	Potencial Ahorro Anual [\$/año]	Potencial Ahorro [\$/m3] 2020 Flowrates
			19.3 m (63.2 pies)						
Notas:									
1. El costo actual de la cal viva (CaO) de malla 200 es de \$ 131 por tonelada.									
2. El costo de cal viva (CaO) de malla 100 es de \$ 127 por tonelada.									
3. El aumento de la eficiencia del apagado con cal según el trabajo de prueba de consumo de cal MLZ (Doc. H364459-00000-110-056-0003) es del 17%.									

La Tabla N° 3-2 resume el análisis de recuperación de la inversión que se completó para cada planta.

Tabla N° 3-2: Costos de Capital para Equipos de Apagado de Cal

Planta de Tratamiento de Agua Ácida	Flujo de Caja Acumulado	Valor Presente Neto (6%) ^{1, 2}	Período de Recuperación
PTAA-PV	(\$685,840)	(\$799,974)	21.2 Años
PTAA-SPS	(\$310,810)	(\$554,516)	13.0 Años
Haul Road	(\$438,760)	(\$643,357)	14.8 Años
Notas:			
1. Se asumió una tasa de descuento del 6%.			
2. El texto ROJO indica un valor de VPN negativo.			
3. Flujo de caja total no descontado durante un período de 10 años.			

En conclusión, no se considera económicamente viable instalar equipos individuales de apagado de cal en cada una de las plantas de tratamiento de agua ácida existentes (PTAA-PV, PTAA-SPS y Haul Road). Por lo tanto, los gastos de capital de esta estrategia de optimización deben mejorarse para aumentar el retorno de la inversión (ROI abreviatura en inglés). Esto se puede lograr mediante la instalación de un silo más pequeño, el uso de tanques / agitadores y bombas existentes y/u obtener cotizaciones de proveedores adicionales para obtener un mejor precio.

4. Estrategia de Optimización N° 3

La estrategia de optimización N° 3 propone, en primer lugar, combinar las plantas existentes: Haul Road y PTAA-SPS y, en segundo lugar, la incorporación de equipos de apagado de cal. Con base en los caudales históricos en 2020 [Ref 4], **el caudal combinado máximo estimado de Haul Road y PTAA-SPS es de 452 m³/h** (consulte los caudales en la Tabla N° 5-1).

El sistema de apagado de cal incluye lo siguiente:

- Silo de almacenamiento de acero atornillado.
- Apagador de cal.
- Tanque de lechada.
- Bombas de transferencia de lodos.
- Panel de control PLC.

La Tabla N° 4-1 resume las inversiones de capital de la planta y el ahorro anual potencial. El análisis asume que el costo total de instalación es aproximadamente dos veces el costo del equipo.

Tabla N° 4-1: Ahorro de Costos en la Planta de Tratamiento

Planta de Tratamiento de agua ácida	Consumo de Cal (CaO) [toneladas/año]	Capacidad de Diseño del Sistema [toneladas/año] (+50%)	Estimación del tamaño del silo de cal (D x A pie)	Costo del equipo por el Vendor	Costo Total Estimado (+100% del costo del equipo del Vendor)	Costo de Cal Anual de malla 100 [\$/año] ¹	Costo Anual Reducido de Cal [\$/año] ^{2,3}	Ahorro Potencial Anual [\$/año]	Ahorro Potencial Anual [\$/m3]
PTAA-SPS + Haul Road	~7,700	11,550	Dia: 6.57m (21.54 pies) X Altura: 28.11 m (92.22 pies)	\$1,073,000	\$2,146,000	\$1,008,700	\$811,650	~\$197,040	0.37 (asume un ahorro total de 197K más 500K para NaOH)
Notes: <ol style="list-style-type: none"> 1. El costo actual de la cal viva (CaO) de malla 200 es de \$ 131 por tonelada. 2. El costo actual de la cal viva (CaO) de malla 100 es de \$ 127 por tonelada. 3. El aumento de la eficiencia del apagado con cal según el trabajo de prueba de consumo de cal MLZ (Doc. H364459-00000-110-056-0003) es del 17%. 4. El costo se basa en cotizaciones de proveedores para sistemas más pequeños y luego se ajusta mediante la regla de las seis décimas. 									

La Tabla N° 4-2 resume el análisis de recuperación de la inversión para ambas opciones de combinación de plantas descritas anteriormente.

Tabla N° 4-2: Costos de Capital para Equipos de Apagado de Cal

Planta de Tratamiento de Agua Ácida	Flujo de Caja Acumulado ³	Valor Presente Neto (6%) ^{1,2}	Período de Recuperación
PTAA-SPS + Haul Road	(\$175,570)	(\$656,364)	10.9 Años
Notas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Suponga una tasa de descuento del 6%. 2. El texto ROJO indica un valor de VPN negativo. 			

Planta de Tratamiento de Agua Ácida	Flujo de Caja Acumulado ³	Valor Presente Neto (6%) ^{1, 2}	Período de Recuperación
3. Flujo de caja total no descontado durante un período de 10 años.			

Actualmente no hay infraestructura existente entre Haul Road (Poza 12) y PTAA-SPS. Como tal, se requerirían tuberías y bombas con una capacidad de 250 m³/h [Ref 4]. Es importante indicar que los cálculos completados en la tablas anteriores excluyen los ahorros de costos asociados al hecho de que la soda caustica (teóricamente) ya no sería necesaria, ya que se reemplaza por el uso de apagamiento de cal. Además, el equipo de apagado de cal estaría diseñado para manejar una cal de menor grado (malla 100).

El CAPEX preliminar se desarrolló para estimar los costos de instalación de la nueva infraestructura requerida para esta estrategia de optimización y se resume en la Tabla N° 4-3.

Tabla N° 4-3: Costos del Bombeo y Tuberías Nuevos desde Haul Road Poza 12 hasta Poza 18

Descripción		Valor	Unidad	Costo / Unidad	Costo [USD]
Nombre	Detalle	200	m ³ /h	-	-
Bomba / Potencia Instalada	Bomba 8"x6", 18 mca, 20 HP	15	kW	\$30,000	\$60,000 ¹
Longitud de Tubería ²	HDPE 6" SDR 17, + instalación	861	m	\$108	\$102,000 ³
Mecánica + Tubería (70%) (Asumido)					\$162,000
Civil, Instrumentación, Eléctrica (30%) (Asumido)					\$69,000
Estimación Total CAPEX (Alto Nivel)					\$0.23 M
Notas:					
1. El costo se duplica ya que se recomienda una bomba de reserva.					
2. Se utilizan dos (2) materiales de tubería (HDPE y CS) en función de las presiones previstas como resultado de los cambios de elevación.					
3. El costo incluye el 10% para accesorios de tubería.					

Tabla N° 4-4: Costos del Bombeo y Tuberías Nuevos desde Poza 18 hasta Poza 13

Descripción		Valor	Unidad	Costo / Unidad	Costo [USD]
Nombre	Detalle	200	m ³ /h	-	-
Bomba / Potencia Instalada	Bomba 8"x6", 21 mca, 20 HP	15	kW	\$30,000	\$60,000 ¹

Descripción		Valor	Unidad	Costo / Unidad	Costo [USD]
Longitud de Tubería ²	HDPE 8" SDR 13.5, + instalación	888	m	\$129	\$126,000 ³
Mecánica + Tubería (70%) (Asumido)					\$186,000
Civil, Instrumentación, Eléctrica (30%) (Asumido)					\$80,000
Estimación Total CAPEX (Alto Nivel)					\$0.26 M
Notas:					
4. El costo se duplica ya que se recomienda una bomba de reserva.					
5. Se utilizan dos (2) materiales de tubería (HDPE y CS) en función de las presiones previstas como resultado de los cambios de elevación.					
6. El costo incluye el 10% para accesorios de tubería.					

Los costos operativos del conjunto de bombas se muestra en la Tabla N° 4-3.

Tabla N° 4-5: Costos Operativos del Bombeo y Tuberías Nuevos desde Poza 18 hasta Poza 13

Descripción	Costo unit USD / Un	Cant	Horas/año	Cant/año	USD/año
Energía, kW	0.08 USD/kW	18.492	8,760	161,993	12,959
Personal (1 Operador)	12 USD/hh	2	17,520	-	315,360
Mantenimiento	-	10%	-	-	49,666
Total	-	-	-	-	377,986
Costo Operativo / m ³	-	-	-	-	0.22

Los costos laborales existentes para las plantas individuales y las plantas combinadas propuestas en esta estrategia de optimización se describen en la Tabla N° 4-6.

Tabla N° 4-6: Resumen de Costos Laborales

Costos	Existente: PTAA-SPS	Existente: Haul Road	Propuesto: Combinado en una sola Planta ¹
Costo Mensual	\$4,885	\$4,885	\$4,885
Costo Anual ²	\$58,620	\$58,620	\$58,620
Costo Total	\$117,240 ³		\$58,620³
Notas:			
1. Se asume que la planta combinada (única) requiere la mano de obra como una sola planta individual.			
2. Se asume que las operaciones ocurren 12 meses al año.			
3. Los costos anuales de la planta teóricamente se reducen a la mitad ya que las plantas se reducirán de dos a uno.			

Además, el costo específico por metro cubico para el sistema se estima en **\$0.32/m³**.