

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Optimización del proceso de tratamiento de agua en la
planta de osmosis reversa de la empresa Newmont-
Yanacocha**

Mariano Silva Lombardi

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Cajamarca, 2024

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de suficiencia profesional



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Felipe Nestor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Ing. Erika Karín Málaga Velásquez
Asesor de trabajo de suficiencia profesional

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación

FECHA : 16 de octubre del 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

"OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN LA PLANTA DE OSMOSIS REVERSA DE LA EMPRESA NEWMONT-YANACOCCHA".

Autor:

Mariano Silva Lombardi – EAP. Ingeniería Industrial

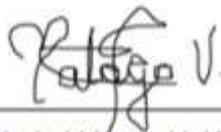
Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16% de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 10 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Erika Karín Málaga Velásquez
Asesor de trabajo de investigación

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental, al director de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, por permitirme realizar este informe de suficiencia profesional para optar el título profesional de ingeniero industrial.

Agradezco al ingeniero Néstor Del Águila Guadalupe y a la ingeniera Erika Karin Málaga Velásquez, por su asesoramiento en la ejecución y presentación del presente trabajo de suficiencia profesional.

Agradezco a la empresa Newmont Yanacocha, a quienes debo mi experiencia laboral y profesional.

A los ingenieros de la planta de procesos por permitirme y brindarme las facilidades para la ejecución de este trabajo experimental.

A los técnicos y operadores de planta de procesos y tratamiento de aguas por su apoyo incondicional para la implementación y puesta en marcha en ambos procesos del trabajo de suficiencia profesional presentado.

DEDICATORIA

El presente trabajo de suficiencia profesional está dedicado a mis padres, Nelson y Rosa, por su bendición diaria, su ejemplo de perseverancia y vida.

A mi esposa Úrsula, por su apoyo y amor incondicional, por siempre depositar su confianza en mí.

A mis amados hijos Mariana, Fabiana, Italo, Caetana y Thiago, por siempre ser la motivación y empuje en mi vida.

A la memoria de mi abuelo Abelardo, por siempre estar en mi vida con su ejemplo de fortaleza y resiliencia.

Mariano Silva Lombardi.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	1
ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA	1
1.1 Datos generales de la empresa Newmont Yanacocha.....	1
1.2 Actividad principal de Newmont Yanacocha	1
1.3 Reseña histórica	2
1.4 Organigrama de Newmont Yanacocha	3
1.5 Visión, misión y valores de Newmont Yanacocha	4
1.6 Bases legales o documentos administrativos.	4
1.7 Descripción del área de desempeño laboral	8
1.7.1 Geología.....	8
1.7.2 Mina	8
1.7.3 Procesos productivos	10
1.7.4 Procesos tratamiento de aguas	11
1.8 Descripción del cargo y responsabilidades del bachiller en la empresa	13
CAPÍTULO II.....	16
ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES	16
2.1 Antecedentes o diagnostico situacional	16
2.1.1 Antecedentes	16
2.1.2 Diagnostico situacional del área	16
2.2 Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional	17
2.2.1 Estrategias FO	18
2.2.2 Estrategias DO	19
2.2.3 Estrategias FA.....	19
2.2.4 Estrategias DA	19
2.3 Objetivos de la actividad profesional.....	19

2.3.1	Objetivo general.....	19
2.3.2	Objetivos específicos	20
2.4	Justificación de la actividad profesional	20
2.4.1	Identificación del problema	20
2.4.2	Justificación	25
2.5	Resultados esperados	29
2.6	Definición de términos básicos	29
CAPÍTULO III.....		33
MARCO TEÓRICO.....		33
3.1	Bases teóricas de las tecnologías o actividades realizadas.....	33
3.1.1	Proceso de Lixiviación.....	33
3.1.2	Cianuración de oro.....	34
3.1.3	Proceso de adsorción y desorción en columnas de carbón activado	37
3.1.4	Proceso de Merrill Crowe	40
3.1.5	Proceso de fundición.....	44
3.1.6	Proceso de tratamiento de soluciones por osmosis reversa.....	45
CAPÍTULO IV		47
DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES		47
4.1	Descripción de la actividad profesional	47
4.1.1	Enfoque de las actividades profesionales.....	47
4.1.2	Alcance de las actividades profesionales	47
4.1.3	Entregables de las actividades profesionales	49
4.2	Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	50
4.2.1	Metodologías.....	50
4.2.2	Técnicas	51
4.2.3	Instrumentos.....	54
4.2.4	Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades	54
4.3	Ejecución de las actividades profesionales	55
4.3.1	Cronograma de actividades realizadas.....	55
4.3.2	Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales	55
CAPÍTULO V		57
RESULTADOS.....		57
5.1	Resultados finales de las actividades realizadas	57
5.1.1	Introducción	57
5.1.2	Planteamiento del proyecto de mejora	58
5.1.3	Plan de acción para el trabajo experimental.....	59

5.1.4	Trabajo experimental	59
5.2	Logros alcanzados.....	73
5.2.1	Reducción del contenido metálico de cobre en el carbón adsorbido	73
5.2.2	Reducción de la concentración de cobre en la solución rica después de la desorción	74
5.2.3	Reducción de la concentración de cobre en la solución barren de ingreso a plantas de osmosis reversa	75
5.2.4	Reducción de la concentración de cobre en la solución tratada de las plantas de osmosis reversa	78
5.3	Dificultades encontradas	79
5.4	Planteamiento de mejoras	79
5.4.1	Metodologías propuestas.....	80
5.4.2	Descripción de la implementación.....	80
5.5	Análisis.	82
5.6	Aporte del bachiller en la empresa.....	83
CONCLUSIONES		86
RECOMENDACIONES.....		87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		88
ANEXOS		90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Matriz FODA.....	17
Tabla 2.	Análisis de la matriz FODA.....	18
Tabla 3.	Análisis químico concentraciones de cobre en agua tratada.....	21
Tabla 4.	Calidad de agua requerida para el tratamiento en osmosis reversa. (Western, 2010)	23
Tabla 5.	Análisis químico concentraciones de cobre, ingreso a osmosis reversa.	24
Tabla 6.	Análisis causa-efecto. Posibilidades	28
Tabla 7.	Diagrama de las actividades del proceso experimental.....	55
Tabla 8.	Análisis químico del carbón y contenido metálico.	60
Tabla 9.	Análisis químico de la solución desorbida.....	61
Tabla 10.	Cálculo del % de cobre desorbido.....	62
Tabla 11.	Cálculo del % de plata desorbida.....	62
Tabla 12.	Cálculo del % de oro desorbido.	63
Tabla 13.	Análisis químico del carbón y contenido metálico.	65
Tabla 14.	Análisis químico de la solución eluida, primera desorción.....	65
Tabla 15.	Cálculo del % de cobre desorbido.....	66
Tabla 16.	Cálculo del contenido metálico de cobre (primera desorción).....	67
Tabla 17.	Análisis químico de la solución eluida de la segunda desorción selectiva.	68
Tabla 18.	Cálculo del % de cobre desorbido, segunda desorción selectiva.	69
Tabla 19.	Cálculo del contenido metálico oro, plata y cobre.....	70
Tabla 20.	Análisis químico de la solución desorbida.....	71
Tabla 21.	Cálculo del % de cobre desorbido.....	72
Tabla 22.	Cálculo del % de oro desorbido.	72
Tabla 23.	Cálculo del % de plata desorbida.....	72
Tabla 24.	Concentraciones de metales desorbidos.....	73
Tabla 25.	Contenido de metales proceso de dilución.....	73
Tabla 26.	Contenido metálico después de dos desorciones.	74
Tabla 27.	Concentración de cobre en cada desorción.	74
Tabla 28.	Análisis de muestras en laboratorio, ingreso de soluciones a osmosis reversa	77
Tabla 29.	Valores analizados en laboratorio, muestras de solución tratada.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01.	Ubicación geográfica Newmont Yanacocha.....	1
Figura 02.	Barras de doré producción de Newmont Yanacocha	2
Figura 03.	Organigrama Newmont Yanacocha.....	3
Figura 04.	Top Soil, material orgánico almacenado para reforestación.....	9
Figura 05.	Voladura tajo Carachugo sur, Newmont Yanacocha	10
Figura 06.	Carguío y acarreo de mineral a pilas de lixiviación-Procesos.	10
Figura 07.	Esquema de los Procesos Productivos de Newmont Yanacocha	11
Figura 08.	Diagrama de flujo de plantas de procesos de Newmont Yanacocha.....	12
Figura 09.	Mapa de macroprocesos de Newmont Yanacocha.....	12
Figura 10.	Concentraciones de Cobre de agua tratada en osmosis reversa.	21
Figura 11.	Mezcla de soluciones para el proceso Merrill Crowe.	22
Figura 12.	Solución de ingreso a osmosis reversa.....	24
Figura 13.	Diagrama de Ishikawa de las 6 M.....	25
Figura 14.	Pad de lixiviación Pampa Larga.....	33
Figura 15.	Esquema del proceso de lixiviación.....	34
Figura 16.	Diagrama de Pourbaix.....	35
Figura 17.	Esquema de la disolución del oro en solución cianurada.....	35
Figura 18.	Pozas de captación y almacenamiento de solución rica lixiviada..	36
Figura 19.	Planta de adsorción y desorción, planta Pampa Larga.....	37
Figura 20.	Esquema del proceso de adsorción.	38
Figura 21.	Esquema del proceso de desorción..	40
Figura 22.	Esquema proceso de precipitación Merrill Crowe.	41
Figura 23.	Filtros clarificadores proceso Merrill Crowe	42
Figura 24.	Torres de desoxigenación proceso Merrill Crowe	42
Figura 25.	Mecanismo de precipitación del oro sobre el Zinc	43
Figura 26.	Esquema del proceso de fundición.....	44
Figura 27.	Colada, fundición de barras de doré.....	45
Figura 28.	Sistema de Osmosis Reversa.....	46
Figura 29.	Esquema básico de un sistema de osmosis reversa.....	46
Figura 30.	Adsorción de carbón activado a los complejos metálicos.....	52
Figura 31.	Proceso de desorción de carbones cargados con complejos metálicos.	52
Figura 32.	Esquema de desorción de carbones cargados con complejos metálicos..	53

Figura 33.	Solución barren de ingreso a osmosis reversa.....	57
Figura 34.	Concentración de cobre en agua tratada de osmosis reversa.	58
Figura 35.	Gráfica de la desorción de Au, Ag y Cu.	61
Figura 36.	Desorción selectiva de cobre a 90° C.....	64
Figura 37.	Primera desorción selectiva de cobre, desorción a temperaturas entre 10° C a 90°C.	66
Figura 38.	Segunda desorción selectiva de cobre, desorción a temperaturas entre 10°C a 90°C.	68
Figura 39.	Tercera desorción a temperatura de 10°C a 120°C.	71
Figura 40.	Contenido metálico cobre, desorciones.	74
Figura 41.	Concentración de cobre en cada desorción.	75
Figura 42.	Concentración final de ingreso a osmosis reversa.	76
Figura 43.	Concentración final ingreso a osmosis reversa.	77
Figura 44.	Concentración final de cobre descargado en solución tratada en osmosis reversa.	79

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad presentar los diferentes procesos en las operaciones de Newmont Yanacocha para la recuperación eficiente de los elementos metálicos valiosos como son el oro y la plata del mineral procesado, hasta obtener el producto final llamado barra doré (conformada porcentualmente de oro, plata e impurezas) para su comercialización final.

Para la obtención de la barra doré, se pasa por varias actividades previas, como las exploraciones, minado, carguío y acarreo a la planta de procesamiento del mineral rico en metales valiosos de oro y plata.

La planta de procesos, tiene varias etapas o procesos secundarios como son: proceso de lixiviación en pilas, captación y almacenamiento de soluciones ricas en oro y plata, proceso de adsorción en columnas de carbón, proceso de desorción del material valioso, proceso de precipitación mediante la actividad Merrill Crowe, recuperación del precipitado rico en oro y plata, secado y fundición de la barra doré.

Como áreas complementarias se tienen las plantas de tratamiento de aguas de excesos de los procesos, las plantas de tratamiento de aguas ácidas generadas producto de la etapa de minado y acumulación de desmonte.

El presente trabajo tiene también como objetivo general, optimizar el tratamiento de la planta de osmosis reversa, de tal manera que el agua tratada cumpla con la calidad y cantidad acordada en nuestra declaración de compromiso.

Como objetivos específicos de este trabajo, se ha realizado un estudio a nivel planta para optimizar el proceso de desorción de oro, plata y cobre, de los carbones cargados en el proceso de adsorción, determinando los parámetros más importantes como el rango de pH, concentración de cianuro de sodio, tiempo, temperatura y presión para mejorar la eficiencia de este proceso. Llegando a conclusiones importantes que se detallarán en los siguientes capítulos.

Palabras clave: proceso de tratamiento de agua, planta de osmosis reversa, Newmont Yanacocha.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present the different processes in Newmont Yanacocha's operations for the efficient recovery of valuable metallic elements such as gold and silver from the processed mineral, until obtaining the final product called doré bar (composed of gold, silver and impurities) for final commercialization.

To obtain the doré bar, several previous activities are carried out, such as exploration, mining, loading and transport to the processing plant of the mineral rich in valuable metals of gold and silver.

The processing plant has several stages or secondary processes such as: heap leaching process, capture and storage of solutions rich in gold and silver, adsorption process in carbon columns, desorption process of valuable material, precipitation process through the Merrill Crowe activity, recovery of the precipitate rich in gold and silver, drying and smelting of the doré bar.

The complementary areas include the treatment plants for excess water from the processes, the treatment plants for acid water generated by the mining and waste rock accumulation stages.

The present work also has the general objective of optimizing the treatment of the reverse osmosis plant, so that the treated water meets the quality and quantity agreed in our commitment statement.

As specific objectives of this work, a study has been carried out at the plant level to optimize the desorption process of gold, silver and copper from the carbons loaded in the adsorption process, determining the most important parameters such as the pH range, sodium cyanide concentration, time, temperature and pressure to improve the efficiency of this process. Important conclusions have been reached that will be detailed in the following chapters.

Keywords: water treatment process, reverse osmosis plant, Newmont Yanacocha.

INTRODUCCIÓN

La optimización de procesos industriales es clave para mejorar las eficiencias, reducir costos, obtener aceptación social y minimizar el impacto ambiental, particularmente en lo que respecta al tratamiento de aguas residuales de efluentes minero metalúrgicos. En este contexto, la planta de tratamiento de agua mediante osmosis reversa de la empresa Newmont Yanacocha desempeña un rol fundamental, ya que permite procesar el agua generada por contacto o remoción en diversas etapas de la extracción y procesamiento de minerales. La citada compañía, una de las minas de oro más grandes de América Latina, se enfrenta a desafíos continuos en la optimización de sus procesos para la extracción y obtención de metales preciosos, oro y la plata (barra doré) como productos de calidad comercial; asimismo, los procesos que garantizarán descargas de calidad y cantidad de agua tratada hacia el medioambiente.

El presente trabajo se enfoca en optimizar el proceso de la planta de osmosis reversa, con la finalidad de asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad ambiental estipulados en la normativa nacional, como los Límites Máximos Permisibles (LMP) para el contenido de cobre en el agua descargada y los acuerdos de compromiso con las comunidades dentro de la zona de influencia. De manera específica, se estudiaron aspectos del proceso de desorción de los metales adsorbidos en los carbones activados en las etapas previas ya que estas afectan significativamente la calidad de las soluciones que ingresan al sistema de osmosis reversa. Los parámetros clave como el pH, concentración de cianuro de sodio, temperatura, tiempo, presión y concentraciones fueron evaluados para mejorar la concentración de cobre al ingreso del proceso de osmosis inversa.

Los resultados de esta investigación revelaron varias oportunidades de mejora en el tratamiento de aguas, particularmente en la capacidad de las membranas de osmosis inversa para rechazar adecuadamente el cobre y otros metales presentes en el proceso. Además, se identificaron ajustes en los procedimientos de desorción, con la implementación de desorciones selectivas y no selectivas a distintas temperaturas, con el fin de reducir la concentración de cobre en las soluciones. De esta manera, se optimizó el proceso de tratamiento de agua por osmosis reversa y se redujo el contenido de cobre a niveles aceptables, mejorando así la sostenibilidad de la operación del proceso y su descarga ambiental.

En ese sentido, el trabajo de suficiencia profesional fue estructurado de la siguiente manera: en el capítulo I se precisaron los aspectos generales de la empresa Newmont Yanacocha, su actividad principal, la reseña histórica, el organigrama, la visión, misión y los valores; asimismo, se detalló la descripción del área de desempeño laboral, descripción del cargo y responsabilidades del bachiller en la empresa.

En el capítulo II se detallan los aspectos generales de las actividades profesionales, antecedentes o diagnóstico situacional, se identifica la oportunidad o necesidad en el área de la actividad profesional, así como los objetivos de la actividad profesional, el objetivo general, objetivos específicos, justificación de la actividad profesional, identificación del problema, la justificación y los resultados esperados.

Seguidamente, en el capítulo III se especifica lo relacionado al marco teórico, como las bases teóricas de las tecnologías o actividades realizadas respecto al tema tratado como: el proceso de lixiviación, cianuración de oro, proceso de adsorción y desorción en columnas de carbón activado, proceso de Merrill Crowe, proceso de fundición, proceso de tratamiento de soluciones por osmosis reversa.

En el capítulo IV, se describen las actividades profesionales, el enfoque de las actividades, alcance, los entregables y los aspectos técnicos de la actividad profesional; además se detallan las metodologías técnicas, instrumentos, equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades, la ejecución, el cronograma, el proceso y la secuencia operativa de las actividades profesionales.

El capítulo V, contemplan los resultados finales de las actividades realizadas, se propone el planteamiento del proyecto de mejora, plan de acción para el trabajo experimental, trabajo experimental, logros alcanzados, así como las dificultades encontradas, el planteamiento de mejoras y el aporte del bachiller en la empresa.

Finalmente, se dan a conocer conclusiones, recomendaciones, a las cuales se arribó producto del trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

1.1 Datos generales de la empresa Newmont Yanacocha

Políticamente, el complejo minero Newmont Yanacocha se encuentra ubicado en los distritos de Cajamarca, Baños del Inca y La Encañada, en la provincia de Cajamarca y región Cajamarca, a una distancia de aproximadamente de 20 km al norte de la ciudad de Cajamarca y a 583 km de la ciudad de Lima (distancias en línea recta). Geográficamente, se encuentra ubicado en la subcuenca de la quebrada Honda, perteneciente a la inter cuenca Alto Marañón IV; en las subcuencas del río Chonta y del río Mashcón, pertenecientes a la cuenca Crisnejas y en la subcuenca del río Rejo, perteneciente a la cuenca Jequetepeque, a una altitud que varía entre los 3,600 y 4,200 msnm (Ministerio del ambiente, 2019).



Figura 01. *Ubicación geográfica Newmont Yanacocha (Pérez, 2012)*

1.2 Actividad principal de Newmont Yanacocha

Newmont Yanacocha es una empresa minera cuya actividad principal es la producción de oro y plata; se trata de una mina a tajo abierto, explota mineral oxidado, que pasa por los procesos de exploración, minado, carguío y acarreo a la planta de beneficio, donde se procesa el mineral rico en oro y plata mediante los procesos de lixiviación en pilas, adsorción del oro y plata mediante el proceso de adsorción con carbón activado, los carbones ricos en oro y plata, son sometidos a un proceso de desorción, con alta concentración de cianuro de sodio, y sometido

a altas presiones y temperaturas cuyo objetivo es desorber el material valioso de los carbones y obtener una solución concentrada de oro y plata, posteriormente esta solución concentrada , pasa por el proceso de Merrill Crowe, donde por reacciones químicas de oxidación-reducción el oro y plata precipitan y posteriormente este precipitado es secado y fundido, obteniéndose el producto final la barra doré, cuya composición es de 70% de oro, 25% de plata y 5% de impurezas. La barra doré es el producto final que es comercializado (Vidal, 2022).



Figura 02. *Barras de doré producción de Newmont Yanacocha (Newmont Yanacocha, 2023)*

1.3 Reseña histórica

Newmont Yanacocha, fue fundada en 1,992 por las empresas accionistas: Newmont Corporation de los Estados Unidos (51,35 %), Minas Buenaventura de Perú (43,65%), y de la IFC (5%). (Guerrero, 2001).

En 1993 se inician las operaciones con el minado del tajo Carachugo Sur, produciendo su primera barra de doré el 7 de agosto de 1993. Desde la producción de la primera barra de doré, Newmont Yanacocha pasa por un proceso de crecimiento sistemático, desarrollando los yacimientos mineros de Maqui Maqui, San José, Yanacocha Norte, La Quinua y Chaquicocha, convirtiéndose en la mina de oro más grande de Sudamérica. En el año 2005 llega a su máxima producción, llegando a producir 3.3 millones de onzas de oro. (SAADE, 2013).

Actualmente Newmont Yanacocha es una empresa minera mediana y es la segunda productora de oro del Perú, con una producción aproximada de 260,000 Oz de oro anual.

Desde el 2022 Newmont Corporation es la empresa única propietaria de Newmont Yanacocha con el 100% de sus acciones.

Newmont es la empresa de oro líder en el mundo y un productor de cobre, plata, zinc y plomo. La cartera de activos, perspectivas y talento de clase mundial de la compañía está anclada en jurisdicciones mineras favorables en América del Norte, América del Sur, Australia y África.

Newmont es el único productor de oro que figura en el índice S&P 500 y es ampliamente reconocido por sus prácticas ambientales, sociales y de gobierno corporativo.

La compañía es líder de la industria en creación de valor, respaldada por sólidos estándares de seguridad, ejecución superior y competencia técnica. Newmont fue fundada en 1921 y ha sido comercializada en bolsa desde 1925. (Newmont Yanacocha, 2023).

1.4 Organigrama de Newmont Yanacocha

El organigrama de la empresa tiene la siguiente estructura:

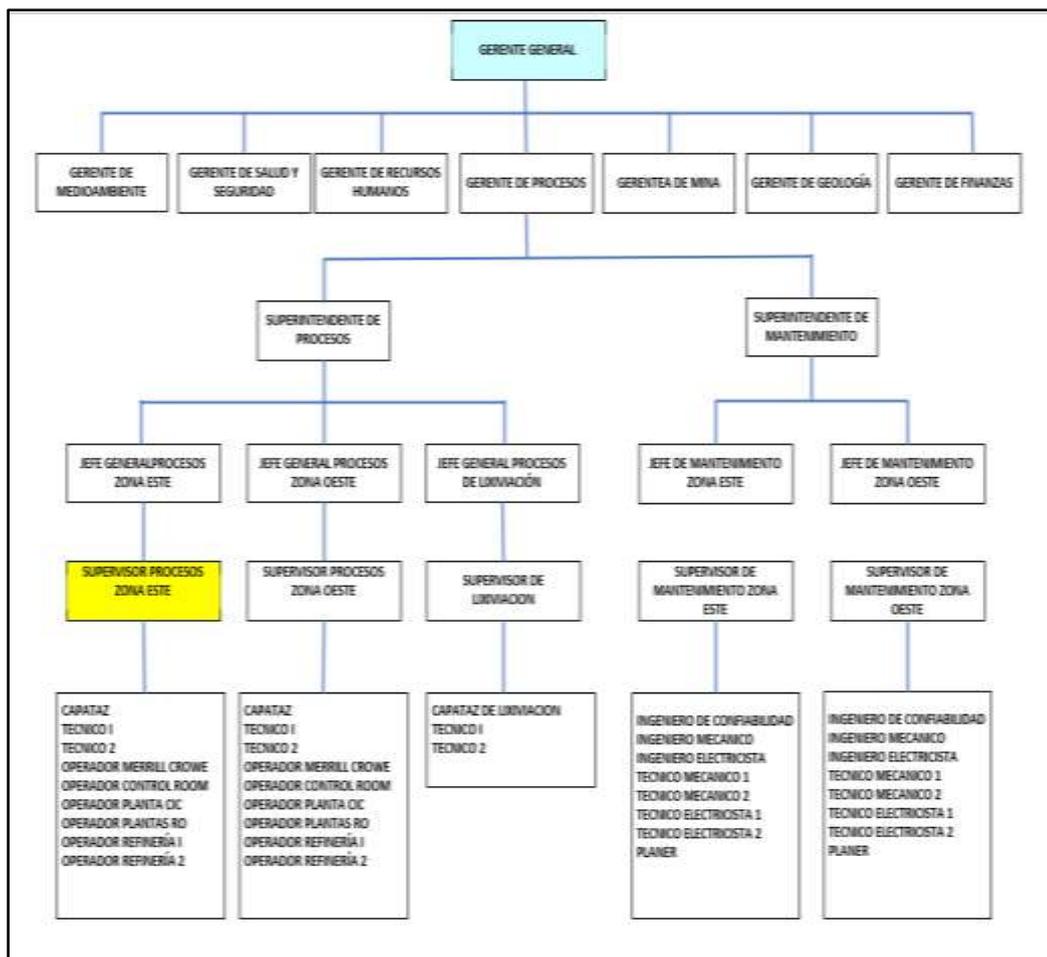


Figura 03. Organigrama Newmont Yanacocha.

1.5 Visión, misión y valores de Newmont Yanacocha

Newmont Yanacocha, tiene como propósito: “Crear valor y mejorar vidas a través de una minería sostenible y responsable”. Para esto la empresa cuenta con un plan estratégico que está sustentado por su visión, misión y sus valores. (Newmont Yanacocha, 2023).

a) Visión

La visión de la empresa es ser reconocidos y respetados por un excepcional desempeño económico, ambiental y social.

b) Misión

Para alcanzar la visión, la empresa tiene como misión transformar los recursos minerales en un valor compartido para nuestros grupos de interés y liderar la industria en rentabilidad para los accionistas, seguridad, responsabilidad social y gestión ambiental.

c) Valores

- Seguridad: Nos encargamos de nuestra seguridad, salud y bienestar reconociendo, evaluando y gestionando los riesgos, y eligiendo conductas más seguras para lograr un lugar de trabajo sin muertes, lesiones ni enfermedades.
- Integridad: Nos comportamos de manera ética y nos respetamos mutuamente, y también respetamos las costumbres, culturas y leyes donde sea que operemos.
- Sostenibilidad: Actuamos como catalizador para el desarrollo económico local a través del compromiso transparente y respetuoso de las partes interesadas y, además, actuamos como defensores responsables del medioambiente.
- Inclusión: Creamos un entorno inclusivo en el que los empleados tienen la oportunidad de contribuir, desarrollarse y trabajar juntos para cumplir lo establecido en nuestra estrategia.
- Responsabilidad: Cumplimos nuestro compromiso, demostramos liderazgo y tenemos el valor de expresarnos y desafiar el statu quo.

1.6 Bases legales o documentos administrativos.

Newmont Yanacocha realiza sus operaciones bajo estricto cumplimiento de las bases legales, reglamentos y cumplimiento de sus compromisos. La exploración y explotación se realiza bajo los lineamientos de la Constitución Política del Perú (Título III, Capítulo II “Del Ambiente y los Recursos Naturales”), las leyes y normas del Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del

Ambiente, Ministerio de Salud, Ministerio de Cultura, Ministerio de Agricultura y otras entidades gubernamentales. (Newmont Yanacocha, 2023).

Dentro de las leyes y sus reglamentos de estas entidades tenemos:

- Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada.
- Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería.
- Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.
- Ley de Cierre de Minas
- Ley General del Ambiente (Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental).
- Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.
- Ley General de Salud.
- Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.
- Ley de Control de Insumos Químicos y Productos Fiscalizados.
- Decreto Supremo 010-2010-MINAM. LMP para descargas de efluentes líquidos de las actividades Minero-Metalúrgicas.
- Decreto Supremo 004-2017-MINAM. ECA para el agua. Categoría 3: Riego de vegetales y consumo de animales.

Newmont Yanacocha opera bajo estricto cumplimiento de sus compromisos asumidos con el Estado Peruano, las comunidades y los grupos de interés.

Según Newmont Yanacocha (2023), para asegurar el cumplimiento de estos compromisos se tiene la “Declaración de compromiso” que se adjunta en este trabajo:

Declaración de compromiso

En Newmont Yanacocha estamos comprometidos en desarrollar una cultura basada en la protección de la salud y seguridad de nuestro equipo; así como en la generación de un entorno íntegro e inclusivo donde cada trabajador tenga la oportunidad de contribuir y desarrollarse. La responsabilidad con cada uno de nuestros grupos de interés, incluye el cuidado ambiental, la creación de valor y la mejora de vidas basada en los objetivos de desarrollo sostenible de la

Agenda 2030 y nuestros pilares estratégicos corporativos. Así, a través de toda nuestra cadena de valor, buscamos asegurar el cumplimiento de los siguientes compromisos:

a) Respetto a la salud y seguridad:

- Promover un ambiente de trabajo seguro, libre de lesiones y enfermedades ocupacionales, principalmente a través del liderazgo visible, compromiso y participación activa del personal; asimismo, de la gestión de los riesgos de fatalidad, controles críticos y la eliminación de trabajos con energía viva.
- Identificar y comunicar los peligros; evaluar y controlar los riesgos de nuestras actividades.
- Cumplir y/o superar las buenas prácticas que apliquen a nuestra operación, basándonos en nuestro valor de la responsabilidad.
- Revisar, auditar y mejorar de forma continua nuestro sistema de Gestión en Salud y Seguridad, de acuerdo con las normas internacionales.
- Comunicar y capacitar de forma permanente a nuestro personal sobre los peligros, riesgos y medidas de control relacionadas con la salud y la seguridad en su lugar de trabajo.
- Integrar la seguridad, bioseguridad, salud y el bienestar a nuestra vida diaria. Desarrollar incidencia dentro y fuera de nuestro lugar de trabajo.

b) Respetto a la integridad:

- Cumplir con nuestro código de conducta y los estándares anticorrupción nacionales e internacionales.
- Actuar de manera ética en todas las interacciones con nuestros grupos de interés.
- Divulgar información basada en hechos.
- Fomentar la competencia justa y transparente en nuestras operaciones.
- Evitar y/o administrar situaciones de conflictos de interés.
- Aplicar las normas de registros exactos y gestionar la información confidencial.

c) Respetto a la sostenibilidad:

- Conocer e incorporar las expectativas y opiniones de las comunidades de nuestra zona de influencia de acuerdo a nuestros estándares y bajo el marco de la regulación vigente.
- Fortalecer las relaciones de confianza con nuestros grupos de interés basadas en el respeto mutuo y honesto.
- Establecer un diálogo transparente y permanente con todos nuestros grupos de interés.

- Priorizar la promoción del desarrollo económico local fomentando una cultura empresarial socialmente responsable, competitiva y sostenible.
- Respetar y promover los derechos humanos consagrados en la Carta Internacional de los Derechos Humanos, y nuestro compromiso con el Pacto Global y los Principios Voluntarios de Seguridad y Derechos Humanos, incorporando la debida diligencia de los Principios Rectores.
- Contribuir con la implementación de la estrategia de reducción de emisiones de carbono y mitigación de los efectos de cambio climático de Newmont, alineado con las directivas del acuerdo de Paris.

d) Respeto a la inclusión:

- Conocer y respetar la cultura y costumbres de las comunidades de nuestro entorno y de la sociedad en general.
- Crear un entorno en el que todas las personas tengan la oportunidad de desarrollarse, contribuir y trabajar en equipo para cumplir con nuestra estrategia.
- Asegurar el compromiso de los líderes de la empresa para la generación y el desarrollo de equipos diversos, donde nuestras diferencias nos hagan más seguros, más fuertes e innovadores.
- Respetar, comprender y aceptar a los demás, valorando la singularidad que todos podemos aportar. Identificar e incorporar símbolos de inclusión en nuestra operación y oficinas; así como eliminar aquellos que resulten exclusivos, apoyándonos en nuestros grupos voluntarios, BRGs.

e) Respeto a la responsabilidad:

- Fomentar una cultura ambiental responsable y fortalecer nuestro desempeño, aplicando las normas internacionales que hemos suscrito voluntariamente.
- Garantizar que los aspectos ambientales de nuestras actividades, productos y/o servicios, se desarrollen de acuerdo a lo establecido en la ley peruana y en nuestros instrumentos de gestión ambiental.
- Gestionar la calidad y cantidad de agua en nuestras operaciones bajo un enfoque de cuenca, manteniendo el criterio de mejora continua en coordinación con las autoridades y grupos de interés.
- Promover los programas participativos de vigilancia ambiental con el involucramiento de las comunidades correspondientes y autoridades competentes, y asegurar la comunicación transparente y oportuna de los resultados.
- Atender las consultas, quejas y reclamos con la debida diligencia.

1.7 Descripción del área de desempeño laboral

Newmont Yanacocha es una empresa minera productora de oro y plata, cuyo producto final es la barra de doré constituida por 70% de oro, 25% de plata y 5% de impurezas aproximadamente.

Newmont Yanacocha está constituida por 04 áreas principales (Geología, Mina, Procesos y Tratamiento de aguas), además de ello contamos con áreas de soporte (Administración, Mantenimiento, Logística, Seguridad, Medioambiente y Responsabilidad Social), que unidas forman una empresa sólida, rentable y se trabaja respetando los más estrictos estándares de producción, seguridad, respeto al medioambiente y con la responsabilidad social.

Newmont Yanacocha a lo largo de su historia es una empresa de clase mundial, que tiene como propósito: “Crear valor y mejorar vidas a través de una minería sostenible y responsable” (Newmont Yanacocha, 2023). Dentro de sus actividades productivas para la obtención de la barra doré se realizan las siguientes actividades:

1.7.1 Geología

El área de Geología, encargada de las exploraciones mineras, realiza trabajos de exploración. Consiste en ubicar zonas donde exista la presencia de minerales cuya explotación sea económicamente rentable.

Inicialmente se utilizan reportes satelitales para determinar zonas mineralizadas en los lugares a explorar. Después, los geólogos recogen muestras (rocas) del suelo para conocer los elementos y minerales que las conforman. Si los análisis dan resultados positivos se procede con la perforación, se sacan muestras de diferentes profundidades (testigos) para determinar tipo, cantidad, profundidad y otras características del mineral. Finalmente, se investiga y determina cuánto mineral existe en la zona.

Todas estas investigaciones se realizan siempre previa autorización de la autoridad competente y de los pobladores de las zonas a explorar. (Newmont Yanacocha, 2023).

1.7.2 Mina

Área encargada de realizar las actividades de pre minado, minado, carguío y acarreo del material valioso a las plantas de procesamiento de minerales, así como garantizar la consecución de los objetivos de producción, costos, seguridad y cumplimiento de los estándares medioambientales y sociales.

- Pre minado

Antes de iniciar el trabajo de explotación en sí, es necesario retirar del terreno la capa superficial de tierra orgánica (top soil) que permite el crecimiento de vegetación en la superficie. (Arce, 2022).

El top soil es un material orgánico que a través de los años se han depositado en la superficie formando capas de material orgánico rico en nutrientes que es aprovechado para la agricultura y reforestación. Newmont Yanacocha, cumple con la protección de este material valioso, realizando un pre minado y conservando este material para futuras forestaciones en la etapa de cierre de minas.



Figura 04. *Top Soil, material orgánico almacenado para reforestación. (Newmont Yanacocha, 2023)*

- Minado

Consiste en la extracción del material valioso que contiene oro y plata, mediante el proceso de perforación y voladura en donde se extrae el mineral mediante el uso de explosivos, un correcto uso de los explosivos con un diseño adecuado nos permite realizar una voladura controlada con el menor costo y lo más importante con la mayor seguridad.

En el proceso de minado se aplican los más estrictos controles y estándares de seguridad con la finalidad de evitar accidentes y la pérdida de vidas. (Fonseca, 2021).



Figura 05. *Voladura tajo Carachugo sur, Newmont Yanacocha (Newmont Yanacocha, 2023)*

- Carguío y acarreo

Camiones gigantes (que pueden cargar hasta 250 toneladas de mineral) llevan el mineral extraído del tajo a la pila de lixiviación (o PAD), que es la estructura donde se acumula el mineral extraído del cerro para ser lixiviado sin daño ambiental y así recuperar el oro existente.



Figura 06. *Carguío y acarreo de mineral a pilas de lixiviación-Procesos. (Newmont Yanacocha, 2023)*

1.7.3 Procesos productivos

Las actividades profesionales y el desarrollo del presente trabajo de investigación se realizan en el área de Procesos. La planta de procesos tiene varias etapas o procesos secundarios como: proceso de lixiviación en pilas, captación y almacenamiento de soluciones ricas en oro y plata, proceso de adsorción en columnas de carbón, proceso de desorción del material valioso, proceso de precipitación mediante la actividad Merrill Crowe, recuperación del precipitado rico en oro y plata, secado o retorteo, fundición y obtención de la barra doré.

1.7.4 Procesos tratamiento de aguas

Así como en el área productiva, la actividad profesional y el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional, se realiza la optimización del proceso de tratamiento de aguas en las plantas de osmosis reversa.

Se tiene las áreas complementarias como son las plantas de tratamiento de aguas de excesos de los procesos y las plantas de tratamiento de aguas ácidas generadas producto de la etapa de minado y acumulación de desmonte.

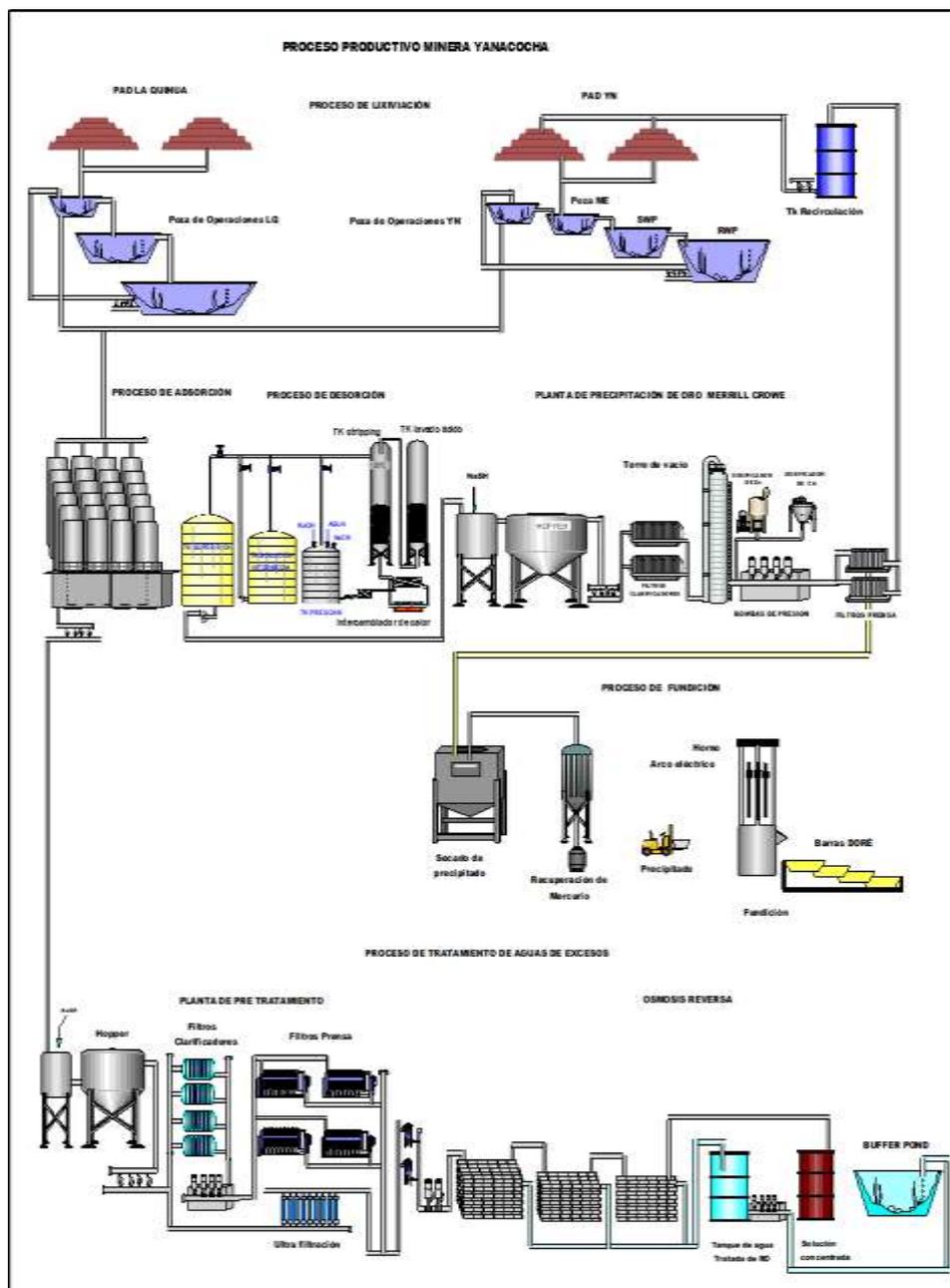


Figura 07. Esquema de los Procesos Productivos de Newmont Yanacocha

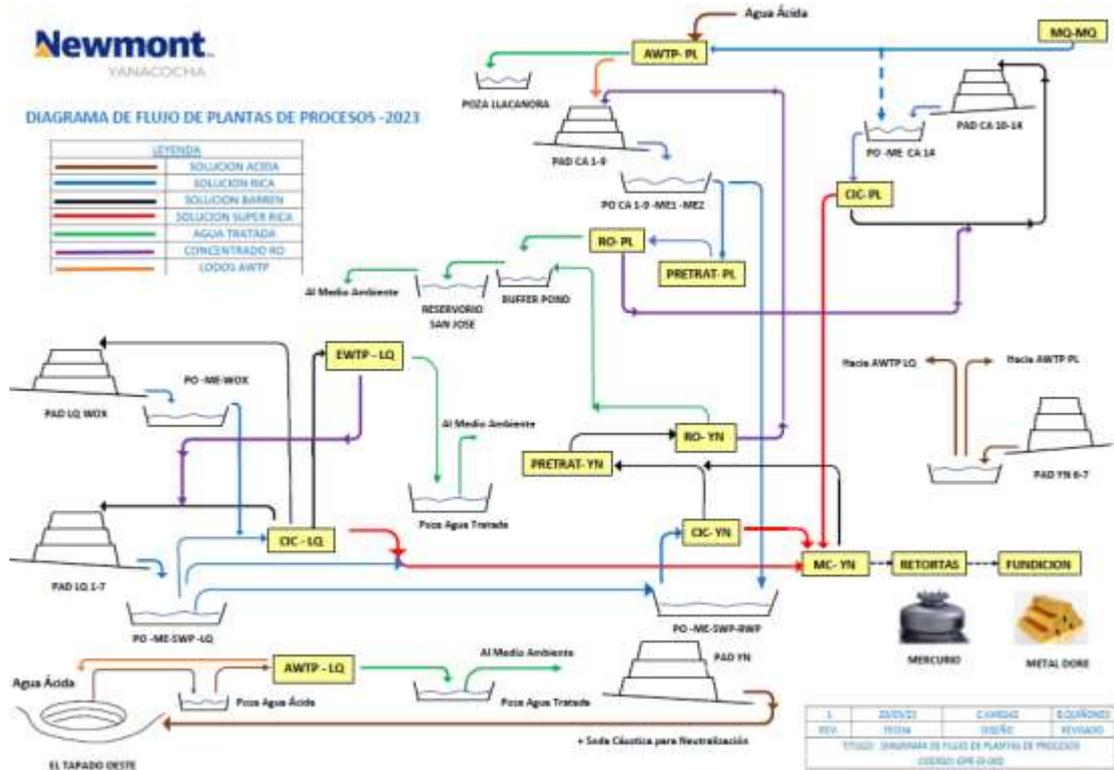


Figura 08. Diagrama de flujo de plantas de procesos de Newmont Yanacocha (Newmont Yanacocha, 2023).

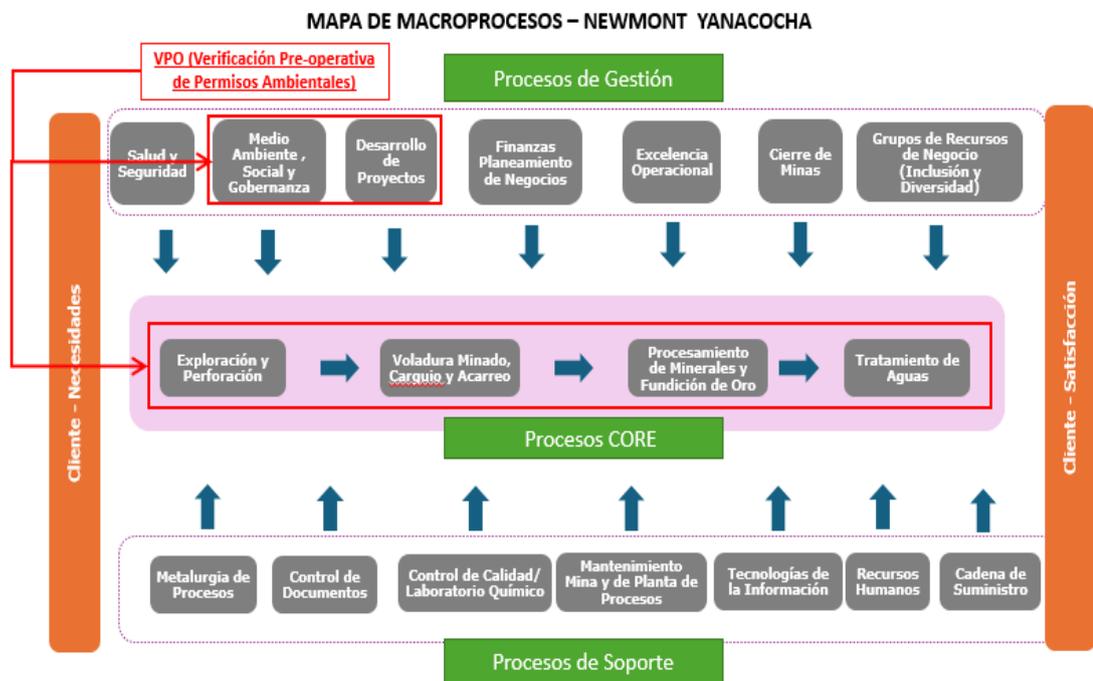


Figura 09. Mapa de macroprocesos de Newmont Yanacocha (Newmont Yanacocha, 2023).

1.8 Descripción del cargo y responsabilidades del bachiller en la empresa

La posición de supervisor de procesos, tiene a cargo las operaciones de proceso de adsorción y desorción de plantas de columnas de carbón, proceso Merrill Crowe, proceso de fundición y procesos de tratamiento de aguas de excesos y aguas acidas.

Las responsabilidades del supervisor son las siguientes:

- Organizar y supervisar la operación de las plantas de procesos asignadas con la finalidad de optimizar la producción y cumplir con los estándares de calidad de las descargas de agua hacia el medioambiente. Cumpliendo los estándares y normas de seguridad para desarrollar trabajos seguros.
- Programar y hacer seguimiento a los procesos con la finalidad de alcanzar, superar los estándares operativos y cumplir con las metas de producción.
- Programar, coordinar, supervisar la entrega de los equipos requeridos y suministrar los insumos oportunamente para asegurar la continuidad de la producción.
- Inspeccionar, distribuir y asignar actividades al personal en el turno de trabajo para cumplir con el cronograma y los procedimientos de trabajo.
- Inspeccionar las áreas operativas y orientar al equipo en el desarrollo de tareas para el cumplimiento de la producción diaria bajo estricto cumplimiento de los estándares de seguridad y normas medioambientales.
- Analizar y monitorear la solución de problemas operativos para asegurar el cumplimiento de los objetivos del área.
- Controlar los parámetros de operación de los diferentes procesos con la finalidad de mantenerlos en los valores establecidos.
- Elaborar y entregar el reporte de guardia para la continuidad de las operaciones.
- Elaborar los procedimientos de trabajo para estandarizar la ejecución de las tareas.
- Conocer y cumplir con el reglamento de seguridad e higiene minera (DS.046-2001-EM), el manual de prevención de pérdidas de Newmont Yanacocha, el manual interno de procedimientos y normas de su área de trabajo y las actividades de prevención de pérdidas programadas para el área.
- Conocer y demostrar compromiso y cumplimiento, dentro de los límites de su control y cuando sea aplicable a sus actividades, con la declaración de compromiso de Newmont Yanacocha.
- Demostrar sensibilidad social, compromiso y cumplimiento de los valores corporativos y con la política de responsabilidad social, de la empresa, manteniendo un comportamiento socialmente responsable con la comunidad y con la compañía.

Los supervisores del área de procesos tienen objetivos personales anuales que son continuamente evaluados por el jefe inmediato superior.

Los objetivos personales son los siguientes:

En salud y seguridad:

- Fortalecer el liderazgo visible, comprometido con la seguridad y bienestar del personal a cargo.
- Realizar mejoras consistentes del sistema de gestión de riesgos de fatalidad (FRM), considerando mejoras en la calidad de las verificaciones de controles críticos a través del coaching, mínimo 25% de coaching en las VCC mensuales.
- Continuar con la implementación del estándar de reducción de riesgos de fatiga.
- Reducir el promedio de SPEs registrados en la operación durante los últimos 3 años, y reforzar el proceso de socialización de lecciones aprendidas.
- Reducir las exposiciones que están por encima del OEL en relación a los resultados del 2022, para los grupos de exposición similar prioritarios (SEGS).
- Completar la eliminación de trabajos con energía viva (LWE) y eliminar el 95% de este trabajo para fines de 2023 en cada una de sus áreas bajo responsabilidad, con refuerzo en la replicación rápida.

En excelencia operacional:

- Producir 260,000 Oz de oro a un costo operativo de 1,200 \$/ Oz Au. o menor.
- Lograr ahorros de 4'000,000 dólares como parte del equipo del programa en Full Potencial.
- Maximizar áreas de lixiviación en Pad hasta donde el flujo de solución lo permita (Re lixiviación, Inyección Leaching) y riego de taludes, para garantizar la producción planeada del año.
- Operar a capacidad de diseño de las plantas de tratamiento de aguas durante época de lluvias y garantizar el cumplimiento de nuestros compromisos con las comunidades en descarga de aguas.

En crecimiento de la organización:

- Dar soporte en lo requerido para el proyecto Yanacocha Sulfuros y colaborar en la implementación de los trabajos tempranos.

- Dar soporte en la revisión del desarrollo de recursos estratégicos para soportar las operaciones durante los siguientes años.
- Dar soporte en la implementación del plan estratégico para la producción de cal y su abastecimiento a los diferentes procesos, como reactivo químico importante para la producción de oro.
- Dar soporte en lo requerido para el proyecto de diseño y construcción de nuevas plantas de tratamiento de aguas.

En gobierno de personas:

- Implementar la filosofía de gestión del talento de Newmont e integrarla con la región Sudamérica.
- Facilitar y modelar una cultura de retroalimentación que apoye la motivación, el desempeño, el crecimiento y el desarrollo de los empleados, por lo menos 02 sesiones por año con los reportantes.
- Fomentar con transparencia la diversidad, la inclusión, la integridad y la responsabilidad.
- Desarrollar plan para asegurar la integración entre las operaciones de Yanacocha y el Proyecto Sulfuros.

En medioambiente y responsabilidad social:

- Apoyar en la definición y validación de la estrategia para la marca Newmont Yanacocha.
- Mejorar la gestión de los riesgos ambientales en Newmont Yanacocha, incluyendo la mejora continua en la gestión del manejo de cianuro, cero derrames de soluciones cianuradas al medioambiente y soportar al Champion para este objetivo.
- Conseguir la recertificación del Código de Cianuro.
- Apoyar en la aceptación social para el Proyecto Sulfuros que incluye la maximización de oportunidades locales.
- Implementar todos los aspectos del nuevo estándar global de la Industria (GISTM) sobre manejo de relaves.
- Colaborar para el avance en el estudio de la etapa 2A del proyecto de cierre y soportar en la implementación del plan de gestión de lodos del tratamiento de aguas.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

2.1 Antecedentes o diagnóstico situacional

2.1.1 Antecedentes

Newmont Yanacocha es una empresa minera a tajo abierto que procesa mineral oxidado en cuya composición contiene material valioso diseminado de oro, plata y otros elementos metálicos, su actividad principal es la producción de oro y plata en forma de barras doré. El procesamiento del mineral pasa por una serie de actividades como: exploración, minado, carguío y acarreo a las plantas de procesos.

Las actividades profesionales se realizan en la planta de procesos en la posición de Supervisor de Procesos, cuya actividad principal es organizar las labores diarias y supervisar la operación de las plantas de procesos y tratamiento de aguas con la finalidad de cumplir con los planes de producción diaria, optimizar los procesos y cumplir con los estándares de calidad y cantidad de descargas de agua al medioambiente. Estas actividades se realizan bajo estricto cumplimiento de los estándares y normas de seguridad, ambientales y sociales.

La planta de procesamiento de minerales es un proceso complejo ya que tiene varias etapas: lixiviación en pilas, captación y almacenamiento de soluciones ricas, proceso de adsorción y desorción en plantas de carbón activado, proceso de precipitación por el método Merrill Crowe y fundición.

Las soluciones estériles del proceso pasan por plantas de tratamiento de aguas de excesos osmosis reversa y las aguas generadas en la actividad de minado y captación de drenajes ácidos, son tratadas en plantas convencionales de tratamiento de aguas ácidas.

2.1.2 Diagnóstico situacional del área

El área de procesos, como se explicó, es un área muy compleja que tiene varios sub procesos, como materia de este estudio, el presente trabajo se enfoca en los sub procesos de desorción de oro en carbón activado y en las plantas de tratamiento de aguas de excesos por osmosis reversa.

Para realizar el análisis situacional de estas sub áreas analizamos el entorno interno y externo mediante la matriz de análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), con la finalidad de detectar los principales problemas y ver las oportunidades de mejora que pueden ser aprovechadas para mejorar los procesos.

Tabla 1. Matriz FODA.

ANALISIS INTERNO		ANALISIS EXTERNO	
FORTALEZAS		OPORTUNIDADES	
1	Contamos con laboratorios analíticos con equipos de alta calidad.	1	Mayor demanda de procesamiento de minerales debido a la ampliación de tajos en el yacimiento minero.
2	Contamos con plantas de tratamiento de aguas con alta tecnología (Plantas de osmosis reversa y ultra filtración).	2	Mayor demanda de tratamiento de aguas excesos de los procesos productivos.
3	Procedimientos y estándares operativos de acuerdo a los lineamientos de seguridad y cuidado del medioambiente.	3	Grandes proyectos de inversión para mejorar la producción.
4	Excelente clima laboral y horarios de trabajo que permite a la fuerza laboral capacitarse para ser más eficientes		
DEBILIDADES		AMENAZAS	
1	Baja capacidad para investigar y mejorar nuestros procesos.	1	Regulaciones más estrictas en descargas de aguas al medioambiente (ECAS)
2	No contamos con los permisos respectivos para implementar cambios en los procesos para mejorar las operaciones.	2	Dificultades en la obtención de permisos gubernamentales para la implementación de nuevos procesos de tratamiento de aguas.
3	Personal operativo de las plantas de procesos con baja formación técnica.	3	Cierre de nuestras operaciones por incumplimiento de nuestro compromiso de descarga de aguas al medioambiente con la cantidad y calidad establecida.
4	Personal de la línea de supervisión enfocado en producción y no en la mejora continua de los procesos.	4	Leyes gubernamentales desfavorables en las políticas de inversiones mineras.

2.2 Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional

Del análisis FODA, se identificaron y crearon las estrategias para alcanzar los objetivos como área de procesos de producción de oro y las estrategias para alcanzar el objetivo principal, que es la optimización de la planta de osmosis reversa.

Tabla 2. Análisis de la matriz FODA.

		FORTALEZAS		DEBILIDADES	
Análisis Interno.	F1	Contamos con laboratorios analíticos con equipos de alta calidad.		D1	Baja capacidad para investigar y mejorar nuestros procesos.
	F2	Contamos con plantas de tratamiento de aguas con alta tecnología (plantas de osmosis reversa y ultrafiltración).		D2	No contamos con los permisos respectivos para implementar cambios en los procesos para mejorar las operaciones.
	F3	Procedimientos y estándares operativos de acuerdo a los lineamientos de seguridad y cuidado del medioambiente.		D3	Personal operativo de las plantas de procesos con baja formación técnica.
	F4	Excelente clima laboral y horarios de trabajo que permite a la fuerza laboral capacitarse para ser más eficientes.		D4	Personal de la línea de supervisión enfocado en producción y no en la mejora continua de los procesos.
Análisis Externo		Estrategias FO		Estrategias DO	
OPORTUNIDADES					
O1	Mayor demanda de procesamiento de minerales debido a la ampliación de tajos en el yacimiento minero.	1	Desarrollar investigación para mejorar el tratamiento de aguas en las plantas de Osmosis Reversa y Ultrafiltración (F1, F2 - O1, O2).	4	Incentivar la mejora continua para optimizar los procesos para afrontar con éxito la mayor demanda de producción y tratamiento de aguas (D1, D2 - O1, O2).
O2	Mayor demanda de tratamiento de aguas de excesos de los procesos productivos.	2	Incrementar la capacidad de las plantas de producción y las plantas de tratamiento de aguas para soportar la mayor demanda de procesos de producción de oro y el mayor flujo de tratamiento de aguas. (F3, F4 - O2, O4).	5	Desarrollar nuevas tecnologías para la producción de cobre en nuestras operaciones: (Procesos de Flotación de minerales, biolixiviación, oxidación en autoclaves, etc.) (D2 - O2)
O3	Grandes proyectos de inversión para mejorar la producción.	3	Desarrollar con la anticipación posible el estudio de impacto ambiental para evaluar viabilidad de los nuevos proyectos (F3, F4 - O3, O4).	6	Capacitar al personal técnico y a la línea de supervisión, en cursos con las últimas tendencias de tratamiento de aguas. (D3, D4 - O2)
AMENAZAS		Estrategias FA		Estrategias DA	
A1	Regulaciones más estrictas en descargas de aguas al medioambiente (ECAS).	7	Desarrollar nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas para estar preparados para las nuevas regulaciones medioambientales (F3 - A1, A3).	9	Capacitar al personal técnico y a la línea de supervisión, en cursos con las últimas tendencias de tratamiento de aguas (D3, D4 - A2, A3).
A2	Dificultades en la obtención de permisos gubernamentales para la implementación de nuevos procesos de tratamiento de aguas.	8	Implementar controles más severos en los análisis químicos de muestras de agua y control de los flujos de descarga en los lugares de entrega de agua regulados por la autoridad (F3, F4 - A2, A3).	10	Formar un equipo de diferentes áreas de la empresa para obtener la licencia social para operar y desarrollar nuestros nuevos proyectos de inversión (D2 - A2, A4).
A3	Cierre de nuestras operaciones por incumplimiento de nuestro compromiso de descarga de aguas al medioambiente con la cantidad y calidad establecida.				
A4	Leyes gubernamentales desfavorables en las políticas de inversiones mineras.				

2.2.1 Estrategias FO

- Desarrollar investigación para mejorar el tratamiento de aguas en las plantas de osmosis reversa y ultra filtración (F1, F2 - O1, O2).

- Incrementar la capacidad de las plantas de producción y las plantas de tratamiento de aguas para soportar la mayor demanda de procesos de producción de oro y el mayor flujo de tratamiento de aguas. (F3, F4 - O2, O4).
- Desarrollar, con la anticipación posible, el estudio de impacto ambiental para evaluar viabilidad de los nuevos proyectos (F3, F4 - O3, O4).

2.2.2 Estrategias DO

- Incentivar la mejora continua para optimizar los procesos para afrontar con éxito la mayor demanda de producción y tratamiento de aguas (D1, D2 - O1, O2).
- Desarrollar nuevas tecnologías para la producción de cobre en nuestras operaciones: (Procesos de Flotación de Minerales, biolixiviación, oxidación en autoclaves, etc.) (D2 - O2).
- Capacitar al personal técnico y a la línea de supervisión en cursos con las últimas tendencias de tratamiento de aguas. (D3, D4 - O2).

2.2.3 Estrategias FA

- Desarrollar nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas, a fin de estar preparados para las nuevas regulaciones medioambientales. (F3 - A1, A3).
- Implementar controles más severos en los análisis químicos de muestras de agua y control de los flujos de descarga en los lugares de entrega de agua regulados por la autoridad. (F3, F4 - A1, A4).

2.2.4 Estrategias DA

- Capacitar al personal técnico y a la línea de supervisión en cursos con las últimas tendencias de tratamiento de aguas. (D3, D4 - A2, A3).
- Formar un equipo de diferentes áreas de la empresa, para obtener la licencia social, con la finalidad de operar y desarrollar nuevos proyectos de inversión. (D2 - A2, A4).

2.3 Objetivos de la actividad profesional

2.3.1 Objetivo general

Optimizar el tratamiento de la planta de osmosis reversa, de tal manera que el agua tratada cumpla con la calidad y cantidad acordada en nuestra declaración de compromiso. Asimismo, se cumpla con los límites de permisibilidad ambiental de la normativa peruana.

2.3.2 Objetivos específicos

- a) Identificar la causa raíz de la alta concentración de cobre en el agua tratada de la planta osmosis reversa.
- b) Realizar un estudio a nivel planta para la separación de cobre de la solución desorbida de los carbones en el proceso de desorción.
- c) Determinar experimentalmente los rangos de temperatura que deben ser sometidos los carbones para la separación del cobre en la solución desorbida.
- d) Hacer análisis, seguimiento y control de la calidad del agua tratada en la planta osmosis reversa, después de la separación del cobre de la solución desorbida.

2.4 Justificación de la actividad profesional

2.4.1 Identificación del problema

Actualmente, la planta de tratamiento de aguas por osmosis reversa presenta serias deficiencias para la descarga de agua tratada al medioambiente, debido a las altas concentraciones de cobre en la solución tratada, la cual supera el límite máximo permisible (LMP) para la descarga de 0.5 ppm. El agua que está por encima del límite máximo permisible (LMP), no se descarga hacia el medioambiente y requiere de retratamientos y diluciones hasta tener bajo control el contenido de cobre, generándose también costos por el retratamiento propio y en escenarios de niveles altos en las pozas de contención, eminentes emergencias ambientales con probabilidad de rebose de las soluciones de los procesos.

De acuerdo al análisis químico realizado se evidenció la baja eficiencia del tratamiento de aguas en osmosis reversa y los valores fuera del límite máximo permisible (LPM).

Las soluciones barren a tratar en la planta osmosis reversa, provenientes del proceso Merrill Crowe, superan las especificaciones mínimas de concentraciones de cobre; por lo que las membranas filtrantes o de rechazo no cumplen su función y la solución tratada, producto del proceso de osmosis reversa, supera ampliamente el estándar de los límites máximos permisibles en concentraciones de cobre. En ese sentido, es necesario realizar mezclas con otras aguas tratadas y/o retratamientos para poder cumplir con este parámetro de descarga hacia el medio ambiente.

Se ha visto por conveniente realizar un tratamiento previo de separación de cobre en el proceso de desorción de oro en carbón activado, antes del ingreso de la solución eluida a la planta Merrill Crowe y al ingreso a la planta de osmosis reversa.

Tabla 3. Análisis químico concentraciones de cobre en agua tratada.

RESULTADOS DE LABORATORIO		
Día	Cu (ppm)	LMP
1	0.90	0.50
2	0.75	0.50
3	0.80	0.50
4	1.40	0.50
5	0.95	0.50
6	0.90	0.50
7	0.70	0.50
8	1.10	0.50
9	1.20	0.50
10	1.45	0.50
11	0.90	0.50
12	0.85	0.50
13	1.10	0.50
14	0.90	0.50
15	1.30	0.50
16	0.78	0.50
17	1.10	0.50
18	0.90	0.50
19	1.23	0.50
20	0.70	0.50
21	0.55	0.50
22	0.90	0.50
23	0.75	0.50
24	1.00	0.50
25	1.20	0.50
26	1.10	0.50
27	0.67	0.50
28	0.90	0.50
29	0.75	0.50
30	0.90	0.50

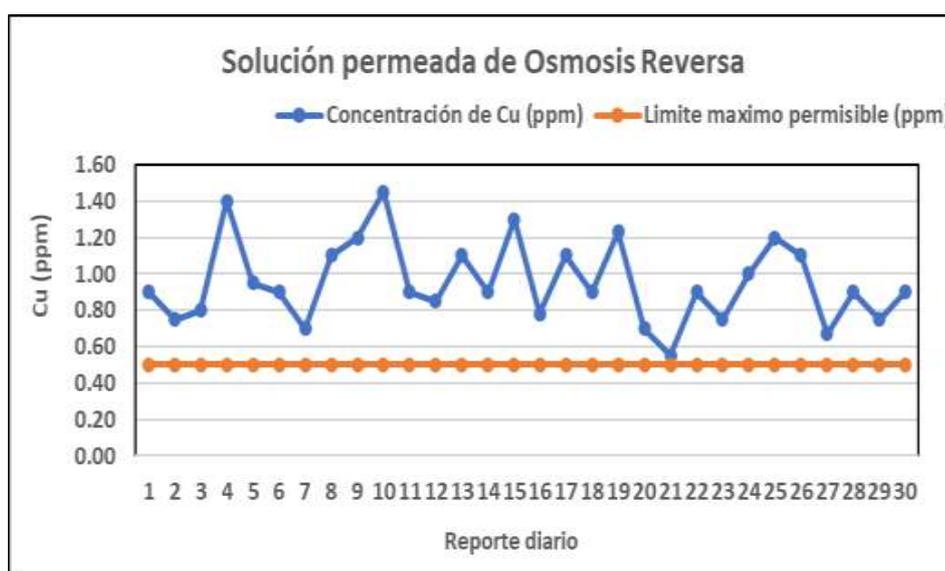


Figura 10. Concentraciones de Cobre de agua tratada en osmosis reversa.

El problema radica en la alta concentración de cobre (>15ppm) de la solución barren del proceso Merrill Crowe, que alimenta a las plantas de osmosis reversa.

Para tener una mejor precipitación de oro en el proceso Merrill Crowe, se procede a mezclar dos tipos de soluciones, la primera es una solución rica del proceso de lixiviación, que tiene baja concentración de cobre, aproximadamente 10 ppm con un flujo de aproximadamente 1,000 m³/h. y la segunda es una solución rica del proceso de desorción, que contiene alta concentración de cobre (>1,000 ppm Cu) con un flujo aproximado de 15 m³/h. Ver figura 11.

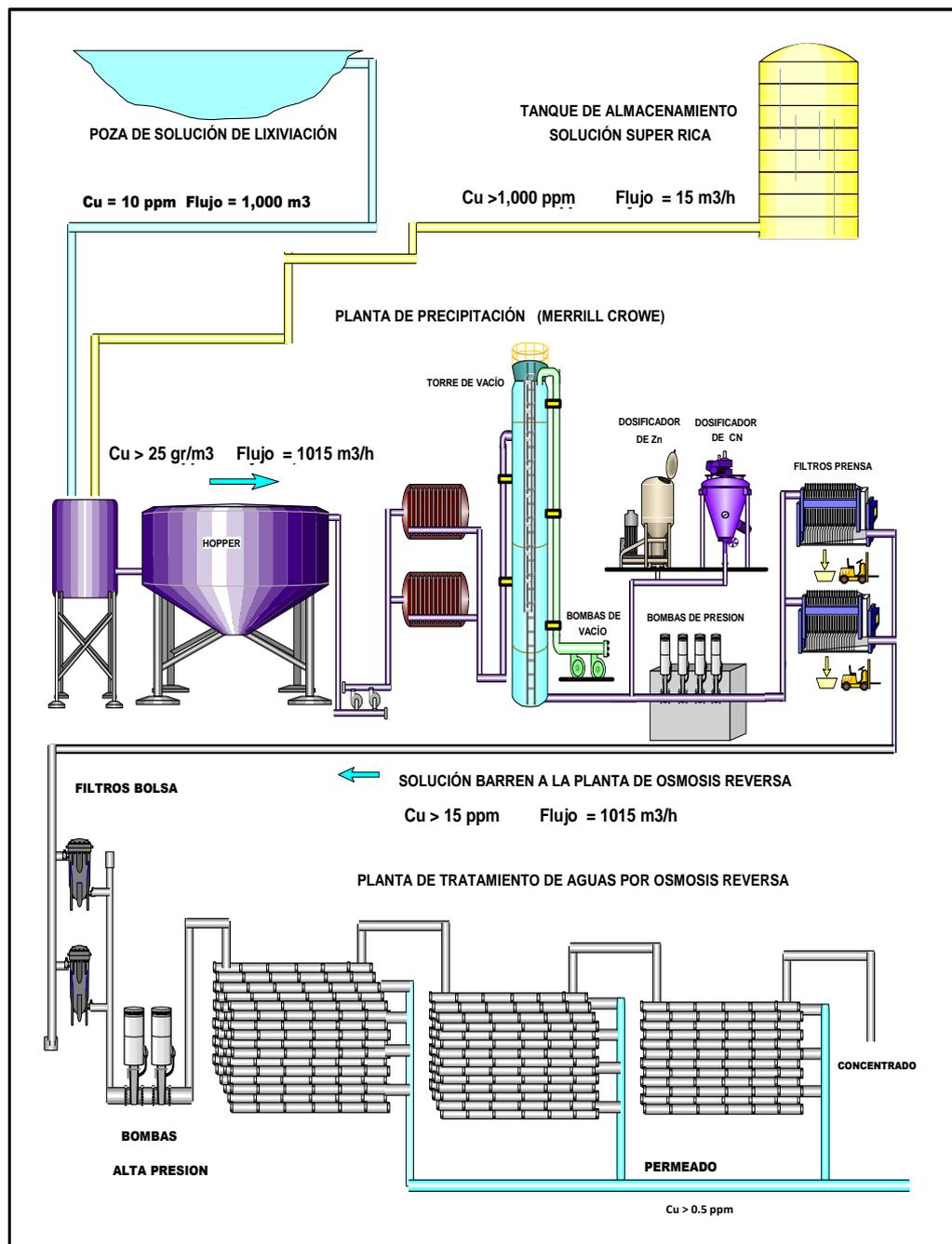


Figura 11. Mezcla de soluciones para el proceso Merrill Crowe.

Las especificaciones técnicas de la planta de tratamiento de aguas por osmosis reversa, para una máxima integridad y rendimiento de las membranas se obtiene si las calidades de la solución barren proveniente del proceso Merrill Crowe, que alimenta al sistema se encuentra por debajo o dentro de los siguientes límites máximos permisibles:

Tabla 4. Calidad de agua requerida para el tratamiento en osmosis reversa. (Western, 2010)

Elemento	Máxima concentración (mg/l)
Sólidos suspendidos totales (TSS)	5
Calcio (Ca)	600
Sulfato (SO)	1800
Hierro (Fe)	0.5
Sólidos disueltos totales (TDS)	3250
pH	9.0-11.0
Temperatura (°C)	5.0-15.0

Elemento	Agua de alimentación (mg/l)
WAD	40
Ag	0.008
Hg	0.03
Sb	0.007
Se	0.112
Tl	<0.001
S04	1668
Al+3	0.06
As	0.22
Ba	0.028
Be	0.002
Cd	0.002
Cr	0.002
Cu	14.2
Fe	<0.1
Pb	0.001
Mg	2.515
Mn	0.016
Ni	0.156
Zn	6.52
TDS	2363
Ca	478.2
TSS	<5
pH	9.59

Como se puede ver en la tabla 4, el máximo permisible en concentraciones de cobre debe ser de 14.2 ppm; sin embargo, la mezcla de estas dos soluciones supera ampliamente las condiciones de operación que debe tener la solución al ingresar a las plantas de osmosis reversa, así se evidencia en el análisis químico realizado. Ver tabla 5 y figura 12.

Tabla 5. Análisis químico concentraciones de cobre, ingreso a osmosis reversa.

RESULTADOS DE LABORATORIO		
Día	Cu (ppm)	LMP
1	23.45	14.20
2	22.35	14.20
3	27.30	14.20
4	22.30	14.20
5	22.34	14.20
6	22.23	14.20
7	18.45	14.20
8	18.30	14.20
9	19.40	14.20
10	20.30	14.20
11	20.30	14.20
12	18.50	14.20
13	18.32	14.20
14	19.45	14.20
15	18.30	14.20
16	23.45	14.20
17	21.30	14.20
18	19.40	14.20
19	25.00	14.20
20	22.30	14.20
21	23.23	14.20
22	22.00	14.20
23	23.40	14.20
24	22.00	14.20
25	18.30	14.20
26	21.30	14.20
27	19.40	14.20
28	26.50	14.20
29	22.30	14.20
30	18.50	14.20



Figura 12. Solución de ingreso a osmosis reversa.

2.4.2 Justificación

La necesidad de optimizar el proceso de tratamiento de agua en las plantas de osmosis reversa, de tal manera se tenga agua tratada dentro de los límites máximos permisibles en concentraciones de cobre, nos ha llevado a realizar un análisis de las posibles causas del problema de la alta concentración de cobre en el agua tratada en las plantas de osmosis reversa.

Se ha detectado, mediante un análisis de causa efecto, que la causa raíz de las altas concentraciones de cobre en el agua tratada, se debe a la alta concentración de cobre de la solución eluida en el proceso de desorción de la planta de carbón activado.

A continuación, se aplica el diagrama causa – efecto, para determinar la causa raíz.

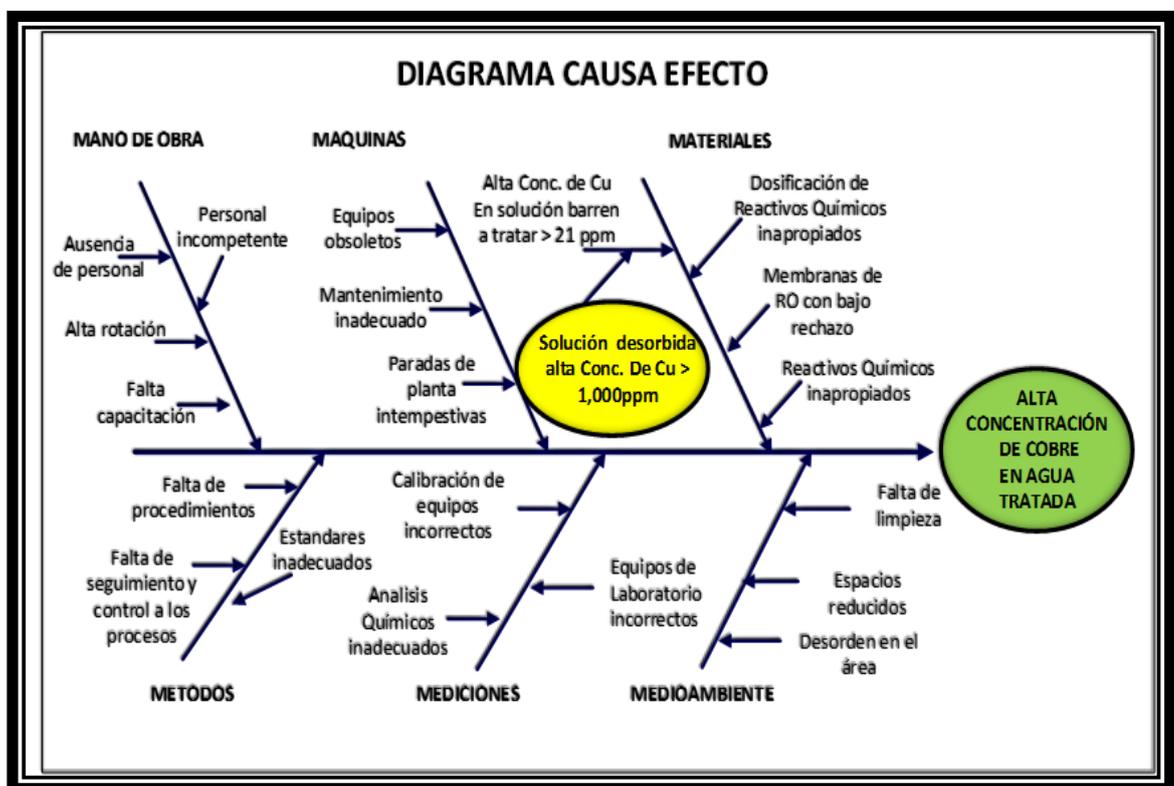


Figura 13. Diagrama de Ishikawa de las 6 M.

a) Posibles causas

Mediante la aplicación del diagrama causa efecto o diagrama de ISHIKAWA, nos permite identificar las posibles causas que podrían estar influyendo o contribuyendo en la alta concentración de cobre en el agua tratada.

Mano de obra

- Personal incompetente.
- Alta rotación.
- Falta capacitación.

Máquinas

- Equipos obsoletos.
- Mantenimiento inadecuado.
- Paradas de planta intempestivas.

Métodos

- Falta de procedimientos.
- Falta de seguimiento y control a los procesos.
- Estándares inadecuados.

Materiales

- Altas concentraciones de cobre en solución barren a tratar (>21 ppm).
- Solución desorbida con alta concentración de cobre (> 1,000 ppm).
- Cantidad en la dosificación de reactivos químicos inapropiadas.
- Membranas de Osmosis Reversa con bajo rechazo.
- Reactivos químicos inapropiados.

Mediciones

- Calibración de equipos de medición incorrectas.
- Análisis químicos inadecuados o incorrectos.
- Equipos de laboratorio incorrectos.

Medioambiente.

- Falta de limpieza.
- Espacios reducidos.
- Desorden en el área.

b) Criterios para la evaluación

Se ha establecido los criterios de la evaluación para cada causa posible:

- ¿Es un factor que lleva al problema?
- ¿Ocasiona directamente el problema?
- Si esto es eliminado ¿corregiría el problema?
- ¿Se puede plantear una solución factible?
- ¿Se puede medir si la solución funcionó?
- ¿La solución es de bajo costo?

c) Escala de calificación

Se ha establecido una escala de calificación del 1 al 3, donde:

1: Posibilidad baja.

2: Posibilidad media.

3: Posibilidad alta.

d) Análisis causa-efecto.

Tabla 6. Análisis causa-efecto. Posibilidades

CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTALES
		Factor	Causa directa	Solución	Factible	Medible	Bajo Costo	
Mano de obra								
Personal incompetente.	Contratar personal calificado.	1	1	1	3	3	2	11
Alta rotación.	Mejorar condiciones de trabajo.	1	1	1	3	3	2	11
Falta capacitación.	Implementar capacitación en tratamiento de aguas.	2	2	1	3	3	2	13
Máquinas								
Equipos obsoletos.	Cambio de equipos con mayor tecnología.	3	1	3	3	2	1	13
Mantenimiento inadecuado.	Mejorar plan de mantenimiento predictivo y correctivo.	3	1	2	2	2	3	13
Paradas de planta intempestivas.	Automatizar sistemas de control den las plantas de tratamiento de aguas.	1	1	3	3	2	3	13
Métodos								
Falta de procedimientos.	Establecer un programa para la actualización de procedimientos operativos.	1	1	1	3	3	3	12
Falta de seguimiento y control a los procesos.	Implementar salas de control en línea de los procesos.	1	1	1	3	3	1	10
Estándares inadecuados.	Revisar y actualizar estándares de trabajo.	1	1	3	3	3	3	14
Materiales								
Altas concentraciones de cobre en solución barren a tratar (>21 ppm).	Investigar para bajar las concentraciones de cobre en la solución a tratar.	3	2	2	3	3	3	16
Solución desorbida alta concentración de cobre (> 1,000 ppm).	Realizar Investigación para disminuir las concentraciones de cobre en la solución eluida del proceso de desorción.	3	3	3	2	3	3	17
Cantidad en la dosificación de reactivos químicos inapropiadas.	Controlar calidad y concentraciones de los reactivos químicos utilizados	1	2	2	3	3	1	12
Membranas de Osmosis Reversa con bajo rechazo.	Realizar inspección y lavados continuos a las membranas de Osmosis Reversa	2	2	2	3	3	1	13
Reactivos químicos inapropiados.	Cambiar reactivos químicos	1	2	2	1	2	3	11
Mediciones								
Calibración de equipos de medición incorrectas.	Certificar calibración de los equipos de análisis químicos y medición.	1	1	2	1	1	3	9
Análisis químicos inadecuados.	Cambiar métodos de análisis	1	1	2	1	1	3	9
Equipos de laboratorio incorrectos.	Compra de equipos de ultima tecnología	1	1	2	2	2	1	9
Medioambiente								
Falta de limpieza.	Realizar campaña de limpieza	1	1	2	2	2	3	11
Espacios reducidos.	Incrementar tamaño de áreas de las operaciones	1	1	2	2	2	1	9
Desorden en el área.	Realizar campaña de limpieza	1	1	2	2	2	3	11
1: Posibilidad baja. 2: Posibilidad media. 3: Posibilidad alta.								

Se ha detectado mediante nuestro análisis de causa efecto, que la causa raíz de las altas concentraciones de cobre en el agua tratada, se debe a la alta concentración de cobre en la solución barren a tratar; además, debido a las altas concentraciones de cobre en las soluciones eluidas del proceso de desorción en la planta de carbón activado.

Esta solución eluida contiene alta concentración de cobre > 1,000 ppm, al ser mezclada una pequeña cantidad de esta solución aproximadamente 15 m³/h con la solución proveniente del proceso de lixiviación con un flujo de 1,000 m³/h con baja concentración de cobre de 10 ppm,

la concentración de cobre de la mezcla supera los 24.0 ppm, por lo que, esta concentración es inmanejable en la planta de tratamiento por osmosis reversa.

En ese sentido, el presente trabajo está centrado, en primer lugar, en la disminución de las concentraciones de cobre en la solución eluida del proceso de desorción de los carbones.

Para ello, se procederá a realizar desorciones selectivas de cobre en los carbones cargados, hasta que las concentraciones de cobre en los carbones sean manejables y, al momento de realizar las desorciones de oro y plata, la solución eluida tenga valores bajos de cobre.

Se ha seguido el proceso mediante diluciones, hasta tener las soluciones con concentraciones de cobre que sean soportados por las membranas de osmosis reversa y, de esta manera, optimizar nuestro proceso de tratamiento de aguas.

2.5 Resultados esperados

Al término de este trabajo de investigación se espera contribuir en la mejora y optimización de la planta de tratamiento por osmosis reversa, tener descargas directas de solución tratada con niveles de concentración de cobre por debajo del límite máximo permisible (0.5ppm).

2.6 Definición de términos básicos

Adsorción: la adsorción suele ser definido como el proceso de transferencia de masa de una fase líquida (adsorbato) hacia la superficie de una fase sólida. Este proceso surge como resultado de las fuerzas moleculares insaturadas y no balanceadas que están presentes en cada superficie sólida. Así, cuando la superficie sólida es puesta en contacto con un líquido o gas existe una interacción entre los campos de fuerza de la superficie y la del líquido o gas.

En el caso de que la unión del adsorbato a la superficie se lleva a cabo mediante fuerzas débiles es conocido como fisisorción. Al contrario, cuando el proceso involucra intercambio de electrones entre las moléculas del adsorbato y la superficie del adsorbente resultando así en un enlace químico, es conocido como quimisorción. El tipo de adsorción que se lleve a cabo en un sistema adsorbato - adsorbente dependerá de factores tales como naturaleza del adsorbato, naturaleza del adsorbente, reactividad de la superficie, área superficial del adsorbente, temperatura y presión de adsorción (Gasca, 2016).

Concentrado: solución rechazada por la membrana de osmosis reversa y de mayor concentración que la solución barren de alimento.

Contaminante: cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas, animales o el ambiente (Bonan, Teixeira, & Kohler, 2014).

Doré: es una mezcla impura y sin refinar de oro metálico y plata. Se produce mediante la fundición de concentrados de oro y plata, arenas o precipitados.

ECA: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (ECA): medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rango.

Efluente líquido de actividades Minero-Metalúrgicas: cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

- Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros.
- Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros.
- Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades minero-metalúrgicas o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos.
- Cualquier depósito de residuos minero-metalúrgicos, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros.
- Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras.
- Cualquier combinación de los antes mencionados.

(Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM)

Elución, desorción: en química analítica y orgánica, la elución es el proceso de extraer un material de otro lavando con un solvente; extraer, mediante un líquido apropiado, una sustancia del medio sólido que la ha adsorbido. Solución obtenida por medio de un ensayo de lixiviación

de laboratorio o de campo. También llamada solución eluida, solución desorbida. Esta solución contiene altas concentraciones del material impregnado. Para el caso de nuestras eluciones esta solución alcanza altas concentraciones básicamente de oro, plata y cobre.

Límite Máximo Permisible (LMP): medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental (Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM).

Lixiviación: para la OEFA, la lixiviación en minería es un proceso mediante el cual se agregan ciertos compuestos al mineral con el objetivo de conseguir una sustancia líquida rica. La lixiviación también es conocida como extracción sólido-líquida y es que hace uso de agua, u otro disolvente, que pasa a través del suelo con el fin de que se dé la disolución de uno o más componentes (solubles) del sólido. Operación consistente en hacer pasar un solvente a través de una capa de material pulverizado, para extraer uno o varios constituyentes solubles en la misma. Sinónimo de percolación.

Lixiviación en pilas: es el método más comúnmente utilizado para la extracción de oro a partir de minerales de baja ley. Consiste en apilar el mineral triturado en grandes pilas al aire libre y luego regar por aspersión o goteo con solución de cianuro diluida aplicadas sobre la pila de mineral que disuelve el oro (Solis,2023).

Permeado: agua producida de baja salinidad, concentración de metales y contaminantes eliminados (solución osmotizada, clarificada). El permeado es el agua que se impulsó a través de la membrana de Osmosis Reversa para eliminar casi todos los contaminantes.

Presoak: solución preparada y contenida en tanques a concentraciones de cianuro de sodio y soda caustica definidas. Esta solución concentrada ingresará a los reactores de elución o desorción para a través de lavado en recirculación desorber los metales contenidos en los carbones.

Solución Barren: llamada solución pobre, solución que contiene bajas cantidades de oro y plata (menor a 0.020 mg/L) y otros metales, donde queda concentrada en cobre y cianuro libre (Astudillo, 2014).

Solución rica: solución de cianuro cargada principalmente con plata y oro además de otros metales, producto de la cianuración de concentrados o minerales con plata y oro. La solución rica es luego enviada al circuito de precipitación de plata y oro.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Bases teóricas de las tecnologías o actividades realizadas

3.1.1 Proceso de Lixiviación

El mineral de los tajos es enviado a las canchas de lixiviación, denominadas pilas o Pad. Estas pilas son amplios depósitos de mineral, cuya superficie es revestida con una membrana plástica o geomembrana impermeable que evitan cualquier tipo de filtración directa al suelo. (Del Aguila, 2014).



Figura 14. *Pad de lixiviación Pampa Larga (Newmont Yanacocha, 2023).*

Para Misari (2016), la técnica de lixiviación contempla el riego por goteo en la superficie de mineral con una solución de cianuro de sodio cuya concentración es de aproximadamente 50 ppm, esta solución cianurada entra en contacto con el oro, plata, cobre, mercurio y otros elementos metálicos produciéndose la lixiviación de los metales en forma de complejos.

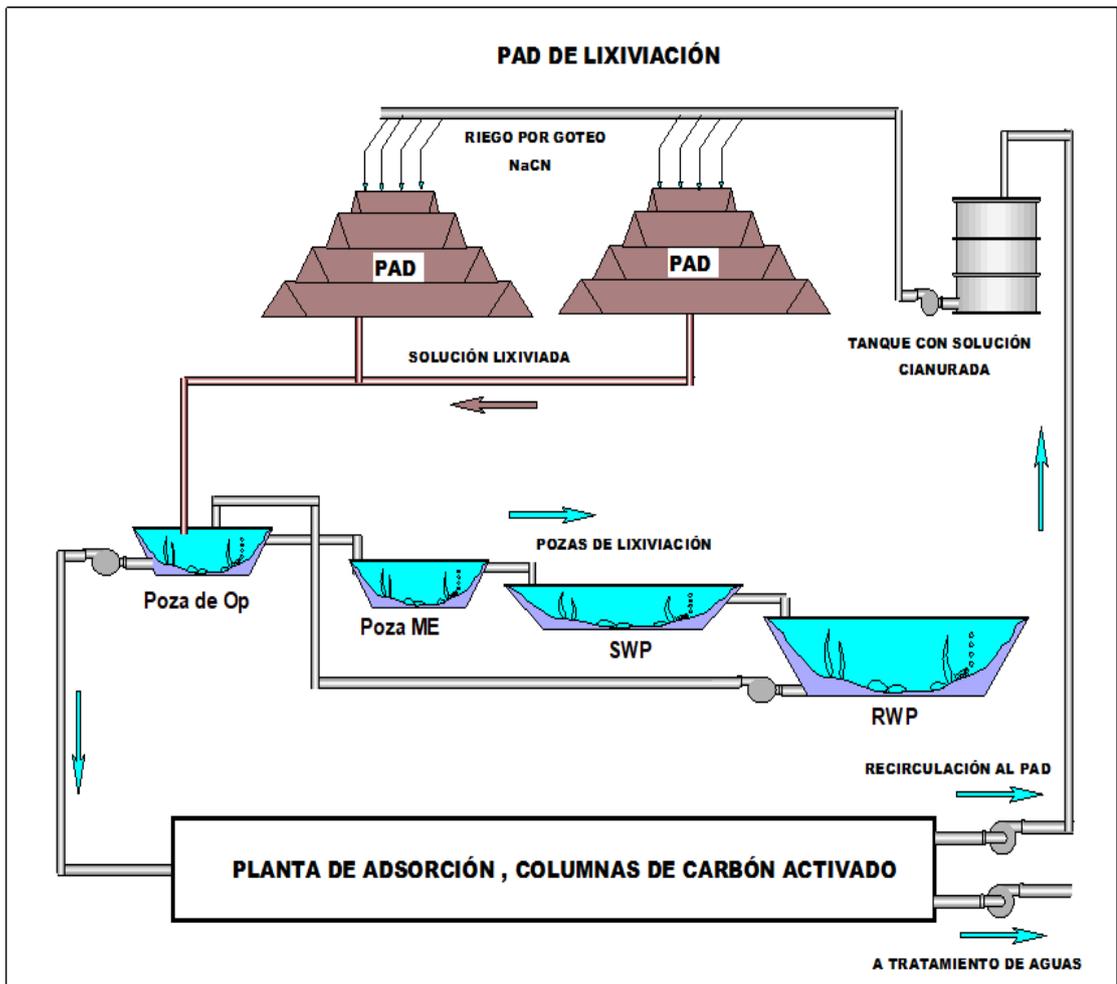


Figura 15. Esquema del proceso de lixiviación. (Newmont Yanacocha, 2023)

3.1.2 Cianuración de oro

Para comprobar los mecanismos fisicoquímicos de la lixiviación del oro es necesario recurrir a una revisión de sus principales propiedades termodinámicas y, en particular, de sus estados estables y metaestables, representados clásicamente en los diagramas de Pourbaix, que relaciona el potencial de óxido reducción (Eh) del metal con el pH del medio. Estos diagramas muestran que compuestos como $\text{Au}(\text{OH})_3$, AuO_2 , HAuO_3^{2+} , Au^{3+} , requieren elevados potenciales redox para formarse la lixiviación del oro metálico; es, por lo tanto, muy difícil a causa de su gran estabilidad. (Misari, 2016).

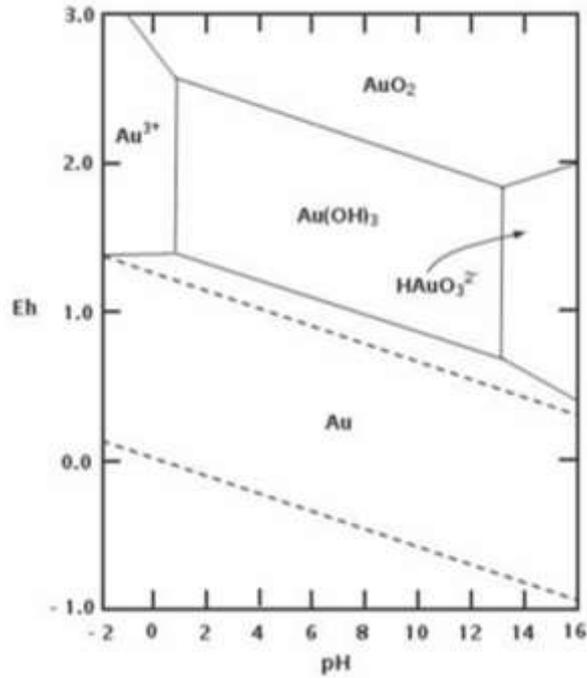


Figura 16. Diagrama de Pourbaix (Misari, 2016).

En forma general la lixiviación puede llevarse a cabo mediante mecanismos físicos, químicos y electroquímicos. En el caso específico de la Cianuración se ha podido establecer que la disolución está regida por los principios electroquímicos de la corrosión. La explicación esquemática de este fenómeno se facilita mediante el siguiente gráfico. (Misari, 2016).

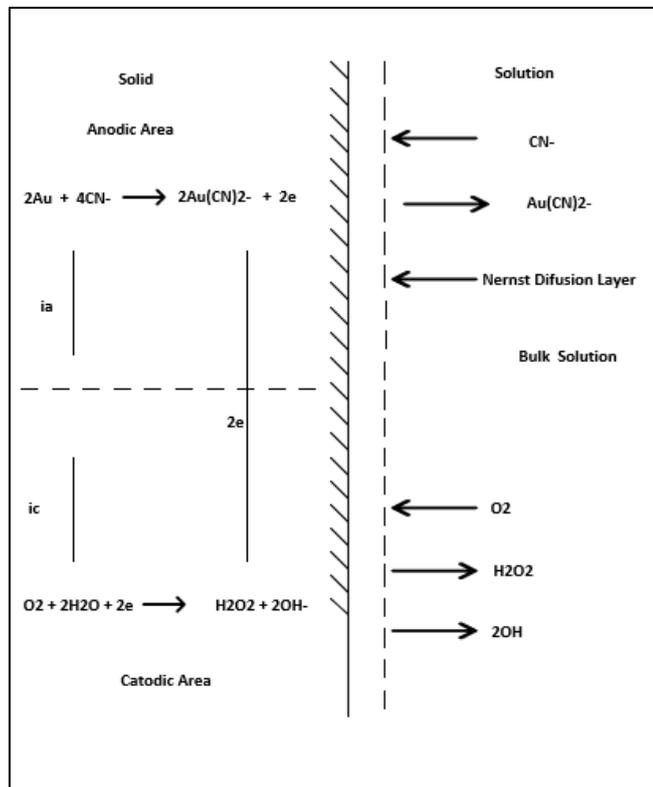
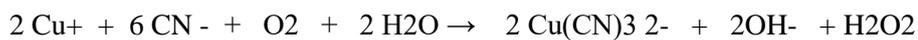
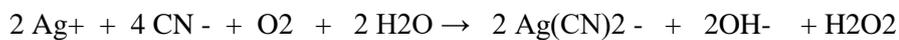
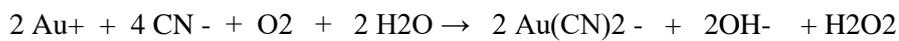


Figura 17. Esquema de la disolución del oro en solución cianurada. (Misari, 2016)

La reducción del oxígeno sobre la superficie metálica en la zona catódica va acompañada por la oxidación del oro en la zona anódica, de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:



El mecanismo de la reacción química simplificada de los complejos metálicos más predominantes del proceso de lixiviación son los siguiente:



Estos complejos pasan a la fase líquida formando una solución rica en oro y plata. Esta solución rica es captada y almacenada en pozas plastificadas, para pasar al otro proceso de adsorción con carbón activado.



Figura 18. *Pozas de captación y almacenamiento de solución rica lixiviada. (Newmont Yanacocha, 2023).*

3.1.3 Proceso de adsorción y desorción en columnas de carbón activado

Newmont Yanacocha utiliza varias plantas de procesos de adsorción y desorción en columnas con carbón activado para la recuperación de oro y plata después del proceso de lixiviación. Se cuenta con tres plantas de adsorción y desorción ubicadas geográficamente en procesos Pampa Larga, procesos Yanacocha Norte y procesos La Quinua.

La solución rica es bombeada de las pozas de almacenamiento a las plantas de proceso de columnas de carbón activado. La solución rica pasa por columnas de carbón alineadas una tras otra y la solución fluye en cascada del nivel superior hasta el nivel inferior; los complejos de cianuro de oro, de plata y cobre son adsorbidos en las partículas porosas de carbón activado.

Los carbones cargados con los complejos metálicos son sometidos a otro proceso denominado proceso de desorción, donde se recupera el material valioso en una solución con altas concentraciones de complejos metálicos, llamada solución eluida, desorbida o súper rica.



Figura 19. *Planta de adsorción y desorción, planta Pampa Larga. (Newmont Yanacocha, 2023)*

- Etapa de adsorción

Este proceso consiste en la separación de los complejos metálicos de la solución mediante el proceso de adsorción, propiedad físico-química que tiene el carbón activado sobre los complejos metálicos.

El carbón activado es un material carbonáceo y amorfo que presenta una alta porosidad y extensa área superficial interna, características que le confieren propiedades adsorbentes excepcionales (Navarrete, 2005).

Carbón activado: Efecto del lavado con ácido sulfúrico del precursor lignocelulósico cuesco de palma africana, sobre los procesos de carbonización y activación (Gasca, 2016).

Las partículas de carbón activado adsorben los complejos metálicos de oro, plata y otros elementos, los carbones quedan cargados con complejos metálicos y la solución estéril regresa al sistema de lixiviación previo acondicionamiento del cianuro hasta 50 ppm.

En esta etapa tenemos las plantas diseñadas con 4 trenes, cada tren constituido por 06 columnas alineadas en forma de cascada, cada columna contiene de 4 a 8 toneladas de carbón activado granular o en forma de partículas con un diámetro aproximado entre 5 y 6 mm.

El flujo o solución rica fluye gravitacionalmente, dentro de cada columna, desde la primera etapa a la siguiente con un flujo laminar en forma de cascada, la solución fluye a través de tapas de burbujas en la placa distribuidora inferior de cada columna y separa cada celda, fluidizando la cama de carbón.

La solución estéril proveniente del rebose de la última columna de cada tren gravita sobre una zaranda de malla fina para recuperar carbón fino y la solución estéril, sin contenido metálico son almacenadas en tanques y posteriormente enviadas al Pad de lixiviación para seguir con el proceso de lixiviación, el agua de exceso de este proceso pasa a las plantas de tratamiento de aguas por osmosis reversa, para ser descargada al medioambiente, bajo un estricto control.

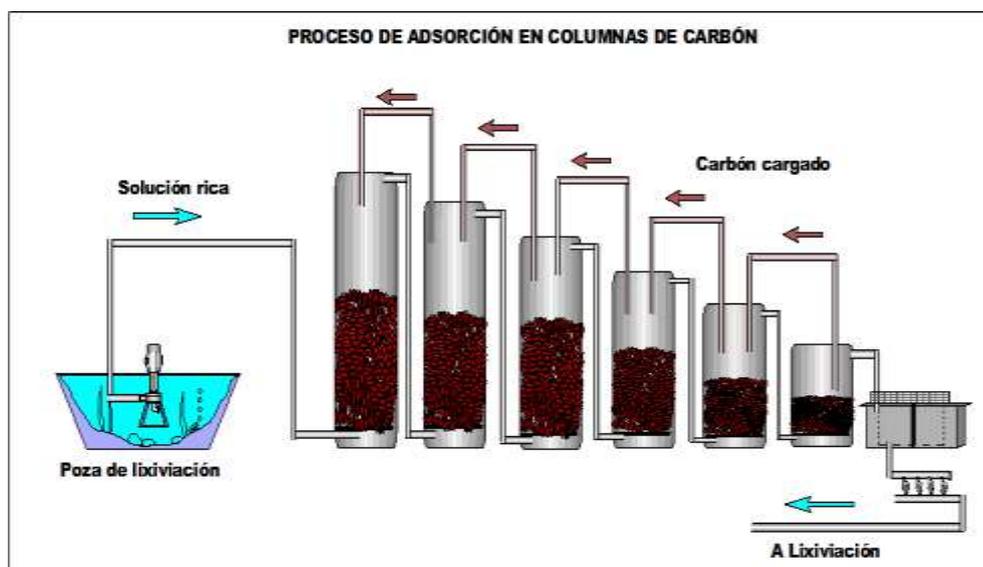


Figura 20. Esquema del proceso de adsorción. (Newmont Yanacocha, 2023)

- Etapa de desorción

Es el proceso por el cual se da la separación y extracción de los complejos metálicos del carbón, la solución concentrada de oro llamada solución rica, eluida o desorbida es enviada a la planta de Merrill Crowe, para su precipitación y fundición en forma de barras doré. Es un proceso adverso a la adsorción y la solución concentrada que se obtiene en este proceso está dentro del rango de 150 a 200 ppm de oro. (Del Águila, 2014).

Este proceso, según Fonseca (2021) se realiza en las siguientes etapas:

d) Lavado ácido

Los carbones cargados o con alta concentración metálica del proceso de adsorción, son transportados al proceso de desorción, los carbones que han adsorbido complejos metálicos, también han adsorbido carbonatos, los cuales se encuentran adheridos a la superficie de las partículas de carbón, bajando la actividad y bajando la eficiencia de desorción.

Para mejorar la eficiencia de desorción de los complejos metálicos se procede a realizar un lavado ácido con una solución de ácido clorhídrico al 3%, para disolver los carbonatos de la superficie del carbón activado. Posteriormente la acidez de la solución es neutralizada mediante un enjuague con una solución diluida de hidróxido de sodio al 3%, produciéndose la siguiente reacción química:



Los carbones descarbonatados pasan al proceso de desorción propiamente dicho.

e) Desorción

Los carbones lavados y descarbonatados, son transferidos al circuito de extracción, a una columna de elución o tanque de extracción.

El primer paso consiste en hacer recircular una solución concentrada de NaCN (1000 ppm) en medio básico con NaOH a través de un intercambiador de calor hasta alcanzar una temperatura de 120°C. Esto se hace para acondicionar el carbón para la elución. Esta solución es almacenada en el tanque de solución rica.

El segundo paso consiste en pasar una solución concentrada de NaCN en medio básico a través del intercambiador de calor, manteniendo una temperatura constante de 120°C y una presión de 250 Kpa. El volumen de esta solución es de aproximadamente 150 m³.

El tercer paso consiste en lavar los carbones dentro del tanque de extracción, haciendo circular agua por el sistema con el calentador apagado, de tal manera que esta solución enjuaga los carbones y enfría el sistema. Esta solución de lavado también es descargada en el tanque de almacenamiento de solución rica.

El cuarto paso consiste en enfriar el sistema para poder descargar los carbones desorbidos y regresarlos al sistema de adsorción. Este proceso se realiza haciendo recircular agua a través del circuito hasta obtener temperaturas menores de 50°C. La referida solución de enfriamiento es almacenada en el tanque denominado tanque de solución intermedia para el siguiente proceso de desorción.

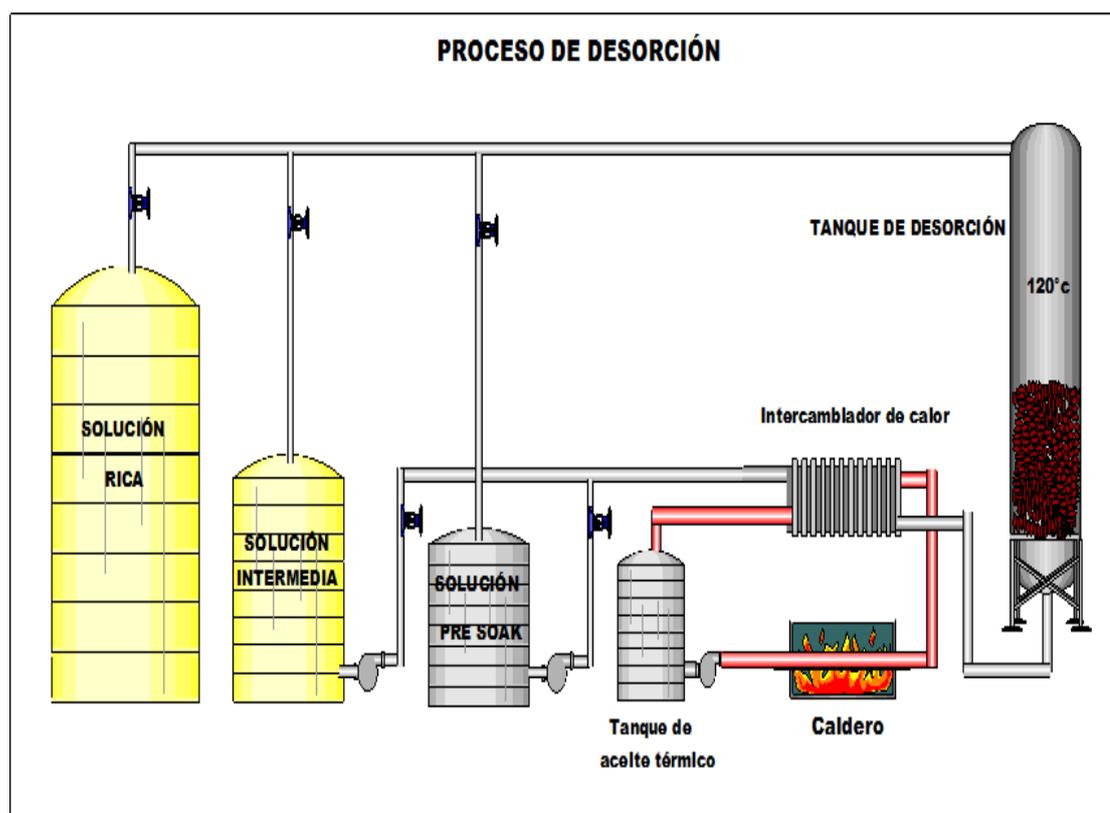


Figura 21. Esquema del proceso de desorción. (Newmont Yanacocha, 2023).

3.1.4 Proceso de Merrill Crowe

El proceso Merrill Crowe, consiste en la precipitación del oro y plata, a partir de soluciones cianuradas, la precipitación se da mediante las reacciones químicas de oxidación y reducción

(Proceso REDOX) la eficiencia de esta reacción depende de la clarificación para obtener una solución libre de sólidos en suspensión y de la desoxigenación para obtener bajas concentraciones de oxígeno disuelto.

Newmont Yanacocha utiliza este proceso metalúrgico obteniendo un precipitado atrapado en filtros prensa, para posteriormente pasar a la etapa de fundición y obtener la barra doré. Este proceso tiene las siguientes etapas: clarificación, deareación y precipitación.

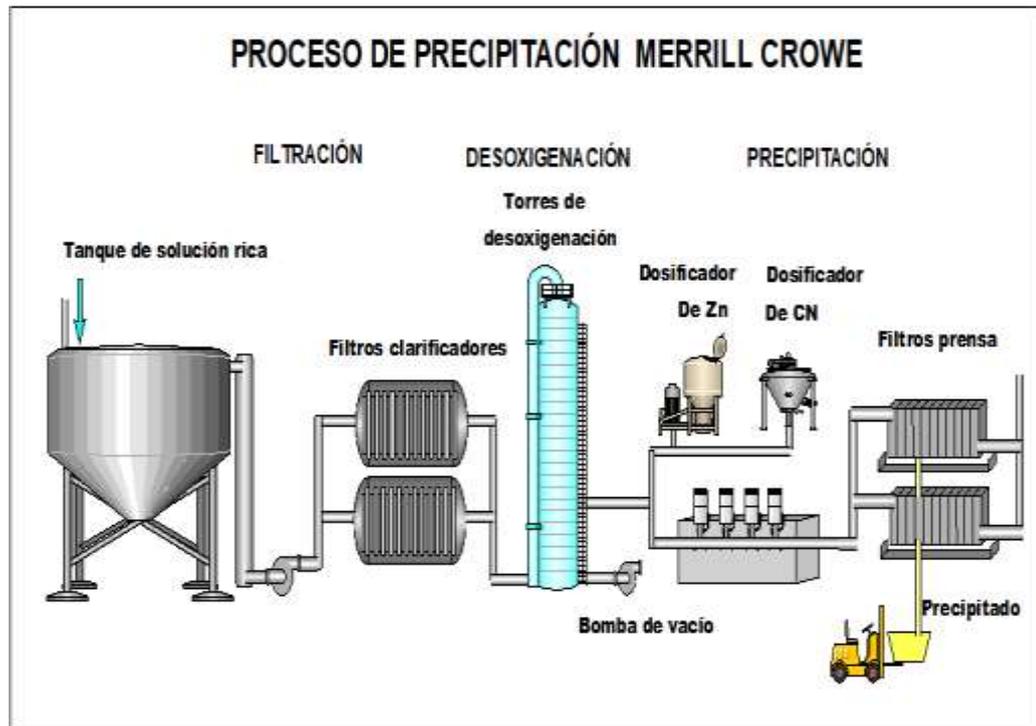


Figura 22. Esquema proceso de precipitación Merrill Crowe. (Newmont Yanacocha, 2023)

Este proceso se realiza en las siguientes etapas:

- Etapa de clarificación

En esta primera etapa la solución rica provenientes de los tanques de almacenamiento del proceso de desorción y diluida con una solución menos concentrada, teniendo como promedio una concentración de 10 gr/m³ de Au, es enviada a 2 filtros clarificadores mediante un sistema de bombeo con un flujo de 250 m³/h, en cada filtro; dependiendo de la presión de cada filtro por la saturación del mismo, la solución rica atraviesa los filtros clarificadores por presión que ejercen las bombas, quedando atrapada la turbidez en la capa de tierra fósil llamada diatomita que se encuentra en cada sector del filtro reduciendo la turbidez en menos de 1.0 NTU.



Figura 23. *Filtros clarificadores proceso Merrill Crowe (Newmont Yanacocha, 2023)*

- Etapa de desoxigenación

La eficiente precipitación del oro de la solución rica depende de una buena reducción del oxígeno disuelto en la solución a valores menores a 1 ppm; la salida de los filtros clarificadores está conectado directamente a las torres de vacío; de modo que después de una buena clarificación, la solución rica entra a las torres de vacío, las cuales están equipadas con paquetes dispersores que tienen una forma cilíndrica de 2 pulgadas de diámetro aproximadamente. Este sistema aumenta la superficie de activación de la solución y, por efecto, de las bombas de vacío se extrae el oxígeno disuelto en la solución.



Figura 24. *Torres de desoxigenación proceso Merrill Crowe (Newmont Yanacocha, 2023)*

- Etapa de precipitación o cementación

La cementación de oro desde soluciones cianuradas usando polvo de zinc es un proceso electroquímico, donde el zinc en presencia de solución cianurada se disuelve en los sitios anódicos y los electrones cedidos sirven para reducir los aniones complejos en los sitios catódicos.

Las variables de control que se monitorean en forma permanente para una eficiente cementación del oro a partir de la solución rica son las siguientes:

- Turbidez de la solución rica menor a 1NTU.
- Control de oxígeno disuelto de la solución rica menor a 1ppm de oxígeno.
- Concentración adecuada de cianuro libre. 30 – 50 gr CN/m³ de solución.
- pH de la solución rica en el rango de 9 – 11.

Las reacciones que se producen en este proceso son de características electroquímicas donde el zinc se oxida o se disuelve (reacción anódica) y los electrones cedidos sirven para reducir el complejo aurocianurado a oro metálico (reacción catódica) (Del Aguila, 2014)

El polvo de zinc selecciona y aísla el oro de las soluciones cianuradas por la vía de la oxidoreducción, ya que el Zinc tiene un potencial más electronegativo que el Oro, en esta reacción el Oro gana electrones (se reduce a metal) y el Zinc se oxida (pierde electrones).

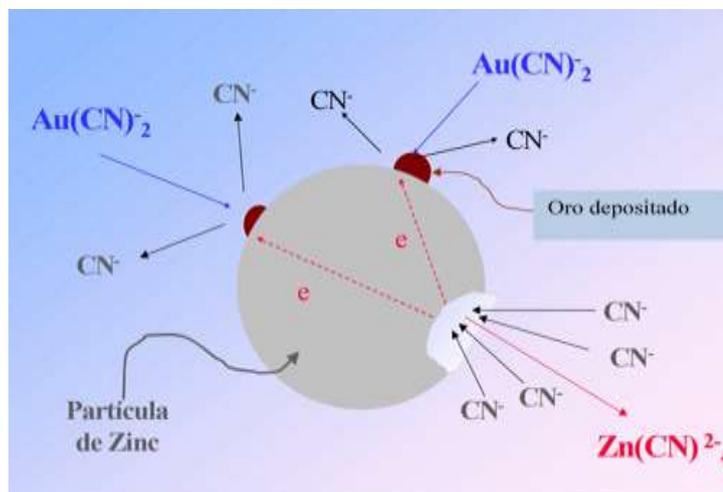
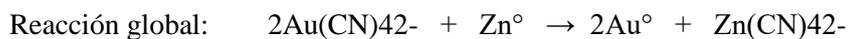
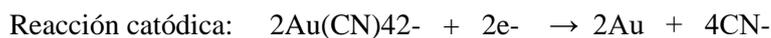


Figura 25. Mecanismo de precipitación del oro sobre el Zinc (Misari, 2016)

3.1.5 Proceso de fundición

El precipitado obtenido en los filtros prensa pasan por dos etapas:

- Secado

Este proceso consiste en someter al precipitado a un proceso de calentamiento gradual en un horno herméticamente cerrado hasta llegar a 650°C y luego un enfriamiento gradual hasta llegar a temperaturas de ambiente. El propósito es secar el precipitado y extraer el mercurio mediante un sistema de evaporación, condensación y recuperación.

- Fundición

El proceso de fundición consiste en convertir el precipitado seco en un producto metálico (barra doré).

La fundición se produce al mezclar el precipitado rico en oro y plata con fundentes (bórax, nitrato de sodio y flourspar) para obtener el menor punto de fusión y someter a esta mezcla homogénea a altas temperaturas en horno de arco eléctrico llegando a 1,200°C.

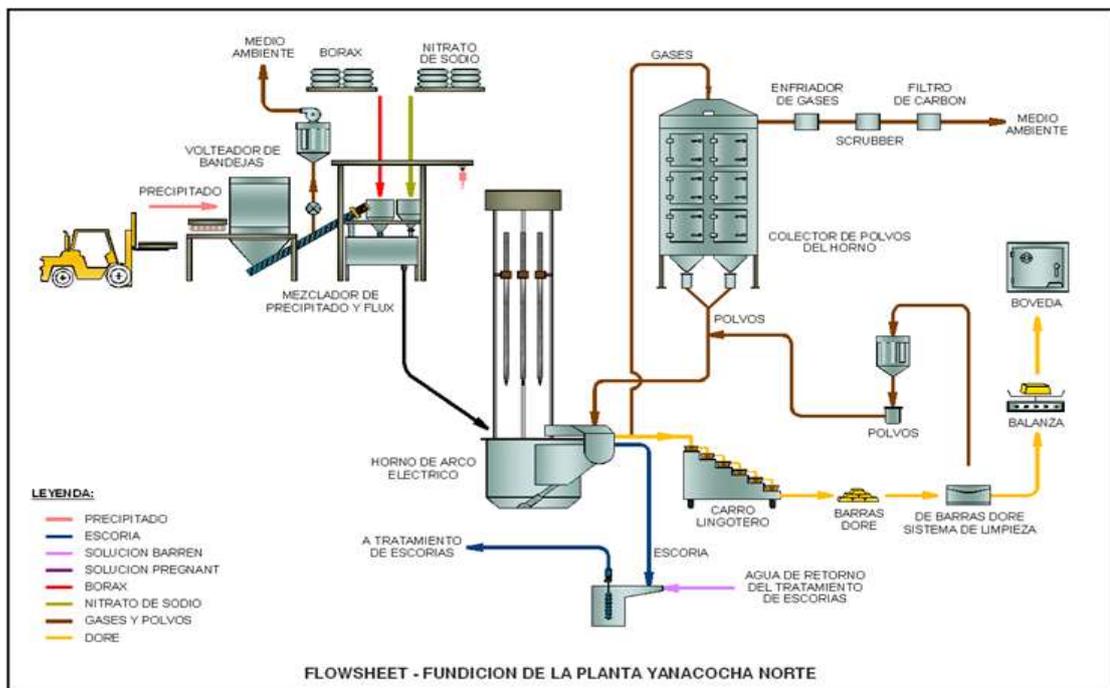


Figura 26. Esquema del proceso de fundición. (Newmont Yanacocha, 2023)

El precipitado pasa a estado líquido produciéndose dos fases por efecto de la gravedad específica, la parte superior denominada escoria (material estéril) en la parte inferior la fase

metálica de oro y plata en estado líquido que luego son vertidos en moldes y sometidos a enfriamiento, obteniendo de esta manera la barra doré.



Figura 27. Colada, fundición de barras de doré (Newmont Yanacocha, 2023).

3.1.6 Proceso de tratamiento de soluciones por osmosis reversa

La osmosis inversa consiste en separar un soluto disuelto de su solvente, mediante fuerzas ejercidas sobre una membrana semi - permeable. Su nombre proviene de "osmosis", el fenómeno natural por el cual se proveen de agua las células vegetales y animales para mantener la vida. En el caso del osmosis, el solvente pasa de manera natural y espontánea de una solución menos concentrada a otra más concentrada, a través de una membrana semi - permeable hasta alcanzar el equilibrio o igualdad de concentraciones. Si se agrega a la solución más concentrada energía en forma de presión el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la presión osmótica aparente entre las 2 soluciones. Esta presión osmótica aparente es una medida de la diferencia de energía potencial entre ambas soluciones. Si se aplica una presión mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en el sentido inverso. (osmosis reversa). (Medina, 2000).

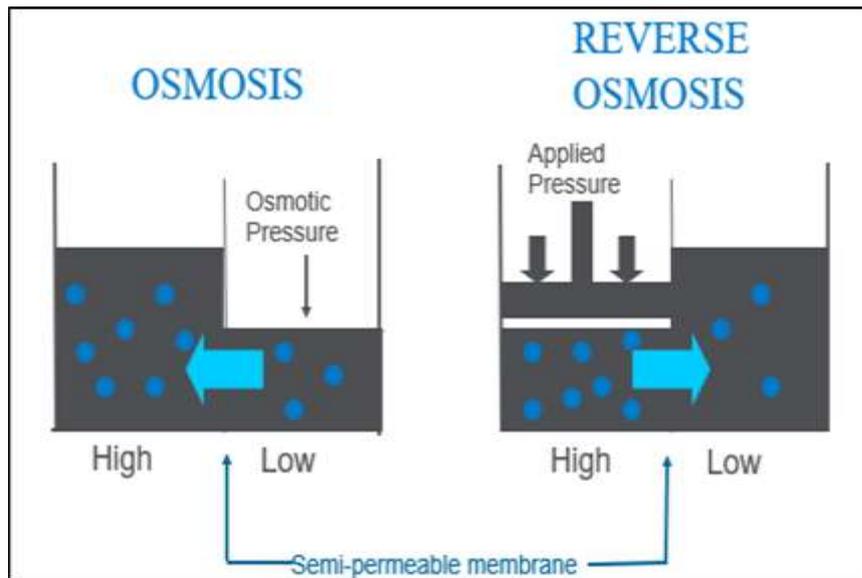


Figura 28. Sistema de Osmosis Reversa. (Medina, 2000)

El flujo del solvente es una función de la presión aplicada, de la presión osmótica aparente y del área de la membrana presurizada. Los componentes básicos de una instalación típica de osmosis inversa consisten en una pre filtración (para evitar presencia de partículas que pudieran dañar la membrana), una bomba de alta presión la cual logrará la presión necesaria para que la solución atraviese la membrana, el arreglo de tubos que contienen las membranas que pueden estar en serie o paralelo, y una válvula reguladora en la corriente de concentrado que es la encargada de controlar la misma dentro de los elementos de membranas. (Western, 2010).

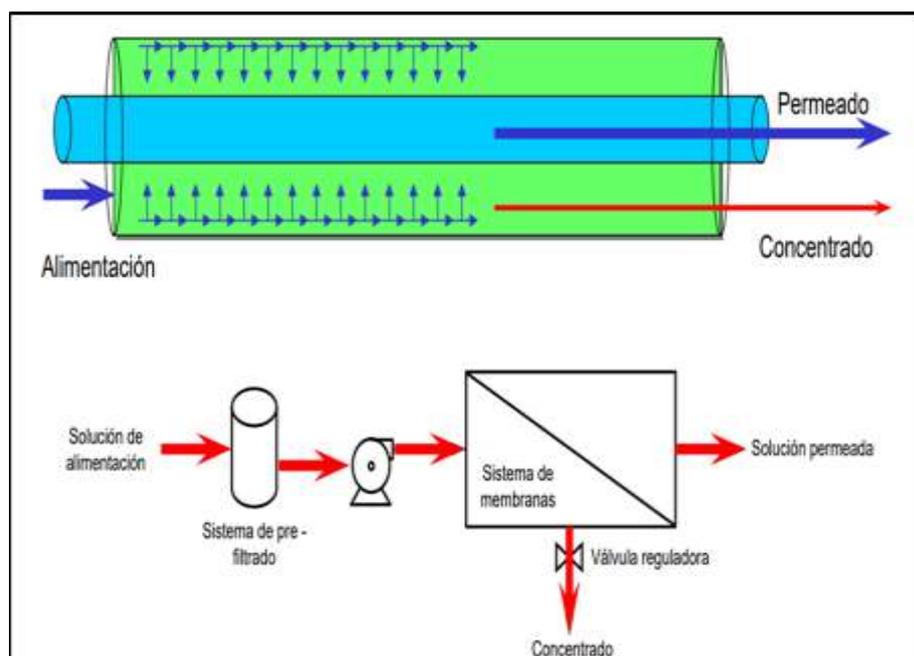


Figura 29. Esquema básico de un sistema de osmosis reversa (Western, 2010)

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

4.1 Descripción de la actividad profesional

En la posición de supervisor de procesos, este puesto es una actividad clave y catalogado como trabajador de confianza dentro de la organización. La actividad comprende la supervisión de los procesos productivos en el procesamiento de minerales para la obtención de oro y plata en forma de doré y la supervisión de las áreas complementarias de las plantas de tratamiento de aguas de excesos de los procesos y aguas ácidas generadas en la actividad de minado y remediación ambiental.

4.1.1 Enfoque de las actividades profesionales

Las actividades profesionales del Supervisor de Procesos están enfocadas principalmente en el cumplimiento de los planes de producción de oro y plata, los planes de tratamiento de aguas de excesos, de las operaciones y el tratamiento de las aguas ácidas generadas en el proceso de minado, en la mejora continua de nuestras operaciones para optimizar los procesos, reducir costos operativos y mejorar la productividad.

Estas actividades se realizan con un estricto cumplimiento de los procedimientos, normas y documentos legales para la realización de las tareas en un entorno seguro, respetando nuestra biodiversidad y cumplimiento de nuestros estándares ambientales y sociales.

4.1.2 Alcance de las actividades profesionales

El alcance correspondiente a la labor profesional del Supervisor de Procesos comprende las siguientes actividades:

- a) Control de la producción

En esta actividad se realizan los siguientes trabajos:

- Control de flujos de soluciones que ingresan al proceso de adsorción de oro en columnas de carbón activado y control de flujos en el Proceso Merrill Crowe para la precipitación y recuperación del material valioso (oro y plata en forma de doré).

- Control de las concentraciones de oro y plata de las soluciones ricas y soluciones barren, con la finalidad de tener una buena recuperación en los procesos.
- Realizar los balances metalúrgicos diarios y reportar al jefe de planta la producción diaria.
- -Control de las plantas de tratamiento de agua para cumplir con los planes de tratamiento diario y con la calidad estipulada en las normas de descarga de agua al medioambiente.
- -Realizar los reportes diarios de los flujos de tratamiento de aguas y descargas respectivas.

b) Control del tratamiento de aguas de excesos y aguas ácidas de mina.

- Control de flujos de ingreso de soluciones a las plantas de tratamiento de aguas de excesos (Plantas de tratamiento de aguas por osmosis reversa).
- Control de flujos de ingreso de soluciones a las plantas de tratamiento de aguas ácidas.
- -Control de calidad de las aguas tratadas que se descargan a medioambiente.

c) Seguridad

Velar por la seguridad permanente y en forma continua del personal a cargo es una actividad de vital importancia en las labores del supervisor de procesos.

En esta actividad se realizan los siguientes trabajos:

- Charlas diarias de seguridad al personal a cargo (Pre start meeting).
- Inspección diaria de las actividades críticas e identificación de los peligros evaluación de los riesgos de fatalidad e implementación de controles (IPERC).
- Inspeccionar que se cumplan los permisos y procedimientos respectivos en trabajos de alto riesgo (PETAR).
- Realizar en forma diaria, verificación de controles críticos en las tareas encomendadas. (VCC).
- Realizar observaciones de tareas e implementar mejoras para evitar accidentes de trabajo.
- Ser parte del equipo de investigación de accidentes y realizar los reportes respectivos.
- Participar en las auditorias de seguridad y del código de cianuro, participar en el levantamiento de las observaciones respectivas.

d) Cuidado del medioambiente

Uno de los compromisos asumidos es el cuidado del medioambiente en forma permanente y para ello se realiza las siguientes actividades:

- Mejorar la gestión de los riesgos ambientales, incluyendo la mejora continua en la gestión del manejo de cianuro, cero derrames de soluciones cianurada al medioambiente y soportar al Champion para este objetivo.
- Realizar inspecciones permanentes para el cumplimiento de los estándares medioambientales y del manejo de cianuro y contribuir para lograr la recertificación del Código de Cianuro.
- -Participar en las auditorias medioambientales y participar en el levantamiento de las observaciones respectivas.
- -Ser parte del equipo de investigación de eventos ambientales en el área de trabajo y realizar los reportes respectivos.

e) Mejora continua de los procesos productivos

Dentro del alcance de las actividades del supervisor de procesos, se encuentra una búsqueda constante de la mejora continua, actividad que nos permite identificar variaciones en los procesos y tomar las acciones correctivas inmediatas para corregir las desviaciones y mejorar la productividad.

4.1.3 Entregables de las actividades profesionales

Como entregables de las actividades profesionales tenemos:

- Reporte diario de producción.
- Reporte diario de volúmenes de tratamiento de aguas.
- Reportes de incidentes de seguridad.
- Reportes de incidentes medioambientales.
- Informe de investigación de accidentes e incidentes.
- Informe de investigación de eventos ambientales.
- Presentación de proyectos de mejora en las operaciones.

4.2 Aspectos técnicos de la actividad profesional

4.2.1 Metodologías

Dentro del alcance principal de las actividades profesionales del supervisor de procesos se encuentra la mejora continua de los procesos productivos.

Como mejora continua, se ha identificado y seleccionado la optimización del proceso de tratamiento de agua en la planta de osmosis reversa.

Para desarrollar y ejecutar este trabajo de suficiencia profesional, tenemos las siguientes fases:

a) Definición del problema

Se ha identificado como problema la alta concentración de cobre en el agua tratada de las plantas de osmosis reversa.

b) Identificación de la causa raíz

Mediante el diagrama causa efecto o diagrama de Ishikawa se ha identificado las posibles causas del problema. Realizando un análisis sistemático se ha identificado que la causa raíz del problema es la alta concentración de cobre en la solución barren a tratar en la planta de tratamiento de aguas de osmosis reversa, siendo esto producto de las altas concentraciones de cobre en las soluciones eluidas del proceso de desorción en la planta de carbón activado. (Ver capítulo II, análisis causa efecto).

c) Efectos del problema

Las altas concentraciones de cobre en el agua tratada de las plantas de Osmosis Reversa por encima del límite permisible, nos trae serios inconvenientes con nuestros compromisos de descarga de agua al medioambiente.

Para mitigar este problema tenemos que mezclar y/o retratar las soluciones ya procesadas; operativamente esta práctica no es una solución al problema, por lo que, debemos encontrar una solución adecuada, sostenible, realizable, segura y al menor costo posible.

d) Implementar acciones correctivas

Como acción correctiva se tiene la implementación de un trabajo de investigación para reducir las concentraciones de cobre en la solución barrean a tratar en las plantas de osmosis reversa.

Se ha detectado mediante el análisis del diagrama causa efecto que la fuente principal de cobre es la solución eluida del proceso de desorción. Esta solución tiene alta concentración de cobre, superando valores mayores a 1,000 ppm de cobre.

La acción correctiva que hemos propuesto es realizar desorciones selectivas de cobre en los carbones cargados, separar el cobre desorbido, repetir el proceso hasta obtener concentraciones de cobre bajas en la solución desorbida de tal manera que no afecte a la capacidad de rechazo de las membranas de osmosis reversa y de esta manera se tenga agua tratada exenta de cobre.

e) Evaluación de resultados

Una vez implementada la medida correctiva, estructurar y programar un sistema de monitoreo diario, enviar muestras al laboratorio químico y evaluar los resultados, si los resultados son satisfactorios, socializar con la línea de supervisión para que el proceso se implemente de manera continua.

f) Control y seguimiento

Realizar un plan de control, registro y seguimiento para que el procedimiento implementado en el tratamiento de aguas por Osmosis Reversa se realice de manera continua.

4.2.2 Técnicas

a) Línea base del proyecto de mejora

Para diseñar el proceso de investigación, se estableció como punto de inicio el proceso de desorción en la planta de carbón activado, que consiste en desorber principalmente los metales como oro y plata de los carbones cargados en el proceso de adsorción.

Sin embargo, como hemos visto en el fundamento teórico del capítulo III, el carbón activado tiene la propiedad de adsorber los complejos metálicos de una solución rica en metales.

La adsorción de estos metales se produce en el proceso de adsorción, cuyo fundamento teórico está basado en la teoría de enlaces químicos de una partícula cargada positivamente (catión) con un complejo metálico (anión), en este caso los metales se encuentran en forma de complejos cianurados y que tienen carga negativa. $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$, los cuales son adsorbidos por las partículas de carbón activado.

Estos complejos metálicos forman enlaces químicos débiles con la partícula de carbón representada en el siguiente gráfico.

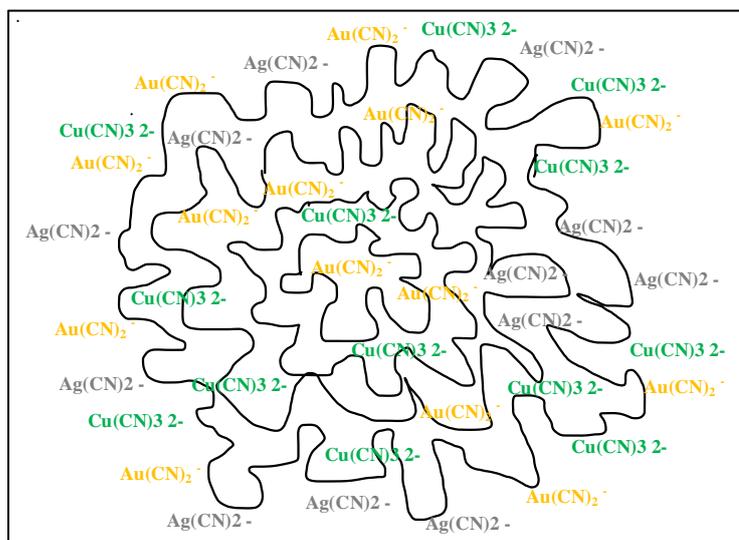


Figura 30. Adsorción de carbón activado a los complejos metálicos. (Gasca, 2016).

b) Metodología del proceso de desorción de elementos metálicos del carbón activado

Actualmente el proceso de desorción de los carbones activados se realiza haciendo circular 25m³ de una solución concentrada de 5,000 ppm de cianuro en una solución básica a pH>10.

Esta solución es bombeada y recirculada atravesando por un intercambiador de calor y luego ingresa al tanque de desorción herméticamente cerrado que contiene 8 toneladas de carbón cargado con complejos metálicos, la solución recircula por aproximadamente 1.5 horas llegando hasta 120°C y una presión interna de aproximadamente 250 Kpa. Ver figura 31.

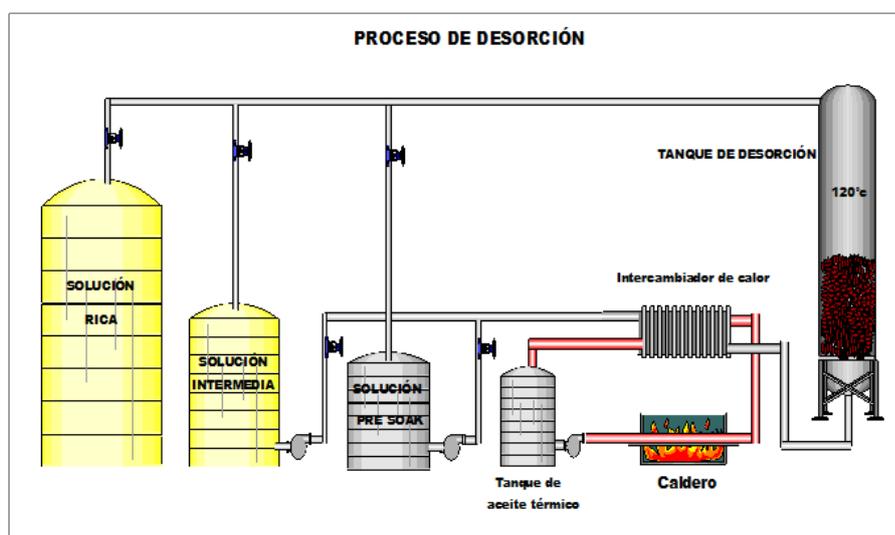


Figura 31. Proceso de desorción de carbones cargados con complejos metálicos (Newmont Yanacocha, 2023).

A estas condiciones físicas de presión y temperatura, se desprenden los complejos metálicos de la estructura de los carbones; es decir, se rompen los enlaces químicos, liberando el ion complejo metálico, pasando a la solución.

Los carbones desorbidos regresan al sistema de adsorción y son reutilizados en el proceso de adsorción. Ver figura 32.

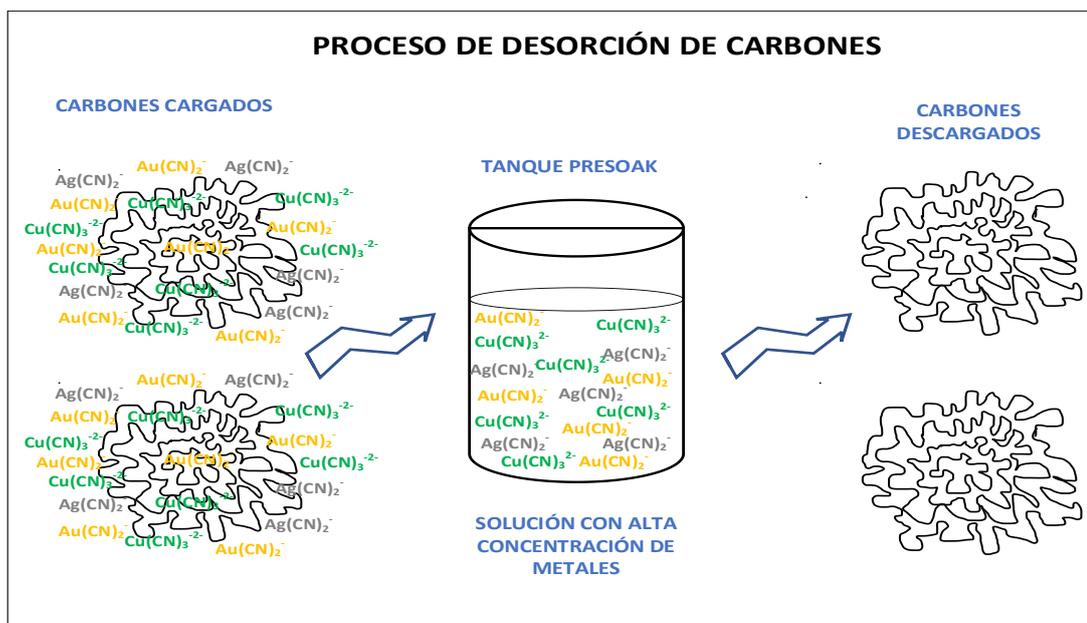


Figura 32. Esquema de desorción de carbones cargados con complejos metálicos. (Navarrete, 2005).

Para realizar la desorción de elementos metálicos que se encuentran adsorbidos en carbón activado, se usa la técnica de desorción cuyo procedimiento es el siguiente:

- Descargar una columna de 8.0 TM de carbón rico en elementos metálicos al tanque de desorción.
- Tomar una muestra de carbón cargado y enviar al laboratorio químico para análisis.
- En el tanque Presoak de 25 m3 de capacidad, preparar solución de desorción a un pH >10 y una concentración de 5,000 ppm CN.
- Iniciar el proceso de desorción siguiendo el procedimiento haciendo recircular la solución hasta obtener una temperatura de 120°C.
- Una vez obtenido la temperatura de 120°C, mantener esta temperatura constante por espacio de 1 hora.
- Muestrear cada 10 minutos y realizar análisis por Au, Ag, Cu.
- Evaluar los resultados.

4.2.3 Instrumentos

Para la realización de esta investigación se necesita una planta de desorción constituida de los siguientes componentes:

- 01 tanque de almacenamiento de solución eludida o súper rica de 300 m³ de capacidad.
- 01 tanque de solución de lavado (solución intermedia) de 150 m³ de capacidad.
- 01 tanque de solución Presoak de 25 m³ de capacidad.
- 01 tanque de aceite térmico de 10 m³ de capacidad.
- 01 caldero o calentador a combustible diésel.
- 02 intercambiadores de calor de placas.
- 01 tanque stripping (tanque de desorción) de 50 m³ de capacidad.
- 01 tanque de lavado ácido de 50 m³ de capacidad.
- 03 bombas de recirculación de solución.
- 05 válvulas eléctricas.
- 01 PLC para el control automático del proceso.

4.2.4 Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades

- 01 equipo de adsorción atómica para análisis del contenido metálico en las soluciones.
- Instrumentación básica del laboratorio químico. (matraces, tubos de ensayo, etc.).
- Soda Caustica.
- Cianuro de sodio.
- Ácido clorhídrico.
- Carbón activado.

Para la mejora continua del proceso se utilizará la metodología de optimización del proceso de tratamiento de agua en planta de osmosis reversa.

Para la mejora, se realizará desorciones selectivas de cobre de los carbones controlando la temperatura de desorción, para de esa manera ir bajando la concentración de cobre en la solución eluida, manteniendo la concentración de oro y plata para el ingreso al proceso de Merrill Crowe y posteriormente al proceso de Osmosis Reversa.

De tal manera, que se consiga una mejora continua en los procesos de tratamiento del agua.

4.3 Ejecución de las actividades profesionales

4.3.1 Cronograma de actividades realizadas.

Tabla 7. Diagrama de las actividades del proceso experimental.

ACTIVIDADES	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración de Actividades DÍAS	14-Mar-23	15-Mar-23	16-Mar-23	17-Mar-23	18-Mar-23	25-Mar-23	26-Mar-23	27-Mar-23	28-Mar-23	29-Mar-23	1-Abr-23	2-Abr-23	5-Abr-23	6-Abr-23	7-Abr-23	9-Abr-23	10-Abr-23	11-Abr-23	12-Abr-23	16-Abr-23	17-Abr-23	18-Abr-23	21-Abr-23	22-Abr-23	23-Abr-23	24-Abr-23	25-Abr-23	26-Abr-23	29-Abr-23	30-Abr-23	1-May-23	2-May-23	7-May-23	8-May-23	9-May-23	10-May-23	11-May-23	12-May-23	13-May-23	27-May-23	6-Jun-23	7-Jun-23	8-Jun-23	9-Jun-23	10-Jun-23			
				Muestreo y análisis químico de solución de ingreso y salida de las plantas RO	15-Feb-23	16-Mar-23	30	█	█																																										
Evaluación de los resultados	17-Mar-23	27-Mar-23	11			█	█	█	█	█	█																																								
Muestreo y análisis químico de carbones que ingresan y salen del proceso de desorción	28-Mar-23	1-Abr-23	5									█	█																																						
Evaluación de resultados	2-Abr-23	6-Abr-23	5											█	█																																				
Planificar una desorción completa con muestreo	7-Abr-23	10-Abr-23	4															█	█																																
Realización de una desorción completa con muestreo del proceso cada 10 minutos	11-Abr-23	11-Abr-23	1																	█																															
Análisis químico de las muestras	12-Abr-23	17-Abr-23	6																			█	█																												
Evaluación de resultados	18-Abr-23	22-Abr-23	5																				█	█	█																										
Realizar dos desorción selectiva para desorber cobre con muestreo cada 10 minutos	23-Abr-23	23-Abr-23	1																																																
Realizar una desorción para desorber oro y plata con muestreo cada 10 minutos	24-Abr-23	24-Abr-23	1																																																
Evaluación de resultados	25-Abr-23	30-Abr-23	6																																																
Conclusiones del trabajo experimental	1-May-23	10-May-23	10																																																
Preparación del trabajo de tesis	11-May-23	10-Jun-23	31																																																

4.3.2 Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales

El proceso y secuencia del trabajo experimental comienza con el muestreo, análisis químicos y evaluación de los resultados a las muestras de ingreso y salida de la planta de tratamiento de agua por osmosis reversa.

Muestreo y análisis químico de carbones que ingresan y salen del proceso de desorción. Evaluación de resultados.

Muestreo y análisis químico de las soluciones desorbidas. Evaluación de resultados.

Planificar y realizar una desorción completa con muestreo del proceso cada 10 minutos y analizar las muestras en el laboratorio químico. Evaluación de resultados.

Realizar dos desorciones selectivas para desorber cobre con muestreo cada 10 minutos.

Realizar una desorción para desorber oro y plata con muestreo cada 10 minutos. Evaluar los resultados.

Conclusiones del trabajo experimental y preparación del trabajo de suficiencia profesional.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Resultados finales de las actividades realizadas

5.1.1 Introducción

Las altas concentraciones de cobre en la solución de ingreso a las plantas de osmosis reversa provienen principalmente de la solución eluida o súper rica del proceso de desorción. Esta solución concentrada supera los 1,000 ppm de concentración de cobre.

Al mezclarse con la solución proveniente de las pozas de lixiviación y luego de pasar por el proceso Merrill Crowe, la concentración de esta solución aun supera los 25 ppm de cobre, estos valores sobrepasan los límites máximos permisibles de concentración de cobre que soportan las membranas de osmosis reversa que son 14.2 ppm. Ver figura 33.

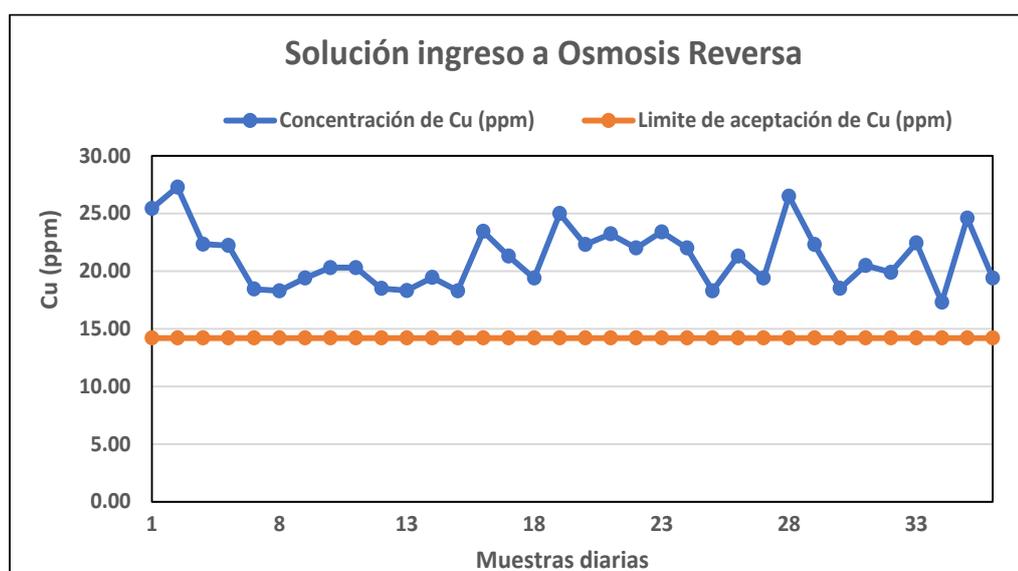


Figura 33. Solución barren de ingreso a osmosis reversa.

Esta gráfica demuestra que es imposible tener buenos resultados en el tratamiento de esta solución en la planta de osmosis reversa, ya que siempre tendremos valores de concentración de cobre por encima de los límites máximos permisibles. (0.5 ppm).

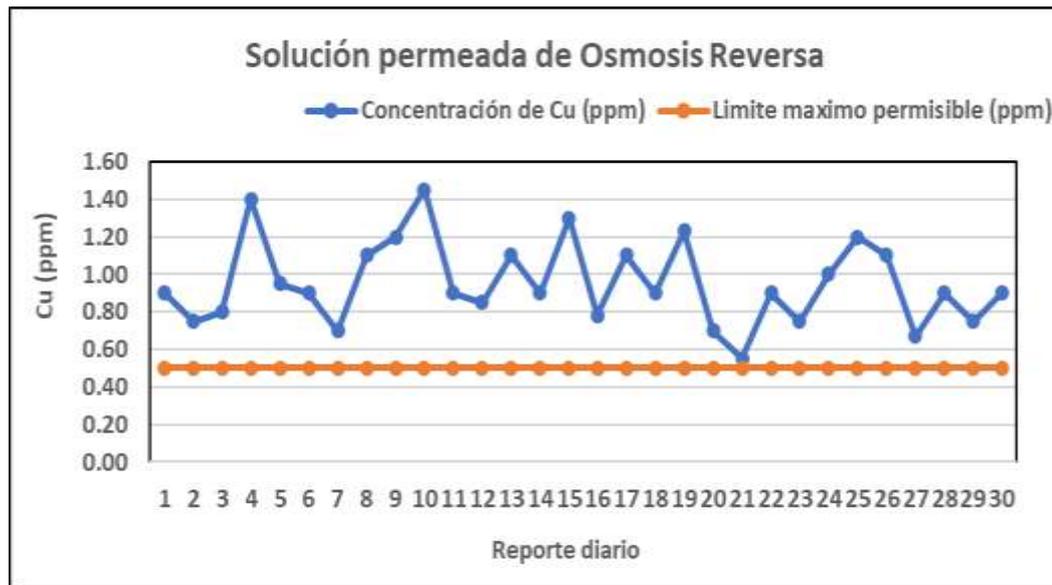


Figura 34. *Concentración de cobre en agua tratada de osmosis reversa.*

En ese sentido, el presente trabajo está enfocado en disminuir la concentración de cobre de la solución que ingresa a la planta de tratamiento por osmosis reversa, de tal manera que sea aceptada por las membranas de la planta de osmosis reversa y cumpla eficientemente el rechazo de los complejos cianurados de cobre y se cumplan con los máximos límites permisibles de descarga de agua tratada hacia el medioambiente, con concentraciones de cobre bajo los límites permisibles que es de 0.5 ppm.

5.1.2 Planteamiento del proyecto de mejora

Para optimizar el proceso de tratamiento de aguas por osmosis reversa, se plantea disminuir la concentración de cobre de la solución de ingreso a las plantas de osmosis reversa.

Para identificar la causa raíz de la alta concentración de cobre en el alimento hacia las citadas plantas, se analizó el diagrama de causa – efecto, en donde se evidenció que la alta concentración de cobre en la solución eluida del proceso de desorción actualmente es > 1,000 ppm, esta elevada concentración de cobre proviene de las desorciones de la planta de carbón. Se planea bajar estas concentraciones a valores < 14 ppm, mediante el proceso de desorción selectiva, eliminando de esta manera la causa raíz y optimizando el proceso de tratamiento de aguas como mejora continua en la planta.

5.1.3 Plan de acción para el trabajo experimental

Para bajar las concentraciones de cobre en la solución eluida o súper rica del proceso de desorción se ha visto por conveniente realizar desorciones selectivas de cobre de los carbones cargados con elementos valiosos como oro y plata.

El cobre en este caso es un elemento no valioso para la producción de oro y es un agente contaminante en el tratamiento de aguas de excesos por lo que se procederá a eliminarlo o sacarlo del sistema mediante desorciones selectivas.

Nuestro plan de acción es el siguiente:

1. Realizar una desorción completa con los parámetros actuales, analizar la data y tomar decisiones.

Parámetros:

- 120°C de temperatura.
 - Presión interna de 250 KPA.
 - Solución Presoak 25 m3. (5,000 ppm CN, pH>10)
 - Tiempo aproximado 3.5 horas.
2. Según análisis y la toma de decisiones del punto anterior; realizar una o más desorciones selectivas de cobre de acuerdo a los resultados.
 3. Analizar los resultados y tomar las decisiones correspondientes hasta que las concentraciones de cobre en la solución desorbida sean bajas.

5.1.4 Trabajo experimental

1. Desorción completa de metales en carbones cargados.

Procedimiento:

- Descargar una columna de 8.0 TM de carbón rico en elementos metálicos al tanque de desorción.
- Tomar una muestra de carbón cargado y enviar al laboratorio químico para análisis.
- En el tanque Presoak de 25 m3 de capacidad, preparar solución de desorción a un pH >10 y una concentración de 5,000 ppm CN.

- Iniciar el proceso de desorción siguiendo el procedimiento haciendo recircular la solución hasta obtener una temperatura de 120°C.
- Una vez obtenido la temperatura de 120°C, mantener esta temperatura constante.
- Recircular esta solución por aproximadamente 1 hora.
- Muestrear solución eluida o súper rica cada 10 minutos y realizar análisis por Au, Ag, Cu.
- Proceder a realizar el lavado de los carbones con agua limpia hasta llegar a un volumen en el tanque de almacenamiento de 175 m3.
- Con los valores de análisis de laboratorio proceder a calcular el % de desorción y la concentración final de los metales a un volumen final de 175 m3.

Evaluación de resultados

En la tabla 8, se precisan los resultados del laboratorio químico y los cálculos de la cantidad en kilogramos del contenido metálico inicial de oro, plata y cobre. Estos valores sirven para calcular la eficiencia de desorción.

Se observa que el contenido metálico de oro es de 28.349 Kg, el de plata es de 14.049 Kg. y el contenido metálico de cobre es de 144.232 Kg.

Realizando cálculos, se ha obtenido que el 77.2% del contenido metálico en las 8 toneladas de carbón es cobre y solo un 22.8% es oro más plata.

Tabla 8. Análisis químico del carbón y contenido metálico.

Numero de columna	Peso carbón Kg.	Ensayo oro g/Kg	Ensayo plata g/Kg	Ensayo cobre g/Kg	Contenido de oro Kg	Contenido de plata Kg	Contenido de cobre Kg
T1 - C1	8,000	3.5437	1.7561	18.029	28.349	14.049	144.232

En la tabla 9, tenemos los resultados del laboratorio químico del monitoreo realizado cada 10 minutos en el proceso de desorción, se muestran las concentraciones de oro, plata y cobre cada 10 minutos.

Tabla 9. Análisis químico de la solución desorbida.

Tiempo (min)	Temp (°C)	Cu (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)
0	10	0	0.10	0.10
10	12	11	0.10	0.10
20	15	120	0.10	0.10
30	20	1,100	0.10	0.10
40	28	1,432	0.10	0.10
50	35	1,528	0.10	0.10
60	39	1,760	0.10	0.10
70	45	1,950	0.10	0.10
80	54	2,400	0.10	0.10
90	60	2,780	6.70	25.00
100	78	2,798	33.30	52.50
110	90	2,805	44.70	121.50
120	100	2,800	52.70	245.50
130	112	2,798	125.00	385.30
140	118	2,795	510.00	475.70
150	120	2,801	563.30	490.10
160	120	2,805	636.00	500.40
170	120	2,798	800.00	515.20
180	122	2,805	933.30	510.40
190	120	2,801	966.70	508.80
200	120	2,800	933.30	527.80
210	120	2,810	933.30	505.50

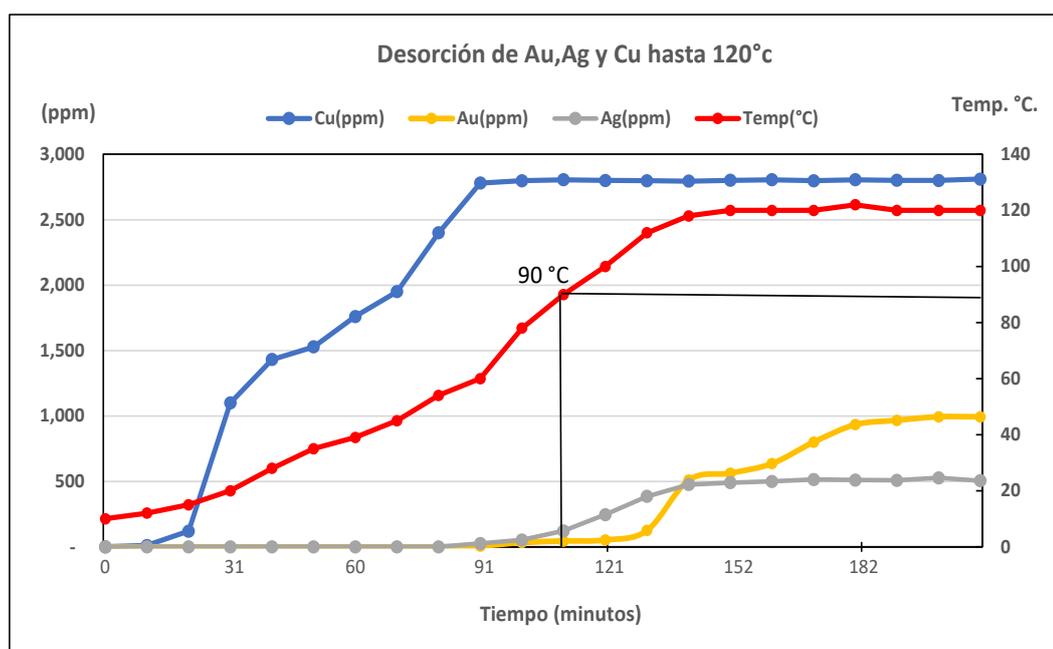


Figura 35. Gráfica de la desorción de Au, Ag y Cu.

En la figura 35, se muestra el comportamiento de los metales en el proceso de desorción durante 3.5 horas hasta llegar a una temperatura constante de 120°C.

Observaciones:

De la gráfica se concluye:

- La desorción del cobre es más rápida y se puede desorber a bajas temperaturas. < 90°C.
- Se puede observar que en el rango de temperatura entre 10°C y 90°C la plata y el oro no se desorben. La plata comienza a desorberse a temperaturas >90°C y el oro a temperaturas en el rango de 110°C y 120°C.
- El cobre llega a saturarse en la solución a 90°C llegando a concentraciones de 2,800 ppm de cobre en 25 m3 de solución.
- Realizando cálculos el cobre en esta primera desorción solo llega a desorber un 48.54 %. Ver tabla 10.

Tabla 10. Cálculo del % de cobre desorbido.

Cu (gr/m3)	Volumen (m3)	Cu desorbido (Kg)	Cu total (Kg)	Recuperación %
2,800.00	25.00	70.00	144.23	48.54

- La plata llega a desorberse en la solución a 120°C llegando a concentraciones de 527.8 ppm de plata en 25 m3 de solución en 3.5 horas.
- Realizando cálculos la plata en esta primera desorción llega a desorber un 93.9 %. Ver tabla 11.

Tabla 11. Cálculo del % de plata desorbida.

Ag (gr/m3)	Volumen (m3)	Ag desorbida (Kg)	Ag total (Kg)	Recuperación %
527.80	25.00	13.20	14.049	93.92

- El oro llega a desorberse en la solución a 120°C. llegando a concentraciones de 993.3 gr/m3 de oro en 25 m3 de solución en 3.5 horas.
- Realizando cálculos el oro en esta primera desorción llega a desorber un 87.59 %. Ver tabla 12.

Tabla 12. Cálculo del % de oro desorbido.

Au (gr/m3)	Volumen (m3)	Au desorbido (Kg)	Au total (Kg)	Recuperación %
993.30	25.00	24.83	28.35	87.59

- En el caso del oro, termina su proceso de desorción llegando a valores > 97.5% en el proceso de lavado y enfriamiento del sistema.
- Es necesario realizar desorciones selectivas para poder disminuir las concentraciones de cobre en los carbones.

Conclusiones de la desorción completa de metales en carbones cargados

De este trabajo experimental se tiene las siguientes conclusiones:

- Podemos realizar desorciones selectivas para eliminar el cobre de la solución eluida o súper rica a temperaturas menores de 90°C. hasta obtener concentraciones de cobre muy bajas en la solución que ingresa a Merrill Crowe y al proceso de tratamiento de aguas.
- Ya que el cobre se ha desorbido solo un 48.54% a temperaturas entre 10°C y 90°C, se podría realizar 02 desorciones consecutivas, hasta bajar lo máximo posible las concentraciones de cobre en los carbones.
- Una vez desorbido el cobre de los carbones, se debe proceder a desorber el oro y la plata de los carbones a temperaturas entre el rango de 10°C a 120°C, que ya tienen bajas concentraciones de cobre.
- De esta manera, la solución eluida o súper rica del proceso de desorción tendría baja concentración de cobre y estaríamos cumpliendo nuestro objetivo.

Recomendaciones.

- Proceder a realizar 02 desorciones selectivas y consecutivas de cobre a temperaturas en el rango de 10°C a 90°C.
- Posteriormente lavar el sistema con agua y proceder a una tercera desorción a temperaturas en el rango de 10°C a 120°C, para desorber exclusivamente oro y plata.

2. Primera desorción selectiva de cobre hasta 90°C.

Procedimiento:

- Tomar otro lote de carbón cargado (8.0 Tm) y transferir al tanque de desorción.

- Preparar solución de desorción en tanque Presoak (25m3) a pH >10 y 5,000 ppm CN.
- Recircular la solución preparada por el tanque de desorción que contiene 08 Tm de carbón cargado, hasta que las concentraciones de cobre sean constantes.
- Operar el caldero en modo manual de tal manera que la temperatura no supere los 90°C.
- Tomar muestras cada 10 minutos y realizar análisis por Au, Ag, Cu.
- Al terminar el proceso de recirculación, descargar toda la solución en el tanque de almacenamiento de solución eluida y descartar esta solución por que contendrá altas concentraciones de cobre.
- Evaluar los resultados.

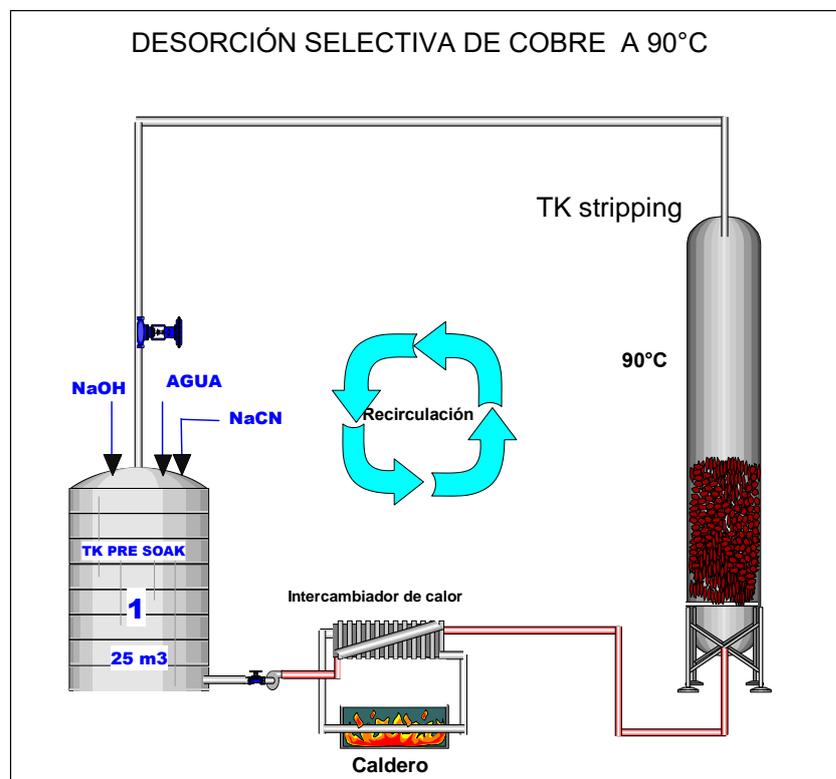


Figura 36. Desorción selectiva de cobre a 90° C.

Evaluación de resultados de la primera desorción selectiva

En la tabla 13 se tienen los resultados del laboratorio químico y los cálculos de la cantidad en kg. del contenido metálico de oro, plata y cobre. Estos valores sirven para calcular la eficiencia de desorción.

Se observa que el contenido metálico de oro es de 27.2 Kg, el contenido metálico de la plata es de 11.6 Kg. y el contenido metálico de cobre es de 180.4 Kg.

Realizando cálculos, se ha obtenido que el 82.3 % del contenido metálico en las 8 toneladas del carbón es cobre y solo un 17.7 % es oro más plata.

Tabla 13. Análisis químico del carbón y contenido metálico.

Número de columna	Peso carbón Kg	Ensayo oro gr/Kg	Ensayo plata gr/Kg	Ensayo cobre gr/Kg	Contenido de oro Kg	Contenido de plata Kg	Contenido de cobre Kg
T3-C2	8,000	3.400	1.450	22.554	27.200	11.600	180.432

En la tabla 14 se muestran los resultados del laboratorio químico del monitoreo realizado cada 10 minutos en el proceso de desorción, se detallan las concentraciones de oro, plata y cobre cada 10 minutos.

Tabla 14. Análisis químico de la solución eluida, primera desorción.

Tiempo (min)	Temp (°C)	Cu (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)
0	10	0	0.10	0.10
10	12	14	0.10	0.10
20	17	135	0.10	0.10
30	25	456	0.10	0.10
40	24	856	0.10	0.10
50	39	980	0.10	0.10
60	42	1,456	0.10	0.10
70	54	1,934	0.10	0.10
80	62	2,167	0.10	0.10
90	76	2,754	4.50	15.40
100	85	2,803	3.90	14.90
110	89	3,125	4.60	15.40
120	90	3,153	4.90	15.50
130	92	3,204	3.90	15.10
140	95	3,293	4.80	15.90
150	93	3,209	4.50	14.80
160	94	3,245	4.80	14.50
170	92	3,221	4.90	15.10
180	91	3,210	4.00	15.20
190	90	3,219	4.10	15.40
200	93	3,220	4.30	14.90
210	92	3,220	4.60	14.50

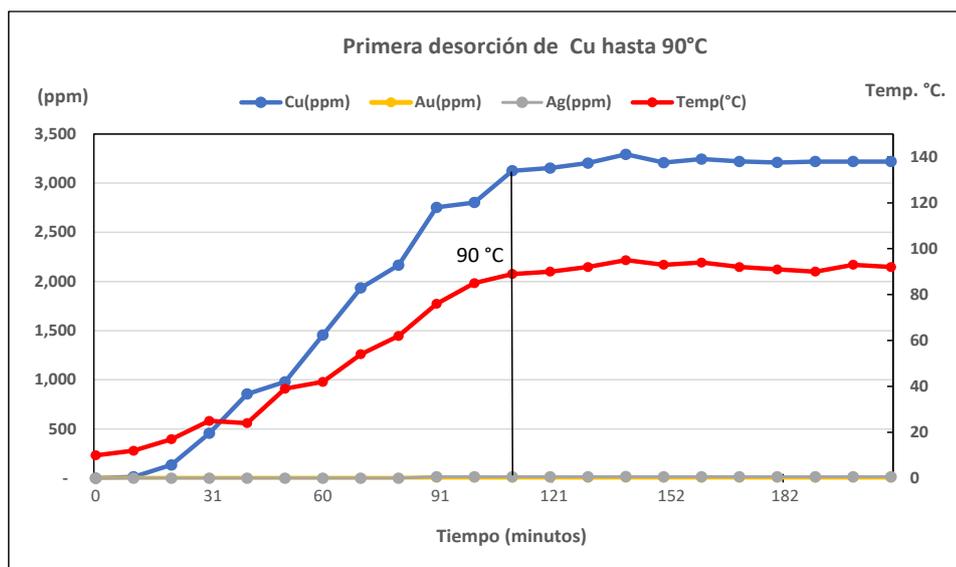


Figura 37. *Primera desorción selectiva de cobre, desorción a temperaturas entre 10° C a 90°C.*

En la figura 37 se detalla el comportamiento de los metales en el proceso de desorción durante 1 hora 50 minutos hasta llegar a una temperatura constante de 90°C.

Observaciones:

De la gráfica se puede observar:

- La desorción del cobre es más rápida y se puede desorber a bajas temperaturas. < 90°C.
- El cobre llega a saturarse en la solución a 90°C. en un tiempo promedio de 1 hora 50 minutos, llegando a concentraciones de 3,220 gr/m3 de cobre en 25 m3 de solución.
- Realizando cálculos el cobre en esta primera desorción solo llega a desorber un 44.62 %. Ver tabla 15.

Tabla 15. Cálculo del % de cobre desorbido.

Cu (gr/m3)	Volumen (m3)	Cu desorbido (Kg)	Cu total (Kg)	Recuperación %
3,220.00	25.00	80.50	180.43	44.62

Conclusiones de la primera desorción selectiva de cobre hasta 90°C.

- En este caso, el oro y la plata permanecen adsorbidos en los carbones casi en su totalidad; ya que, según prueba anterior, la plata comienza su proceso de desorción a

más de 90 °C. y el oro comienza su proceso de desorción a una temperatura promedio de 120°C.

- Debido a que en esta primera etapa de desorción solo se ha podido desorber el cobre de los carbones en un 44.62 %, es recomendable realizar una segunda desorción selectiva.
3. Segunda desorción selectiva de cobre hasta 90°C.

Procedimiento

- Lavar los carbones que se encuentran en el tanque de desorción haciendo recircular 25 m3 de agua permeada fría.
- La solución eluida del proceso anterior, descartar o recircular al Pad de lixiviación.
- Lavar el tanque Presoak con agua fría, para eliminar las trazas de cobre.
- Preparar una nueva solución de desorción en tanque Presoak (25m3) a pH >10 y 5,000 ppm CN.
- Recircular la solución preparada por el tanque de desorción que contiene 08 Tm de carbón cargado, hasta que las concentraciones de cobre sean constantes.
- Operar el caldero en modo manual de tal manera que la temperatura no supere los 90°C.
- Tomar muestras cada 10 minutos y realizar análisis de contenido metálico por Au, Ag, Cu.
- Al terminar el proceso de recirculación, descargar toda la solución en el tanque de almacenamiento de solución eluida y descartar esta solución por que contendrá altas concentraciones de cobre.
- Evaluar los resultados.

Evaluación de resultados de la segunda desorción selectiva

Para esta segunda desorción, el contenido metálico de oro y plata permanecen sin variación, se mantiene 27.2 Kg. de oro y 11.6 Kg. de plata y el contenido metálico de cobre es el 55.38 %, que equivale a 99.9 Kg. de cobre, tal como indica en la tabla 16.

Tabla 16. Cálculo del contenido metálico de cobre (primera desorción).

Número de columna	Peso carbón Kg	Ensayo oro gr/Kg	Ensayo plata gr/Kg	Ensayo cobre gr/Kg	Contenido de oro Kg	Contenido de plata Kg	Contenido de cobre Kg
T3-C2	8,000	3.400	1.450	12.490	27.200	11.600	99.900

En la tabla 17 se tienen los resultados del laboratorio químico del monitoreo realizado cada 10 minutos en el proceso de la segunda desorción, se muestran las concentraciones de oro, plata y cobre cada 10 minutos.

Tabla 17. Análisis químico de la solución eluida de la segunda desorción selectiva.

Tiempo (min)	Temp (°C)	Cu (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)
0	10	0	0.10	0.10
10	14	14	0.10	0.10
20	17	190	0.10	0.10
30	22	220	0.10	0.10
40	24	345	0.10	0.10
50	28	654	0.10	0.10
60	32	756	0.10	0.10
70	49	1,134	0.10	0.10
80	58	1,423	0.10	0.10
90	69	1,980	3.50	15.40
100	88	2,238	2.80	14.60
110	90	2,560	4.60	12.80
120	90	2,560	3.50	12.67
130	92	2,575	4.00	11.87
140	91	2,656	4.30	11.65
150	92	2,560	4.00	12.45
160	93	2,567	3.90	12.67
170	89	2,560	4.30	11.98
180	88	2,564	4.80	11.47
190	93	2,565	4.10	12.02
200	87	2,564	4.90	12.32
210	90	2,564	4.20	11.92

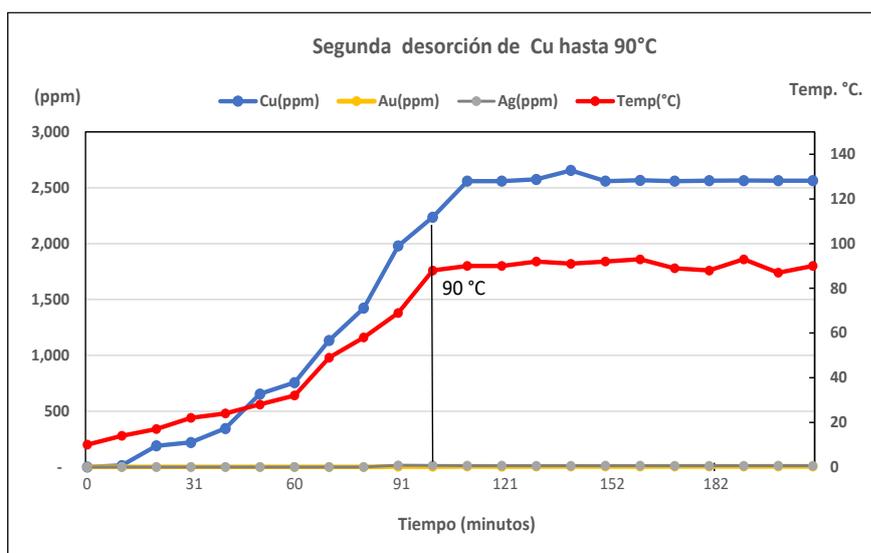


Figura 38. Segunda desorción selectiva de cobre, desorción a temperaturas entre 10°C a 90°C.

En la figura 38 se muestra el comportamiento de los metales en el proceso de desorción durante 1 hora 50 minutos aproximadamente hasta llegar a una temperatura constante de 90°C.

Observaciones:

En esta segunda desorción se puede apreciar:

- El cobre llega a saturarse en la solución a 90°C. en un tiempo promedio de 1 hora 50 minutos, llegando a concentraciones promedio de 2,564 gr/m3 de cobre en 25 m3 de solución.
- Realizando cálculos el cobre en esta segunda desorción solo llega a desorber un 64.14 %. Ver tabla 18.

Tabla 18. Cálculo del % de cobre desorbido, segunda desorción selectiva.

Cu (gr/m3)	Volumen (m3)	Cu desorbido (Kg)	Cu total (Kg)	Recuperación %
2,564.00	25.00	64.10	99.93	64.14

- Estos valores servirán para calcular la eficiencia de la tercera desorción.

Conclusiones de la segunda desorción selectiva de cobre hasta 90°C.

- En este caso el oro y la plata permanecen adsorbidos en los carbones casi en su totalidad ya que, según prueba anterior, la plata comienza su proceso de desorción a más de 90 °C. Y el oro comienza su proceso de desorción a una temperatura promedio de 120°C.
- Debido a que en esta segunda etapa se ha desorbido el 64.14 % del contenido metálico inicial de cobre de 99.93 Kg, queda como contenido metálico para la tercera desorción 35.8 Kg de cobre.
- Los contenidos metálicos de oro y plata permanecen sin variación.

4. Tercera desorción hasta 120°C.

Cabe mencionar que las dos primeras desorciones realizadas han sido con el único objetivo de desorber solamente el cobre, obteniendo un alto porcentaje de desorción. Estas soluciones eluidas con alto concentración de cobre son eliminadas en los dos procesos.

Los carbones con baja concentración de cobre, pasa a la tercera desorción. El contenido metálico para esta tercera desorción se puede apreciar en la tabla 19.

En esta tercera desorción se desorben todos los elementos metálicos como oro, plata y el cobre remanente de las dos desorciones anteriores.

Procedimiento

- La solución eluida del proceso anterior, descartar o recircular al Pad de lixiviación.
- Lavar los carbones que se encuentran en el tanque de desorción con 25 m³ de agua permeada fría. Descartar solución de lavado.
- Lavar el tanque Presoak con agua fría, para eliminar las trazas de cobre.
- Preparar una nueva solución de desorción en tanque Presoak (25m³) a pH >10 y 5,000 ppm CN.
- Recircular la solución preparada por el tanque de desorción que contiene 08 Tm. de carbón cargado, hasta que la temperatura interna del tanque de desorción llegue a 120°C.
- Operar el caldero en modo automático, de tal manera que la temperatura se mantenga en 120°C.
- Tomar muestras cada 10 minutos y realizar análisis metálico por Au, Ag, Cu.
- Al terminar el proceso de recirculación, descargar toda la solución eluida al tanque de almacenamiento de solución eluida súper rica.
- Luego proceder con la etapa de lavado, llegando a un volumen máximo de 150 m³.
- Evaluar los resultados.

Evaluación de resultados

Para esta tercera desorción el contenido metálico inicial de oro y plata permanecen sin variación, se mantiene: 27.2 Kg de oro y 11.6 Kg de plata y el contenido metálico de cobre es el 19.86 %, que equivale a 35.84 Kg de cobre, tal como indica en la tabla 19.

Tabla 19. Cálculo del contenido metálico oro, plata y cobre.

Número de columna	Peso carbón Kg	Ensayo oro gr/Kg	Ensayo plata gr/Kg	Ensayo cobre gr/Kg	Contenido de oro Kg	Contenido de plata Kg	Contenido de cobre Kg
T3-C2	8,000	3.400	1.450	4.480	27.200	11.600	35.840

En la tabla 20 se tienen los resultados del laboratorio químico del monitoreo realizado cada 10 minutos en el proceso de la tercera desorción, se muestran las concentraciones de oro, plata y cobre cada 10 minutos.

Tabla 20. Análisis químico de la solución desorbida.

Tiempo (min)	Temp (°C)	Cu (ppm)	Au (ppm)	Ag (ppm)
0	10	0	0.10	0.10
10	12	11	0.10	0.10
20	15	456	0.10	0.10
30	20	543	0.10	0.10
40	28	654	0.10	0.10
50	35	680	0.10	0.10
60	39	756	0.10	0.10
70	45	850	0.10	0.10
80	54	880	0.10	0.10
90	60	890	0.30	5.30
100	78	990	0.50	7.50
110	100	990	0.50	100.00
120	118	990	69.00	235.70
130	119	995	356.00	376.80
140	120	990	989.00	459.50
150	120	994	1068.00	460.40
160	120	990	1070.00	458.30
170	120	985	1073.00	461.80
180	122	995	1070.00	459.40
190	120	990	1071.00	465.40
200	120	995	1075.00	456.70
210	120	990	1075.00	460.80

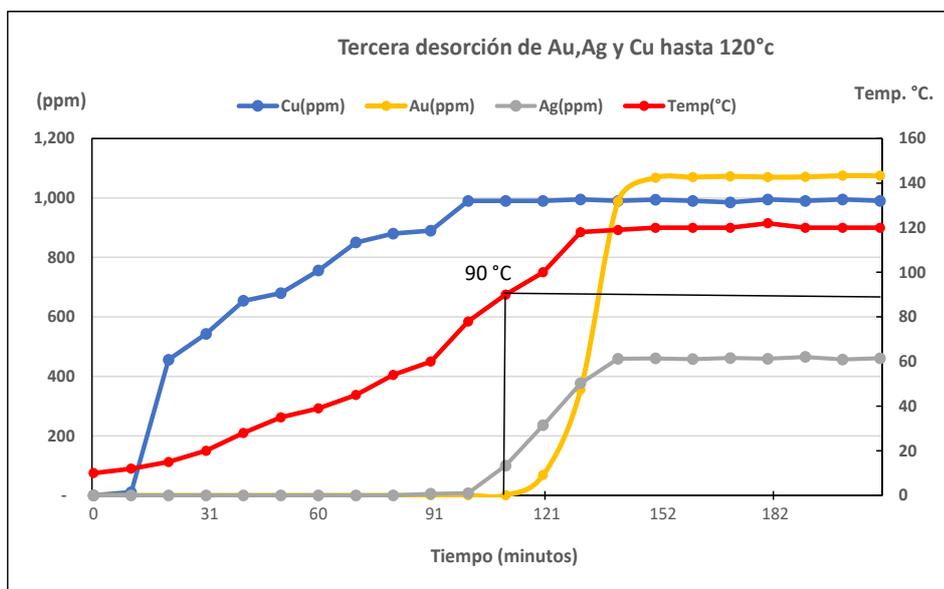


Figura 39. Tercera desorción a temperatura de 10°C a 120°C.

En la figura 39, se muestra el comportamiento de los metales en el proceso de desorción durante 3 horas. hasta llegar a una temperatura constante de 120°C.

Observaciones:

- El cobre llega a saturarse en la solución a 90°C. en un tiempo promedio de 1 hora 50 minutos, llegando a concentraciones promedio de 990 gr/m³ de cobre en 25 m³ de solución.
- Realizando cálculos el cobre en esta tercera desorción llega a desorber un 69.0 %. Ver tabla 21.

Tabla 21. Cálculo del % de cobre desorbido.

Cu (gr/m³)	Volumen (m³)	Cu desorbido (Kg)	Cu total (Kg)	Recuperación %
990.00	25.00	24.75	35.84	69.06

- Realizando cálculos el oro en esta tercera desorción llega a desorber un 98.81 %. Ver tabla 22

Tabla 22. Cálculo del % de oro desorbido.

Au (gr/m³)	Volumen (m³)	Au desorbido (Kg)	Au total (Kg)	Recuperación %
1,075.00	25.00	26.88	27.20	98.81

- Realizando cálculos la plata en esta tercera desorción se llega a desorber un 99.22 %. Ver tabla 23

Tabla 23. Cálculo del % de plata desorbida.

Ag (gr/m³)	Volumen (m³)	Ag desorbida (Kg)	Ag total (Kg)	Recuperación %
460.40	25.00	11.51	11.60	99.22

Conclusiones de la tercera desorción hasta 120°C

- En esta tercera desorción se desorben todos los metales, debido a que se está procesando a temperatura de 120°

- El alto % de recuperación de los tres metales, Cu, Au, Ag en esta tercera desorción, indica que los carbones han quedado desorbidos en su totalidad y están listos para regresar al sistema de adsorción.
- En esta tercera desorción se ha logrado obtener las siguientes concentraciones metálicas. Ver tabla 24.

Tabla 24. Concentraciones de metales desorbidos.

Metales	Concentraciones (ppm)	Volumen (m3)
Cu	990.00	25.00
Au	1,075.00	25.00
Ag	460.40	25.00

- La solución obtenida después de la tercera desorción, pasa por un proceso de dilución, debido al lavado final que se tiene que hacer a los carbones, teniendo como volumen final en el tanque de almacenamiento 175 m3.
- Por lo que las concentraciones finales en el tanque de almacenamiento son las siguientes:

Tabla 25. Contenido de metales proceso de dilución.

Metales	Concentraciones (ppm)	Volumen (m3)
Cu	141.40	175.00
Au	153.50	175.00
Ag	460.40	175.00

5.2 Logros alcanzados

De los resultados experimentales se tienen los siguientes logros:

5.2.1 Reducción del contenido metálico de cobre en el carbón adsorbido

Al realizar dos (2) desorciones selectivas de cobre, se ha reducido considerablemente el contenido metálico de cobre en el carbón adsorbido.

Tabla 26. Contenido metálico después de dos desorciones.

Temperatura (°C)	Carbón (Kg)	Contenido metálico (Cu Kg)	Contenido metálico (Au Kg)	Contenido metálico (Ag Kg)
<90	8,000	180.40	27.20	11.60
<90	8,000	99.90	27.20	11.60
<90	8,000	35.80	27.20	11.60

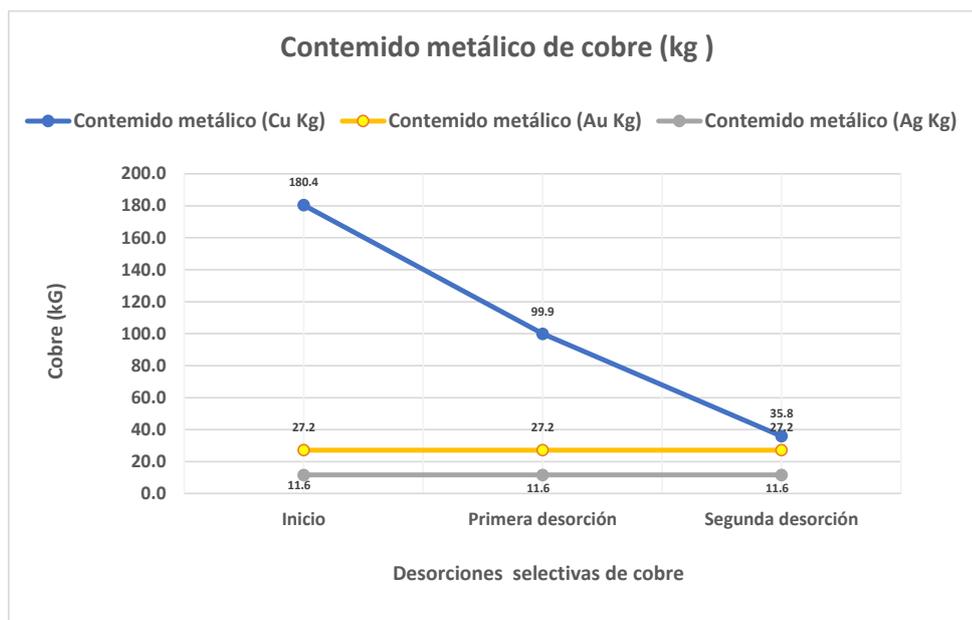


Figura 40. Contenido metálico cobre, desorciones.

5.2.2 Reducción de la concentración de cobre en la solución rica después de la desorción

La solución rica después de la desorción es acumulada en un tanque de almacenamiento diluida a 175 m³. Obteniendo una concentración final después de las tres desorciones de 141.4 ppm de cobre.

Tabla 27. Concentración de cobre en cada desorción.

Desorciones	Concentración de Cobre (ppm)	Volumen (m ³)
Primera desorción	460.00	175.00
Segunda desorción	366.30	175.00
Tercera desorción	141.40	175.00

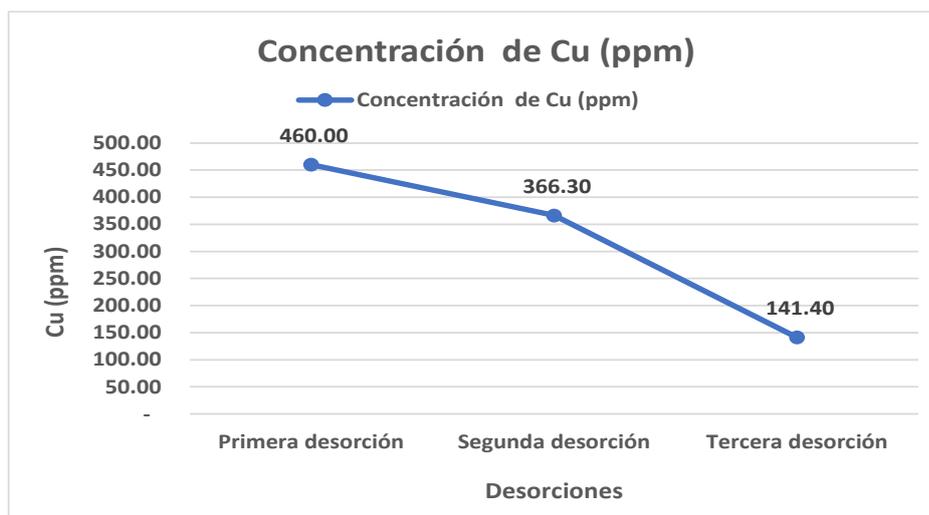


Figura 41. Concentración de cobre en cada desorción.

5.2.3 Reducción de la concentración de cobre en la solución barren de ingreso a plantas de osmosis reversa

Las soluciones barren o soluciones pobres de Merrill Crowe es la solución que ingresa a las plantas de tratamiento de agua por osmosis reversa.

Esta solución proviene de una mezcla de dos fuentes, la primera de la poza de operaciones con una concentración de cobre de 10 ppm y un flujo promedio de 1,500 m³ y la segunda es la solución rica del proceso de desorción, con una concentración de cobre de 141.4 ppm y un flujo de 15 m³/h.

Haciendo cálculos, tenemos:

$$C_f \times V_f = C_1 \times V_1 + C_2 \times V_2 \quad (1)$$

$$C_f = \frac{10 \times 1,500 + 141.4 \times 15}{1,515} = 11.30 \text{ ppm} \quad (2)$$

De los cálculos realizados, la solución que ingresa al Merrill Crowe tiene una concentración calculada de 11.30 ppm de cobre.

El cobre aún es retenido en el proceso de Merrill Crowe en bajas concentraciones por lo que las soluciones barren que ingresa al proceso de tratamiento de aguas por osmosis reversa tiene una concentración < 14.2 ppm, cumpliendo nuestro objetivo de bajar la concentración de cobre

a concentraciones menores de 14.2 ppm que es el límite de rechazo de las membranas de osmosis reversa.

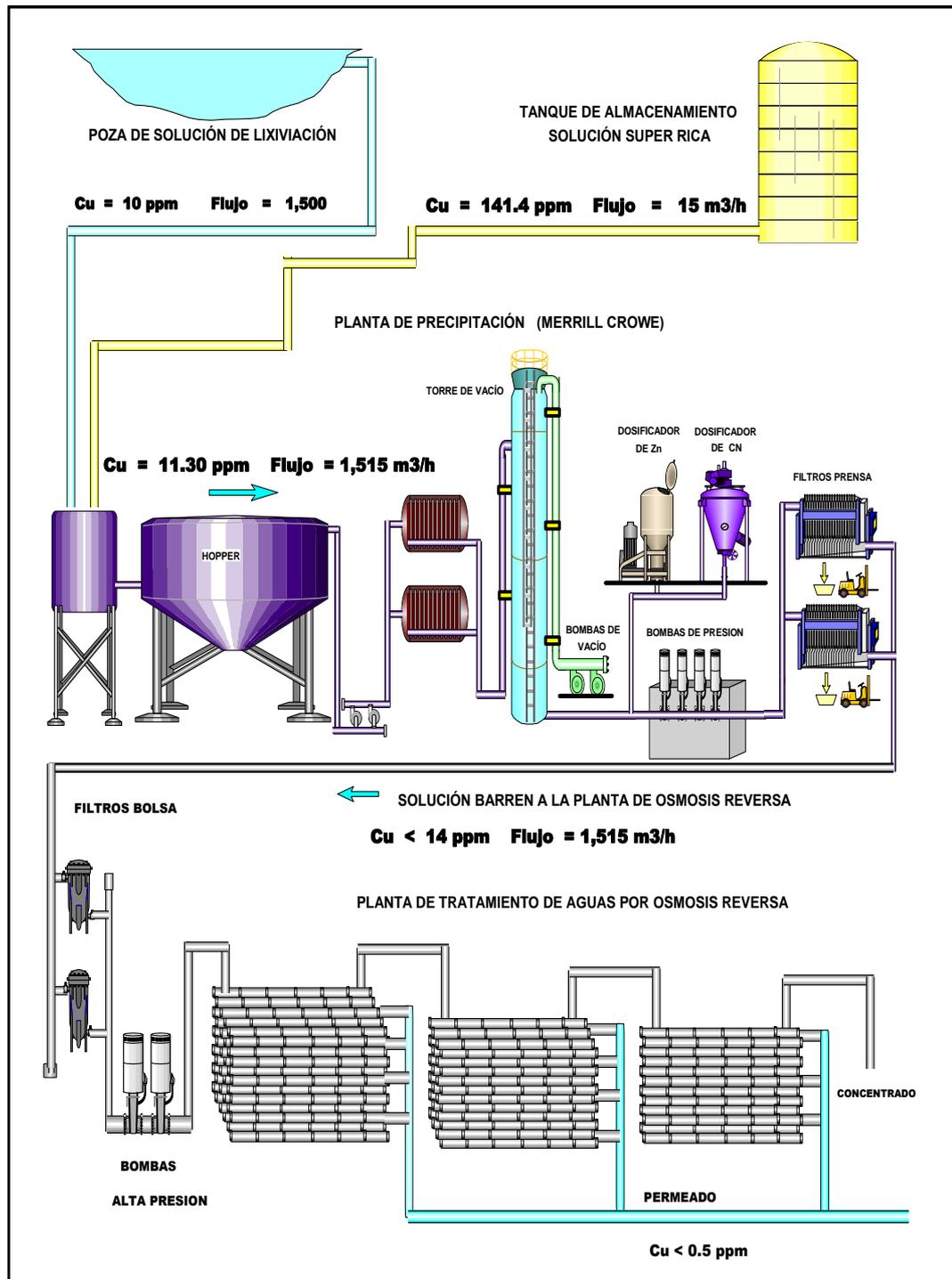


Figura 42. Concentración final de ingreso a osmosis reversa.

Tabla 28. Análisis de muestras en laboratorio, ingreso de soluciones a osmosis reversa.

RESULTADOS DE LABORATORIO		
# Muestra	Cu (ppm)	LMP
1	12.40	14.20
2	12.78	14.20
3	10.45	14.20
4	11.15	14.20
5	10.78	14.20
6	9.45	14.20
7	10.24	14.20
8	11.56	14.20
9	10.50	14.20
10	11.23	14.20
11	9.90	14.20
12	10.20	14.20
13	11.43	14.20
14	10.34	14.20
15	10.10	14.20
16	9.90	14.20
17	10.60	14.20
18	11.20	14.20
19	10.90	14.20
20	11.60	14.20
21	11.30	14.20
22	11.60	14.20
23	11.50	14.20
24	10.45	14.20
25	11.45	14.20
26	11.45	14.20
27	12.56	14.20
28	13.10	14.20
29	12.34	14.20
30	11.50	14.20

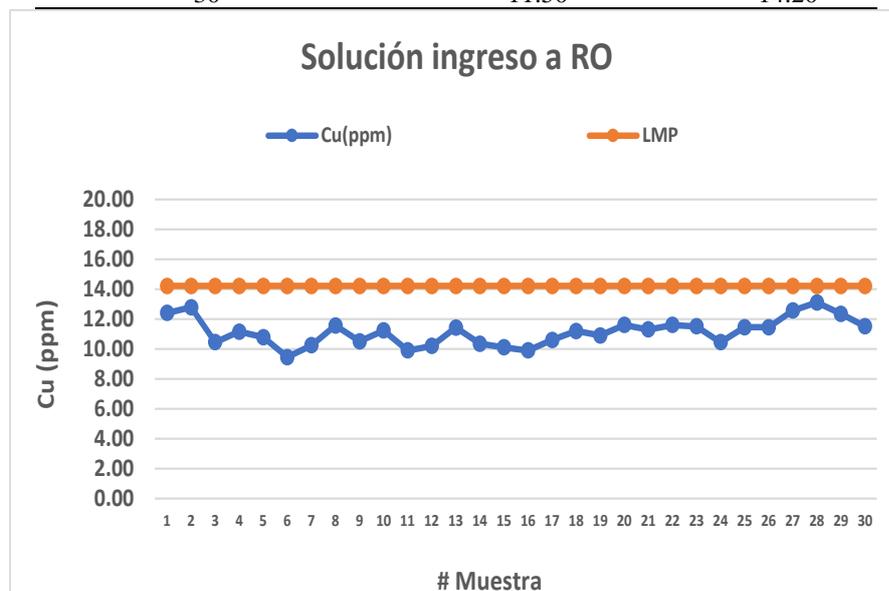


Figura 43. Concentración final ingreso a osmosis reversa.

5.2.4 Reducción de la concentración de cobre en la solución tratada de las plantas de osmosis reversa

Después de realizar las desorciones selectivas de cobre y obtener una solución rica con bajos valores de cobre, se logra excelentes resultados en el proceso de tratamiento de agua por osmosis reversa, se obtienen concentraciones de cobre por debajo de los límites máximos permisibles, permitiéndonos realizar descargas directas hacia el medioambiente, cumpliendo de esta manera nuestro objetivo principal en este trabajo de investigación.

Tabla 29. Valores analizados en laboratorio, muestras de solución tratada.

RESULTADOS DE LABORATORIO		
# Muestra	Cu (ppnm)	LMP
1	0.20	0.5
2	0.25	0.5
3	0.35	0.5
4	0.37	0.5
5	0.30	0.5
6	0.30	0.5
7	0.33	0.5
8	0.35	0.5
9	0.34	0.5
10	0.38	0.5
11	0.34	0.5
12	0.28	0.5
13	0.24	0.5
14	0.34	0.5
15	0.38	0.5
16	0.37	0.5
17	0.40	0.5
18	0.35	0.5
19	0.35	0.5
20	0.40	0.5
21	0.30	0.5
22	0.24	0.5
23	0.35	0.5
24	0.33	0.5
25	0.28	0.5
26	0.25	0.5
27	0.32	0.5
28	0.38	0.5
29	0.34	0.5
30	0.40	0.5

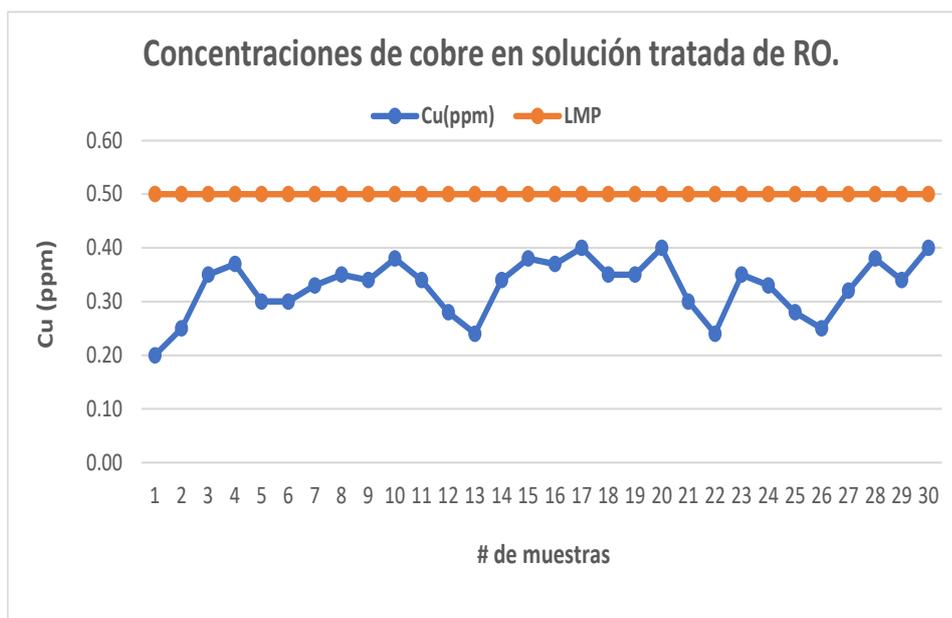


Figura 44. *Concentración final de cobre descargado en solución tratada en osmosis reversa.*

5.3 Dificultades encontradas

Para el desarrollo del presente trabajo experimental, se han encontrado muchas dificultades, sobre todo en la parte operativa, debido a que la parte productiva está íntimamente ligada a las plantas de tratamiento de aguas.

Se tuvo resistencia para la realización de las desorciones de los carbones cargados, debido a que retrasaba la producción.

El tiempo de la desorción de carbones se incrementó al doble y el número de desorciones por día disminuyó.

A pesar de las dificultades encontradas, se procedió con este trabajo ya que se obtuvieron buenos resultados para el tratamiento de aguas.

Cabe resaltar que la operación de tratamiento de aguas de suma importancia en Newmont Yanacocha, ya que se tiene que cumplir con la política ambiental establecida.

5.4 Planteamiento de mejoras

Debido a los buenos resultados en las plantas de tratamiento de aguas por osmosis reversa y al disminuir las concentraciones de cobre en las descargas de agua tratada, este trabajo quedó como un aporte a la optimización de nuestros procesos.

Indirectamente, además, se tuvieron beneficios en la calidad de los precipitados de Merrill Crowe para las fundiciones de los mismos por la baja concentración de cobre.

5.4.1 Metodologías propuestas

Se propuso que los carbones cargados en el proceso de adsorción, tengan que pasar por tres procesos de desorción: dos desorciones selectivas de cobre hasta alcanzar una temperatura promedio de 90°C., más una desorción completa para todos los metales hasta alcanzar una temperatura promedio de 120°C y 250 Kpa de presión interna.

5.4.2 Descripción de la implementación

Se implementó el siguiente instructivo de operación.

Proceso de desorción de carbón activado:

1. Lavado ácido
 - Tomar un lote de carbón cargado (8.0 Tm) y transferir al tanque de lavado ácido.
 - Preparar una solución de ácido clorhídrico al 25% y hacer recircular esta solución en el tanque de lavado ácido por 2 horas. Para remover carbonatos y sulfatos adsorbidos.
 - Neutralizar la acidez con una solución diluida de soda caustica y descartar esta solución.
 - Proceder a lavar los carbones con agua permeada, para eliminar la acidez impregnada en los carbones.
 - Los carbones lavados, transferir al tanque de desorción.

2. Primera desorción selectiva de cobre hasta 90°C.
 - Preparar una nueva solución de desorción en tanque Presoak (25m³) a pH >10 y 5,000 ppm CN.
 - Operar el caldero en modo manual de tal manera que la temperatura no supere los 90°C.
 - Recircular la solución preparada por el tanque de desorción que contiene 08 Tm de carbón cargado y lavado, hasta que las concentraciones de cobre sean constantes en un tiempo aproximado de 1 hora 50 minutos.
 - Al terminar el proceso de recirculación, descargar toda la solución a la piscina de solución barren y enviarla al Pad de lixiviación porque contiene altas concentraciones de cobre.

- Proceder a lavar con agua tratada los carbones dentro del tanque de desorción para eliminar trazas de cobre.
- En esta primera desorción se estima una desorción selectiva de cobre del 46% por lo que se requiere una segunda desorción.

3. Segunda desorción selectiva de cobre hasta 90°C.

- Lavar el tanque Presoak con agua fría, para eliminar las trazas de cobre.
- Preparar una nueva solución de desorción en tanque Presoak (25m³), a pH >10 y 5,000 ppm CN.
- Operar el caldero en modo manual de tal manera que la temperatura no supere los 90°C.
- Recircular la solución preparada por el tanque de desorción que contiene 08 Tm de carbón cargado, hasta que las concentraciones de cobre sean constantes en un tiempo aproximado de 1 hora 50 minutos.
- Al terminar el proceso de recirculación, descargar toda la solución a la piscina de solución barren y enviarla al Pad de lixiviación porque contiene altas concentraciones de cobre.
- Proceder a lavar con agua tratada los carbones dentro del tanque de desorción para eliminar trazas de cobre.
- En esta segunda desorción se estima una desorción selectiva de cobre del 70%.

4. Tercera desorción hasta 120°C.

- Lavar los carbones que se encuentran en el tanque de desorción con una solución de 25 m³ de agua tratada. Descartar solución de lavado.
- Lavar el tanque Presoak con agua fría, para eliminar las trazas de cobre.
- Preparar una nueva solución de desorción en tanque Presoak (25m³), a pH >10 y 5,000 ppm CN.
- Recircular la solución preparada por el Tanque de desorción que contiene 08 Tm de carbón cargado, hasta que la temperatura interna del tanque de desorción llegue a 120°C. tiempo estimado 1.5 horas.
- Continuar la recirculación manteniendo una temperatura constante de 120°C. Por un tiempo estimado de 3.5 horas.
- Al término del proceso de recirculación, trasvasar esta solución eluida o súper rica en metales al tanque de almacenamiento.
- Luego proceder con la etapa de lavado, llegando a un volumen máximo de 175 m³.

5.5 Análisis.

Del trabajo experimental realizado se tiene el siguiente análisis:

1. La única manera de disminuir las altas concentraciones de cobre en la solución tratada de las plantas de osmosis reversa, es disminuyendo las altas concentraciones de cobre en la solución barren de Merrill Crowe, que es la solución que ingresa a la planta de osmosis reversa.
2. La causa raíz de las concentraciones elevadas de cobre en la solución a tratar en las plantas de osmosis reversa es la alta concentración de cobre en la solución eluida o súper rica proveniente del proceso de desorción.
3. De la figura 36, gráfica de desorción de Au, Ag y Cu., podemos analizar que los complejos cianurados de cobre que están adsorbidos a la superficie de los carbones activados, sus enlaces químicos son más débiles que los enlaces químicos de los complejos de oro y plata.
4. Los enlaces químicos de los complejos de cobre en la superficie de los carbones activados se rompen a temperaturas menores de 90°C, mientras que los enlaces químicos de los complejos cianurados de oro y plata, se rompen a mayor temperatura (>120°C) es por esta razón que podemos separar los complejos de cobre mediante desorciones selectivas, hasta bajar a lo menos posible la concentración de cobre en la solución eluida.
5. Al realizar una primera desorción selectiva del cobre, se observa que en una desorción solo se puede desorber un 46% del cobre adsorbido en la superficie activada de los carbones, esto es debido a que la alta concentración de cobre satura rápidamente la solución de elución, por lo que es necesario realizar dos desorciones selectivas de cobre.
6. Después de la segunda desorción selectiva de cobre, de los cálculos realizados anteriormente se concluye que los carbones cargados con oro y plata, tienen bajas concentraciones de cobre, producto de las dos desorciones anteriores.
7. Al realizar la tercera desorción hasta 120 °C, la solución eluida, tiene altas concentraciones de oro, plata y baja concentración de cobre. Esta solución al pasar por el proceso de Merrill Crowe, se precipita oro y plata, la solución barren es tratada en las plantas de osmosis reversa, con baja concentraciones de cobre < 14.2 ppm, esta concentración de cobre es rechazada fácilmente por las membranas de osmosis reversa, teniendo como resultado concentraciones de cobre bajo los límites permisibles < 0.5 ppm en el agua tratada.

8. De esta manera se ha contribuido con una mejora continua y la optimización en nuestro proceso de tratamiento de aguas de osmosis reversa.

5.6 Aporte del bachiller en la empresa

Como bachiller, en la posición de Supervisor de Procesos, puesto clave en el desarrollo de las distintas actividades y catalogado como trabajador de confianza dentro de la organización.

Dentro de los aportes para la consecución de los objetivos corporativos el bachiller ocupando el puesto de Supervisor de Procesos en la empresa, se tiene los siguientes:

1. Control de la producción:

Se mantiene un control más ajustado de los distintos insumos haciendo seguimiento de los reactivos y otros para lograr un costo sostenible de efectivo de \$1,400/oz como promedio del año.

Seguimiento y gestión del balance metalúrgico para asegurar y evitar las desviaciones del teórico vs el físico, no se debe tener desviaciones mayores al 5%.

Planificación adecuada de mantenimiento de equipos para asegurar la disponibilidad de los mismos y no incurrir en pérdidas de producción.

Oportunidad de mejora en el proceso de cosecha de precipitados con contenido de Au, recuperación a través de la mejora del procedimiento de cosecha.

2. Control de las plantas de tratamiento de aguas:

Se evitó descargas hacia medioambiente con contenidos metálicos fuera de los límites máximos permisibles (LMP).

Evaluación y control constante de los tratamientos de agua, esto permite identificar en línea las desviaciones del estándar operativo para la toma de decisiones inmediatas.

El control de las plantas de tratamiento de aguas ha permitido la identificación de la oportunidad de mejora desarrollada en el presente trabajo de suficiencia profesional.

Se gestionó adecuadamente el balance de aguas para asegurar suficiente agua para el proceso de producción de oro y cumplir con las 261 Koz del plan. Asimismo, para no tener niveles en exceso de las pozas de contingencia que pudiesen representar alarmas ambientales.

3. Aportes con proyectos de mejora para optimizar nuestros procesos:

El presente trabajo de suficiencia profesional aporta directamente en la optimización de los procesos de tratamiento de aguas.

Brinda el soporte al proyecto de control de sulfatos al río Grande en su ejecución y puesta en operación en el mes de junio de 2024.

Completar al 100% la prueba piloto complementaria para el proyecto de las nuevas plantas de tratamiento de aguas

4. Reducir costos operativos y mejorar la productividad:

Se superó la producción de 2023: 261,7 Koz (50koz de lixiviación por inyección y 18koz de re lixiviación en LQ1-7).

Aporte en el cumplimiento de los proyectos full potencial con el fin de lograr ahorros de US\$6.9 millones en la gerencia de Operaciones Aguas. Se encontraron oportunidades en el tratamiento de aguas.

5. Control de personal:

Liderar el fortalecimiento del papel de liderazgo inclusivo de la Supervisión de primera línea en el sitio.

Cumplir y hacer cumplir el entrenamiento legal y los cursos de capacitación con asistencia al 100% de los colaboradores programados.

Promover la participación femenina en el proceso de sub contratación y nuestros contratistas en 10% de la fuerza laboral, con el fin de fortalecer el programa de Inclusión y Diversidad.

6. Velar por la seguridad permanente y en forma continua del personal:

Realización de las charlas de pre inicio de turno, identificando las tareas de alto riesgo a realizar durante el turno, identificar sus controles críticos y programar sus verificaciones.

Asegurarse que las tareas de alto riesgo cuenten con todos los controles críticos establecidos, para ello se realiza la verificación de los controles críticos (VCC) en cada labor, cumpliendo la meta mensual de 24 VCC.

Brindar soporte a los colaboradores con la presencia en campo del supervisor de más del 80%, para garantizar se tomen las decisiones correctas en los momentos cruciales.

Se implementó el análisis de incumplimiento de control crítico para impulsar iniciativas de mejora continua.

7. Cuidado del medioambiente:

Se han obtenido cero excedencias en los estándares de calidad, se cumple con la cantidad y calidad de agua descargada al medioambiente.

Se implementaron los controles redundantes para control de la calidad de aguas en las plantas de tratamiento y sistemas de almacenamiento de aguas tratadas.

A través de las verificaciones y la gestión de los reportes a tiempo, se ha podido dar soporte el cumplimiento el plan de mantenimiento al 100% de los sistemas de colección de aguas acidas y de procesos.

Planificación para el cumplimiento de los planes de mantenimiento al 100% de los reservorios.

Monitoreo y control de las instalaciones y procedimientos para lograr la recertificación del código de cianuro.

CONCLUSIONES

Se optimizó el tratamiento de la planta de osmosis reversa, a partir de la consecución que las soluciones de ingreso al tratamiento de aguas contengan concentraciones menores a 14 ppm de cobre; de esta manera, el agua tratada o permeada cumplió con las exigencias de calidad en cuanto al valor máximo permisible de cobre LMP (0.5 ppm) estipuladas en los “Estándares de calidad Ambiental (ECA) para el agua”. D.S. N° 004-2017-MINAM (Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales). Además, se cumplió con la exigencia en cuanto a la cantidad de agua descargada hacia las comunidades, acordadas según convenio interno con Newmont Yanacocha.

Se identificó que, la causa raíz de la deficiencia en las membranas de osmosis reversa para el rechazo de cobre, es la alta concentración de este metal ($> 1,000$ ppm), que provenían del proceso de desorción de carbones.

Se realizó el estudio a nivel de planta para la separación del mayor porcentaje del cobre en la solución eluida o desorbida; se determinó las temperaturas máximas para estas desorciones.

Se determinó experimentalmente, primeramente, la desorción completa no selectiva del carbón hasta una temperatura de 120°C para registrar y establecer las temperaturas de elución de oro, plata y cobre; en segundo lugar, con los datos obtenidos se determinó y realizaron dos (02) desorciones selectivas de cobre a temperatura máxima de (90°C).

Se estableció la realización de dos (02) desorciones exclusivas y selectivas de cobre a temperaturas menores a 90°C .

Se determinó que al finalizar las dos (02) desorciones exclusivas y selectivas de cobre a temperaturas menores de 90°C , se debió realizar una última desorción no selectiva a temperaturas de hasta 120°C , para desorber el oro y la plata de los carbones.

Se realizó el seguimiento y control dentro de la mejora continua desarrollada en este trabajo; se concluyó que los resultados obtenidos cumplieron ampliamente las expectativas esperadas; ya que, desde la puesta en marcha de esta mejora, se pudo descargar agua tratada con valores en las concentraciones de cobre bajo los límites máximos permisibles directamente hacia medioambiente.

RECOMENDACIONES

Con respecto al trabajo de mejora realizado, se recomienda a la empresa, tener un circuito exclusivo para la desorción selectiva del cobre, ya que con un solo circuito se producen demoras en la evacuación de la solución concentrada de cobre y en el lavado de tanques.

Se recomienda cambiar los tanques Presoak de 25m³. a uno más robusto de 50 a 75 m³, y con un sistema de bombeo con mayor flujo de recirculación para optimizar los tiempos de desorciones.

Se recomienda realizar lavados ácidos a los carbones antes de ingresar al circuito de desorción, con la finalidad de eliminar carbonatos y sulfatos, que se impregnan en los carbones impidiendo una desorción más eficiente.

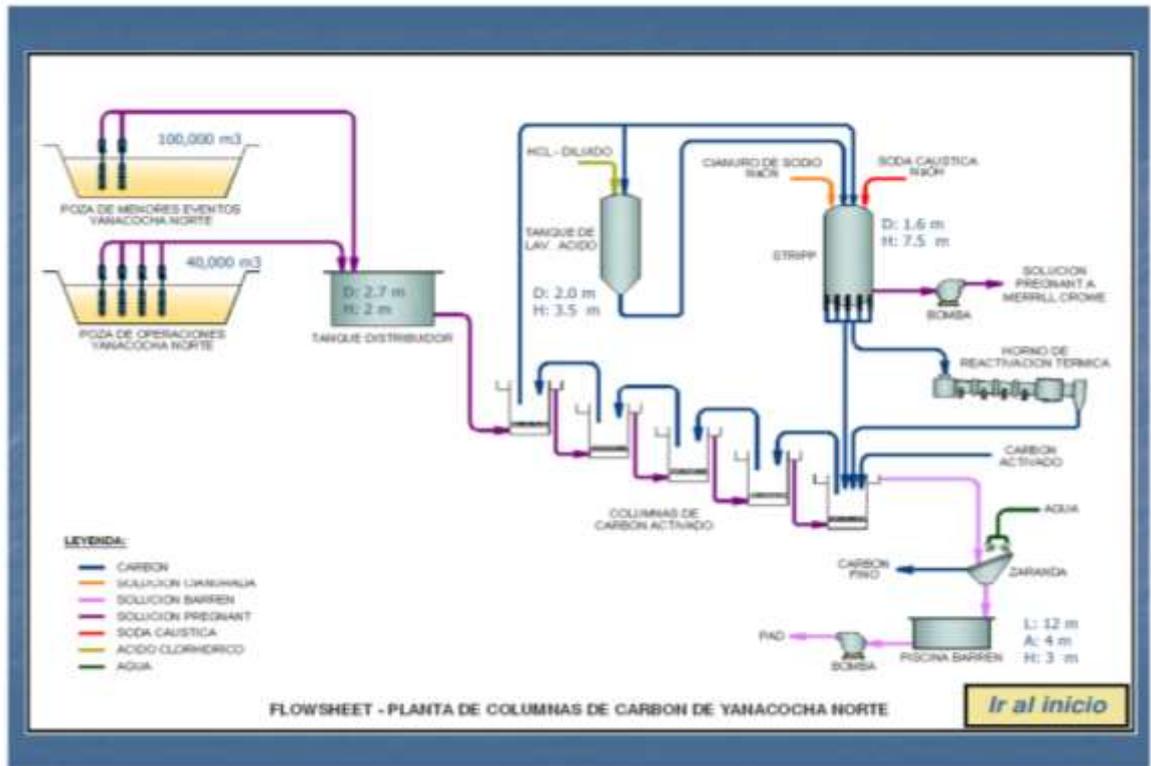
No es recomendable realizar regeneración térmica de los carbones después de las desorciones, debido al alto rozamiento, manipulación y la desintegración que se origina, es preferible cambiar los carbones si la actividad baja.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

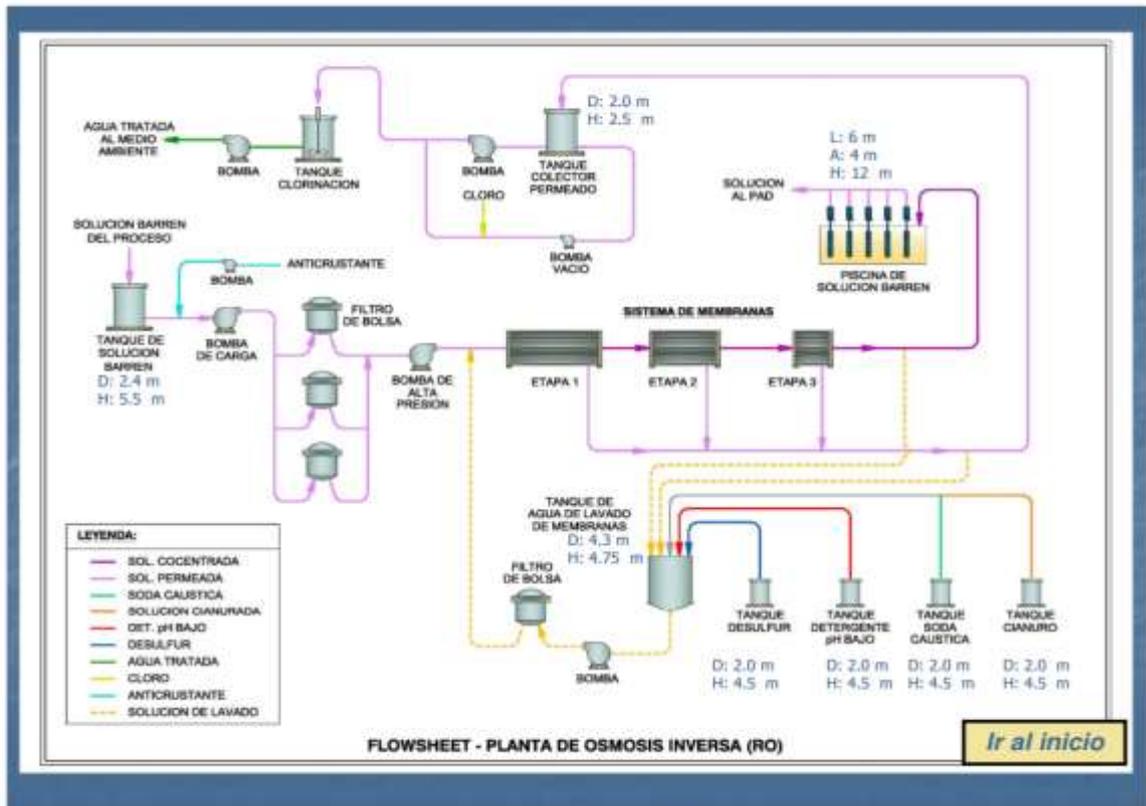
- AGUIRRE MAYORGA, Hugo Santiago. 2016. Minería de procesos: fundamentos y metodología de aplicación. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2016. SBN:9789587169157.
- ARCE, Moisés, HENDRICKS, Michael S. y POLIZZI, Marc S. 2022. The Roots of Engagement: Understanding Opposition and Support for Resource Extraction. Oxford : Oxford University Press, 2022. ISBN:978-9972-57-512-9.
- Carbón activado: Efecto del lavado con ácido sulfúrico del precursor lignocelulósico, cuesco de palma africana, sobre los procesos de carbonización y activación. NAVARRETE, Luisa Fernanda. 2005. 1, Bogotá - Colombia: Revista Colombiana de Química, 2005, Vol. 34.
- DEL AGUILA, Guadalupe N. 2014. Uso de las plantas Merrill Crowe en tratamiento de aguas. Lima - Perú : Tercera Annual LatAm Mine Water Conference 2014, 2014.
- FONSECA, Nixon. 2021. Optimización del Proceso de Minado y clasificación. España: Académica Española, 2021. ISBN13:9786202134460.
- GASCA TORRES, José Angel. 2016. Carbón activado de carácter básico para recuperar oro de lixiviados cianurados. México: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C., 2016.
- GHOSE, Mrinal. 2012. Management of topsoil. The key element in reclamation of mining areas. USA: Lap Lambert Academic Publishing, 2012. ISBN:3844385002.
- GUERRERO, J. 2001. Minera Yanacocha, Minas y Petróleo. Lima – Perú: Edición Especial, 2001.
- MANRIQUE, Hernán y SANBORN, Cynthia. 2021. La minería en el Perú: balance y perspectivas de cinco décadas de investigación. Lima - Perú: Fondo Editorial Universidad del Pacífico, 2021. SKU:978-9972-57-458-0.
- MEDINA SAN JUAN, José Antonio. 2000. Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis inversa. España: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. ISBN-13:978-8471148490.

- MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2019. Informe Técnico Final de Evaluación de la “Modificación del. Lima – Perú: SENACE, 2019.
- MISARI CHUQUIPOMA, Fidel Sergio. 2016. Biolixiviación Tecnología de la Lixiviación Bacteriana de Minerales. Lima - Perú: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2016. ISBN:978-612-46124-8-0.
- NEWMONT YANACOCHA. 2023. Yanacocha. [En línea] 2023. <https://yanacocha.com/nosotros/>.
- Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física. FILIPPÍN, Ana, y otros. 2017. 3, La Serena – Chile: Executive Business School, 2017, Vol. 8, págs. 59-71.
- PEREZ MUNDACA, José. 2012. Conflicto minero en el Perú: caso Yanacocha (cambios y permanencias). Cajamarca - Perú: Martínez Compañon Editores, 2012. ISBN:978-612-4135-03-3.
- QUISPE VÁSQUEZ, Luis Roberto, AZAÑERO RUIZ, Luis Fredy y GUERRERO ORRILLO, Luis Alberto. 2023. Sistema control Sense en la mejora de la productividad: Carguío y acarreo en procesos mineros. España: Académica Española, 2023. ISBN-13:978-3841752673.
- SAADE HAZIN, Miryam. 2013. Desarrollo minero y conflictos socioambientales. Los casos de Colombia, México y el Perú. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2013. ISSN:1680-8843.
- VIDAL COBIÁN, Ana María. 2022. Entre la Jalca de Oro y la Laguna Negra. Diálogos y conflictos sociales en minería Yanacocha, Cajamarca, Per. Lima – Perú: Centro de Estudios y Publicaciones, 2022. ISBN:9786124260957.
- WESTERN, Harrison. 2010. Manual de operación para la Planta de Osmosis Reversa 500 m3 /h Pampa Larga. USA: Process Technologies, 2010.

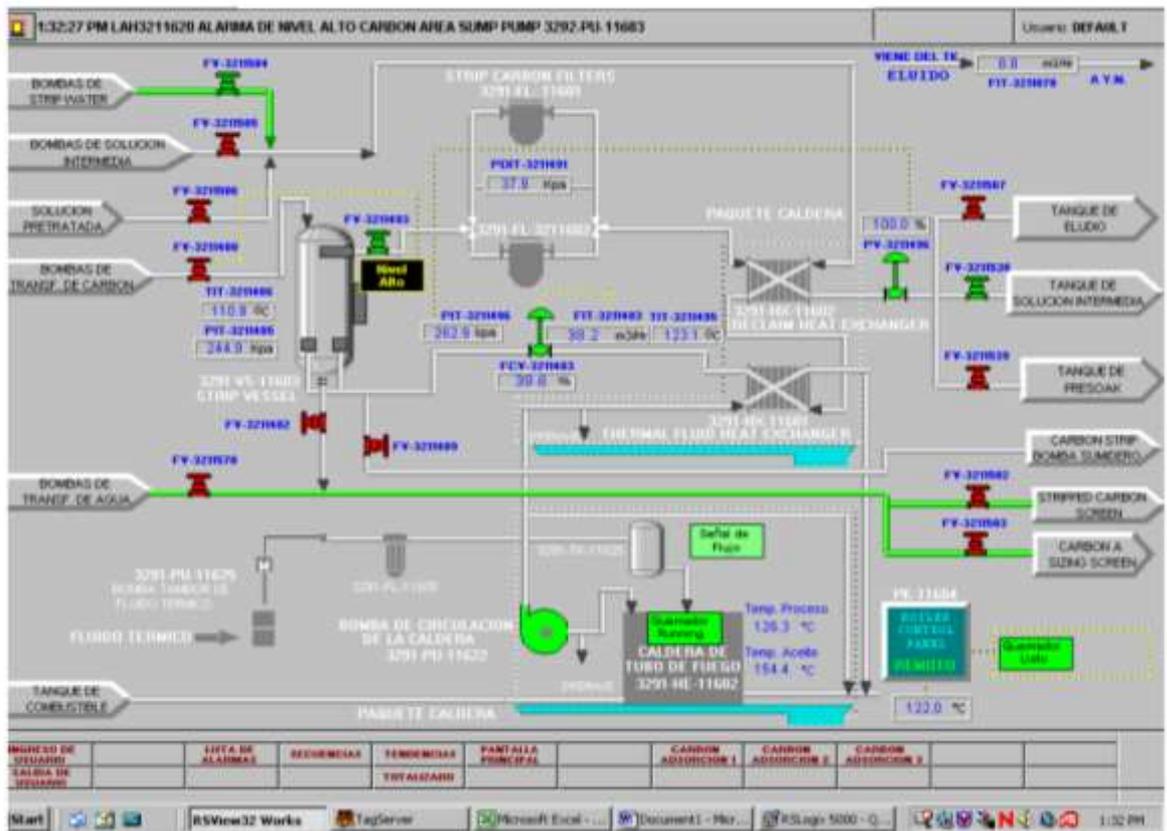
Anexo N° 02. Flowsheet – Planta de columnas de carbón Yanacocha Norte.



Anexo N° 03. Flowsheet – Planta de Osmosis Reversa.



Anexo N° 04. Diagrama del Proceso de desorción.



Anexo N° 05. Control de la secuencia del proceso de desorción.

Usuario: WebClientUser Área: CARBON 2

SEC DESORCION CARBON STRIP 1A

2:04:55 PM
20/05/2024

SET POINTS CIRCUITO STRIP 1

TEMPERATURA: °C Actual: 15.4

PRESION: Actual: (PIC-3211496)

FLUJO: Actual: 0.0 m3/hr (PIC-3211483)

- [1] EQUIPO CIERRA/APAGA POR NIVEL (>=)
- [2] EQUIPO CIERRA/APAGA POR TOTALIZADOR (FQI-3211584)
- [3] EQUIPO CIERRA/APAGA POR TOTALIZADOR (FQI-3311010)
- [4] EQUIPO CIERRA/APAGA POR TIEMPO (20 MIN.)

SELECCIONAR BOMBAS

LISTO

B. Sol. Intermedia	B. Remojado
PU11628 <input checked="" type="checkbox"/>	PU11634 <input type="checkbox"/>
PU11629 <input type="checkbox"/>	PU11635 <input type="checkbox"/>
B. Soda Caustica	B. Transf. Cianuro
PU11617 <input type="checkbox"/>	PU11644 <input type="checkbox"/>
PU11618 <input type="checkbox"/>	PU11645 <input type="checkbox"/>

FQI-3211483

TOTALIZ. FLUJO: 0.00 m3

CONTROL DE SECUENCIA

PERMISIVO - LISTO

ARRANQUE

PARADA

RESET

SIGUIENTE PASO

VER PANTALLA DE CONTROL

FINALES DE PASO POR:

PASO 1	20	0.3
PASO 2	120	0.3
PASO 3	10	0.3
PASO 4	100	0.3
PASO 5	70	0.3
PASO 6	30	0.3
PASO 7	10	0.3
	20	0.3

MOTORES

BOMBAS: 3291-PU-11XXX

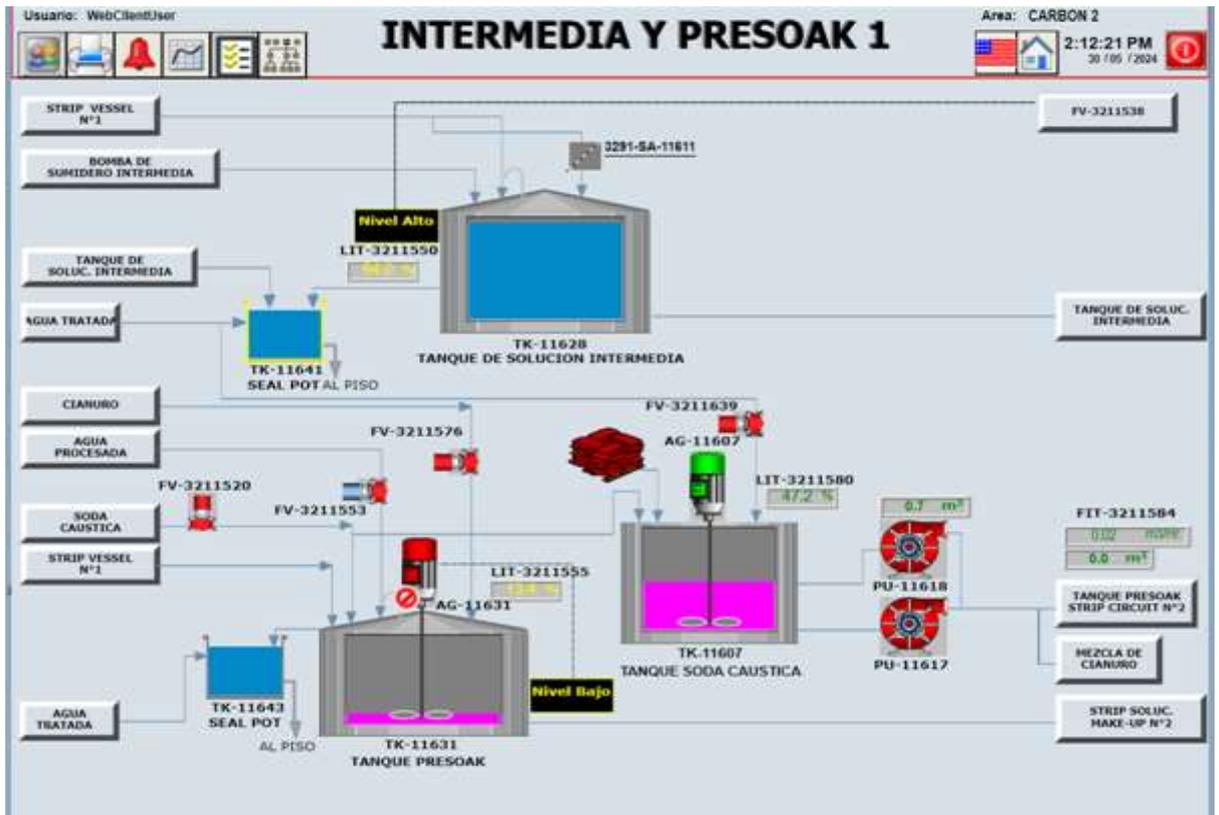
	622	628	650	635	AC-11631	618	644			
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			

VALVULAS

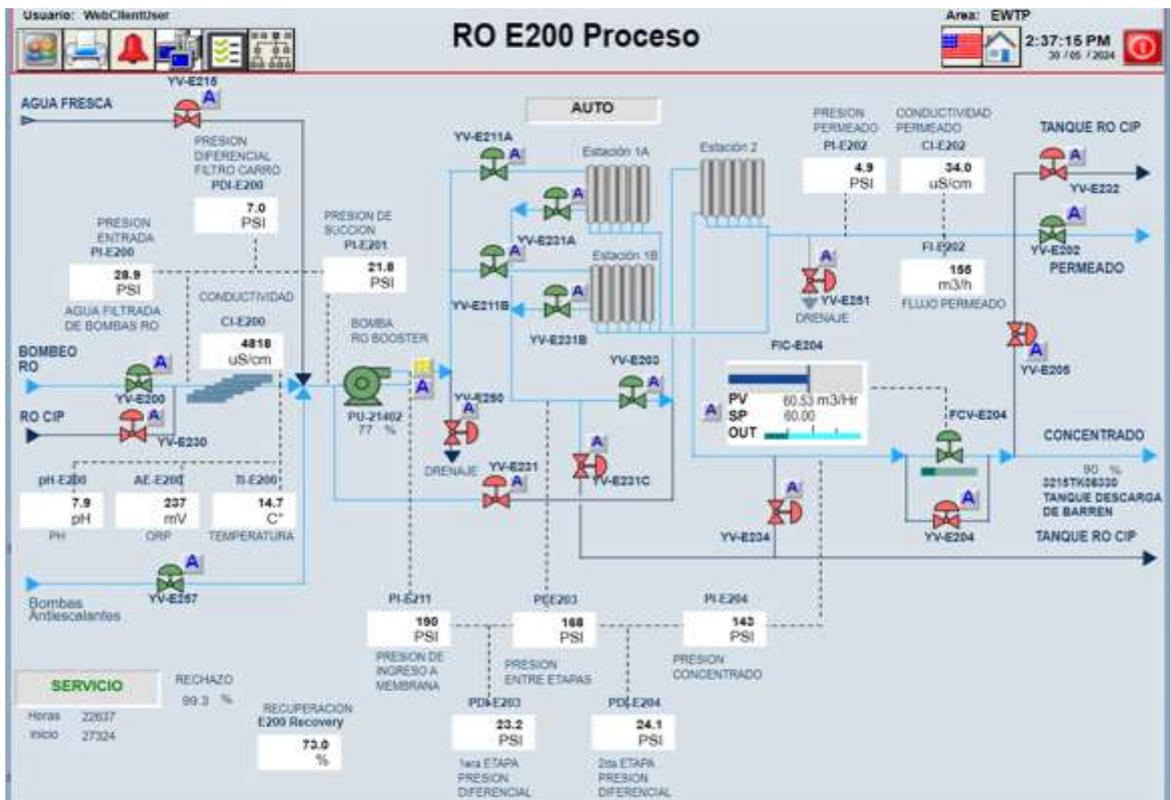
VALVULAS: FV-3211XXX

	493	507	538	505	553	520	504	506	539	576
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗

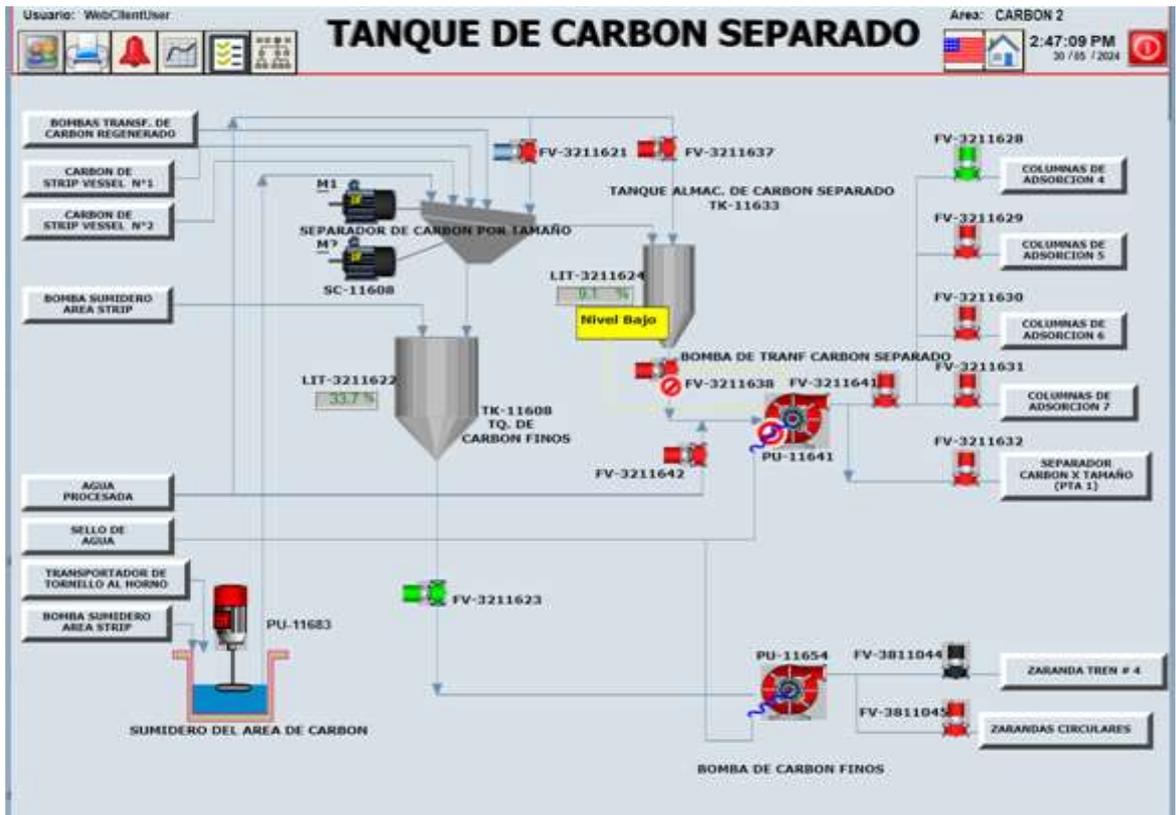
Anexo N° 06. Preparación y dosificación de reactivos al tanque presoak.



Anexo N° 07. Arranque y parada de planta de tratamiento de aguas RO.



Anexo N° 08. Carga de carbón activado nuevo.



	<p>Manual de <u>Salud y Seguridad</u></p> <p>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO</p>	<p>CODIGO: YAN-HS-STA-006-01</p> <p>Versión: 12 24 de abril del 2019 Página 4 de 5</p>
---	---	--

<p>MINERA YANACOCHA S.R.L.</p> <p>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO</p>		<p>PETS-YN-005-CIC Pg. 1 de 3 Versión:04</p>	
Tarea :	Carga de Carbón Activado Nuevo	Fecha de Revisión	23 Mayo 2022
Cargo :	Técnico y operador	Fecha de Publicación	27 Mayo 2022
Gerencia :	Procesos		
Área :	Yanacocha Norte	Sub-Área:	Columnas de Carbón

Objetivo: Contar con un PETS que permita desarrollar la tarea de manera correcta y segura desde el comienzo hasta el final. Es una medida de control administrativo dentro de la aplicación de la Jerarquía de Controles en el IPERC (Identificación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos).

Aplica a todo el personal que opera la planta de Carbón en Operaciones procesos Yanacocha Norte.

1. Personal:	
<p>Prerrequisitos de Competencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Autorización de manejo de Grúa puente. ✓ Autorización de manejo de montacargas. ✓ Llenar check List de Montacargas y elementos de Izaje. ✓ Llenar IPERC. ✓ Llenar PETAR de Izaje. 	<p>Referencias relacionadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ MSDS de carbón nuevo. ✓ Procedimiento de Medio Ambiente aplicar el documento ENV-ENV PR-001 "Manejo de Derrames". ✓ Indicar al Supervisor los acontecimientos que se manifiestan en estas tareas. ✓ YAN-HS-STA-ERP 28.01 Plan de Contingencia frente a epidemias/pandemias. ✓ YAN-HS-PLAN-001 Plan para la Vigilancia, Prevención y Control de COVID-19 de Minera Yanacocha
2. Equipo de Protección Personal (EPP):	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Casco de seguridad. ✓ Guantes de badana. ✓ Zapatos/Botas de jebe con punta de acero. ✓ Traje Tyvex. ✓ Lentes de seguridad googles. ✓ Mascara media cara con filtros para polvo. 	
3. Herramientas, Equipos y Materiales:	
<p>3.1 Herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Radio Portátil. ✓ Cuchilla. ✓ Eslingas. 	<p>3.2 Equipos y Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Carbón activado nuevo. ✓ Tecele. ✓ Montacargas.
4.- Riesgos de Fatalidad que apliquen al Trabajo:	
<p>1. Interacción vehículo-peatón – Superficie</p>	
<p>2. Materiales Peligrosos</p>	
<p>4.1 Controles Críticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Frenos, sistemas de dirección y llantas ➤ Segregación de vehículos y peatones ➤ Estacionamiento estable ➤ Aprobaciones de materiales peligrosos (incluido el registro) ➤ Dispositivos de detección y alarmas ➤ Equipo de protección personal de materiales peligrosos ➤ Instalaciones de almacenamiento ➤ Preparación de la respuesta de emergencia ➤ Sistemas de aislamiento e interbloqueo ➤ Transferencia y manipulación de materiales peligrosos (equipos y procedimientos) 	

3. Caída de altura		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Barreras y protección de bordes ➤ Equipo de retención o detención de caídas ➤ Plataformas móviles certificadas (p. ej. Plataforma elevadora, camión con canastilla, JGL, Plataforma sobre autoelevador o manipuladores telescópicos, etc.) ➤ Plataformas temporales certificadas y andamios
4. Caída a fuentes de Agua		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zonas de detección de los sensores de tormentas y operatividad del sistema ➤ Barreras, barricadas, barandas y zonas de exclusión ➤ Diseño de balsas y plataformas ➤ Observador ➤ Sistema de Protección contra caídas ➤ Sistemas de rescate
5. Golpeado por caída de objetos		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Barricadas y zonas de exclusión ➤ Dispositivos de contención y aseguramiento de objetos ➤ Gatas y estabilizadores ➤ Integridad del equipo ➤ Limpieza o lavado ➤ Sistemas de captación
6. Impactado por rayo – Exposición a Vientos Fuertes		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existencia de sistemas de Comunicación y Advertencia ➤ Instalación de Refugios según diseño aprobado por ingeniería ➤ Pararrayos en estructuras fijas ➤ Suministro de energía eléctrica y sistemas de red operativas. ➤ Verificación de viento Anemómetro ➤ Zonas de detección de los sensores de tormentas y operatividad del sistema
7. Grúas e Izajes		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análisis de carga ➤ Barricadas y zonas de exclusión ➤ Equipo de izaje y aparejos certificados ➤ Preparación del área de trabajo

Nota: Si las condiciones en el desarrollo de las tareas no son rutinarias evaluar los riesgos de fatalidad asociados al nuevo contexto.

4. Procedimiento:			
No.	PASO (QUÉ)	EXPLICACION (CÓMO)	Pasos ejecutados (✓) Completado (✗) No completado
5.1	CARGA DE CARBÓN ACTIVADO NUEVO	<p>5.1.1 Se procederá a realizar un inventario de carbón existente en el almacén.</p> <p>5.1.2 Las bolsas de carbón activado nuevo de 500 Kg., serán transportados con el montacargas desde el almacén de carbón hacia la loza de izaje.</p> <p>5.1.3 Los sacos de carbón serán transportados de uno en uno con el montacargas para poder tener visibilidad al momento del transporte</p> <p>5.1.4 En el caso de que el transporte se realice de dos en dos sacos será necesario que el montacargas sea guiado por una persona de tal manera que le ayude en movilizarse.</p> <p>5.1.5 Los sacos una vez posicionados en la loza de izaje; serán izados por el operador que se encuentra en la plataforma mediante el teclé que se ubica en el tercer Nivel de la Planta. Este izaje será realizado de saco en saco.</p> <p>5.1.6 Una vez levantados sobre el tanque de rozamiento se procederá a abrir los bolsones por la parte posterior, de esta manera el carbón caerá por gravedad hacia el tanque.</p> <p>5.1.7 Se adicionará al tanque de rozamiento un máximo de 04 sacos (2 TN.).</p> <p>5.1.8 El tanque de rozamiento cuenta con una llave de ingreso de agua tratada la cual será abierta hasta que el nivel del agua este por encima del carbón nuevo adicionado.</p> <p>5.1.9 Se dejará reposar por espacio de 3 horas, para que el carbón pueda remojarse y entrar al sistema sin que sea botado por el flujo en el área de adsorción.</p> <p>5.1.10 Una vez remojado el carbón será transferido hacia el tanque de carbón separado pasando primeramente por la zaranda para luego ser enviado hacia la quinta columna del tren que lo requiera.</p>	
5. Restricciones:			
<ul style="list-style-type: none"> ✓ No operar equipos sino tiene la autorización respectiva. ✓ Prohibido el ingreso de personal no autorizado. 			

<i>Trabajador Observado:</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Competencia verificada por:</i>	<i>Fecha:</i>

PREPARADO POR	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombres del Supervisor y Trabajador (es)	<u>Gerente del área</u>	<u>Nombre del Gerente de Salud y Seguridad Ocupacional</u>	<u>Nombre del Gerente de Operaciones</u>
Fecha : 23 Mayo 2022	Fecha : 27 Mayo 2022	Fecha : 27 Mayo 2022	Fecha : 27 Mayo 2022

Ingeniero que suscribe el presente documento (Colegiado y Habilitado):		
.....
Nombre y Apellidos	Firma	Fecha

MINERA YANACOCHA S.R.L.

PROCEDIMIENTO
ESCRITO DE TRABAJO SEGURO

PETS-YN-006-CIC
Pg. 1 de 3
Versión:04

Tarea	: Preparación de Reactivos al Tanque Presoak	Fecha de Revisión	23 Mayo 2022
Cargo	: Técnico y operador	Fecha de Publicación	27 Mayo 2022
Gerencia	: Procesos		
Área	: Yanacocha Norte	Sub-Área:	Columnas de Carbón

Objetivo: Contar con un PETS que permita desarrollar la tarea de manera correcta y segura desde el comienzo hasta el final. Es una medida de control administrativo dentro de la aplicación de la Jerarquía de Controles en el IPERC (Identificación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos).

Aplica a todo el personal que opera la planta de Carbón en Operaciones procesos Yanacocha Norte.

1. Personal:	
<p>Prerrequisitos de Competencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Capacitación anual en Manejo y Manipulación de Materiales y Químicos Peligrosos. ✓ Capacitación en Primeros Auxilios ✓ Autorización de manejo de montacargas. ✓ Llenar Check List de Montacargas ✓ Llenar IPERC. 	<p>Referencias relacionadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ MSDS del cianuro de sodio PPRCPQ0072. ✓ MSDS de soda caustica PPRCPQ0166 ✓ PP-P-31 Manejo de Materiales y Químicos peligrosos (ANEXOS 1 al 7) incluye las guías 1 al 7. ✓ MA-PA-001 Manejo de derrames. ✓ MA-PA-005 Sistemas de contención. ✓ MA-PA-039 Etiquetado y señalización de contenedores de residuos. ✓ MA-PA-060 Manejo de Residuos Peligrosos. ✓ ERP-09.01 "Plan Contingencia frente a Derrames con MatPel". ✓ Manual de Servicios y Reactivos. ✓ YAN-HS-STA-ERP 28.01 Plan de Contingencia frente a epidemias/pandemias. ✓ YAN-HS-PLAN-001 Plan para la Vigilancia, Prevención y Control de COVID-19 de Minera Yanacocha
2. Equipo de Protección Personal (EPP):	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Casco de seguridad. ✓ Guantes de neopreno. ✓ Zapatos/Botas de jebe con punta de acero. ✓ Traje Tyvex. ✓ Lentes de seguridad googles. ✓ Mascara full face para gases. 	
3. Herramientas, Equipos y Materiales:	
<p>3.1 Herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Radio Portátil. ✓ Cuchilla. 	<p>3.2 Equipos y Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ SODA CAUSTICA. - El hidróxido de sodio (NaOH) o 'hidróxido sódico', también conocido como soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química). A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico). Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida. ✓ CIANURO DE SODIO. - El cianuro de sodio o cianuro sódico (NaCN) es la sal sódica del ácido cianhídrico (HCN). Se trata de un compuesto sólido e incoloro que se hidroliza fácilmente en presencia de agua y óxido de carbono (IV) para dar carbonato de sodio y ácido cianhídrico ✓ SOLUCIÓN PERMEADA ✓ Montacargas.
4.- Riesgos de Fatalidad que apliquen al Trabajo:	4.1 Controles Críticos:

1. Materiales Peligrosos		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobaciones de materiales peligrosos (incluido el registro) ➤ Dispositivos de detección y alarmas ➤ Equipo de protección personal de materiales peligrosos ➤ Instalaciones de almacenamiento ➤ Preparación de la respuesta de emergencia ➤ Sistemas de aislamiento e interbloqueo ➤ Transferencia y manipulación de materiales peligrosos (equipos y procedimientos)
2. Interacción vehículo-peatón – Superficie		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frenos, sistemas de dirección y llantas ➤ Segregación de vehículos y peatones ➤ Estacionamiento estable
3. Atrapamiento en equipos rotativos		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aislamiento de energía ➤ Protección de equipos
4. Liberación descontrolada de energía		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aislamiento de energía ➤ Equipo de alta presión ➤ Protección, barricadas y zonas de exclusión ➤ Sistemas de alivio de sobrepresión
5. Impactado por rayo – Exposición a Vientos Fuertes		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existencia de sistemas de Comunicación y Advertencia ➤ Instalación de Refugios según diseño aprobado por ingeniería ➤ Pararrayos en estructuras fijas ➤ Suministro de energía eléctrica y sistemas de red operativas. ➤ Verificación de viento Anemómetro ➤ Zonas de detección de los sensores de tormentas y operatividad del sistema

Nota: Si las condiciones en el desarrollo de las tareas no son rutinarias evaluar los riesgos de fatalidad asociados al nuevo contexto.

4. PROCEDIMIENTO:			
No.	PASO (QUÉ)	EXPLICACION (CÓMO)	Pasos ejecutados (✓) Completado (x) No completado
5.1	PREPARACIÓN DE CIANURO DE SODIO	5.1.1 Preparación se Solución Cianurada Sistema Sparge – Yanacocha Norte según PETS OPR-PET-004.	
5.2	PREPARACIÓN DE SODA CÁUSTICA	5.2.1 Antes de iniciar la tarea el operador procederá a aislar la zona de preparación de soda caustica. 5.2.2 Se realizará el Check List del montacargas. 5.2.3 La cantidad de soda caustica a preparar es de 50 Kg. de soda por 1 tanque de solución permeada por batch o dependiendo del requerimiento indicado por Metalurgia. 5.2.4 El operador primero adicionará solución permeada hasta el nivel requerido, con la finalidad de minimizar la reacción exotérmica con el agua. 5.2.5 Se procederá a trasladar en forma segura las bolsas de soda caustica hacia la loza de Izaje. 5.2.6 El técnico subirá la paleta con las bolsas de soda cáustica hacia la plataforma de preparación con el montacargas. 5.2.7 La bolsa será abierta por la parte inferior, en donde el contenido caerá hacia la tolva para luego ir hacia el tanque. 5.2.8 Luego de haber adicionado las bolsas necesarias, se procederá a prender el agitador del tanque de preparación. 5.2.9 Las bolsas vacías serán dobladas y amarradas para ser depositadas en la caja diseñada para tal fin, para luego ser enviadas al pad. Para que las bolsas vacías sean llevadas al pad se tendrá que llenar el formato: O PR-LX-FO-008. (Disposición de desechos a la pila de lixiviación y cancha de desechos). 5.2.10 Los equipos y herramientas serán lavados para que queden libre de polvo y partículas para su posterior uso. 5.2.11 Una vez terminado la preparación de soda se procederá a dejar la zona de preparación limpia y ordenada	

5.3	DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS AL TANQUE PRESOAK	5.3.1 Verificar que el nivel de los tanques de almacenamiento de soda cáustica y cianuro de sodio se encuentre con nivel para realizar la tarea. 5.3.2 Apertura de la válvula de ingreso de soda cáustica al tanque PreSoak. 5.3.3 Prender la bomba de transferencia de soda cáustica hasta que transfiera la totalidad de la solución. 5.3.4 Apertura de la válvula de ingreso de cianuro de sodio al tanque PreSoak. 5.3.5 Prender la bomba de transferencia de cianuro de sodio, transferir la cantidad sugerida por Metalurgia para la operación. 5.3.6 Prender el agitador del tanque PreSoak para homogenizar la mezcla.		
5. Restricciones:				
<ul style="list-style-type: none"> ✓ No operar equipos sino tiene la autorización respectiva. ✓ Prohibido el ingreso de personal no autorizado. ✓ Delimitar el área de trabajo. 				

<i>Trabajador Observado:</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Competencia verificada por:</i>	<i>Fecha:</i>

PREPARADO POR	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombres del Supervisor y Trabajador (es)	<u>Gerente del área</u>	<u>Nombre del Gerente de Salud y Seguridad Ocupacional</u>	<u>Nombre del Gerente de Operaciones</u>
Fecha: 23 Mayo 2022	Fecha: 27 Mayo 2022	Fecha: 27 Mayo 2022	Fecha: 27 Mayo 2022

Ingeniero que suscribe el presente documento (Colegiado y Habilitado):		
.....
Nombre y Apellidos	Firma	Fecha

	<u>Manual de</u> <u>Salud y Seguridad</u> PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	CODIGO: YAN-HS-STA-006-01 Versión: 12 24 de abril del 2019 Página 4 de 5
---	--	---

MINERA YANACOCHA S.R.L. PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO		PETS-YN-009-CIC Pg. 1 de 4 Versión: 04	
Tarea :	Control de la Secuencia del Proceso de Desorción	Fecha de Revisión	23 Mayo 2022
Cargo :	Técnico y operador	Fecha de Publicación	27 Mayo 2022
Gerencia :	Procesos		
Área :	Yanacocha Norte	Sub-Área:	Columnas de Carbón

Objetivo: Contar con un PETS que permita desarrollar la tarea de manera correcta y segura desde el comienzo hasta el final. Es una medida de control administrativo dentro de la aplicación de la Jerarquía de Controles en el IPERC (Identificación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos).

Aplica a todo el personal que opera la planta de Carbón en Operaciones procesos Yanacocha Norte.

1. Personal:		
Prerrequisitos de Competencia: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Capacitación anual en Manejo y Manipulación de Materiales y Químicos Peligrosos. ✓ Capacitación en Primeros Auxilios. ✓ Identificar los peligros potenciales de seguridad, reportando al Supervisor. 	Referencias relacionadas: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Indicar al Supervisor los acontecimientos que se manifiestan en estas tareas. ✓ PP-P-31 Manejo de Materiales y Químicos peligrosos (ANEXOS 1 al 7) incluye las guías 1 al 7. ✓ MA-PA-080 Manejo de Residuos Peligrosos. ✓ "Plan de Contingencia frente a Derrames con MatPel" EPR-09-01. ✓ "Manejo de Derrames" ENV-ENV PR-001. ✓ YAN-HS-STA-ERP 28.01 Plan de Contingencia frente a epidemias/pandemias. ✓ YAN-HS-PLAN-001 Plan para la Vigilancia, Prevención y Control de COVID-19 de Minera Yanacocha 	
2. Equipo de Protección Personal (EPP):		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Casco de seguridad. ✓ Guantes de Nitrilo y/o Neopreno ✓ Botas de jebe con punta de acero, ✓ Lentes de seguridad. ✓ Mameluco antiácido (traje Tychem amarillo). ✓ Mascara full FACE con filtros para gases de Mercurio. 		
3. Herramientas, Equipos y Materiales:		
3.1 Herramientas: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Radio Portátil. 	3.2 Equipos y Materiales: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Carbón Activado. ✓ Solución cianurada. ✓ Anticrustante Nalco. ✓ Computadora. 	
4.- Riesgos de Fatalidad que apliquen al Trabajo:		
1. Materiales Peligrosos		4.1 Controles Críticos: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Aprobaciones de materiales peligrosos (incluido el registro) ➢ Dispositivos de detección y alarmas ➢ Equipo de protección personal de materiales peligrosos ➢ Instalaciones de almacenamiento ➢ Preparación de la respuesta de emergencia ➢ Sistemas de aislamiento e interbloqueo ➢ Transferencia y manipulación de materiales peligrosos (equipos y procedimientos)

2. Liberación descontrolada de energía		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aislamiento de energía ➤ Equipo de alta presión ➤ Protección, barricadas y zonas de exclusión ➤ Sistemas de alivio de sobrepresión
3. Caída de Altura		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Barreras y protección de bordes ➤ Equipo de retención o detención de caídas ➤ Plataformas móviles certificadas (p. ej. Plataforma elevadora, camión con canastilla, JGL, Plataforma sobre autoelevador o manipuladores telescópicos, etc.) ➤ Plataformas temporales certificadas y andamios
4. Contacto con electricidad		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aislamiento de energía eléctrica ➤ Dispositivos de protección eléctrica - Equipo portátil ➤ Distancia de seguridad - Trabajo cerca de equipos eléctricos energizados ➤ Integridad del equipo eléctrico
5. Impactado por rayo – Exposición a Vientos Fuertes		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existencia de sistemas de Comunicación y Advertencia ➤ Instalación de Refugios según diseño aprobado por ingeniería ➤ Pararrayos en estructuras fijas ➤ Suministro de energía eléctrica y sistemas de red operativas. ➤ Verificación de viento Anemómetro ➤ Zonas de detección de los sensores de tormentas y operatividad del sistema

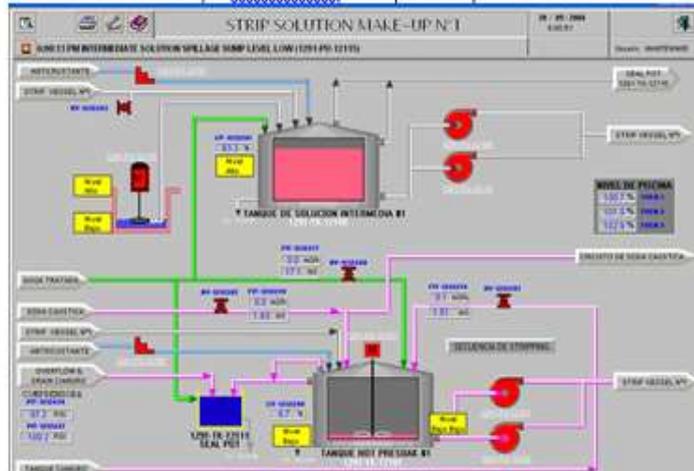
Nota: Si las condiciones en el desarrollo de las tareas no son rutinarias evaluar los riesgos de fatalidad asociados al nuevo contexto.

4. PROCEDIMIENTO:

No.	PASO (QUÉ)	EXPLICACION (CÓMO)	Pasos ejecutados (✓) Completado (x) No completado	
4.1	LLENADO DEL TANQUE PRESOAK	<p>4.1.1 Se bombea al tanque PreSoak de desorción 3.5 m³ de soda cáustica (250 kg) y 1.5 m³ cianuro de sodio, luego se llena con 17 m³ agua industrial.</p> <p>4.1.2 Se prende el agitador AG-12101 para la mezcla de las soluciones por un tiempo de 5 minutos antes de iniciar la recirculación de la solución para desorción.</p>		
4.2	LLENADO DE SODA CÁUSTICA	<p>4.1.3 Se abre la válvula HV-1212285 y se prende la bomba PU-12119 ó PU-12118 que bombea la solución de soda cáustica al tanque PreSoak. En la pantalla de dosificación de soda cáustica aparece un contador de flujo que indica el flujo bombeado al tanque PreSoak.</p> <p>4.1.4 Luego de terminar de transferir la soda cáustica, se apaga la bomba PU-12119 ó PU-12118 y se cierra la válvula HV-1212285</p>		
4.3	LLENADO CON CIANURO	<p>4.1.5 Se abre la válvula HV-1212287, y se prende la bomba PU-13002 de dosificación de cianuro de sodio, existe un contador de flujo que nos indica la cantidad e solución dosificada.</p> <p>4.1.6 Luego de terminar de transferir el cianuro de sodio, se apaga la bomba PU-13002 y se cierra la válvula HV-1212287.</p>		
4.4	LLENADO CON AGUA PROCESADA	<p>4.4.1 Se abre la válvula HV-1212288, se prende una bomba de agua, ya sea la PU-12649 ó PU-12650, hasta completar los 17 m³, se apaga la bomba de agua y se cierra la válvula HV-1212288.</p> <p>4.4.2 Se prende el agitador AG-12101 y se deja que mezcle y acondicione la solución de soda y cianuro.</p> <p>4.4.3 Se abren las siguientes válvulas HV-1212202, HV-1212206, HV-1212221, la válvula de control de flujo FCV-1212215 se regula el flujo a 40 m³/h, la válvula reguladora de presión PV-1212213 se regula a 235 kPa. (40 m³/h para Pampa Larga y 25 m³/h para Yanacocha Norte)</p> <p>4.4.4 Las siguientes válvulas deben permanecer cerradas en este paso, HV-1212204, HV-1212212, HV-1212214, HV-1212205, HV-1212222, FV-</p>		

3211538, FV-3211507.

- 4.4.5 Se enciende la bomba PU-12101 ó PU-12102 y se inicia la recirculación de la solución del tanque PreSoak con el tanque de strip.



- 4.4.6 Se prende el calentador de aceite (3291-HE-12).



- 4.4.7 Se continúa recirculando la solución entre el tanque PreSoak y el tanque de desorción hasta que la temperatura de proceso llegue a 120 °C. El calentador de aceite trabaja a fuego alto.
- 4.4.8 Se abre la válvula HV-1212219 para que la solución ingrese al tanque de solución rica ó eluida y se cierra la válvula HV-1212221 de ingreso de la solución al tanque PreSoak, se sigue con la recirculación a una temperatura de 120° C y una presión de 235 KPa, con la diferencia que la solución ya no regresa al tanque PreSoak, sino que se envía al tanque de solución rica.
- 4.4.9 La transferencia de la solución del tanque PreSoak hacia el tanque de solución rica termina cuando el nivel del tanque PreSoak llega a 10%.



- 4.4.10 Cuando el nivel del tanque PreSoak llega a 11%, se abre la válvula HV-1212201 y se prende la bomba PU-12109 ó 12110 del tanque de solución intermedia, apagamos la bomba PU-12101 ó 12102 del tanque PreSoak y cerramos la válvula HV-1212202, es decir en este paso la solución almacenada en el tanque de solución intermedia se bombea al strip, descargando la solución al tanque de solución rica, la etapa trabaja a 120° C y 235KPa y termina cuando se ha pasado 85 m3 de solución del tanque de solución intermedia hacia el tanque de solución rica.
- 4.4.11 En este paso se trabaja con el calentador de aceite apagado, es decir se continúa con el enjuague del paso 3 pero con el calentador de aceite (HE-12101) apagado hasta que se halla pasado 30 m3 de agua tratada hacia el tanque de solución intermedia.

		<p>4.4.12 Como se observa los 85 m3 de solución del tanque de solución intermedia utilizado en el paso 2 se repone en el paso 3 y 4, esta solución de enjuague del carbón se utilizará en el siguiente stripping.</p> <p>4.4.13 Finalizado el strip se apaga la bomba de recirculación de aceite y la bomba de agua tratada PU-12849 ó PU-12850.</p>		
5. Restricciones:				
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Operar equipos sino tiene la autorización respectiva. ✓ Prohibido el ingreso de personal no autorizado. ✓ Ningún trabajo se iniciará si alguno de los equipos presenta fallas, de existir, comunicar inmediatamente al personal encargado de mantenimiento mecánico y/o eléctrico para su reparación. 				

<i>Trabajador Observado:</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Competencia verificada por:</i>	<i>Fecha:</i>

PREPARADO POR	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombres del Supervisor y Trabajador (es)	<u>Gerente del área</u>	<u>Nombre del Gerente de Salud y Seguridad Ocupacional</u>	<u>Nombre del Gerente de Operaciones</u>
Fecha: 23 Mayo 2022	Fecha: 27 Mayo 2022	Fecha: 27 Mayo 2022	Fecha: 27 Mayo 2022

Ingeniero que suscribe el presente documento (Colegiado y Habilitado):		
.....
Nombre y Apellidos	Firma	Fecha

 YANACOCHA SALUD Y SEGURIDAD	<u>Manual de</u> <u>Salud y Seguridad</u>	CODIGO: YAN-HS-STA-006-01
	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	Versión: 12 24 de abril del 2019 Página 4 de 5

MINERA YANACOCHA S.R.L.		PETS-YN-015-EWTP Pg. 1 de 3 <u>Versión:04</u>	
PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO			
Tarea :	Arranque y Parada de Planta de Tratamiento de Aguas RO	Fecha de Revisión	01 Junio 2022
Cargo :	Técnico y operador	Fecha de Publicación	08 Junio 2022
Gerencia :	Procesos		
Área :	Yanacocha Norte	Sub-Área:	Tratamiento de Agua

Objetivo: Contar con un PETS que permita desarrollar la tarea de manera correcta y segura desde el comienzo hasta el final. Es una medida de control administrativo dentro de la aplicación de la Jerarquía de Controles en el IPERC (Identificación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos).

Aplica al personal del área de Osmosis Inversa, designado en la operación de arranque y parada de planta de tratamiento de aguas RO, en la planta de Procesos Yanacocha Norte.

1. Personal:		
Prerrequisitos de Competencia: <input checked="" type="checkbox"/> Entrenamiento en operación de plantas RO. <input checked="" type="checkbox"/> Llenar IPERC. <input checked="" type="checkbox"/>	Referencias relacionadas: <input checked="" type="checkbox"/> MA-PA-001 Manejo de derrames. <input checked="" type="checkbox"/> MA-PA-005 Sistemas de contención. <input checked="" type="checkbox"/> MA-PA-080 Manejo de Residuos Peligrosos. <input checked="" type="checkbox"/> ERP-01.01 Plan de Respuestas de Emergencia, Materiales y Químicos Peligrosos. <input checked="" type="checkbox"/> PP-P-18.01 "Equipo de Protección Personal" <input checked="" type="checkbox"/> YAN-HS-STA-ERP 28.01 Plan de Contingencia frente a epidemias/pandemias. <input checked="" type="checkbox"/> YAN-HS-PLAN-001 Plan para la Vigilancia, Prevención y Control de COVID-19 de Minera Yanacocha	
2. Equipo de Protección Personal (EPP):		
<input checked="" type="checkbox"/> Casco de seguridad. <input checked="" type="checkbox"/> Mascara full Face (con cartuchos contra vapor de Hg. y Filtros contra Polvos). <input checked="" type="checkbox"/> Zapatos de seguridad o Botas de PVC. <input checked="" type="checkbox"/> Traje Tychem amarillo. <input checked="" type="checkbox"/> Protección auditiva. <input checked="" type="checkbox"/> Guantes de neopreno.		
3. Herramientas, Equipos y Materiales:		
3.1 Herramientas: <input checked="" type="checkbox"/> Radio Portátil.	3.2 Equipos y Materiales: <input checked="" type="checkbox"/> Anti-incrustante. <input checked="" type="checkbox"/> Cloro.	
4.- Riesgos de Fatalidad que apliquen al Trabajo:		
4.1 Controles Críticos:		
1. Liberación descontrolada de energía		<input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento de energía <input checked="" type="checkbox"/> Equipo de alta presión <input checked="" type="checkbox"/> Protección, barricadas y zonas de exclusión <input checked="" type="checkbox"/> Sistemas de alivio de sobrepresión
2. Atrapamiento en equipos rotativos		<input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento de energía <input checked="" type="checkbox"/> Protección de equipos

3. Materiales Peligrosos		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprobaciones de materiales peligrosos (incluido el registro) ➤ Dispositivos de detección y alarmas ➤ Equipo de protección personal de materiales peligrosos ➤ Instalaciones de almacenamiento ➤ Preparación de la respuesta de emergencia ➤ Sistemas de aislamiento e interbloqueo ➤ Transferencia y manipulación de materiales peligrosos (equipos y procedimientos)
4. Contacto con electricidad		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aislamiento de energía eléctrica ➤ Dispositivos de protección eléctrica - Equipo portátil ➤ Distancia de seguridad - Trabajo cerca de equipos eléctricos energizados ➤ Integridad del equipo eléctrico
5. Impactado por rayo – Exposición a Vientos Fuertes		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Existencia de sistemas de Comunicación y Advertencia ➤ Instalación de Refugios según diseño aprobado por ingeniería ➤ Pararrayos en estructuras fijas ➤ Suministro de energía eléctrica y sistemas de red operativas. ➤ Verificación de viento Anemómetro ➤ Zonas de detección de los sensores de tormentas y operatividad del sistema

Nota: Si las condiciones en el desarrollo de las tareas no son rutinarias evaluar los riesgos de fatalidad asociados al nuevo contexto

4. PROCEDIMIENTO:				
No.	PASO (QUÉ)	EXPLICACION (CÓMO)		Pasos ejecutados (✓) Completado (✗) No completado
5.1	ARRANQUE DE PLANTA RO	<p>5.1.1. Verificar en campo que todas las botoneras estén en automático, válvulas de alta presión abiertas, purgas cerradas.</p> <p>5.1.2. Ir a la pantalla de registro de alarmas y resetear todas.</p> <p>5.1.3. Dar arranque al sistema desde el cuarto de control del operador presionando el botón ON.</p> <p>5.1.4. En caso no proceda el arranque comunicar al electricista de turno para que resetee el "VFD" (variador de velocidad de la bomba de alta presión, luego repetir el paso anterior.</p> <p>5.1.5. Una vez lleno el tanque de permeado arrancar el sistema de cloración presionando el botón "ON" en el panel de control de las bombas que abastecen a los tanques de cloración.</p> <p>5.1.6. Verificar las válvulas de ingreso y salida de la bomba de vacío.</p> <p>5.1.7. Dar arranque a la bomba de vacío.</p> <p>5.1.8. Abrir la válvula de inyección de cloro hacia la línea de solución en la planta de cloro.</p> <p>5.1.9. Verificar los siguientes parámetros: ORP (potencial de óxido reducción) se encuentra alrededor de 350 mv, dar arranque a la bomba de solución permeada/clorada que va hacia la descarga del reactor clarificador número 3, esto se consigue en unos minutos aprox. luego de haber realizado el paso anterior.</p> <p>5.1.10. Verificar en todo momento la dosificación de Anti-incrustante de acuerdo a la ratio indicado por el Metalurgista de planta.</p> <p>5.1.11. Coordinar con laboratorio de medio ambiente para el inicio de toma de muestras de la solución de descarga hacia el buffer pond.</p>		

5.2	PARADA DE PLANTA RO	<p>5.2.1. Mover el switch del panel de control de la posición en que se encuentra hacia la posición "OFF".</p> <p>5.2.2. Observar que el sistema cierre según la siguiente secuencia:</p> <p>5.2.3. La bomba de alta presión se apagará.</p> <p>5.2.4. La bomba de alimentación se apagará.</p> <p>5.2.5. La válvula de alimentación a las membranas se cerrará.</p> <p>5.2.6. La válvula de alimentación de lavado de la primera etapa se abrirá.</p> <p>5.2.7. Las válvulas de descarga de concentrado y permeado en la tercera etapa se cerrarán.</p> <p>5.2.8. Las válvulas de retorno de lavado del concentrado y permeado en la tercera etapa se abrirán.</p> <p>5.2.9. La bomba de lavado bombeará permeado del tanque de enjuague a través de las membranas.</p> <p>5.2.10. Después de un tiempo pre- establecido de demora, la bomba de lavado se apagará.</p> <p>5.2.11. Las válvulas de alimentación y descarga se cerrarán en cada etapa de los basidores de las membranas.</p> <p>5.2.12. Las válvulas de alimentación y retorno de lavado se abrirán en cada etapa de los basidores de membranas.</p> <p>5.2.13. Los desagües de los circuitos de lavado se abrirán.</p>		
5.3	PARADA DE PLANTA EN CASOS DE EMERGENCIA	<p>5.3.1. Presionar el botón que se encuentra en el tablero principal de control.</p> <p>5.3.2. Sucederán las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Todas las bombas de todo el sistema dejarán de funcionar. o Todas las válvulas del sistema permanecerán en su posición actual. o Si se está efectuando la operación de lavado esta se detendrá. <p>5.3.3. Para recuperarse de una parada de emergencia se debe levantar el botón de parada de emergencia.</p> <p>5.3.4. Luego arrancar la planta de manera normal.</p>		
5. Restricciones:				
<ul style="list-style-type: none"> ✓ No realizar trabajos sino no está capacitado para realizar la tarea. ✓ Prohibido el ingreso de personal no autorizado. 				

<i>Trabajador Observado:</i>	<i>Fecha:</i>
<i>Competencia verificada por:</i>	<i>Fecha:</i>

PREPARADO POR	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombres del Supervisor y Trabajador (es)	<u>Gerente del área</u>	<u>Nombre del Gerente de Salud y Seguridad Ocupacional</u>	<u>Nombre del Gerente de Operaciones</u>
Fecha: 01 Junio 2022	Fecha: 06 Junio 2022	Fecha: 06 Junio 2022	Fecha: 06 Junio 2022

Ingeniero que suscribe el presente documento (Colegiado y Habilitado):		
.....
Nombre y Apellidos	Firma	Fecha

Anexo N° 10. Carta de autorización de uso de información y nombre de la empresa Newmont Yanacocha.

Cajamarca 06 de mayo de 2024.

Por el presente documento, yo Gilmar Adelmo Guzman Salvador, identificado con (DNI/CE/Pasaporte) N° 18092266, en mi calidad de Gerente de Operaciones Aguas de la empresa NEWMONT YANACocha con R.U.C. N° 20137291313, ubicada en el distrito de La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca; otorgo la autorización al señor Mariano Silva Lombardi identificado con (DNI/CE/Pasaporte) N° 26663481, bachiller en la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Continental, para que utilice el nombre e información de la empresa, que represento, para el desarrollo de su Trabajo de Suficiencia Profesional denominado: **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA EN LA PLANTA DE OSMOSIS REVERSA DE LA EMPRESA NEWMONT-YANACocha”**, con la finalidad de optar al Título Profesional.

La empresa NEWMONT YANACocha, precisa que toda la información proporcionada será para uso exclusivamente académico; caso contrario, el bachiller quedará sujeto a la responsabilidad civil por daños y perjuicios que cause; así como, a las sanciones de carácter penal o legal que hubiere lugar.

DocuSigned by:
Gilmar Guzman
7A61C1D17064F

Firma y sello representante empresa.

DNI: 18092266

FECHA: 10-jun.-24

DocuSigned by:
MARIANO SILVA
E35628F2D11040E

Firma del Bachiller.

DNI: 26663481

FECHA: 11-jun.-24

Anexo N° 11. Certificados de firmas.



Certificate Of Completion		
Envelope Id: 3AFBBCC4779347FC988C62C32E4C37F0		Status: Completed
Subject: Complete with DocuSign: Carta de Autorizacion_ (002).pdf		
Source Envelope:		
Document Pages: 1	Signatures: 1	Envelope Originator:
Certificate Pages: 1	Initials: 0	GILMAR GUZMAN
AutoNav: Disabled		666 Burrard Street
Envelopeld Stamping: Disabled		Suite 3400
Time Zone: (UTC-08:00) Pacific Time (US & Canada)		Vancouver, BC V6C 2X8
		Gilmar.GUZMAN@newmont.com
		IP Address: 200.4.242.6
Record Tracking		
Status: Original	Holder: GILMAR GUZMAN	Location: DocuSign
6/10/2024 12:47:55 PM	Gilmar.GUZMAN@newmont.com	
Signer Events	Signature	Timestamp
Gilmar Guzman	 Signature Adoption: Pre-selected Style Using IP Address: 200.4.242.6	Sent: 6/10/2024 12:48:44 PM
Gilmar.GUZMAN@newmont.com		Viewed: 6/10/2024 12:48:59 PM
Process Superintendent		Signed: 6/10/2024 12:49:37 PM
Newmont Corporation		Freeform Signing
Security Level: Email, Account Authentication (None)		
Electronic Record and Signature Disclosure: Not Offered via DocuSign		
In Person Signer Events	Signature	Timestamp
Editor Delivery Events	Status	Timestamp
Agent Delivery Events	Status	Timestamp
Intermediary Delivery Events	Status	Timestamp
Certified Delivery Events	Status	Timestamp
Carbon Copy Events	Status	Timestamp
Witness Events	Signature	Timestamp
Notary Events	Signature	Timestamp
Envelope Summary Events	Status	Timestamps
Envelope Sent	Hashed/Encrypted	6/10/2024 12:48:44 PM
Certified Delivered	Security Checked	6/10/2024 12:48:59 PM
Signing Complete	Security Checked	6/10/2024 12:49:37 PM
Completed	Security Checked	6/10/2024 12:49:37 PM
Payment Events	Status	Timestamps

Certificado de finalización

Identificador del sobre: 354CAE560B384BAFB949AD2FEF4B946C	Estado: Completado
Asunto: Complete con DocuSign: Carta de Autorizacion MSL.pdf	
Sobre de origen:	
Páginas del documento: 1	Firmas: 1
Páginas del certificado: 1	Iniciales: 0
Firma guiada: Desactivado	
Sello del identificador del sobre: Desactivado	
Zona horaria: (UTC-08:00) Hora del Pacífico (Estados Unidos y Canadá)	
	Autor del sobre: MARIANO SILVA 666 Burrard Street Suite 3400 Vancouver, BC V6C 2X8 Mariano.SILVA@newmont.com Dirección IP: 181.64.27.193

Seguimiento de registro

Estado: Original 11/06/2024 7:54:24	Titular: MARIANO SILVA Mariano.SILVA@newmont.com	Ubicación: DocuSign
--	---	---------------------

Eventos de firmante

Eventos de firmante	Firma	Fecha y hora
MARIANO SILVA Mariano.SILVA@newmont.com 26863481 Nivel de seguridad: Correo electrónico, Autenticación de cuenta (ninguna)	 Adopción de firma: Estilo preseleccionado Utilizando dirección IP: 201.230.105.166	Enviado: 11/06/2024 7:54:50 Visto: 11/06/2024 7:55:02 Firmado: 11/06/2024 7:57:20 Firma en formato libre

Divulgación de firma y Registro electrónicos:
No se ofreció a través de DocuSign

Eventos de firmante en persona

Eventos de firmante en persona	Firma	Fecha y hora
--------------------------------	-------	--------------

Eventos de entrega al editor

Eventos de entrega al editor	Estado	Fecha y hora
------------------------------	--------	--------------

Eventos de entrega al agente

Eventos de entrega al agente	Estado	Fecha y hora
------------------------------	--------	--------------

Eventos de entrega al intermediario

Eventos de entrega al intermediario	Estado	Fecha y hora
-------------------------------------	--------	--------------

Eventos de entrega certificada

Eventos de entrega certificada	Estado	Fecha y hora
--------------------------------	--------	--------------

Eventos de copia de carbón

Eventos de copia de carbón	Estado	Fecha y hora
----------------------------	--------	--------------

Eventos del testigo

Eventos del testigo	Firma	Fecha y hora
---------------------	-------	--------------

Eventos de notario

Eventos de notario	Firma	Fecha y hora
--------------------	-------	--------------

Resumen de eventos del sobre

Resumen de eventos del sobre	Estado	Marcas de tiempo
------------------------------	--------	------------------

Sobre enviado	Con hash/cifrado	11/06/2024 7:54:50
Certificado entregado	Seguridad comprobada	11/06/2024 7:55:02
Firma completada	Seguridad comprobada	11/06/2024 7:57:20
Completado	Seguridad comprobada	11/06/2024 7:57:20

Eventos del pago

Eventos del pago	Estado	Marcas de tiempo
------------------	--------	------------------