

GUÍA PRÁCTICA PARA LA PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL

INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE PLANTAS GRAVIMÉTRICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE ORO SIN MERCURIO



Guía práctica para la pequeña minería y minería artesanal: instalación y operación de plantas gravimétricas para la recuperación de oro sin mercurio

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo / Ministerio del Ambiente

Esta es una obra colectiva.

Supervisión general:

Proyecto planetGOLD Perú (MINAM-PNUD)

Desarrollo de contenido:

Jonatan Mario Soto Villegas - PNUD / planetGOLD Perú

Rosita Juval Valdez Vera - PNUD / planetGOLD Perú

Fidel Cabana Charca - PNUD / planetGOLD Perú

Midwar Roca Jallo - PNUD / planetGOLD Perú

Revisión técnica:

Franco Arista Rivera - PNUD / planetGOLD Perú

Equipo revisor MINAM:

Francisco García Aragón / DGCA

Dallas Noelia Gonzales Malca / DGCA-DCCSQ

Vicente Gustavo Espinoza Villanueva / DGCA-DCCSQ

Desarrollo editorial:

Coordinación editorial: Janeth Lazarte - PNUD

Corrección de estilo, diagramación e ilustración: Lluvia Editores

Editado por:

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Av. Jorge Chávez 275. Miraflores

Lima-Perú

Publicación electrónica: 1a. edición - noviembre 2024

La información de esta publicación puede ser reproducida de forma parcial en cualquier medio, citando la fuente.

Este documento ha sido elaborado y publicado en el marco de la iniciativa global planetGOLD, financiada por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) y liderada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En el Perú, el proyecto planetGOLD Perú es ejecutado por el Ministerio del Ambiente (MINAM), en alianza con el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), y con la asistencia técnica del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Para mayor información visita www.planetgold.org/es/peru

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

GLOSARIO

1

FUNDAMENTOS TÉCNICOS SOBRE LA RECUPERACIÓN DEL ORO POR GRAVIMETRÍA.....6

2

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA POR EL PROYECTO.....8

- 2.1. Diagramas de flujo de la tecnología implementada
- 2.2. Descripción técnica de los equipos de procesamiento
- 2.3. Recomendaciones técnicas para la instalación de equipos metalúrgicos
- 2.4. Vistas y planos referenciales de los equipos metalúrgicos del proyecto

3

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL MINERAL PARA EL PROCESAMIENTO GRAVIMÉTRICO.....23

- 3.1. Preparación del mineral aurífero
- 3.2. Análisis granulométrico de malla valorada del mineral aurífero
- 3.3. Alimentación del mineral aurífero previamente tratado

4

PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA GRAVIMÉTRICA.....27

- 4.1. Tanque de agitación
- 4.2. Mesa gravimétrica
- 4.3. Tanque de recirculación
- 4.4. Quemador
- 4.5. Horno de fundición

5

RECOMENDACIONES FINALES.....36

- 5.1. Recomendaciones generales
- 5.2. Recomendaciones de seguridad

INTRODUCCIÓN



La minería artesanal y de pequeña escala (MAPE) de oro es una actividad crucial para millones de personas alrededor del mundo, proporcionando ingresos y oportunidades de desarrollo a comunidades rurales. Sin embargo, también representa la mayor fuente de emisiones de mercurio en el planeta, contribuyendo al 37.7% de las emisiones de mercurio al aire por actividades humanas (World Gold Council, 2021). Actualmente, se estima que el 20% del oro mundial proviene de la MAPE (IGF, 2017), lo que subraya la importancia de esta actividad, pero también plantea desafíos significativos para la salud y el medio ambiente.

El uso de mercurio en la recuperación de oro en la MAPE presenta graves riesgos tóxicos, tanto para los trabajadores como para las comunidades cercanas y los ecosistemas. Estos riesgos han impulsado la necesidad de transitar hacia tecnologías de procesamiento más limpias y seguras. En este contexto, el proyecto planetGOLD Perú, entre 2020 y 2024, ha colaborado con 16 organizaciones de minería artesanal y de pequeña escala en las regiones de Arequipa, Puno y Piura, ayudándolas a implementar tecnologías libres de mercurio mediante la instalación de plantas gravimétricas. Gracias a este esfuerzo conjunto, se han evitado más de 1.5 toneladas de emisiones de mercurio, cuadruplicando la meta inicial de plantas pilotos y marcando un avance significativo hacia una minería de oro más responsable.

Este logro fue posible gracias al compromiso tanto del equipo técnico del proyecto como de los pequeños mineros y mineros, quienes cofinanciaron el acondicionamiento del equipamiento y promovieron la capacitación de su personal en el uso de tecnologías gravimétricas. Esta experiencia enriquecedora ha dado origen a esta guía práctica, un documento diseñado específicamente para apoyar a los mineros artesanales y pequeños mineros en la adopción y uso de tecnologías limpias en sus procesos de beneficio.

La presente guía ofrece un recorrido exhaustivo por los aspectos fundamentales del procesamiento gravimétrico, desde la instalación y operación de plantas hasta la gestión operativa y la seguridad en el uso de los equipos. Además, aborda las propiedades físicas del oro que sustentan el método gravimétrico, describe la tecnología utilizada en cada fase del circuito de recuperación, y detalla las condiciones ideales del mineral antes de la etapa de agitación. Con esta información, se busca empoderar a los mineros artesanales y pequeños mineros, facilitándoles el acceso a una minería más limpia, rentable y ambientalmente responsable.

A través de este documento, los mineros encontrarán orientación práctica y recomendaciones clave para hacer de la minería de oro sin mercurio una realidad sostenible y segura en sus operaciones diarias.



GLOSARIO

Agitación

Acto o estado de agitar o sacudir mecánicamente (metalurgia), a veces se consigue incorporando aire comprimido.

Beneficio

Conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico químico que se realizan para extraer o concentrar las partes valiosas de un agregado de minerales y/o para purificar, fundir o refinar metales comprende preparación mecánica, metalúrgica y refinación.

Canaleta

Conducto o cuenca para transportar pulpa, agua o mineral en polvo bien molido.

Circuito cerrado

Acción interminable en el proceso de molienda que permite que una parte seleccionada del producto de una máquina retorne hacia la cabecera de máquina para su terminación según las especificaciones; entre los ejemplos comúnmente usados en las plantas de mineralización, están los molinos que funcionan en circuito cerrado con clasificadoras.

Concentrado

Mineral de alta ley, obtenido mediante diversos procesos físicos o químicos en plantas especialmente diseñadas para este fin.

Fundición

Proceso que consiste en la separación de los metales contenidos en los concentrados minerales, mediante el uso del calor.

Ley

Es el contenido de un elemento valioso en una unidad de peso del mineral. La ley mineral es el promedio de peso equivalente de la sustancia mineral o del compuesto químico, referido a una unidad de peso o de medidas, es decir es una medida cuantitativa de lo que existe aprovechable en el mineral al momento de extraerlo, es decir un porcentaje de lo que realmente va a dejar ganancia o rentabilidad en su extracción.

Molienda

Etapas de reducción de tamaño posterior al chancado que utiliza los equipos denominados molinos (estructuras giratorias continuas).

Pulpa

Mena o mineral que ha sido chancado y molido y se encuentra preparado con los reactivos listo para su proceso en las celdas de flotación.

1.

FUNDAMENTOS TÉCNICOS SOBRE LA RECUPERACIÓN DEL ORO POR GRAVIMETRÍA

La recuperación de oro mediante procesos gravimétricos se basa en principios que aprovechan las diferencias de densidad y propiedades físicas del oro y otros minerales. A continuación, se presentan los fundamentos clave:

a. Diferencia de densidad:

El fundamento¹ principal característica de la recuperación de oro gravimétrico es la alta densidad del oro (19.3 g/cm^3) en comparación con los minerales. Esta diferencia permite que el oro se separe en un medio acuoso bajo la acción de la gravedad.

b. Principio de sedimentación y velocidad de caída:

La Ley de Stokes nos ayuda a entender cómo y a qué velocidad las partículas caen en el agua, dependiendo de qué tan pesadas y grandes sean, y de qué tan espesa esté el agua. Este principio² es clave para elegir y operar equipos como las mesas concentradoras y los espirales, ya que estos equipos separan el oro de la ganga (material sin valor) al hacer que las partículas más pesadas, como el oro, se vayan al fondo.

c. Acción de la gravedad y fuerzas centrífugas:

En los procesos gravimétricos se utiliza la fuerza de gravedad para separar el oro del material sin valor. Esta fuerza hace que las partículas de oro, que son más pesadas, se asienten, mientras que las partículas más ligeras se van al fondo o son arrastradas.

En equipos³ más sofisticados, como los concentradores centrífugos, se usa además la fuerza centrífuga, que es como una "gravedad extra" generada por la rotación rápida del equipo. Esta fuerza adicional es muy útil para recuperar partículas de oro muy finas, que a veces se pierden en otros equipos. Gracias a esta fuerza centrífuga, el concentrador puede capturar mejor el oro fino y evitar que se vaya con el material de desecho.

1 Wills, B. A., & Finch, J. (2016). Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Butterworth-Heinemann.

2 Dávila, M. (2007). Procesos de concentración gravimétrica en minería aurífera aluvial en Madre de Dios. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

3 Bonilla, J. (2010). Evaluación de concentradores centrífugos en la recuperación de oro fino en minería artesanal. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

d. Eficiencia y parámetros operativos:

La recuperación⁴ de oro gravimétrico depende de parámetros operativos como el caudal de agua, la inclinación y velocidad de vibración de la mesa concentradora o canaleta, que deben ajustarse según el tipo de mineral. Estos parámetros garantizan una buena separación, maximizando la captura de partículas de oro mientras minimizan la pérdida de las impurezas.

e.

Límite de partículas finas:

La recuperación⁵ de oro con métodos gravimétricos se vuelve **menos efectiva cuando las partículas de oro son muy pequeñas** (menores a 0.1 mm). Esto ocurre porque, en partículas tan finas, las fuerzas del agua (viscosidad y resistencia) superan la gravedad, haciendo que el oro no se asiente fácilmente y sea arrastrado junto con las impurezas.

4 Villachica, H. (2001). Procesos de concentración y recuperación de minerales auríferos en minería artesanal y de pequeña escala. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.

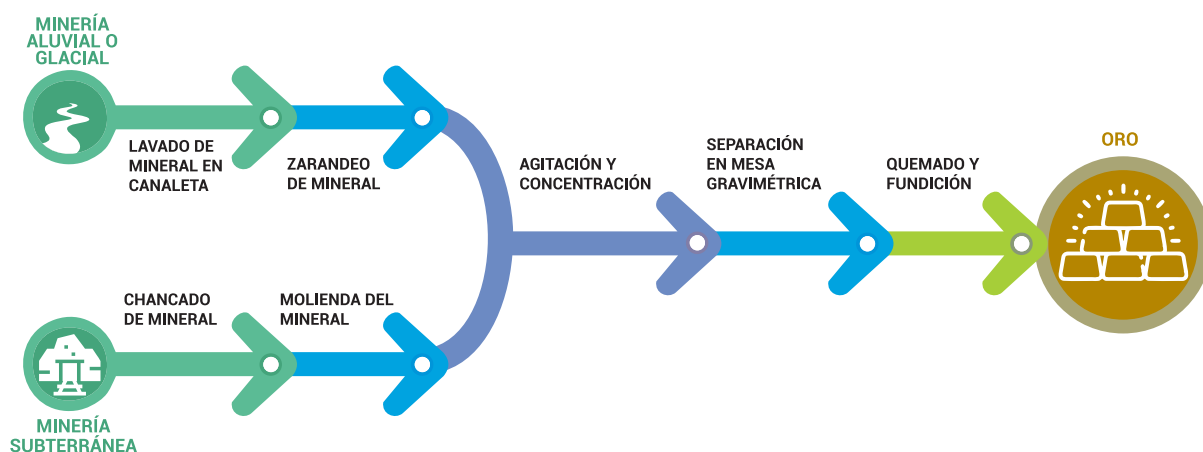
5 Bravo, L. (2018). Uso de concentradores gravimétricos en la recuperación de oro fino en minería aluvial en la región de Puno. Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

2.

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA POR EL PROYECTO

El proyecto planetGOLD Perú ha trabajado en 2 ámbitos mineros: minería filoniana o subterránea y minería aluvial del tipo glaciar. Para iniciar el tratamiento físico es importante liberar el mineral aurífero de otros metales.

El esquema muestra que, en el caso del mineral aurífero de minería subterránea, este debe ser chancado y molido para liberar el oro. En cambio, el mineral proveniente de minería aluvial glaciar requiere ser lavado y pre concentrado. Después de la preconcentración, el mineral pasa por procesos de agitación, concentración en mesa gravimétrica, quemado y fundición, hasta obtener el oro. Cada etapa tiene especificaciones técnicas que dependen del tipo de mineral y su granulometría, las cuales se detallarán más adelante.



Esquema que describe el flujo del mineral por tipo de minería

Los equipos que conforman la planta de procesamiento gravimétrico propuesta por el proyecto se componen de: chancadora, molino, tanque de agitación, mesa gravimétrica, tanque de recirculación, quemador y horno de fundición.

2.1. Diagramas de flujo de la tecnología implementada

A continuación, se detalla mediante diagramas de flujo, el procesamiento de oro por minería filoniana y por minería aluvial.

Diagrama de flujo 1: recuperación de oro proveniente de minería filoniana

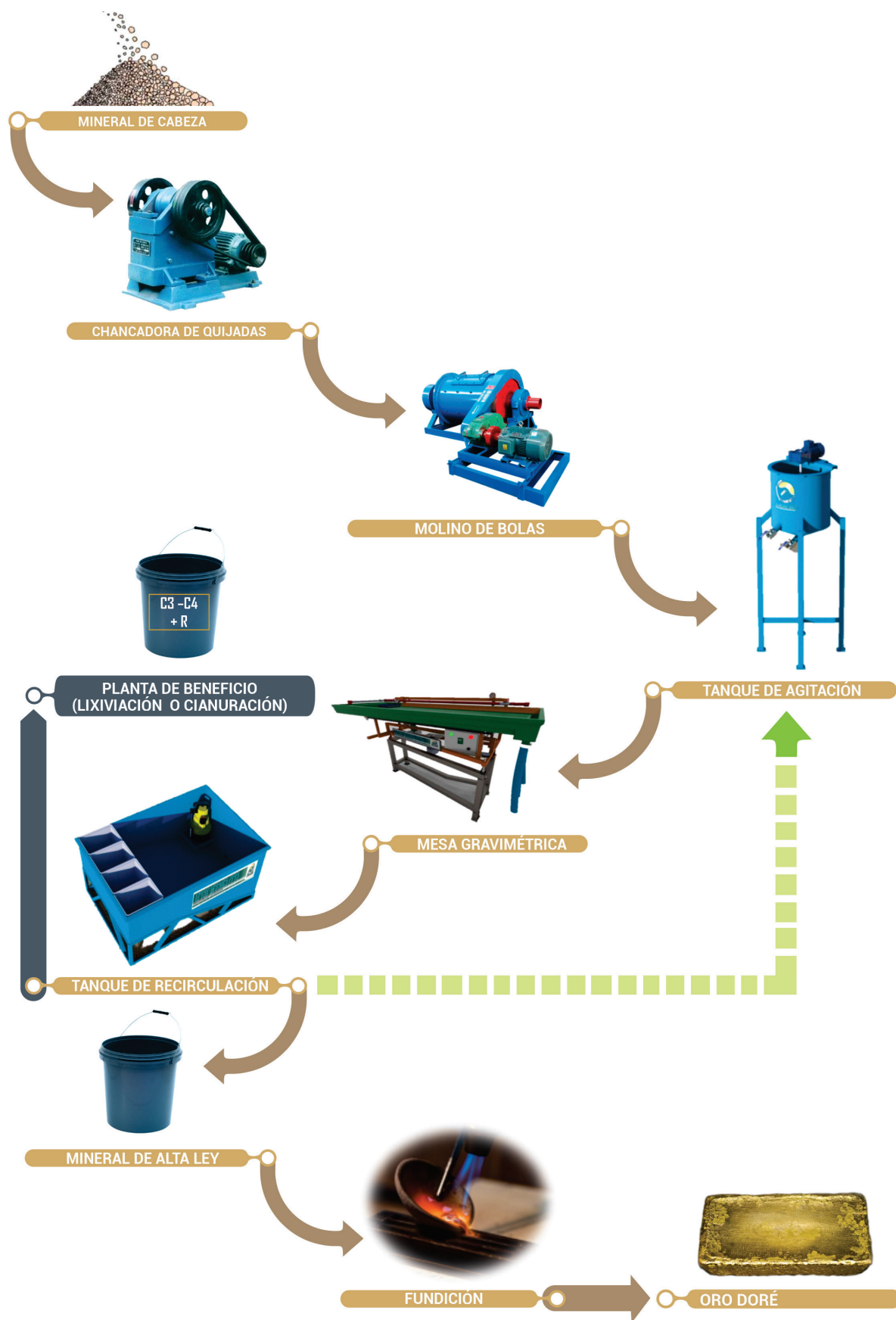
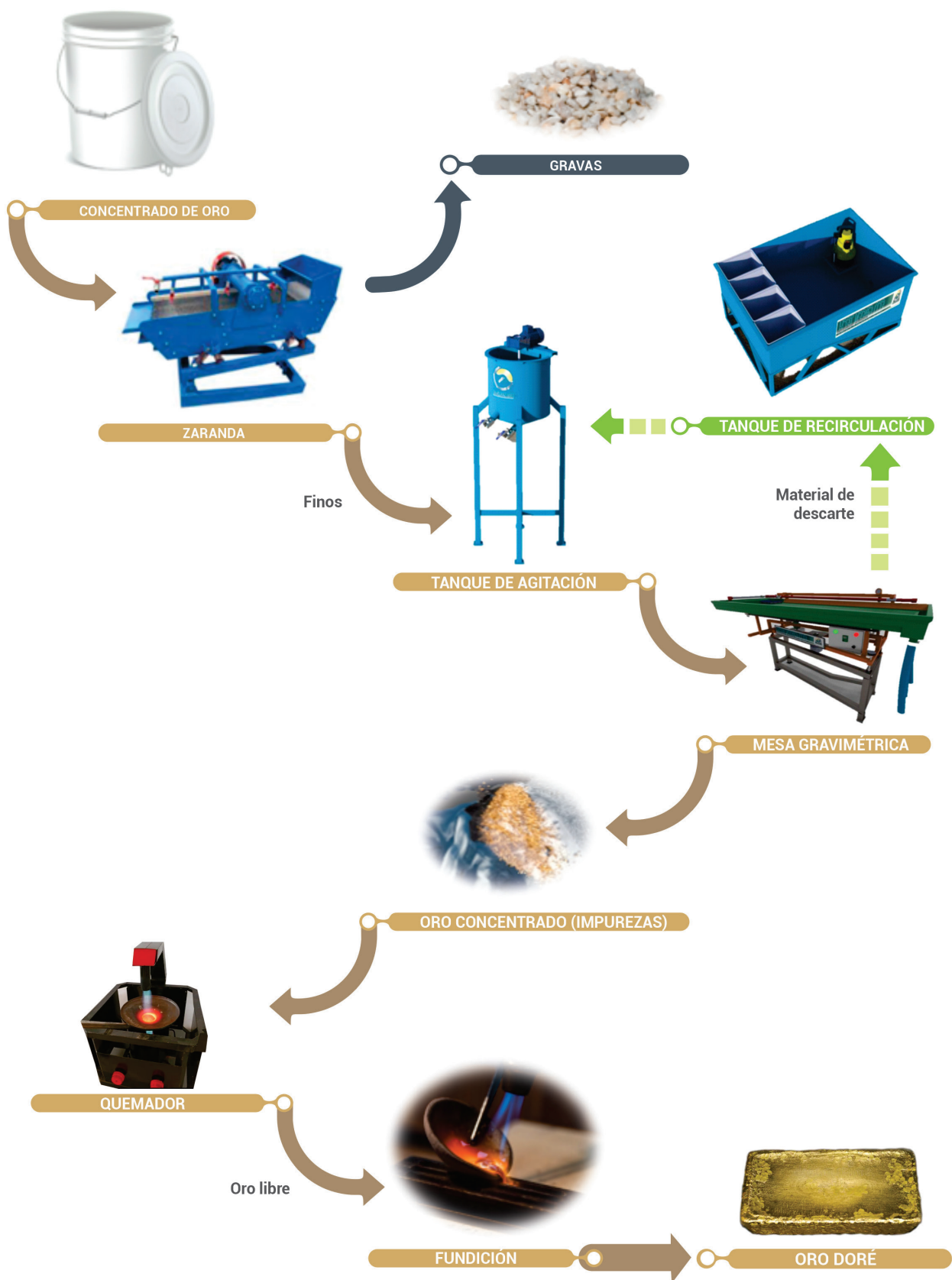


Diagrama de flujo 2: Recuperación de oro proveniente de minería aluvial



2.2. Descripción técnica de los equipos de procesamiento

2.2.1 Zaranda Vibratoria

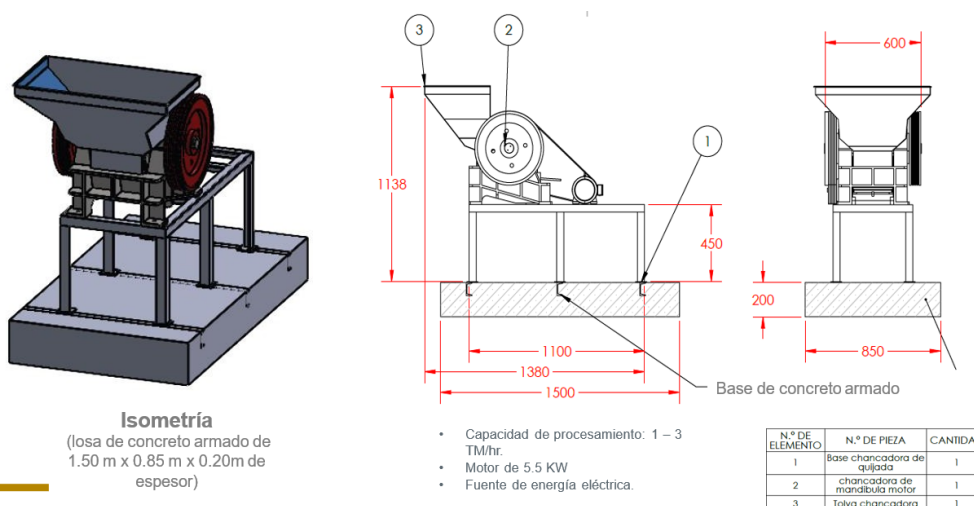
Las zarandas vibratorias son equipos utilizados para la clasificación de productos sólidos por granulometría, así como para separar sólidos de líquidos. Está hecha de un conjunto de placas que soportan las mallas de distintos tamaños.

La zaranda vibratoria es un equipo utilizado previo al proceso de gravimetría, y es requerido para el oro tipo aluvial.

2.2.2 Chancadora de quijada

La chancadora de quijadas, también conocida como trituradora de mandíbulas, es un equipo de reducción de tamaño utilizado en minería y procesamiento de minerales. Su función principal es reducir grandes bloques de material a tamaños más manejables para su posterior procesamiento.

Para el caso de las plantas piloto planetGOLD Perú se gestionaron chancadoras de 6" x 8".



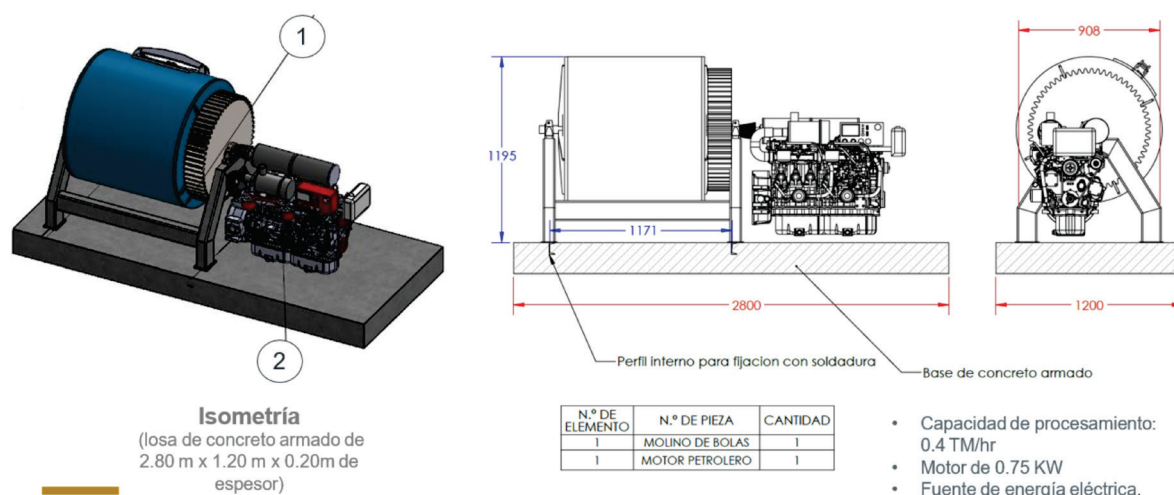
Descripción del equipo:

- Altura total: 1.138 m (desde la base de concreto hasta la tolva de alimentación).
- Ancho de la tolva de alimentación: 0.6 m.
- Base de concreto armado: la base de instalación está hecha de concreto armado con dimensiones de 1.50 m de largo x 0.85 m de ancho x 0.20 m de espesor, lo cual proporciona estabilidad y soporte al equipo durante el proceso de chancado.
- Capacidad de procesamiento: 1 a 3 toneladas métricas por hora (TM/hr), lo cual indica la cantidad de material que puede procesar en ese tiempo, dependiendo del tipo y tamaño del material.
- Potencia: 5.5 kW para proporcionar la fuerza necesaria para mover las quijadas y realizar el proceso de chancado.
- Fuente de energía: el equipo funciona con energía eléctrica, lo que es adecuado para plantas de procesamiento fijas.

2.2.3 Molino de bolas

El molino de bolas opera mediante el movimiento de una carga de bolas (de acero u otro material resistente) dentro de un tambor cilíndrico que gira sobre su eje horizontal. El material para moler se introduce en el tambor, y a medida que este gira, las bolas impactan y muelen el material. La acción combinada de impacto y fricción reduce el tamaño de las partículas.

Para el caso de las plantas piloto del proyecto planetGOLD Perú se gestionaron molinos de bolas de 3' x 3'.

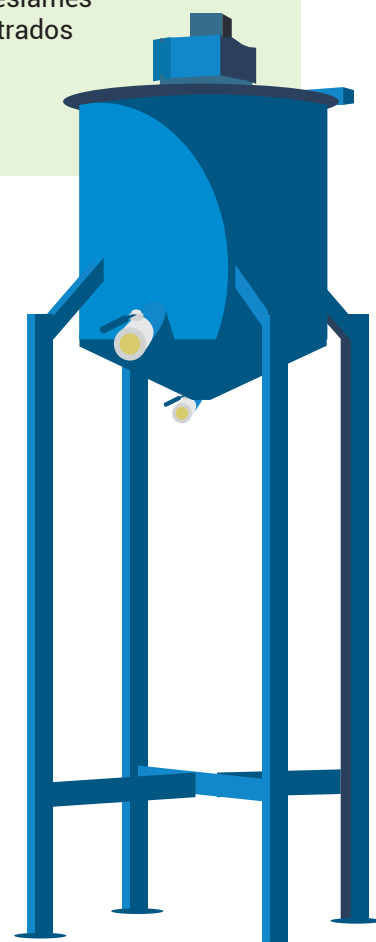
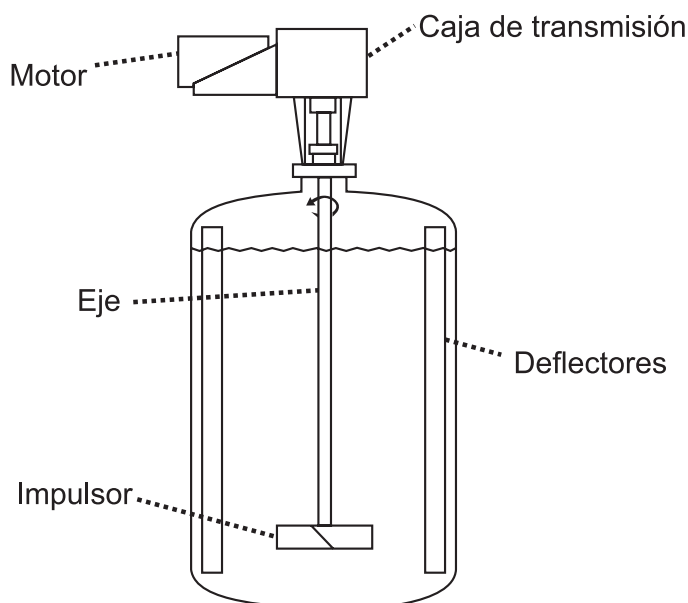


Descripción del equipo:

- Dimensiones de la base de concreto armado: La base de instalación está construida con concreto armado y tiene unas dimensiones de 2.80 m de largo x 1.20 m de ancho x 0.20 m de espesor. Esta base proporciona la estabilidad necesaria para el equipo durante su funcionamiento.
- Altura total del equipo: 1.195 m (desde la base de concreto hasta la parte superior del tambor del molino).
- Longitud total del equipo: 2.8 m (de extremo a extremo, incluyendo el molino y el motor).
- Ancho del Equipo: 1.2 m.
- Diámetro del tambor: aproximadamente 0.908 m, lo que permite suficiente capacidad para las bolas de molienda y el material.
- Capacidad de procesamiento: 0.4 toneladas métricas por hora (TM/hr), adecuada para operaciones de pequeña escala.
- Motor: motor petrolero de 0.75 kW, ideal para condiciones de campo y lugares sin acceso a energía eléctrica.
- Fuente de energía: motor de combustión interna (petrolero), que ofrece independencia del suministro eléctrico.

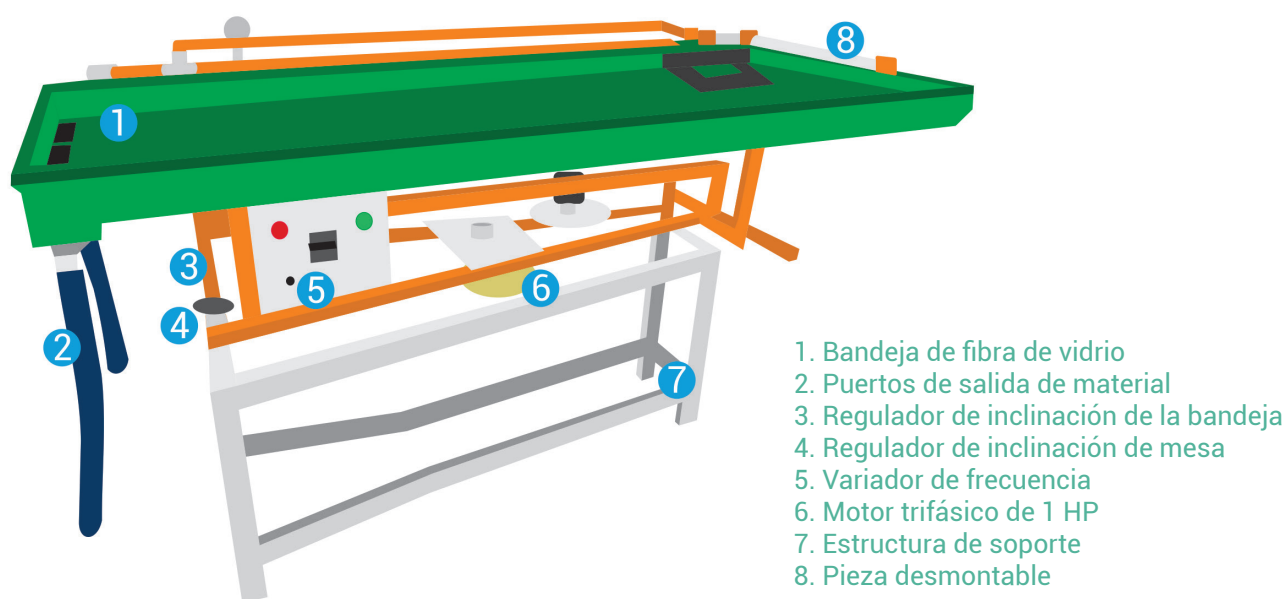
2.2.4. Tanque de Agitación

Descripción y capacidad	<p>El tanque es utilizado para homogenizar la pulpa del mineral que ingresará luego a la mesa gravimétrica, trabaja por medio de un movimiento similar a un vórtice, generado por un eje adherido a las paletas que permiten el movimiento de la pulpa. Para poder regular la intensidad de la fuerza del movimiento cuenta con un VR (regulador de frecuencia), además de contar con una caja reductora, que adiciona fuerza al trabajo a realizarse.</p> <p>La capacidad de deslame y concentración del tanque de agitación se estima en 50 kilos por hora, considerando el material fino proveniente de la zaranda vibratoria y trabajando como un sistema continuo con la mesa gravimétrica.</p>
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho total: 0.70 mts • Largo total: 0.70 mts • Alto total: 2.20 mts • Alto del tanque: 0.80 mts • Diámetro del tanque: 0.70 mts • Volumen del tanque: en Puno 0.25 m³, en Piura 0.9 m³ • Las dimensiones son variables de acuerdo a la capacidad de la planta.
Componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Boca de ingreso de material fino • Motor trifásico de 1 HP • Eje y paletas de agitación • Variador de frecuencia • Interruptor termomagnético • Tablero de control • Válvula periférica o lateral de descarga de deslames • Válvula axial inferior de descarga de concentrados • Estructura de soporte • Tuberías de agua • Válvulas de control de agua



2.2.5. Mesa Gravimétrica

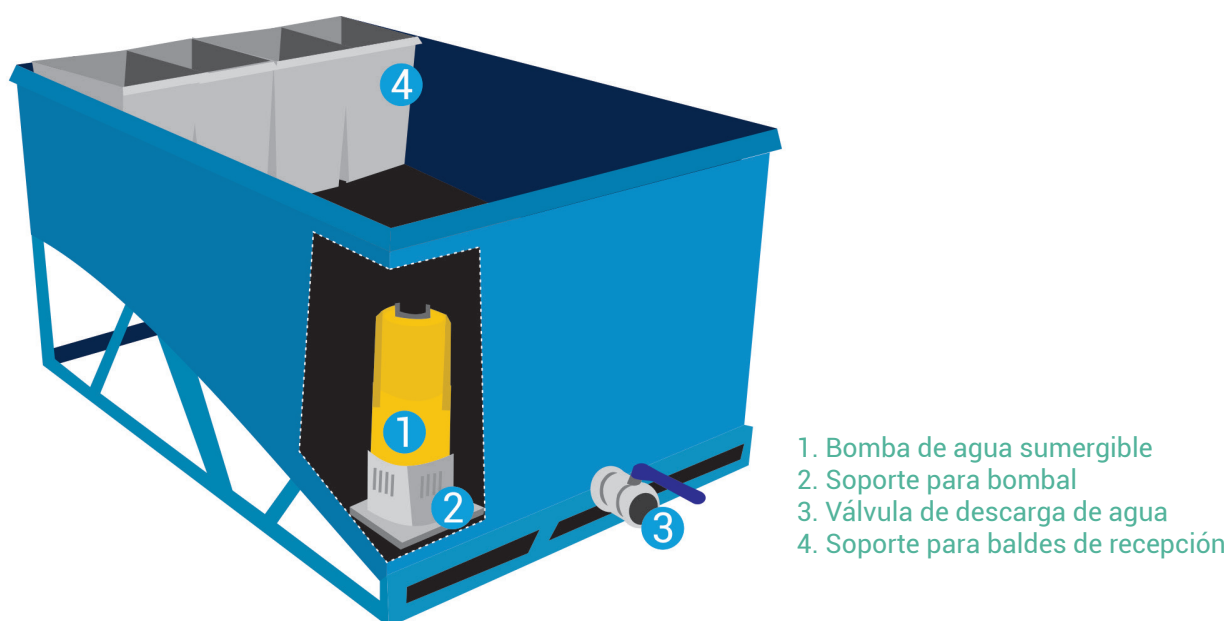
Descripción y capacidad	<p>La mesa gravimétrica, secuencialmente, es el segundo equipo de la planta y el más importante para la concentración y obtención del oro.</p> <p>Es utilizada para la separación de minerales de diferentes densidades utilizando la fuerza de gravedad y la fuerza centrífuga. La efectividad de la mesa depende de la homogeneidad del material de alimentación y de la densidad de la pulpa, ya que cualquier fluctuación podría alterar las condiciones de transporte del agua hacia fuera de la corriente⁶.</p> <p>La capacidad de concentración de la mesa gravimétrica, trabajando como un sistema continuo con el tanque de agitación, se estima en promedio 40 kilos por hora, procesando tanto el material de deslame y el concentrado final obtenido del tanque de agitación.</p>
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho total: 0.75 metros • Largo total: 2.00 metros • Alto total: 1.10 metros
Componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Bandeja de fibra de vidrio • Pieza desmontable • Motor trifásico de 1 HP • Variador de frecuencia • Interruptor termomagnético • Tablero de control • Estructura de soporte • Regulador de inclinación de la bandeja • Patas reguladoras de inclinación de la mesa • Tuberías de agua • Válvulas de control de agua • Pistola de agua para riego • Puertos de salida de material



6 McCABE, Warren L. – SMITH, Julian C. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Reducción de tamaño. Págs. 890 – 924. [2] Burt, R.O.: Gravity Concentration Technology, Elsevier 1984. [3] Priester, M., Hentschel, T.; Benthin, B.: Pequeña Minería-Técnicas y Procesos. GTZ 1991

2.2.6. Tanque de recirculación

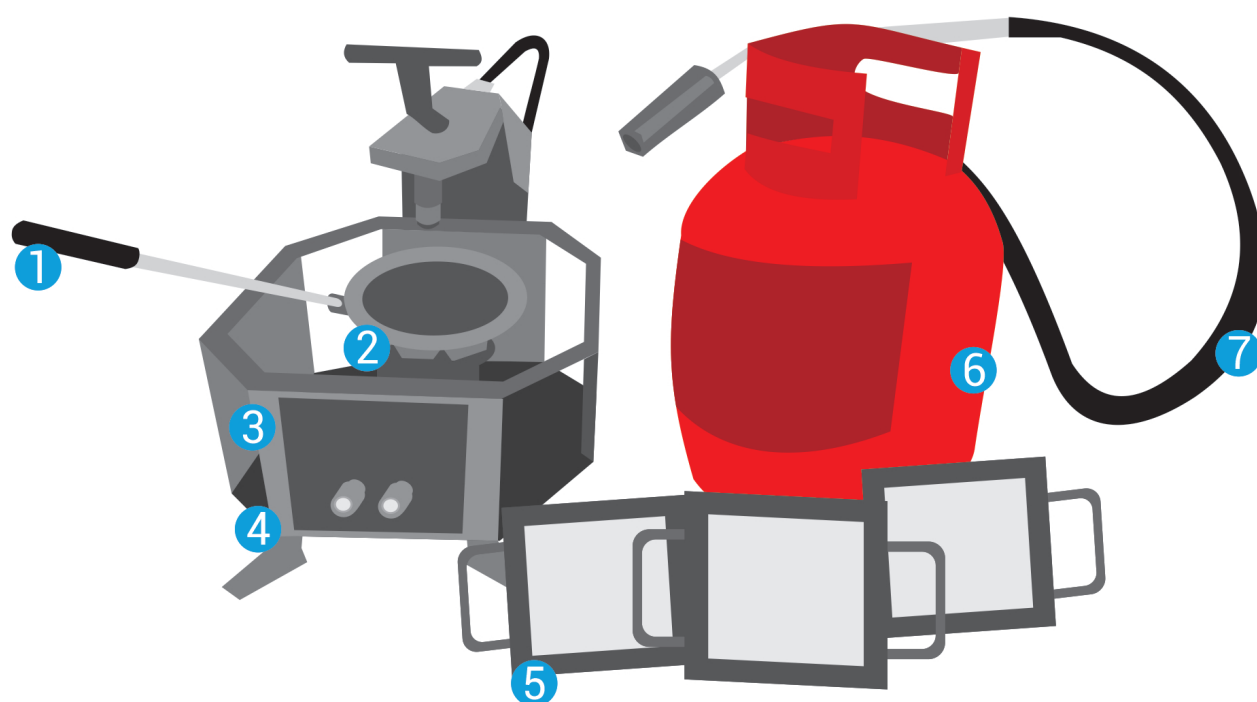
Descripción y capacidad	<p>El tanque de recirculación es el último componente de la planta gravimétrica cuya función principal es almacenar el agua requerida por los equipos de la planta y distribuirla mediante la bomba sumergible, creando así un circuito cerrado, mejorando el aprovechamiento del agua sustancialmente.</p> <p>Además, contiene los recipientes de descarga de los puertos de la mesa gravimétrica⁷.</p> <p>La capacidad de almacenamiento de agua es de 750 litros.</p>
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none">• Ancho total: 1.20 metros• Largo total: 1.60 metros• Alto total: 0.75 metros
Componentes	<ul style="list-style-type: none">• Bomba de agua sumergible de 1 HP• Interruptor termomagnético para la bomba de agua• Tablero de control para la bomba• Soporte de bomba de agua• Soporte para baldes de recepción (puertos de mesa gravimétrica)• Tuberías de agua



⁷ Fichas técnicas proporcionadas por el proveedor EcogreenTech S.A.C.

2.2.7. Quemador

Descripción y capacidad	En el caso de oro tipo aluvial, este es un equipo complementario, el cual sirve para realizar el secado y quemado del oro, que aún contiene algunas impurezas, obtenido en la mesa gravimétrica, con el fin de separar el oro de las impurezas.
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none">• Ancho total: 0.30 metros• Largo total: 0.30 metros• Alto total: 0.50 metros
Componentes	<ul style="list-style-type: none">• Inyector de fuego superior• Inyector de fuego inferior• Llaves de regulación de gas.• Estructura de soporte.• Balón de gas• Manguera de alta presión (gas)• Sartén de acero fundido• Tamices de diferentes mallas

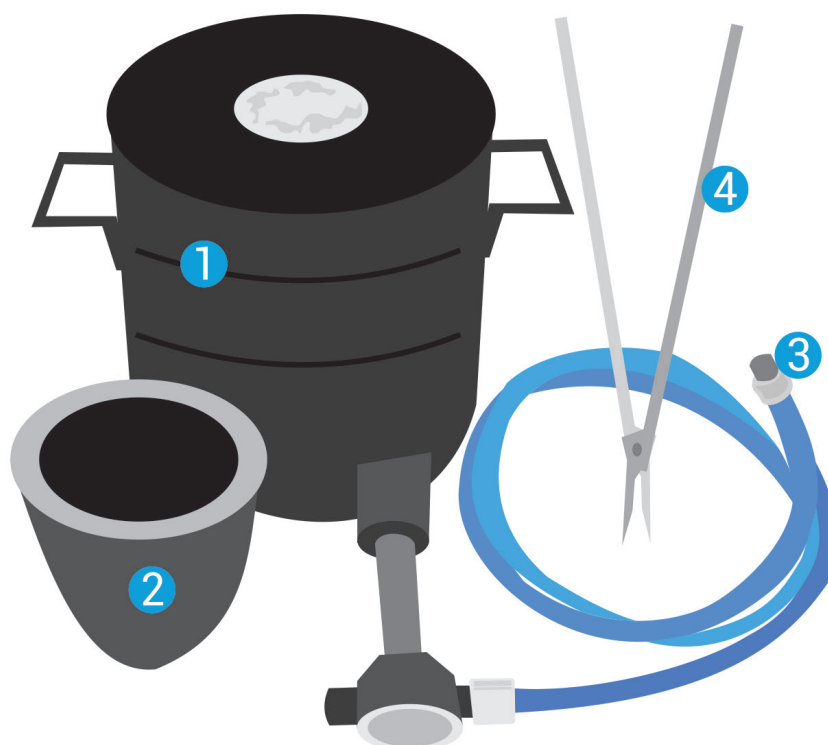


1. Inyector de fuego interior
2. Sartén de acero fundido
3. Estructura de soporte
4. Llaves de regulación de gas

5. Tamices de diferentes mallas
6. Manguera de alta presión de gas
7. Balón de gas

2.2.8. Horno de fundición

Descripción y capacidad	En el caso de oro tipo filoniano, este es un equipo complementario fijo que sirve para la fundición de concentrados gravimétricos. Requiere de gas natural o gas propano para su funcionamiento. El horno de crisol tiene una capacidad de hasta 5 kg.
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none">• Largo: 1.10 metros• Ancho: 0.40 metros• Alto: 0.85 metros
Componentes	<ul style="list-style-type: none">• Cuerpo del horno• Juego del quemador individual• Manguera de gas con abrazera• Ladrillo de fuego refractario• Regulador de presión de gas• Cinta de teflón y revestimiento de protección contra el calor• Crisol y pinza



1. Cuerpo del horno
2. Crisol
3. Manguera de gas con abrazera
4. Pinza

2.3. Descripción técnica de los equipos de procesamiento

2.3.1. Recomendaciones técnicas para la instalación del tanque de agitación

**Ubicación:**

El tanque de agitación se instala sobre una plataforma de concreto nivelada con una altura total de 2.20 metros.

**Estructura:**

Se debe incluir una escalera para vaciar el material en el tanque. La estructura se fabrica con tubo cuadrado de acero de 2" y espesor de 2 mm, y la plataforma es de plancha de acero estructural de 3 mm de espesor.

**Instalación eléctrica:**

La instalación utiliza cable N° 12, entubado a lo largo de la conexión. Se conecta a una fuente de energía monofásica, pasando por un interruptor termomagnético C32 para protección contra sobrecargas y cortocircuitos. La energía va a un variador de frecuencia de 1 HP que regula las revoluciones del tanque. El interruptor y el variador se ubican en un tablero de control con dispositivos para monitorear el abastecimiento de energía, un selector switch y botoneras para encendido y apagado.

**Conexión de agua:**

Se utilizan tuberías y accesorios de 1 pulgada. El agua del tanque de recirculación se distribuye mediante una bomba y se regula con una llave de paso.

**Otras instalaciones:**

Para el proceso de deslame y descarga del concentrado de oro, se instalan 2 válvulas de paso metálicas tipo compuerta y tuberías de 2 pulgadas, que permiten regular el flujo hacia la mesa gravimétrica.

2.3.2. Recomendaciones técnicas para la instalación de la mesa gravimétrica

**Ubicación:**

La mesa gravimétrica se instala sobre una plataforma de concreto nivelada, considerando la altura del tanque de agitación. Los equipos de planetGOLD mencionados tenían mesas de 1.10 m de altura.

**Estructura:**

No requiere estructura adicional.

**Instalación eléctrica:**

La instalación utiliza cable N° 12, entubado a lo largo de la conexión. Se conecta a una fuente de energía monofásica, pasando por un interruptor termomagnético C32 para protección y un variador de frecuencia de 1 HP que regula la velocidad del motor y convierte la energía monofásica en trifásica.

**Conexión de agua:**

Se utilizan tuberías de $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada. El agua del tanque de recirculación es bombeada por una tubería de 1 pulgada, con una llave de paso para regular la presión. La conexión se divide en dos: una tubería de 1 pulgada para regar la parte baja y una de $\frac{3}{4}$ de pulgada para la parte alta. Ambas se pueden regular independientemente. Las tuberías tienen orificios de 2 mm de diámetro y separaciones de 2.5 cm en la parte baja y 2 cm en la parte alta.

**Otras instalaciones:**

La mesa se coloca junto al tanque de agitación, a 1.10 m de altura sobre la plataforma de concreto nivelada.

2.3.3. Recomendaciones técnicas para la instalación del tanque de recirculación

**Ubicación:**

Se instala sobre la plataforma de concreto nivelada, junto a los puertos de descarga de la mesa gravimétrica, con una altura de 0.75 metros.

**Estructura:**

No requiere estructura adicional.

**Instalación eléctrica:**

La bomba de agua dentro del tanque de recirculación tiene una instalación eléctrica con cable N° 12 entubado. La energía proviene de una fuente monofásica, pasa por un interruptor termomagnético C32 (para protección contra sobrecargas) y se controla desde un tablero con focos piloto, selector switch y botoneras para encender y apagar el equipo.

**Conexión de agua:**

Las tuberías de 1 pulgada distribuyen el agua desde el tanque de recirculación, regulada por una llave de paso.

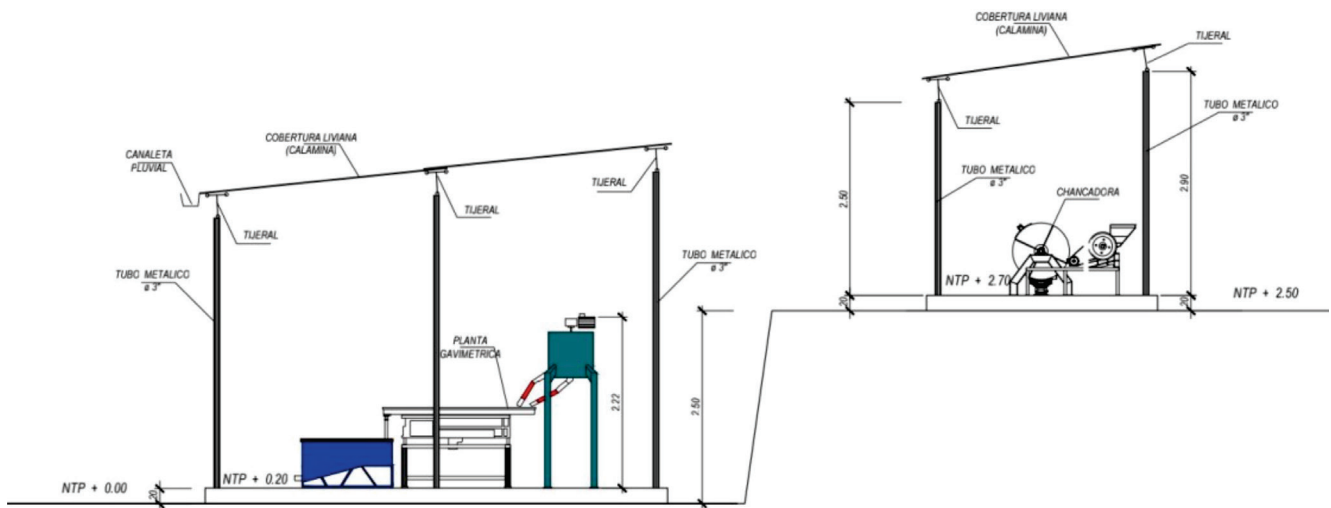
**Otras instalaciones:**

Para la descarga y limpieza del tanque de recirculación, se instala una llave de paso metálica de 2 pulgadas en el orificio lateral inferior.

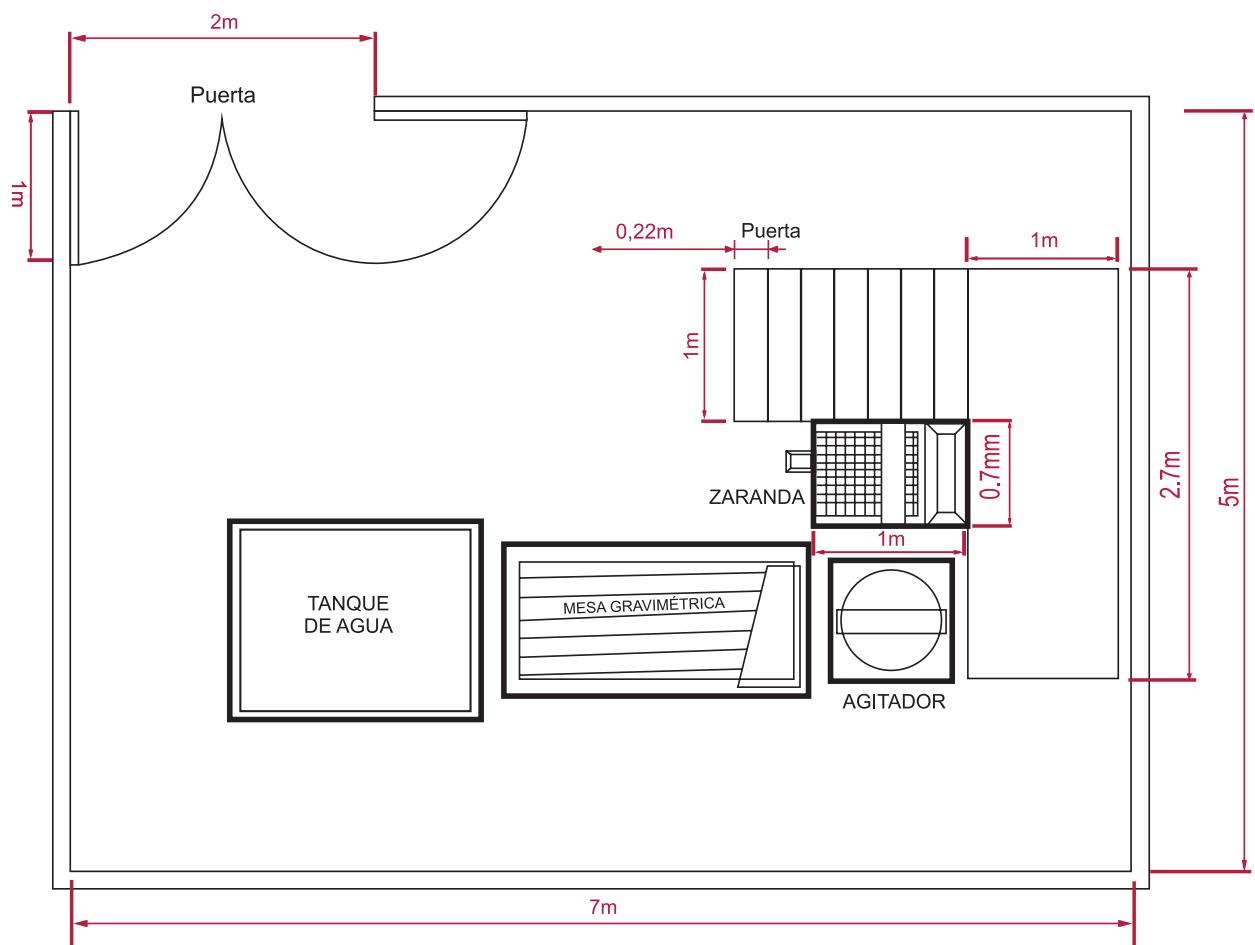
2.4. > Vistas y planos referenciales de los equipos metalúrgicos del proyecto



Vista lateral de planta gravimétrica para oro de tipo aluvial.



Vista lateral de planta gravimétrica. .



Vista de planta gravimétrica para oro de tipo aluvial.

3.

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL MINERAL PARA EL PROCESAMIENTO GRAVIMÉTRICO

A continuación, brindamos las recomendaciones técnicas de preparación y tratamiento del mineral aurífero proveniente de la minería aluvial o filoniana, previo a su ingreso al circuito de procesamiento gravimétrico

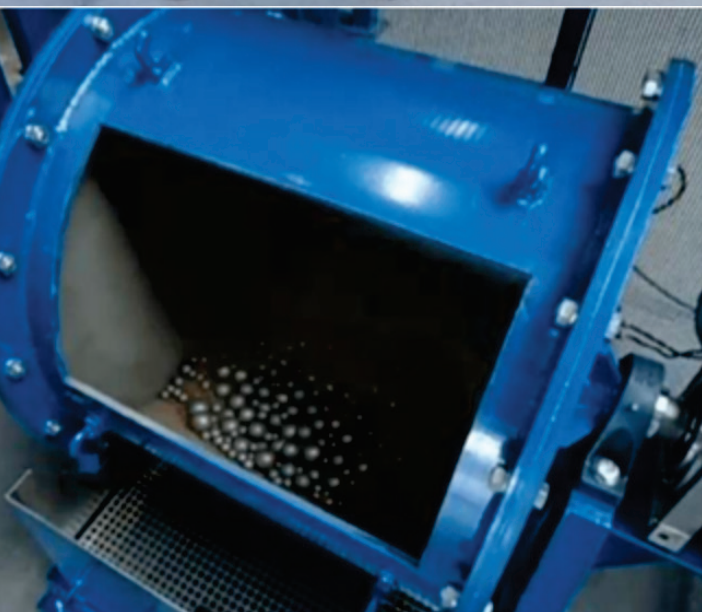
3.1. Preparación del mineral aurífero

El objetivo es lograr la liberación efectiva del oro y acondicionar el material para maximizar la eficiencia en el proceso de concentración.

a. Oro tipo filoniano:

El mineral aurífero requiere un proceso de trituración o chancado y molienda para liberar el oro.

- Se requiere que la chancadora de quijada reduzca el mineral a un diámetro entre 3/4" y 1".
- Se recomienda adecuar una guarda y una tolva de recepción por seguridad del operador.
- Para el proceso de molienda, se requiere disponer de 800 kg de bolas de acero para pulverizar el mineral, el tamaño varía de 1 a 5 pulgadas.
- Para los minerales tipo filoniano, se recomienda un tiempo de molienda de 25 a 30 minutos para alcanzar un 80% de material pasante en malla 100 ASTM (aproximadamente 150 micrones).
- Se recomienda realizar un análisis de malla valorada para verificar la granulometría obtenida.



b. Oro tipo aluvial o fluvio glaciar:

Al tratarse de yacimientos secundarios con oro diseminado, el mineral aurífero requiere una etapa de preconcentración para optimizar su recuperación.

- Este equipo es ideal para el procesamiento de oro en operaciones aluviales, ya que permite clasificar, lavar y preconcentrar el material aurífero en un solo paso.

NOTA:

El gran volumen de mineral extraído debe ser previamente concentrado a través de diferentes métodos de concentración que se adecuen a los costos y necesidades de la empresa minera. Hay métodos gravitacionales, por concentración magnética, concentración eléctrica, flotación espumante, floculación, otros.



3.2. Análisis granulométrico de malla valorada del mineral aurífero

El análisis granulométrico de malla valorada es fundamental para entender la distribución del mineral valioso por tamaños de partícula. Sin embargo, en minería filoniana se enfoca más en la liberación del mineral y la reducción de costos de molienda, mientras que en minería aluvial se centra en maximizar la captura del oro libre y evitar pérdidas en los flujos de concentración. Este análisis permite adaptar los procesos y equipos de cada tipo de minería para lograr una recuperación óptima del mineral valioso.

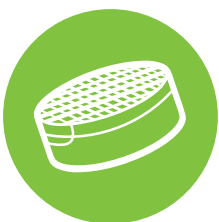
A continuación, presentamos los pasos para un análisis granulométrico de malla valorada:



PASO 1

Preparación de la muestra

- Recolección de la muestra debe ser homogéneo y representativa
- Secado de la muestra



PASO 2

Selección de las mallas o tamices

- Se debe seleccionar diferentes tamaños de abertura, según los rangos de tamaño que se desea analizar.
- Por lo general, se utilizan mallas estándar (ASTM o Tyler) en una secuencia que cubra desde partículas gruesas hasta finas.



PASO 3

Pesar la muestra inicial

Este peso inicial será el referente para calcular los porcentajes retenidos en cada malla.



PASO 4

Colocar los Tamices en Orden Decreciente:

El más grueso en la parte superior y el más fino en la parte inferior, con una bandeja en la base para recolectar las partículas más finas.

Realizar el Tamizado:

La muestra se coloca en el tamiz superior y se agita mecánica o manualmente durante un tiempo determinado (10 y 20 minutos).



PASO 5

Recolección del material en cada malla

Pesado de cada fracción

Cálculo de la distribución granulométrica:

Se calcula el porcentaje retenido en cada malla, dividiendo el peso de la fracción retenida por el peso total de la muestra inicial y multiplicando por 100. Luego, se calcula el porcentaje acumulado retenido y pasante.



PASO 6

Valoración del mineral valioso (si aplica):

Análisis químico de cada fracción para medir la concentración de oro.

Fracción para medir la concentración de oro:

Cálculo de la ley de mineral, para determinar en qué malla se concentra el oro.

3.3. Alimentación del mineral aurífero previamente tratado



El proceso de concentración gravimétrica inicia con la alimentación controlada del material previamente clasificado al tanque de agitación, que homogeniza y concentra el mineral. Este flujo uniforme maximiza la eficiencia del proceso y mejora la recuperación del oro en las etapas subsiguientes

El ingreso del mineral al tanque de agitación puede ser con baldes o fajas transportadoras



4.

PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA PLANTA GRAVIMÉTRICA

A continuación, se presentan las recomendaciones técnicas para la implementación y funcionamiento de la planta gravimétrica, una vez definida la granulometría del mineral aurífero que será tratado mediante este proceso. Estas recomendaciones abarcan desde la entrada del mineral al tanque de agitación, pasando por la mesa gravimétrica, tanque de recirculación, quemador, hasta la obtención del oro doré por fundición.

4.1. > Tanque de agitación

Descripción del proceso

1

Activar el grupo electrógeno o la fuente de energía que alimenta la planta de procesamiento gravimétrico. El procedimiento variará según el tipo de generador disponible en cada unidad minera.

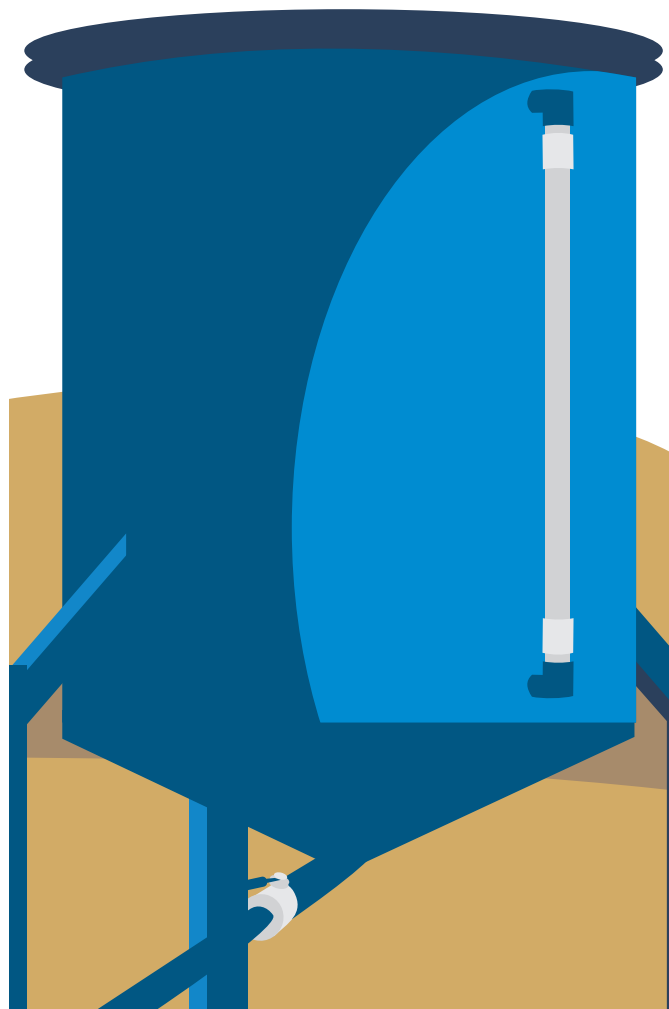
2

Llenar el tanque de agitación con agua hasta aproximadamente el 25% de su capacidad total.

Verificar el nivel con el medidor de agua para asegurar la precisión.

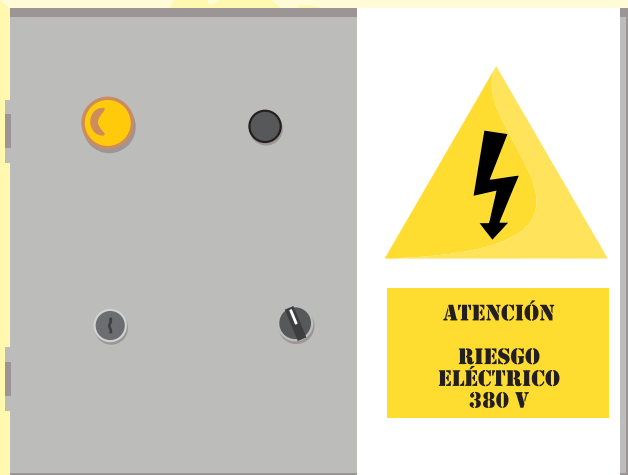
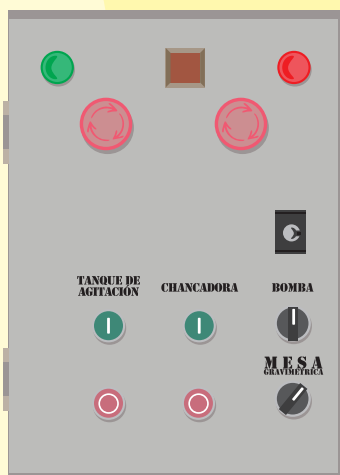
Agregar el mineral seleccionado para iniciar el proceso de agitación. La cantidad de mineral dependerá del tipo de depósito:

- Oro tipo filoniano: cargar entre 600 y 700 kg de mineral, dependiendo de la capacidad del tanque.
- Oro tipo aluvial: cargar aproximadamente 100 - 200 kg de mineral, dependiendo de la capacidad del tanque.



3

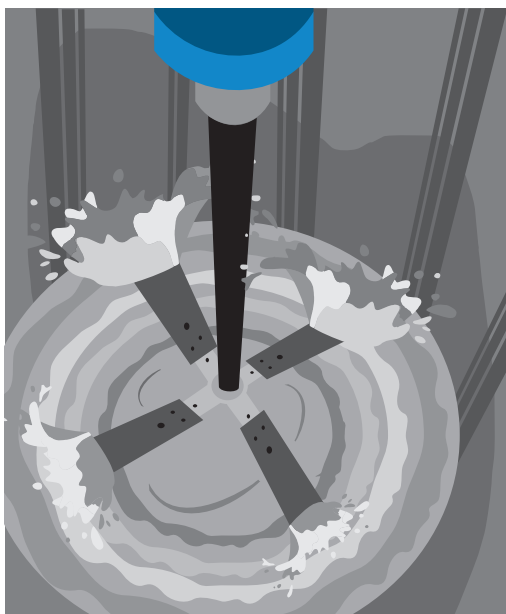
Activar el tanque de agitación desde la caja de control, encendiendo el interruptor termomagnético. Luego, encender el variador de frecuencia mediante su interruptor, ajustando las revoluciones del agitador según el tipo de mineral a procesar y las especificaciones requeridas.



4

Agregar el mineral aurífero fino previamente preparado al tanque de agitación y continuar el proceso durante el tiempo necesario:

- **Mineral tipo aluvial:**
Agitar durante 5 minutos a 50 revoluciones por minuto (RPM) hasta lograr la homogenización del material. Debido a su menor cohesión y a la ausencia de una matriz rocosa densa, el material aluvial se homogeniza y distribuye rápidamente, requiriendo menos tiempo de agitación para lograr una mezcla uniforme.
- **Mineral tipo filoniano:**
Agitar entre 20 y 25 minutos a 35 RPM, asegurando una homogenización completa del mineral. Este mineral proviene de depósitos en roca dura, donde el oro suele estar incrustado en una matriz de mineral más densa. La agitación debe ser más prolongada para asegurar que el material se disgregue adecuadamente y se mezcle de forma homogénea. Además, el menor número de revoluciones por minuto ayuda a evitar el desgaste excesivo del equipo, ya que este tipo de mineral es más abrasivo y denso en comparación con el aluvial.



Los tiempos y velocidades de agitación deben ajustarse para lograr una homogenización eficaz de cada tipo de mineral.

Esta etapa de preparación de la pulpa procura la uniformidad de la mezcla y la suspensión de partículas finas para la eficiencia de los procesos de concentración y recuperación de minerales

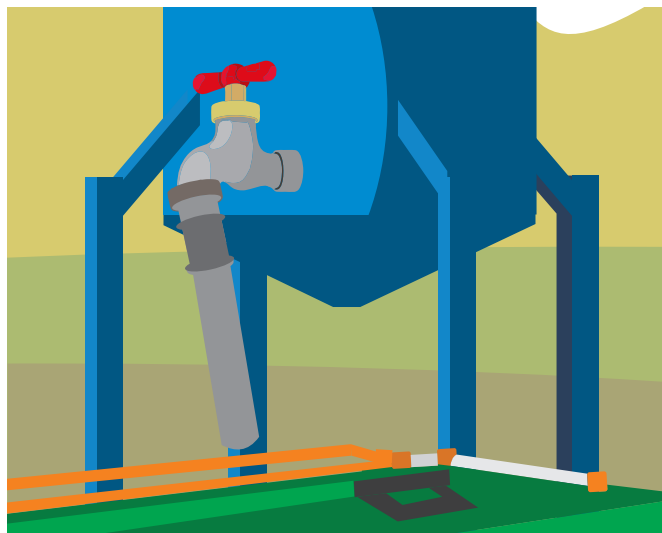
5

Descargar el material ligero hacia la mesa gravimétrica mediante la válvula de control periférica (deslame). El operador debe monitorear el proceso para evitar obstrucciones y determinar cuándo es necesario realizar la descarga a través de la válvula de control axial.

6

Realizar la descarga del mineral concentrado a través de la válvula de control axial inferior. Este proceso tiene una duración aproximada de 2 a 3 horas para el oro filoniano y aluvial. El tiempo de demora se debe a varios factores relacionados con la naturaleza del mineral, el tipo de concentración y la necesidad de evitar pérdidas del mineral valioso. Asimismo, este tiempo puede reducirse con la incorporación de una mesa adicional a la planta.

La descarga se realiza en un recipiente, utilizando una pistola de agua para asegurar la limpieza completa del tanque. Luego, el concentrado del agitador se transfiere manualmente a la mesa gravimétrica para su procesamiento.



4.2. Mesa gravimétrica

Descripción del proceso

7

Realizar una limpieza exhaustiva de la bandeja de fibra de vidrio y de los componentes de la mesa gravimétrica. Luego, colocar cuatro baldes en cada puerto para la recolección de los concentrados.





8

Ajustar y nivelar las variables de operación de la mesa gravimétrica según el tipo de mineral,

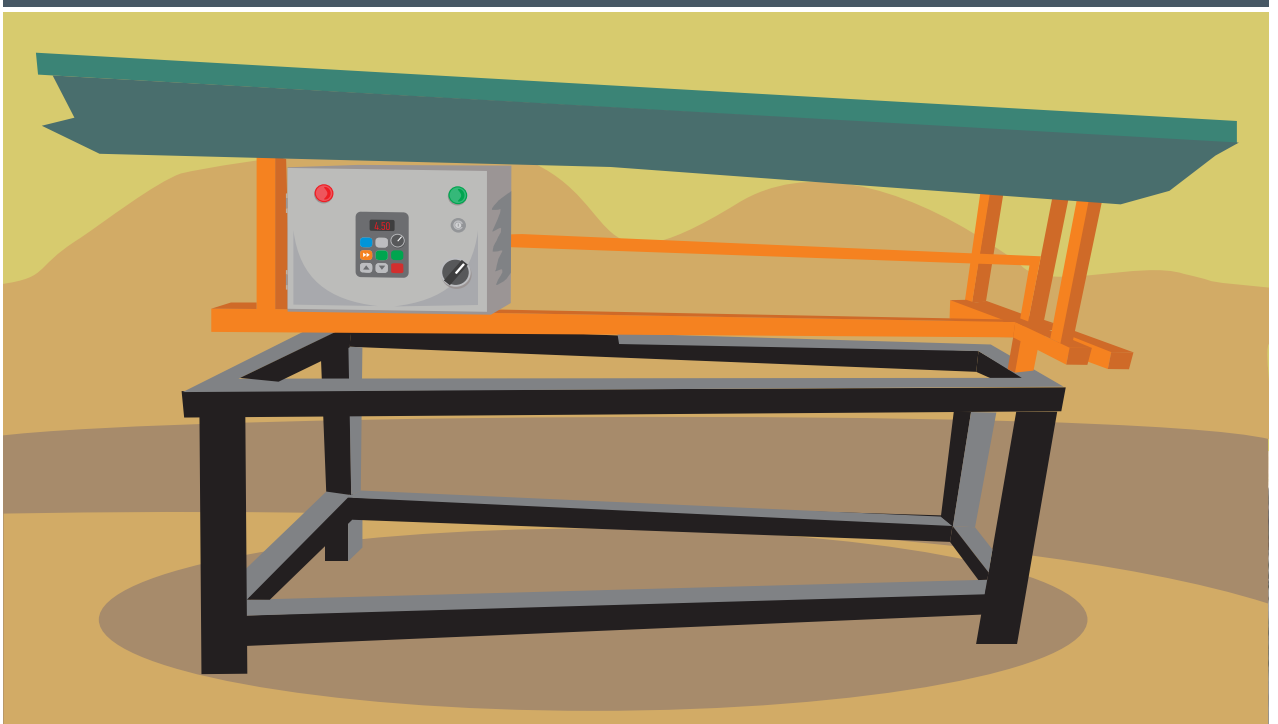
Oro tipo filoniano:

- Velocidad de vibración: 35 VPM (Vibraciones por Minuto)
- Inclinação longitudinal: 1 grado
- Inclinação transversal: 8.5 cm

Oro tipo aluvial:

- Velocidad de vibración: 30-36 VPM
- Inclinação longitudinal: 0.5 a 1 grado
- Inclinação transversal: 5 cm

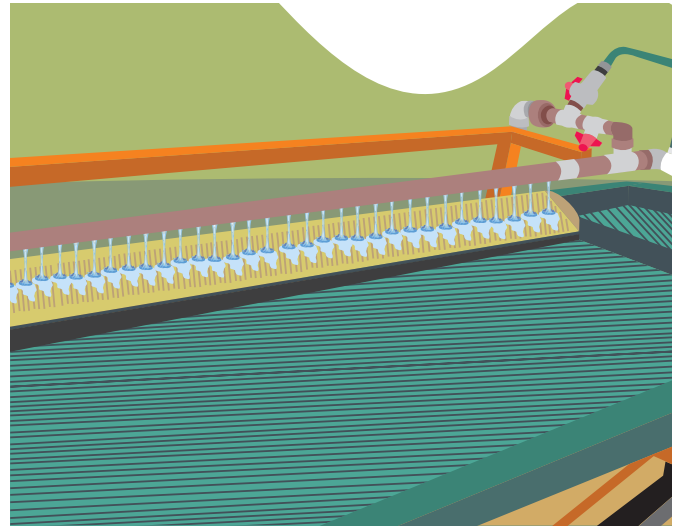
Estas configuraciones son referenciales y están diseñadas para pruebas iniciales. Las variables deben ajustarse y calibrarse según las características específicas del mineral procesado.



9

Activar el sistema de riego y verificar que el agua se distribuya de manera uniforme sobre toda la bandeja y la pieza desmontable.

Para encender la mesa se debe activar el interruptor termomagnético y colocar el selector en la posición "On" en el tablero eléctrico, siguiendo el mismo procedimiento para los otros equipos de la planta.



10

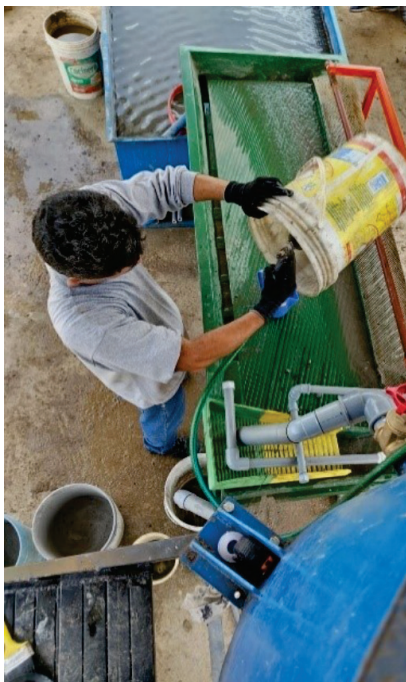
El primer material en pasar por la mesa gravimétrica debe ser el descargado desde la válvula lateral del tanque de agitación. Se debe verificar que la densidad de pulpa en la alimentación a la mesa concentradora sea de aproximadamente un 25% en sólidos.

Luego, se debe comprobar la posición de los separadores ajustables para cada corriente (concentrado, medios y colas en los recipientes de recepción) y revisar periódicamente que las trampas de la pieza desmontable no estén saturadas.

En caso de acumulación, recolectar el concentrado de la pieza desmontable. Para esto, cerrar la válvula de descarga de pulpa del agitador, apagar la mesa y retirar la pieza desmontable para su lavado en un recipiente.



11



Después de procesar el mineral en la mesa gravimétrica (descargado a través de la válvula lateral para deslamar), se debe continuar con la alimentación de mineral hacia la pieza desmontable de la bandeja de la mesa del concentrado obtenido de la válvula axial inferior.

Oro tipo filoniano:

- Utilizar el concentrado descargado desde la base del tanque de agitación (válvula axial).
- Abrir la válvula de control del sistema de riego y ajustar el caudal a un flujo adecuado, evitando generar excesiva turbulencia.
- Alimentar manualmente la pieza desmontable en pequeñas porciones con la ayuda de un cucharón para evitar la saturación de las trampas.



Oro tipo aluvial

- Utilizar el concentrado de mineral que puede provenir de la base del fondo del tanque de agitación o el material grueso que es recuperado directamente de la zaranda vibratoria.
- Luego, abrir la válvula de control del sistema de regado a un flujo de caudal adecuado (Evitar generar mucha turbulencia).
- Alimentar manualmente la pieza desmontable con la ayuda de un cucharón y en porciones pequeñas a fin de evitar la saturación de las trampas.



12

Finalmente, se debe apagar la mesa vibratoria presionando el botón rojo en la esquina inferior derecha del tablero del variador. Luego, colocar el selector en posición "Off" y desactivar el interruptor termomagnético.



4.3. > Tanque de recirculación

Descripción del proceso

13

Llenar el tanque de recirculación hasta aproximadamente el 80% de su capacidad para satisfacer la demanda de agua de los equipos de la planta gravimétrica. Este volumen requiere entre 500 y 700 litros de agua, que serán reutilizados. En promedio, el agua debe ser cambiada cada 15 a 30 días, dependiendo de la frecuencia de uso.

14

Encender la bomba de agua activando el interruptor termomagnético y colocando el selector en posición "On" en el tablero de control para abastecer de agua el tanque de agitación.

15

Asegurar que la bomba no funcione en vacío, manteniéndola siempre sumergida en el agua y con al menos un punto de descarga abierto para evitar su desgaste y deterioro.

16

Para apagar la bomba de agua del tanque de recirculación, colocar el selector en posición "Off" y desactivar el interruptor termomagnético.



4.4. > Quemador

Descripción del proceso

17

Secado inicial: antes de proceder al quemado es importante secar el concentrado, especialmente si contiene humedad. Esto se realiza en una estufa a baja temperatura para evitar salpicaduras o reacciones inesperadas en la etapa de fusión.

18

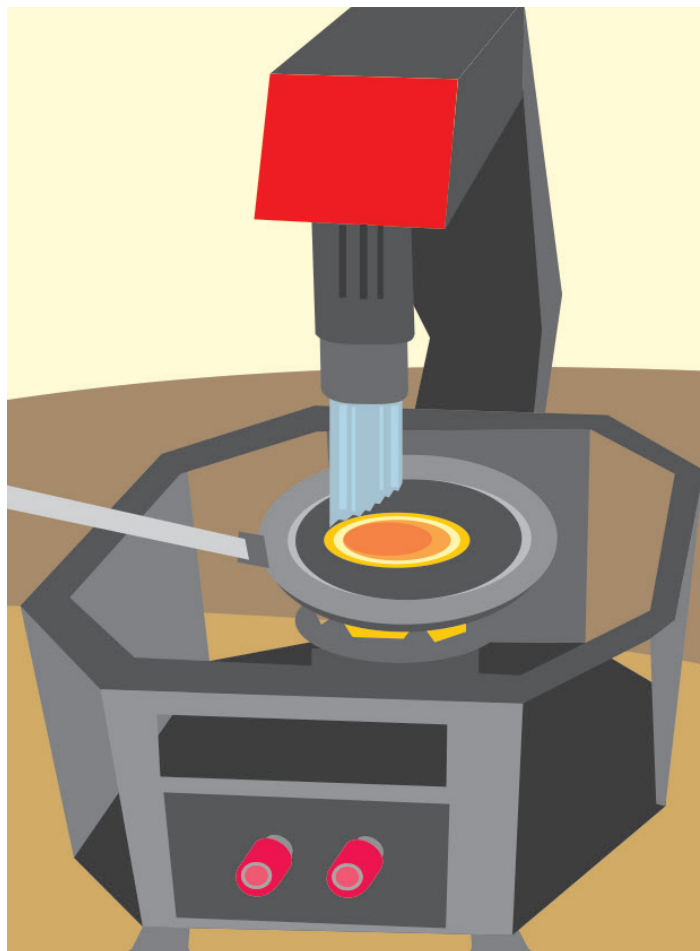
Separación magnética: utilizar un imán para eliminar minerales magnéticos (como magnetita) presentes en el concentrado. El proceso también puede realizarse previamente en la mesa gravimétrica con el concentrado húmedo.

19

Clasificación en mallas finas: pasar el concentrado seco por mallas finas, como una Tyler N°140, para separar partículas finas de ganga u otras impurezas.

20

Preparación del equipo de quemado: encender los quemadores superior e inferior en una estructura de soporte resistente al calor, asegurando una temperatura uniforme para calentar el concentrado.



21

Uso de un sartén cónico refractario: colocar el concentrado en un sartén de material refractario, posicionado entre los quemadores.

22

Aplicación de calor controlado: calentar el concentrado de oro lentamente para quemar compuestos orgánicos y otras impurezas, realizando movimientos ondulatorios en el sartén para evitar que el material se adhiera y facilitar la formación de agregados (pellets).

4.5.

Horno de fundición

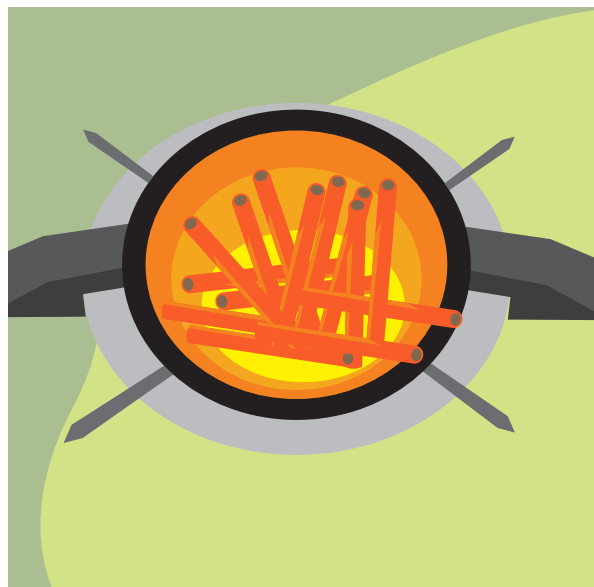
Descripción del proceso

23

Añadir fundentes: agregar fundentes específicos, como bórax y carbonato de sodio, que ayuden a formar una escoria con las impurezas. El bórax reduce la temperatura de fusión, mientras que el carbonato de sodio ayuda a capturar las impurezas metálicas.

24

Preparación del crisol: usar un crisol de material refractario, como grafito o cerámica resistente a altas temperaturas, que soporta el calor necesario sin reaccionar con el oro o los fundentes.



25

Mezcla del concentrado con fundentes: colocar el concentrado de oro y los fundentes seleccionados en el crisol en cantidades adecuadas, generalmente en proporciones que aseguren la captura de impurezas y una escoria fluida.

26

Colocación en el horno de fundición: introducir el crisol en un horno de fundición, que debe estar precalentado para iniciar el proceso de fusión. La temperatura se ajusta entre 1,100°C y 1,200°C, suficiente para fundir el oro y los materiales acompañantes.

27

Aumento gradual de temperatura: Incrementar gradualmente la temperatura hasta alcanzar el punto de fusión del oro y de los materiales acompañantes. La mezcla se funde completamente, y los fundentes reaccionan con las impurezas, formando una capa de escoria en la superficie del metal fundido. Verificar que la llama este de color azul antes de tapar el horno y esperar por unas 2 horas para que se funda el mineral.

28

Separación de oro y escoria: el oro, debido a su mayor densidad, se concentra en el fondo del crisol, mientras que la escoria, que contiene las impurezas, se eleva a la superficie. En esta etapa, la escoria puede incluir óxidos metálicos y partículas de ganga no deseadas.

29

Desescoriado: con una herramienta adecuada (como una espátula o pinzas de desescoriado), se retira cuidadosamente la capa de escoria de la superficie del oro fundido. Es importante no remover demasiado rápido para evitar arrastrar partículas de oro.

30

Vertido en moldes: una vez retirada la escoria, se vierte el oro fundido en moldes de acero o grafito precalentados para evitar tensiones térmicas. El vertido debe hacerse lentamente y con control para evitar salpicaduras o inclusiones de escoria.

31

Formación de barras de oro doré: el oro enfriado en los moldes toma la forma de barras conocidas como "barras de doré", que contienen principalmente oro y pequeñas cantidades de plata y otras impurezas.

5.

RECOMENDACIONES FINALES

5.1. > Recomendaciones generales

Desde la experiencia del proyecto planetGOLD Perú detallamos a continuación los requerimientos técnicos a considerar para la instalación e implementación de una planta gravimétrica:

REQUERIMIENTOS	DESCRIPCIÓN
Legal	La planta debe ser instalada en una concesión de beneficio, en una zona industrial o con autorización de beneficio, debidamente formalizada. Además, debe contar con todas las licencias y permisos necesarios.
Energía	Los equipos pueden funcionar con energía trifásica o monofásica. En lugares sin conexión a la red nacional, se deberá utilizar un generador de energía adecuado a la capacidad de carga requerida.
Hídrico	Esta tecnología ofrece la ventaja de recircular y reutilizar el agua, con un volumen de aproximadamente 1.5 m3 cada 10 días.
Infraestructura	Los equipos metalúrgicos deben ser instalados sobre superficies de concreto y contar con una cobertura que los proteja de la radiación solar y otros factores climáticos externos. Además, el ambiente debe tener ventilación y espacio suficiente para maniobrar el mineral, debidamente señalizado.
Personal	Un personal especializado debe dirigir las pruebas iniciales de ajuste de los equipo de acuerdo a las características del material a procesar. El personal en la planta debe ser capacitado en el tratamiento de mineral aurífero mediante procesos gravimétricos, y debe ser de confianza, capaz de manejar indicadores para optimizar el uso de los equipos.

5.2. > Recomendaciones de seguridad

El proceso descrito en esta guía es referencial. Antes de instalar la planta gravimétrica siga las instrucciones de su proveedor de equipos.



RECUERDE

- El operador debe tener en cuenta las precauciones de seguridad de los equipos para evitar lesiones.
- Las modificaciones realizadas en los equipos o el uso de piezas no suministradas por su proveedor pueden provocar riesgo de daños materiales y personales.
- Nunca opere una unidad sin los dispositivos de seguridad adecuados correctamente instalados.
- Las conexiones eléctricas deben ser realizadas por electricistas calificados.

SEGURIDAD AMBIENTAL

- Mantenga siempre la limpieza de su área de trabajo .
- Deseche todos los residuos correctamente según las reglamentaciones ambientales.
- Limpie todos los derrames de acuerdo con los procedimientos de seguridad y ambientales.
- Denuncie todas las emisiones ambientales ante las autoridades pertinentes.

SEGURIDAD PERSONAL

- Preste atención a los riesgos que presentan los gases y vapores presentes en el área de trabajo.
- Evite todos los peligros eléctricos.
- Utilice el equipo de seguridad según las normas de la empresa.
- Coloque una barrera apropiada alrededor de su zona de trabajo.

PRECAUCIONES ANTES DE INICIAR EL TRABAJO

- Revise que todos los dispositivos de seguridad estén en su lugar y bien asegurados.
- Asegúrese de que el equipo esté correctamente aislado cuando opere a altas temperaturas.
- Asegúrese de tener una vía libre de salida.
- Asegúrese de que los productos no pueden rodar o caerse y ocasionar daños.
- Asegúrese de tener acceso rápido a un kit de primeros auxilios.
- Desconecte y bloquee la electricidad antes de realizar el mantenimiento.



Financiado por:



Liderado por:



Implementado por:



En alianza con:

