



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
CELDAS DE FLOTACIÓN FL50 EN PLANTA CONCENTRADORA DE
MINERALES**

Marvin Narciso Rodríguez de Paz

Asesorado por el Ing. René Abigail Rivera Pedroza

Guatemala, noviembre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
CELDAS DE FLOTACIÓN FL50 EN PLANTA CONCENTRADORA DE
MINERALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARVIN NARCISO RODRÍGUEZ DE PAZ
ASESORADO POR EL ING. RENÉ ABIGAIL RIVERA PEDROZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

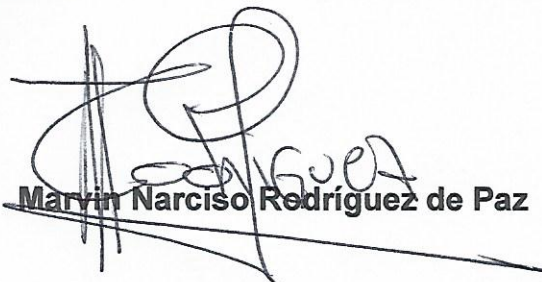
DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Arturo Estrada Martinez
EXAMINADOR	Ing. Pedro Enrique Kubes Z.
EXAMINADOR	Ing. Victor Izquierdo
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CELDAS DE FLOTACIÓN FL50 EN PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 9 de agosto de 2018.



Marvin Narciso Rodríguez de Paz

Guatemala 2 de octubre del 2018

Ing. Julio Cesar Campos Paiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala


Señor Director.

Por medio de la presente me permito informarle que he revisado completamente el trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CELDAS DE FLOTACIÓN FL50 EN PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES”**, desarrollado por el señor Marvin Narciso Rodríguez de Paz, dicho trabajo cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto de tesis

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como su asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones de la misma

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo

Atentamente


Ing. René Abigail Rivera Pedroza
Asesor Civil
Colegiado No. 2377
Colegiado No. 2377

Ref.E.I.M.274.2018

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CELDAS DE FLOTACIÓN FL50 EN PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES** desarrollado por el estudiante **Marvin Narciso Rodríguez de Paz**, CUI 2659193040101, Registro Académico 199013352 recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre 2018



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.328.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CELDAS DE FLOTACIÓN FL50 EN PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES** desarrollado por el estudiante **Marvin Narciso Rodríguez de Paz**, CUI 2659193040101, Registro Académico 199013352 y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre de 2018

/aej



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica del trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CELDAS DE FLOTACIÓN FL50 EN PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES”**, presentado por el estudiante universitario: **Marvin Narciso Rodríguez de Paz** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Noviembre de 2018

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi fuente de poder para alcanzar mis metas.
Mis padres	Narciso Rodríguez y Margarita de Paz, por ser mi ejemplo de superación.
Mi esposa	Lucrecia Ríos, por ser la fuente de amor e inspiración.
Mis hijos	Diego y Valeria, por ser la bendición más grande en mi vida.
Mis hermanas	Norma, Vivian, Rosario, Raquel, gracias por todo su amor y acompañamiento.
Mis sobrinos	Por su valiosa presencia en mi vida y su amistad.
Mi cuñado	Dr. Hugo Cotton, por sus valiosos consejos y la calidad de persona para mi familia.
Asesor de tesis	Ing. René Rivera, por todo su apoyo y acompañamiento.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos
de Guatemala**

Casa de estudios formadora de profesionales
para engrandecer Guatemala.

**Facultad de
Ingeniería**

Mis catedráticos, por compartir sus
conocimientos.

Ing. Francisco Schutt

Por darme la oportunidad de desarrollarme
profesionalmente dentro de sus empresas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1. Fundamentos de flotación	1
1.2. Definición de flotación de espumas	2
1.3. Elementos de flotación	3
1.3.1. Fase sólida	3
1.3.2. Fase líquida	3
1.3.3. Fase gaseosa	4
1.3.4. Factores que intervienen en el proceso de flotación	4
1.4. Tipos de reactivos de flotación	6
1.4.1. Modificadores	7
1.4.1.1. Depresores	8
1.4.1.2. Bisulfito de sodio.....	8
1.4.1.3. Sulfato de zinc	8
1.4.2. Activadores	9
1.4.3. Reguladores de pH.....	9
1.4.4. Colectores.....	10
1.4.5. Espumantes.....	11

1.5.	Circuitos de flotación	13
1.6.	Tipos de celdas de flotación	15
1.7.	Equipos auxiliares	16
2.	CONCEPTO DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....	19
2.1.	Mantenimiento industrial	19
2.2.	Tipos de mantenimiento	20
2.3.	Conceptos básicos de seguridad industrial	27
2.3.1.	Reglas de seguridad	27
2.3.2.	Seguridad en el área de trabajo	29
2.3.3.	Seguridad del equipo y las herramientas	31
2.3.4.	Permisos de trabajo	31
3.	PROPUESTA DE PROGRAMA PEVENTIVO PARA CELDA DE FLOTACIÓN FL50	33
3.1.	Análisis del uso de la celda de flotación FL50.....	33
3.2.	Estructura de la celda de flotación FL50	36
3.3.	Listado de partes y componentes de celda flotación FL50.....	40
3.3.1.	Identificar piezas de desgaste	42
3.3.2.	Determinar frecuencia de cambio de piezas de desgaste.....	42
3.4.	Propuesta de cambio programado de piezas de desgaste	42
3.4.1.	Programa de cambio de piezas de desgaste	43
3.4.2.	Establecer número de cambios y costo.....	43
3.4.2.1.	Establecer costos de mantenimiento preventivo.....	45
3.5.	<i>Stock</i> de repuesto recomendados.....	46
3.5.1.	Propuesta de punto de reposición y cantidad a reordenar.....	46

3.6.	Rutinas e inspecciones de mantenimiento	47
3.6.1.	Rutinas diarias	47
3.6.2.	Rutina de mantenimiento semanal	48
3.6.3.	Rutina de mantenimiento mensual	49
3.7.	Estimación de costos del plan de mantenimiento preventivo ..	49
3.7.1.	Asociar cantidad de personal a cada tarea.....	50
3.7.2.	Establecer costos y beneficios.....	50
4.	ENSAYOS Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS A REALIZAR A LA CELDA DE FLOTACIÓN FL50.....	53
4.1.	Medición de los espesores de lámina en paredes del tanque principal de la celda FL50.....	53
4.2.	Análisis de aceite para caja reductora del sistema de paleta de espuma.....	55
4.3.	Prueba de aislamiento a motores eléctricos	62
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	APÉNDICES	75
	ANEXOS	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura básica de la celda de flotación	33
2.	Celda de flotación FL 50 Wespro	35
3.	Arreglo de celda de flotación	36
4.	Diagrama de flujo de flotación	39
5.	Principales componentes de celda de flotación FL50	41
6.	Rutina de mantenimiento diario	47
7.	Rutina de mantenimiento semanal	48
8.	Rutina de mantenimiento mensual	49
9.	Efectos de corrosión en celda de flotación FL50	54
10.	Medidor de espesores	54
11.	Reporte de análisis de lubricante	61

TABLAS

I.	Celdas de flotación de limpieza y limpieza-barrido	38
II.	Control de datos de horas de operación	43
III.	Costo (Q) de piezas de desgaste	44
IV.	Proyección de inspección y/o cambio de piezas de desgaste	45
V.	Costo del mantenimiento de la celda de flotación FL 50	45
VI.	Stock de repuestos recomendados	46
VII.	Horas/hombre para tareas de celda flotación FL50	50
VIII.	Resumen de costos de celda flotación FL50	51
IX.	Referencia para prueba de aislamiento	64

X.	Referencia para la resistencia de aislamiento mínima.....	65
XI.	Referencia para valores de IP	66

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hp	Caballos de fuerza
Cc/min	Centímetro cúbico por minuto
Cst	Centistokes
Cu	Cobre
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continúa
Ph	Fase
Hz	Frecuencia eléctrica
°C	Grados Celsius
Gr/l	Gramos por litro
KOH	Hidróxido de potasio
Fe	Hierro
IP	Índice de polaridad
Kv	Kilo voltios
KW	Kilo Watts
Psi	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
M³	Metros cúbicos
µm	Micras
Mg/g	Miligramos por gramo
Mm	Milímetros
ISO	Organización Internacional de Estandarización
Ppm	Partes por millón
Ag	Plata

Pb	Plomo
UHMW	Polietileno de ultra alto molecular
PH	Potencial de hidrógeno
Q (s)	Quetzales
R_x	Rayos X
Rpm	Revoluciones por minuto
CuS	Sulfato de cobre
W	Vatios
V	Voltios
Zn	Zinc

GLOSARIO

Afinidad	Tendencia de los átomos o moléculas a combinarse con otros de diferente constitución química.
Coloidales	Se aplica al sistema en el que las partículas se encuentran suspendidas en un líquido.
Concéntrico	Los objetos concéntricos comparten el mismo centro, eje u origen.
Dosificador	Es un dispositivo que permite agregar un líquido a un solvente como el agua en cantidades precisas; además, lo hace proporcionalmente de acuerdo al flujo que pasa por él, sin importar los cambios de presión o de flujo en la línea de agua.
Espuma	Agregado de burbujas que se forman en la superficie de los líquidos.
Ganga	Materia inservible que se extrae de una mina junto con los minerales útiles.
IEEE	Asociación Internacional de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos.

Lamas	Conjunto de residuos estériles procedente del lavado de los minerales.
Ley	Cantidad de metal útil que contiene una mena.
Mena	Parte del filón que contiene minerales útiles que requiere un proceso de elaboración para poder ser utilizado en la industria.
<i>Pellets</i>	Es una denominación genérica, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimidos.
Pulpa	Mezcla de mineral molido o pulverizado con agua o una solución acuosa.
<i>Relave</i>	Corresponde al residuo, mezcla de minerales molidos con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación.
Repeler	No admitir una cosa a otra en su masa o composición.
<i>Stock</i>	Conjunto de repuestos en depósito o reserva.
Subsecuente	Que va después del siguiente.
Sumidero	Abertura, conducto o canal que sirve de desagüe.

Transición

Estado intermedio de un proceso sin carácter propio y definido al combinarse aspectos del anterior estado con otros nuevos que anuncian el siguiente.

RESUMEN

En minería se están implementando los procesos responsables y de alta eficiencia. El proceso de flotación es uno de los más modernos y eficientes que existe en la minería moderna. Después de la liberación, a la pulpa adecuadamente molida se le agregan reactivos con el fin de prepararlos para la flotación. Esta pulpa se alimenta de las celdas de flotación, las cuales tienen una agitación severa; a su vez se les insufla aire forzado a bajas presiones lo que facilita y mejora el contacto de las partículas de mineral dispersas en la pulpa con los reactivos, agua y aire, que hace que este proceso se realice en forma eficiente.

La celda de flotación es el equipo principal donde se desarrolla el proceso de flotación, por lo que se hace necesario implementar una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo que cubra satisfactoriamente las necesidades de cambio de piezas de desgaste, inspecciones periódicas, rutinas adecuadas de lubricación.

Es importante tener un programa de mantenimiento preventivo para la celda de flotación FL50 para garantizar la disponibilidad y fiabilidad del equipo con el fin de no desperdiciar el recurso no renovable que se está extrayendo de los yacimientos. Se presenta la propuesta de un programa basado en las tareas descritas en los manuales específicos del equipo, apoyado en los conocimientos adquiridos en la formación académica y respaldada en la literatura técnica de temas afines de mantenimiento industrial.

OBJETIVOS

General

Proponer un plan de mantenimiento preventivo para los componentes mecánicos y eléctricos instalados en una celda de flotación FL50 para garantizar la mayor eficiencia en el proceso y dar larga duración a este equipo.

Específicos

1. Determinar el funcionamiento de la celda de flotación FL50 y el trabajo que realiza.
2. Definir y establecer los datos técnicos para el mantenimiento preventivo de la celda de flotación FL50.
3. Listar las partes y los componentes mecánicos y eléctricos que componen una celda de flotación FL50.
4. Establecer un programa planificado de cambio de piezas de desgaste con base en las horas operativas de la celda de flotación FL50.
5. Establecer las tareas en las rutinas de inspección diarias, quincenales y mensuales para el equipo.

6. Definir el costo estimado de los gastos del programa preventivo propuesto para la celda.
7. Establecer un programa planificado de pruebas no destructivas que se realizan a la celda de flotación FL50.

INTRODUCCIÓN

Una planta concentradora es una unidad metalúrgica constituida por una serie de equipos y máquinas instaladas de acuerdo a un diagrama de flujo, donde la pulpa es alimentada y procesada hasta obtener uno o más productos valiosos denominados concentrados y un producto no valioso denominado *relave*.

La flotación es hoy el método más importante de concentración mecánica. Patentado en 1906, ha permitido la explotación de yacimientos complejos y de bajo contenido, los cuales habrían sido dejados como marginales sin la ayuda de la flotación

En los procesos de última tecnología en la industria minera están presentes las celdas de flotación como equipo importante en la recuperación de los minerales valiosos. La pulpa adecuadamente molida se alimenta de las celdas de flotación, las cuales tienen una agitación severa; a su vez, se les insufla aire forzado a bajas presiones lo que facilita y mejora el contacto de las partículas de mineral dispersas en la pulpa con los reactivos, el agua y el aire; que hace que este proceso se realice de forma eficiente; la adhesión del mineral a estas burbujas de aire dependerá de las propiedades hidrofílicas y aerofílicas de cada especie de mineral que se requiera separar de las que carecen de valor comercial, denominada *relave*.

El diseño de las celdas de flotación FL50 se basa en su sistema de agitación, flujos de aire, configuración de los bancos de celdas y control de los bancos de celdas. Las celdas de flotación FL50 tienen componentes mecánicos

y eléctricos que necesitan tareas periódicas de mantenimiento ejecutadas por un técnico para que estén funcionando eficientemente para que la recuperación del mineral de alto valor sea captado en su mayoría.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. Fundamentos de flotación

Los principios básicos de la flotación son:

- Mineral hidrofóbico: repele y desplaza agua de la superficie de sus partículas, esto a su vez permite que se una a las burbujas de aire.
- Las burbujas de aire transportan y mantienen a las partículas en la superficie de un colchón de espuma estable.

Para cumplir esos principios básicos, se usan reactivos químicos, los cuales dependen de su función; pueden ser: modificadores, colectores y espumantes.

- **Minerales hidrofílicos**

Son minerales con afinidad por el agua, generalmente constituido por: óxidos, sulfatos, silicatos carbonatos y otros, que representan a la mayoría de los minerales estériles o gangas. Al mojarse las partículas, estas permanecen en suspensión dentro de la pulpa y finalmente se hunden.

- **Minerales hidrofóbicos**

Son minerales que repelen al agua: metales nativos, sulfuro de metales, grafito, carbón y otros.

Al evitar mojarse las partículas se adhieren a las burbujas de aire y ascienden a la superficie de la celda de flotación.

- Hidrofobización inducida

La acción de los reactivos colectores modifica las propiedades superficiales, que genera una transición selectiva, inducida por colectores.

Mineral hidrofílico + colector = mineral hidrofóbico

1.2. Definición de flotación de espumas

La flotación es un proceso fisicoquímico, patentados en 1906 el cual ha permitido explotar yacimientos de baja ley o minerales complejos los cuales no hubiesen sido posibles de tratar por otro método. El objetivo de la flotación por espumas es aprovechar las propiedades superficiales de los minerales, separando las especies valiosas a través de reactivos químicos, agitación mecánica en las celdas y con aire.

- Clasificación

La flotación por espumas se realiza con base en el contenido de minerales valiosos presentes en la mena a recuperarse, normalmente, se flotan los minerales que se encuentran en menor cantidad, con la finalidad de incrementar o concentrar las especies minerales valiosas; se subdivide en:

- Flotación directa: cuando en las espumas de flotación se obtiene un concentrado de minerales valiosos y en la pulpa se queda el mineral sin valor o *relave*.

- Flotación *bulk* o colectiva: por medio de la cual se obtienen en un solo concentrado todos los minerales valiosos contenidos en la mena y el *relave* contiene el mineral sin valor o ganga.
- Flotación selectiva o diferencial: la cual por la acción selectiva de los reactivos permite obtener dos concentrado en diferentes circuitos de flotación, cada uno con característica y propiedades diferentes un *relave* general, producto del segundo circuito de flotación.
- Flotación inversa: se produce cuando en las espumas se flota a la ganga y en la pulpa queda el mineral valioso como *relave*, que puede ser posteriormente tratada en otro circuito o también puede ser el producto final de acuerdo a la calidad que se obtenga. Entiéndase por selectividad a la fijación preferencial del colector en la superficie de un determinado mineral valioso.

1.3. Elementos de flotación

En la flotación intervienen tres fases: sólido, líquido y gaseoso.

1.3.1. Fase sólida

Está representada por los minerales a separar

1.3.2. Fase líquida

El agua, debida a sus propiedades específicas, constituye un medio ideal para la flotación; hay que subrayar la importancia de las impurezas y contaminaciones que tiene toda agua natural o industrial, causada por las sales

de calcio, magnesio y sodio (agua dura). Estas sales y otros tipos de contaminaciones no solo pueden cambiar la naturaleza de la flotación de ciertos minerales, también, son causa de un considerable consumo de reactivos, con los cuales a menudo forman sales solubles.

1.3.3. Fase gaseosa

Para formar las burbujas se inyectan aire a la pulpa, neumática o mecánicamente a estas burbujas que se adhieren las partículas sólidas.

1.3.4. Factores que intervienen en el proceso de flotación

En toda operación de flotación intervienen cuatro factores principales:

- pulpa

Es una mezcla de mineral molido más agua. La pulpa molida, en un rango de tamaño comprendido entre la malla de 48 y 270, permitirá recuperar de una manera efectiva las partículas de los sulfuros valiosos.

El *overflow* de los hidrociclones proveniente del circuito de molienda debe tener una densidad apropiada entre 1 280 y 1 350 gr/l y un pH adecuado.

- Pulpa con alta densidad: indicará molienda más gruesa (mayores a la malla 48) sin la liberación adecuada para el proceso de flotación; a su vez, estas no flotarán o flotan poco, debido a que los reactivos y aire no pueden levantar partículas gruesas aun existiendo exceso de reactivos. Las partículas gruesas tienden a asentarse en el fondo de las celdas de flotación.

Llega a atorar la descarga de la celda y atorar los canales y tuberías de concentrado; hasta pueden llegar a plantar el impulsor de la celda.

- Pulpa con baja densidad: indicará una molienda fina (menores a la malla 270) con presencia de lamas las que se perderían ensuciando el concentrado o el *relave* y, por lo tanto, la recuperación de los sulfuros valiosos no va a ser la adecuada. En este caso las espumas de los bancos *scavenger* no debe haber mucha evacuación de espumas perdiendo valores hasta corregir el problema. En ambos casos se pierden sulfuros valiosos en los relaves, por una liberación incompleta o excesiva de lamas, perdiendo o disminuyendo el tonelaje de tratamiento en los molinos.

- Reactivos

Son sustancias químicas que sirven para la recuperación de los sulfuros valiosos, deprimiendo a la ganga e insolubles. Mediante el uso de reactivos se puede seleccionar los elementos de valor en sus respectivos concentrados.

Tipos de reactivos que se usa:

- Modificadores
 - Depresores
 - Activadores
 - Reguladores de pH
- Colectores
- Espumeantes

- **Agitación**

La agitación mantiene la pulpa en suspensión y permite tener una mezcla uniforme de los reactivos con las partículas de la pulpa, por otro lado, la agitación evita el asentamiento de los sólidos en las celdas. El exceso de revoluciones en la agitación hace que se rompan las burbujas y la pulpa rebalsa hacia canales de concentrados y cuando existe defecto no se forman las espumas. A veces por defectos mecánicos/eléctricos, desgaste del impulsor/estabilizador o correas flojas provocan poca agitación.

- **Aire**

El aire de baja presión sirve para la formación de las burbujas que se encargan de transportar los sulfuros valiosos hasta la superficie de la celda formando las espumas, también, ayuda a mantener la pulpa en movimiento. El exceso de aire provocará que la pulpa rebalse por los labios de las celdas y mate las espumas, como consecuencia se ensuciarán los concentrados con insolubles de las siguientes etapas de flotación. El defecto de aire evita la formación de las espumas, por lo tanto, no se tiene un colchón de espumas adecuado. En conclusión, el aire de baja presión es un factor que podemos controlar.

1.4. Tipos de reactivos de flotación

Los reactivos de flotación son las variables más importantes del proceso de flotación. Los reactivos son dosificados a la pulpa y cumplen determinadas funciones que hacen posible la separación de los minerales valiosos de la ganga; aseguran que el proceso de los minerales valiosos de la ganga, aseguran que el proceso sea selectivo y eficiente; sin embargo, la adición

adecuada de estos reactivos no siempre resulta una tarea fácil debido a una serie de problemas operativos que se presentan durante el proceso. En el proceso se usa una gran variedad de reactivos en diferentes cantidades y son adicionados al circuito de flotación en diferentes puntos del circuito de flotación. Generalmente, los reactivos se adicionan en la siguiente secuencia: reguladores de pH, depresores o activadores, luego el colector y finalmente el espumante; esta secuencia puede sufrir variaciones, dependiendo de las características del mineral. Se debe tomar en cuenta que el tiempo de reacción, la concentración, los puntos y la forma de adición de los reactivos van a ser diferentes para cada mineral dependiendo mucho de su composición y constitución mineralógica. Tipos de reactivos que se usan:

- Modificadores
 - Depresores
 - Activadores
 - Reguladores de pH
- Colectores
- Espumantes

1.4.1. Modificadores

La función específica de los reactivos modificadores es la de cambiar o modificar la superficie de los sulfuros y la ganga, para favorecer o impedir que los reactivos colectores actúen sobre ellos. Se clasifican por su función como sigue:

1.4.1.1. Depresores

La función específica de los depresores es la disminución de la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrofílico o impidiendo la absorción de los colectores.

- Cianuro de sodio

Son cristales en forma de *pellets* de color blanquecino, se usan para el recubrimiento y depresión de minerales sulfuros de fierro, cobre y zinc, presentando una selectividad en la flotación. En la flotación de plomo se usa el cianuro de sodio, el cual es un reactivo depresor y se usa para que no flote el zinc y la pirita, se recomienda usarlo a un pH mínimo de 8,5 para evitar la formación de ácido cianhídrico (altamente volátil y toxico).

1.4.1.2. Bisulfito de sodio

Es de cristal blanco, el cual es un depresor para sulfuros de zinc y fierro. Se usa en remplazo del cianuro de sodio particularmente en minerales con contenido de plata.

1.4.1.3. Sulfato de zinc

El sulfato de zinc heptahidratado, es de cristales incoloros; es uno de los más importantes depresores de zinc, usados para la flotación selectiva de minerales de cobre y plomo. Generalmente, se emplea en medio ligeramente alcalino solo o en combinación con otros reactivos como el cianuro de sodio y bisulfito de sodio.

1.4.2. Activadores

Incrementan la flotabilidad de ciertos minerales, ayuda a la absorción del colector de un mineral oxidado o que previamente ha sido deprimido. Los reactivos de este tipo sirven para incrementar la adsorción de los colectores sobre la superficie de los minerales o para fortalecer este enlace. Los sulfuros de zinc han sido deprimidos en el circuito de plomo y para activarlos es necesario dosificar sulfatos de cobre.

- Sulfato de cobre

El sulfato de cobre pentahidratado se presenta en forma de cristales azules; es un activador de la esfalerita, pirita, calcopirita, pirrotita, arsenopirita y cuarzo. Es usado para reactivar de los sulfuros de zinc que han sido deprimidos en el circuito de flotación *bulk*, la activación consiste en que el ion cobre del sulfato de cobre reemplaza al ion zinc en la celda cristalina del mineral, forma una película de CuS, la esfalerita seguidamente se comporta como mineral de cobre, sobre el cual el xantato puede ser absorbido.

- Sulfuro de sodio

Se presenta en forma de hojuelas de color amarillento; se usan en la flotación de óxidos y sulfuros metálicos no ferrosos alterados, formando una película sulfurada sobre las partículas.

1.4.3. Reguladores de pH

Son los reactivos que controlan la acidez o la alcalinidad de la pulpa, cambia la concentración del ion hidrógeno con el propósito de incrementar o

disminuir la adsorción del colector. La efectividad de todos los reactivos de flotación depende grandemente del pH de la pulpa.

- Cal

En la práctica se emplea la cal hidratada la cual pertenece a las bases fuertes y exotérmicas, la solución acuosa de cal se le denomina lechada de cal.

La cal es el depresor más común de pirita en presencia de xantato.

1.4.4. Colectores

Son comunes químicos orgánicos, cuyas moléculas contienen un grupo polar y uno no polar, asociándose más a los sulfuros y al aire. La parte no-polar es orientada hacia la fase del agua y la parte polar hacia la fase del mineral; esta orientación hace que la superficie del mineral sea impermeable. El exceso del colector hace flotar en cantidades excesivas la pirita e insolubles y el defecto provocará que no se recupere los valores como consecuencia los relaves serán altos.

- Xantato

Son colectores aniónicos, con forma de *pellets* amarillentos, son orgánicos solubles en agua, de gran poder colector, siendo más fuertes, cuanto mayor es en número de átomos de carbono, no son selectivos, pero promueven los sulfuros en este orden: Fe, Zn, Pb, Cu, Ag.

1.4.5. Espumantes

Son sustancias tenso activas heteropolares cuyo objetivo principal en la flotación, es la de mantener una espuma cargada y estable con sulfuros valiosos y mantener estables hasta su extracción. El espumeante rodea de una capa a las pequeñas burbujas de aire que se forman en la pulpa, por agitación o inyección de aire, evita que se unan entre sí y que cuando lleguen a la superficie no se rompan. El exceso de espumeante producirá muchas espumas con concentrado sucio los cuales provocarán rebalse en los canales de concentrados y cajones de las bombas el defecto no producirá espumas y no habrá remoción de los valores ensuciando el relave.

- Dosificadores de reactivos

Los reactivos deben ser modificados en la cantidades (cc/min) adecuadas para mantener una buena calidad del concentrado minimizando las pérdidas en el *relave*. Los reactivos se alimentan en lugares determinados a través de la experimentación a niveles de laboratorio y experiencia técnica, controlándose a través del plateo manual (lavado de los concentrados o *relaves* al igual que una concentración gravimétrica) o través del analizador Courier.

- Las columnas o colchones de espumas

Es la altura que alcanza las espumas a partir del nivel de la pulpa y estas varían de acuerdo al circuito, el cual es regulado por la compuerta de descarga de la celda y el flujo de aire de baja presión.

- El agua en los canales

Se usan agua en los canales para transportar los concentrados de una etapa a otra y a su vez se evita que estos se sedimenten, no se debe usar agua en exceso ya que se diluye la pulpa y se baja el tiempo de residencia de la pulpa dentro de la celda, y el efecto causaría acumulación de carga en los canales los cuales pueden producir atoros y rebalses de carga.

- Funciones de la celda de flotación.

Son construidas de modo que favorezcan la realización del proceso mediante las siguientes funciones:

- Mantener todas las partículas las más gruesas o las más densas en suspensión dentro de la celda, evitando la segregación de los sólidos por el tamaño o la densidad.
- La aireación para que haya una buena diseminación de las burbujas de aire.
- Promover la colisión entre partículas minerales y las burbujas de aire.
- Mantener la pulpa en condiciones estables, debajo de la columna de espumas y a su vez permitir una adecuada evacuación de los *relaves*.

- Zonas específicas de la celda de flotación:
 - Zona de mezcla: aquella en la cual las partículas minerales toman contacto con las burbujas de aire.
 - Zona de separación: en la que las burbujas de aire se condensan una con otra y eliminan partículas indeseables que pudieran haber sido arrastradas por atrapamiento u otro motivo.
 - Zona de espumas: en la que las espumas mineralizadas deberán tener estabilidad y ser removidas de la celda conteniendo concentrado.

1.5. Circuitos de flotación

Es la agrupación de celdas de flotación dispuestas de tal manera que brinden la posibilidad de ir incrementando la concentración de los minerales valiosos en diferentes etapas subsecuentes hasta obtener un concentrado de buena calidad. Normalmente la distribución se realiza de la siguiente manera: Una etapa Rougher o desbastadoras que viene a ser el inicio del circuito de flotación, el cual recupera la mayor cantidad de valores, esta a su vez puede subdividirse en Rougher I y II, el número de celdas está seleccionada con base en la velocidad de flotación de los valores valiosos. Una etapa Scavenger o agotadores, son las últimas celdas de cualquier circuito y es donde se obtiene la recuperación máxima y, por lo tanto, esta influye en la recuperación global del circuito, también pueden subdividirse en Scavenger I y II. Etapa de limpieza, estas pueden ser tantas como lo requiera el mineral hasta alcanzar el grado óptimo; pueden ser primera, segunda, tercera o cuarta etapa de limpieza.

- Celda unitaria

Las celdas unitarias se instalan en el circuito de molienda/clasificación, con la finalidad de evitar la sobre molienda de los sulfuros de plomo evitando las pérdidas por lamio. El producto de estas celdas es generalmente un concentrado final con plomo una granulometría gruesa que ayuda en la obtención de una buena humedad del concentrado.

- Celdas de Rougher

Son alimentadas por el overflow de los hidrociclones de la molienda y tiene por finalidad recuperar la mayor cantidad de sulfuros valiosos en un tiempo en un tiempo determinado y con una calidad de concentrado provisional, esta es una etapa vital ya que de ella dependerá la calidad del concentrado final. A veces se usan dos etapas de flotación Rougher, dependiendo de la cinética de flotación de mineral, cada una con calidades de concentrado diferentes. El Rougher I más limpio que el Rougher II. Los cuales alimentan a las limpiezas en diferentes etapas.

- Celdas Scavenger

Son alimentadas con el relave de la flotación Rougher y son las últimas celdas del circuito cuya finalidad es la de captar los sulfuros que no se han podido flotar previamente; su concentrado es sucio y tienen que ser recirculados a la cabeza de flotación; constituyen conjuntamente con el *relave* de la primera limpieza. Esta etapa es netamente recuperadora, también, puede subdividirse en scavenger I y II dependiendo de la cinética de flotación del mineral.

- Celdas limpiadoras

Industrialmente opera a un pH superior a las otras etapas a fin de deprimir la pirita y su objetivo es netamente de concentración de la especie valiosa, se divide en varias etapas que pueden ser: primera, segunda, tercera y a veces cuarta limpieza, dependiendo de los contaminantes y la calidad del concentrado a obtener, en la última etapa de limpieza se obtiene el concentrado final.

- Remolienda

La función de esta etapa es la de liberar las partículas valiosas mixtas que han flotado en el Rougher y de este modo pasen con menos impurezas a formar parte del concentrado final.

1.6. Tipos de celdas de flotación

- Celdas mecánicas

Se caracterizan por tener un agitador mecánico que mantienen la pulpa en suspensión y dispersa con ayuda de aire de baja presión. A este tipo pertenecen las celdas: *agitair*, *denver*, *outokumpu*, *wemco*, *RCS*. La aireación en las celdas mecánicas puede realizarse por insuflación forzada de aire o por la acción succionadora del impulsor.

- Celdas neumáticas

Son máquinas de flotación que no tienen impulsor mecánico; la pulpa es agitada por aire comprimido. En este tipo de celdas ocurre un proceso en contra corriente, el alimento se introduce en la mitad de la columna y el aire es

insuflado por la parte inferior a través de un fondo poroso. Igualmente se añade agua de lavado por la parte superior, al nivel de espuma, el mineral al caer encuentra la burbuja. Las celdas columnas al igual que las de más celdas neumáticas, en general, presentan el problema de la obstrucción de los insufladores de aire o de los fondos porosos.

1.7. Equipos auxiliares

Son unos equipos que ayudan en el control de las operaciones: bombas, acondicionadores, analizador de flujo Courier, potenciómetro y los dosificadores de reactivos.

- **Bombas**

Son equipos que ayudan a transportar los flujos de pulpa de una etapa a la otra; siempre existen dos bombas una operando una *en stand by*, los cuales deben estar operativos.

- **Potenciómetros**

Ayudan a obtener el pH adecuado de la pulpa para llevar a cabo la flotación de los sulfuros valiosos, estos actúan automáticamente con el *loop* de cal, para mantener el pH constante.

- **Alimentadores de reactivos**

La dosificación de reactivos se inicia en los tanques de preparación, de los cuales son bombeados a los tanques de dosificación, de allí se dosifican los

reactivos con bombas peristálticas manteniendo un flujo constante y acorde a la necesidad del mineral.

- Acondicionadores

Son tanques de agitación que sirven para que los reactivos y la pulpa tengan tiempo suficiente para mezclarse con el fin de obtener una buena interacción entre ambos y lograr tener una buena performance metalúrgica.

- Aire de baja presión

La flotación por espumas requiere de aire a baja presión menor a 7 psi, dependiendo de las dimensiones de la celda de flotación. Y el alto flujo, este aire es producido por flotadores, con el aire se regula la altura del colchón de espumas.

- Courier

Es un analizador de muestras en línea o tiempo real, reportando análisis químicos cuantitativos por medio de rayos X (R_x). Las muestras de concentrados y *relaves* son captadas por muestreadores, los que envían al analizador con un flujo constante y estable, los cuales una vez procesados regresan al flujo correspondiente. Este analizador proporciona información importante cada determinado periodo lo que permite tomar acciones inmediatas evitando pérdida de valores.

2. CONCEPTO DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

2.1. Mantenimiento industrial

El mantenimiento se puede definir como el control constante de las instalaciones o de los componentes, así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general. Por lo tanto, las tareas de mantenimiento se aplican sobre instalaciones fijas móviles, sobre equipos y maquinarias, sobre edificios industriales, comerciales o de servicio específicos, sobre las mejoras introducidas al terreno y sobre cualquier otro tipo de bien productivo. El objetivo final del mantenimiento industrial se puede sintetizar en los siguientes puntos:

Evitar, reducir y en su caso reparar los fallos sobre los bienes.

Las actividades de un departamento de mantenimiento se clasifican en: inspecciones, rutinas, reparaciones, cambios y modificaciones. En seguida se examina cada una.

- Inspección

Consiste en la conservación de los recursos, con objeto de obtener información sobre su estado físico o de su funcionamiento.

- Rutinas

Son los trabajos de preservación y mantenimiento que es necesario realizar periódicamente para obtener buena apariencia, duración y funcionamiento del recurso.

- Reparaciones

Son los trabajos efectuados para corregir los daños que haya tenido un recurso o los defectos de fabricación que registre el mismo o una de sus partes.

- Cambios

Consiste en sustituir una máquina o componente, que por cualquier concepto haya dejado de ser fiable, por otro exactamente igual, pero en buenas condiciones de funcionamiento.

- Modificaciones

Son los trabajos que se realizan para reformar el diseño o las propiedades físicas de los recursos, con el fin de eliminar fallas repetitivas originadas por su diseño o fabricación defectuosa.

2.2. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento se divide en dos ramas: mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo.

- Mantenimiento correctivo

Es la actividad humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa, cuando a consecuencia de una falla han dejado de proporcionar la calidad de servicio esperada. Este tipo de mantenimiento se divide en dos ramas: correctivo contingente y correctivo programable.

- Correctivo contingente

El mantenimiento correctivo contingente se refiere a las actividades que se realizan en forma inmediata, debido a que algún equipo que proporciona servicio vital ha dejado de hacerlo, por cualquier causa, y se tiene que actuar en forma emergente y, en el mejor de los casos, bajo un plan contingente. Las labores que en este caso deben realizarse, tienen por objeto la recuperación inmediata de la calidad de servicio; es decir, que esta se coloque dentro de los límites esperados por medio de arreglos provisionales; así el personal de mantenimiento debe efectuar solamente trabajos indispensables, que evita arreglar otros elementos de la máquina o hacer trabajo adicional, que quite tiempo para volverla a poner en funcionamiento con una adecuada fiabilidad que permite la atención complementaria cuando el mencionado servicio ya no se requiera o la importancia de este sea menor y, por lo tanto, al ejecutar estos trabajos se reduzcan las pérdidas.

- Correctivo programable

El mantenimiento correctivo programable se refiere a las actividades que se desarrollan en los equipos o máquinas que están proporcionando un servicio trivial y este, aunque necesario, no es indispensable para dar una buena calidad de servicio, por lo que es mejor programar su atención, por cuestiones

económicas; de esta forma, puede compaginarse si estos trabajos con lo programado de mantenimiento o preservación.

- Mantenimiento preventivo

Esta es la segunda rama del mantenimiento; se define como: la actividad humana desarrollada en los recursos físicos de una empresa, con el fin de garantizar que la calidad de servicio que estos proporcionan, continúe dentro de los límites establecidos. Con esta definición se concluye que toda labor de conservación que se realice con los recursos de la fábrica, sin que dejen de ofrecer la calidad de servicio esperada, debe catalogarse como mantenimiento preventivo. Este tipo de mantenimiento siempre es programable y existen en el mundo muchos procedimientos para llevarlo a cabo, pero un análisis de estos proporciona cinco tipos bien definidos, los cuales siguen un orden de acuerdo con su grado de fiabilidad, la cual se relaciona en razón directa con su costo.

- Tipos de mantenimiento preventivo

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento periódico
- Mantenimiento analítico
- Mantenimiento progresivo
- Mantenimiento técnico

- Mantenimiento predictivo

Se define como un sistema permanente de diagnóstico que permite detectar con anticipación la posible pérdida de calidad de servicio que esté entregando un equipo. Esto da la oportunidad de hacer con el tiempo cualquier

clase de mantenimiento preventivo y, si se entiende adecuadamente, nunca se pierde la calidad del servicio esperado. En este tipo de mantenimiento, los trabajos efectuados preceden de un diagnóstico permanente derivado de inspecciones continuas utilizando transductores, que tienen la propiedad de cambiar cualquier tipo de energía, en señales de energía eléctrica, las cuales son enviadas a una unidad electrónica procesadora que analiza e informa del buen o mal estado de funcionamiento de la máquina.

En este tipo de mantenimiento requiere, para su aplicación, de un estudio profundo del recurso que se va a mantener para conocer sus partes vitales, su tiempo de vida útil y la calidad de servicio que se espera de cada una de ellas, así como de su conjunto, con objeto de colocar los transductores en los lugares idóneos y ajustarlos a la norma y tolerancia para que todas las variaciones que estos registren sean enviadas a la unidad electrónica procesadora, en donde se puede obtener en tiempo real lo siguiente:

- Información sobre el proceso de la planta.
- Estadística.
- Diagnostico predictivo de funcionamiento.
- Cambio automático de elementos redundantes para salvaguardar la calidad del servicio.

- Mantenimiento periódico

Es un procedimiento de mantenimiento preventivo que, como su nombre o indica, es de atención periódica, rutinaria, con el fin de aplicar los trabajos después de determinadas horas de funcionamiento del equipo, en que se le hacen pruebas y se le cambian algunas partes por término de vida útil o fuera de especificación.

En este sistema, al recurso en etapa de conservación, se le da una atención rutinaria durante largo tiempo; al término de este, se le somete a un proceso llamado *overhaul* durante el cual se desarma, se limpian sus partes, se cambian las que han llegado al límite de vida útil, acusen o no deficiencias, y las restantes se revisan minuciosamente, en algunos casos con rayos X (R_x) o pruebas sofisticadas, dependiendo del grado de fiabilidad que se espera de la máquina; después se cambian o reparan las partes deficientes restantes, se arma el conjunto se prueba hasta obtener la seguridad de un buen funcionamiento, entregándose el recurso rehabilitado al usuario para obtener su aceptación.

Para lograr esto, es necesario hacer una planeación previa concienzuda, auxiliándose no solamente con la información proporcionada por el fabricante, también, con las estadísticas de fallas, los trabajos que anteriormente se le han hecho, el punto de vista del personal de conservación y de operación que conoce el recurso, en fin toda información que ayude a aplicar la ingeniería de fiabilidad no solamente en el conjunto del recurso, también, de sus partes o subsistemas, a fin de determinar su importancia y probabilidad de falla.

- Mantenimiento analítico

Este tipo de mantenimiento se basa en una análisis profundo de la información proporcionada por captadores y sensores dispuestos en los sitios más convenientes de los recursos vitales e importantes de la empresa, de tal manera que por medio de un programa de visitas, y pueden ser inspeccionados con la frecuencia necesaria para anotar los datos y las lecturas resultantes, las cuales la revisan un analista combinándolas con la información que para el efecto, tiene en el banco de datos relativos al recurso, tal como el tiempo que ha estado trabajando sin que se produzcan una falla, la carga de trabajo a que

está sujeto, las condiciones del ambiente en donde está instalado, la cantidad y tipos de falla que ha sufrido, etc.

Con esta información está en posibilidades de aplicar sus conocimientos en ingeniería de fiabilidad para calcular la probabilidad que tiene el recurso de sufrir una falla. Cuando el analista corrobora con estos estudios, que el recurso debe ser atendido, ya que está próximo a fallar, ordena los trabajos que, a su juicio, pueden rehabilitar el recurso hasta su grado de fiabilidad esperando, los cuales deben ser realizados cuando el recurso tiene un tiempo ocioso, por lo que, en repetidas ocasiones, debe tenerse a mano una máquina redundante para lograrlo. Es conveniente notar que, en este tipo de mantenimiento, no se interviene el recurso periódicamente, sino hasta el momento en que el análisis lo indique. Le sigue en calidad de fiabilidad y menor costo al mantenimiento periódico.

- Mantenimiento progresivo

Como su nombre lo indica, este tipo de mantenimiento consiste en atender al recurso por partes, progresando en su atención cada vez que se tiene oportunidad de contar con un tiempo ocioso de este. El mantenimiento progresivo que es el menos costoso es el que menos fiabilidad proporciona.

- Mantenimiento técnico

Este es una combinación de los criterios establecidos para el mantenimiento periódico y para el progresivo; es decir, mientras en el mantenimiento periódico le tiene necesidad de contar con que el recurso tenga un tiempo ocioso suficiente para repararlo, o en su defecto, tener un recurso de reserva; y en el mantenimiento progresivo se está prácticamente a la

expectativa de tiempos ocioso cortos, que coincidan aproximadamente con las fechas programadas, en el mantenimiento técnico se atiende al recurso por partes, progresando en él cada fecha programada, la cual está calculada por un analista auxiliándose de la información necesaria para conocer el grado de fiabilidad del equipo y poder deducir el tiempo por fallar de cada etapa, con lo cual su programación o rutina de atención obligaría a atender al recurso un poco antes del mencionado tiempo.

El mantenimiento preventivo técnico sigue en calidad de fiabilidad y costo al mantenimiento analítico. Por estas causas, la diferencia primordial que existe entre el mantenimiento técnico y el progresivo es que este está a la espera de tiempos ociosos generalmente cortos y aleatorios, mientras que el mantenimiento técnico, aunque sus tiempos sean cortos, están programados y es obligatorio para el personal de producción ceder equipo según la programación.

En síntesis, el mantenimiento preventivo, en general, es el uso unitario o combinado de los cinco sistemas de mantenimiento anteriormente definidos, además de que existe la posibilidad de ser aplicados en combinación con la conservación contingente; por ejemplo, cuando algún recurso vital o importante pierde su calidad de servicio y se estima que tardará mucho tiempo para recuperarla permite hacer algunos trabajos progresivos, atendiendo las partes del recurso que se consideran prioritarios y utilizando personal, herramienta y materiales que no estén destinados para el plan de contingencia. Esta forma de atención se recomienda para recursos vitales o importantes que, aunque ya está planeado conservarlos con sus rutinas especializadas y exigentes, deben tener además un plan de mantenimiento progresivo para que, como mencionamos, sea aplicado en algún paro largo, pues basta hacer los trabajos

de más próxima programación, siempre y cuando el tiempo necesario sea menor que el tiempo requerido para atender el plan de contingente.

Los trabajos de mantenimiento preventivo deben ser aplicados exclusivamente a los recursos vitales e importantes de la empresa, con el objeto de obtener resultados eficaces y económicos; para estos es necesario que las rutinas sean elaboradas considerando el grado de fiabilidad que, con respecto al servicio, se espera del recurso analizado, pero, en todos los casos, al hacer una rutina se debe tomar en cuenta los factores de riesgo. En resumen existen dos tipos de mantenimiento: el que corrige la calidad de servicio cuando este se pierde, mantenimiento correctivo; y el que prevé que dicha calidad no se pierda, mantenimiento preventivo.

2.3. Conceptos básicos de seguridad industrial

A continuación se describen los conceptos básicos de seguridad industrial.

2.3.1. Reglas de seguridad

- Leer todos los letreros de advertencia, precaución e instrucciones.
- Nunca lubricar el equipo mientras está en movimiento.
- No retirar las guardas, cubiertas ni los protectores mientras el equipo esté en operación.
- Reemplazarlas después de realizar ajustes o mantenimiento.

- Siempre establecer un bloqueo seguro de la fuente de poder involucrada antes de dar mantenimiento, limpiar, ajustar o reparar el equipo. Asegurar el bloqueo de la fuente de poder para evitar que el resto de personal prenda el equipo.
- Bloquear las piezas que sean necesarias para evitar movimientos imprevistos mientras se realiza el mantenimiento, los ajustes o las reparaciones.
- No intente retirar productos atascados u otros objetos que bloqueen el equipo mientras esté en operación. Apagar el equipo y bloquear el suministro eléctrico antes de hacerlo.
- Usar dispositivos adecuados de protección auditiva siempre que el nivel de ruido esté por encima de los límites aceptables.
- Usar una máscara apropiada de protección respiratoria cuando el polvo y las emanaciones estén por encima de los límites aceptables.
- Usar gafas de protección ocular o gafas de seguridad adecuadas con protectores laterales para evitar que las partículas voladoras penetren a los ojos.
- Es buena idea tener casco en todas las instalaciones y en la mayoría son un requisito.
- Mantener hábitos de trabajo seguro usando la vestimenta adecuada. No usar mangas flojas, pelo suelto, abrigos largos, relojes, brazaletes ni

herramienta de bolsillo. No usar zapatos de suela delgada para evitar resbalarse.

- Siempre revisar alrededor del equipo antes de prenderlo para asegurarse de que no haya personal cerca de las piezas móviles haciendo ajustes o realizando mantenimiento, Estar consiente de dónde están sus colegas de trabajo.
- Reportar la maquinaria defectuosa y las condiciones seguras ante su jefe inmediato.
- Cuídarse la espalda. Si la carga es mayor a su capacidad de carga, obtener ayuda o usar procedimiento de levantamiento adecuados. Usar los músculos de sus piernas para levantar, no su espalda. Mantener la carga cerca de su cuerpo. Evitar los movimientos que impliquen torcer o los alargamientos excesivos cuando esté trasladando carga.
- Sobre todo, conocer el equipo. Comprender la maquinaria y las condiciones en las que opera.
- No limitar la seguridad únicamente a estas generales.

2.3.2. Seguridad en el área de trabajo

- Mantener el área de trabajo ordenada y limpia.
- Mantener todos los letreros de advertencia y precaución limpios y actualizados.

- Asegurarse de que todo el equipo eléctrico tenga la conexión a tierra adecuada. Los puntos húmedos cerca de las corrientes eléctricas son peligrosos.
- Almacenar los materiales peligrosos en áreas de acceso restringido y márkelos claramente.
- Asegurarse de que haya suficiente ventilación para operar los motores de manera segura. No prender los motores en espacios cerrados sin escapes ventilados adecuadamente.
- No fumar ni permitir que se fume cerca de los combustibles o solventes inflamable. Usar solventes no inflamable para limpiar las piezas y el equipo siempre que se posible.
- Evitar las chispas eléctricas y la estática y cualquier flama abierta electrolitos de batería, fluido hidráulica o refrigerante.
- Revisar con linternas u otro equipo que no haya fugas en los tanques o las tuberías. Nunca usar una flama abierta para revisar que no haya fugas.
- Saber dónde están ubicados los extintores y el resto del equipo de supresión de incendios. Aprender a usarlos correctamente.
- Estar alerta cuando esté cerca de cualquier sistema presurizado, hidráulico o neumático. Los gases y aceites a alta presión pueden ser muy peligrosos.

2.3.3. Seguridad del equipo y las herramientas

- Limpiar y etiquetar todas las herramientas adecuadamente. Reemplazar la herramienta que no está en condiciones de usarse.
- Siempre usar equipo de izado para las cargas pesadas. Revisar regularmente los ganchos, cables, grilletes y las silingas en busca de señales de desgaste. Nunca rebasar la capacidad de levantamiento de los aparejos, grúas ni los dispositivos de levantamiento.
- Mantener el equipo limpio y libre de polvo y grasa para que pueda ser revisado en busca de piezas sueltas, agrietadas o rotas. Reemplazar las piezas defectuosas.

2.3.4. Permisos de trabajo

Para realizar tareas de mantenimiento dentro de un complejo industrial, donde el hombre sea la fuerza de trabajo y permanezca en ellos para desarrollar su actividad, es necesario tomar las medidas de seguridad y precauciones de tal manera de garantizar la integridad del personal y los equipos. Para lograr este objetivo es obligatorio llenar un documento que permita, mediante una secuenciación de las tareas a realizar, listar e identificar los riesgos aportados por los trabajos y los propios del área de trabajo. Antes de iniciar cualquier tipo de trabajo hay que obtener el correspondiente permiso de trabajo el cual se tramitará en una zona definida previamente. A continuación, se detalla los permisos y procedimientos más utilizados:

- Bloqueo y etiquetado
- Análisis de trabajo seguro
- Permiso para trabajo en espacio confinado

- Permiso para trabajos en caliente
- Permisos para trabajos en alturas
- Permisos de izare con grúa móvil
- Permiso para maniobras con grúas puentes o fijas

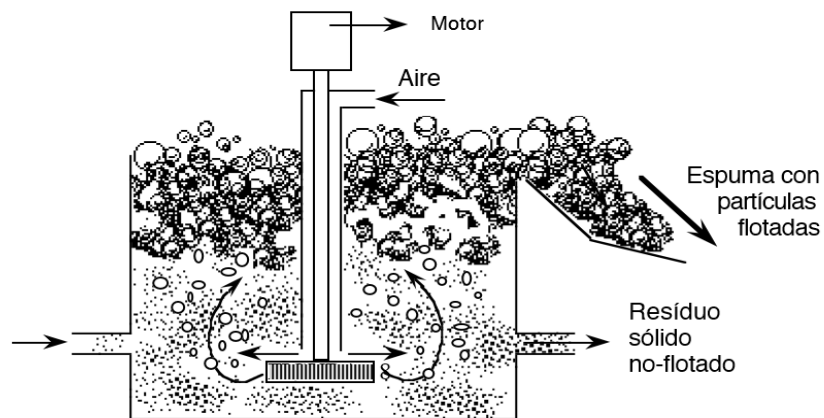
3. PROPUESTA DE PROGRAMA PEVENTIVO PARA CELDA DE FLOTACIÓN FL50

3.1. Análisis del uso de la celda de flotación FL50

El tipo de celda más clásico es aquel que comprende un recipiente de tipo cilíndrico, a menudo con deflectores en las paredes. Al centro se ubica un sistema de agitación por turbina que produce un movimiento centrífugo de la dispersión sólido-líquido y, por lo tanto, una baja presión en la vecindad del eje.

Un tubo concéntrico o cualquier otro dispositivo permite que el aire esté aspirado cerca del centro del recipiente. El aire aspirado pasa a la zona turbulenta y forma burbujas. A menudo el agitador posee un sistema de rotor-estator que funciona a la vez por impacto y por cizallamiento para dividir el aire.

Figura 1. Estructura básica de la celda de flotación



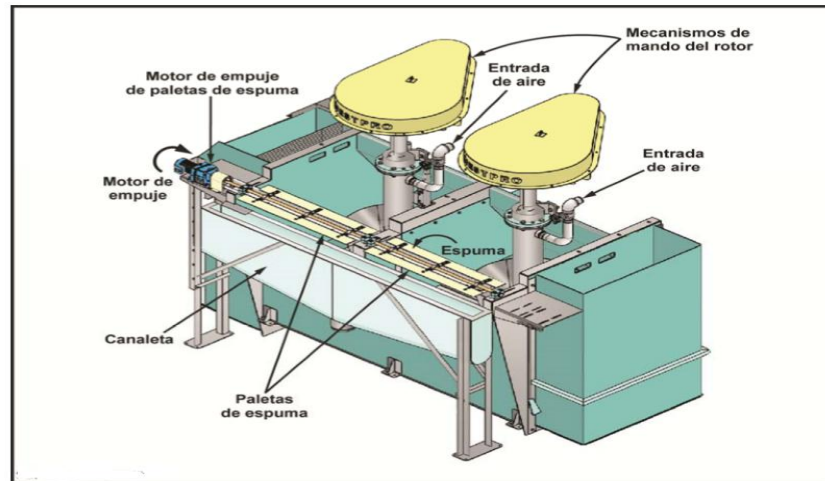
Fuente: elaboración propia.

En estos sistemas se obtienen burbujas del tamaño del orden 0,5 a 2 mm. La zona de espumas puede mantenerse más o menos alta para permitir un drenaje notable del líquido para retornar a la celda, o hacia la celda anterior si se trata de un proceso multietapas.

En los casos en que se deben flotar partículas poco densas, aglomeradas coloidales frágiles o semejantes, como en los procesos de floculación, las celdas deben diseñarse para promover un contacto suave con burbujas muy pequeñas. Las celdas poseen una forma alargada semejante a los sedimentadores o a los deshidratadores, en los cuales la velocidad lineal es muy baja. Cerca de la entrada, o por lo menos en esta zona, se producen las burbujas de aire.

El proceso más clásico es el de llamado aire disuelto. Consiste en saturar una corriente de agua con aire bajo presión y hacerlo pasar por un proceso de expansión a través de una boquilla o una válvula de aguja. Así se producen burbujas muy finas que dan al líquido un aspecto lechoso, estas burbujas suben lentamente. Existen varios aparatos y procesos de dilución y expansión.

Figura 2. **Celda de flotación FL 50 Wespro**



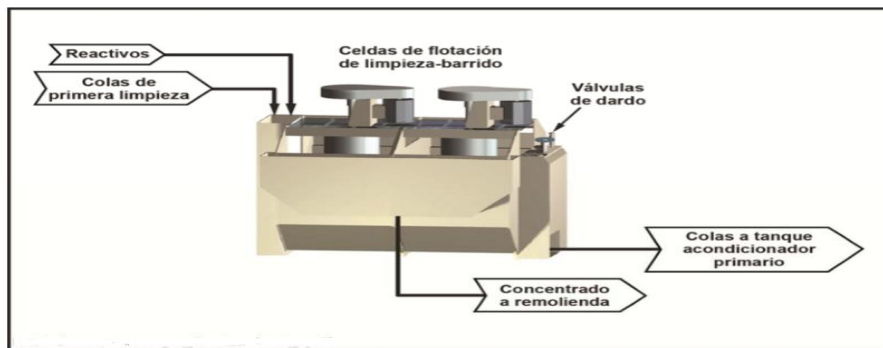
Fuente: elaboración propia.

Cada una de estas celdas tiene un volumen de 5 m^3 y está equipada con un rotor impulsado por un motor de 20 hp. Se inyecta aire de flotación a baja presión, suministrado por sopladores de aire de flotación, dentro de las celdas a través de los ejes de los rotores. La descarga de pulpa desde cada banco de celdas se controla mediante dos válvulas de dardo. Una de las válvulas de dardo posee un actuador neumático que posiciona la válvula. La otra se posiciona manualmente con un volante de mano. Esta válvula normalmente está de reserva. Sin embargo, también puede dejarse en una posición parcialmente abierta con la válvula operada neumáticamente funcionando como un compensador. Cada banco está equipado con un sensor de nivel que proporciona la entrada a un controlador de nivel para posicionar la válvula de dardo operada neumáticamente y controlar el nivel en el banco de flotación.

3.2. Estructura de la celda de flotación FL50

La flotación ocurre a medida que la acción del rotor y el aire forzado mezclan aire y pulpa, creando burbujas de espuma que suben a la parte superior de la celda llevando minerales valiosos. La espuma, de varios centímetros de profundidad, se forma en la parte superior de la celda. La espuma contiene los minerales de plomo al igual que algo de ganga. Algo de esta ganga cae devuelta dentro de la pulpa a medida que el agua dreña de la espuma, u algo se mantiene en la espuma. El flujo de la espuma desde las celdas dentro de las canaletas del banco se ve acelerado por las paletas de espuma, la cual gira y empuja la espuma dentro de la canaleta.

Figura 3. Arreglo de celda de flotación



Fuente: elaboración propia.

Si fuese deseable debido a requerimiento metalúrgico o de mantenimiento, una válvula de dardo en la canaleta de flotación permite derivar el concentrado de limpieza y barrido. El concentrado derivado fluye por gravedad dentro de la bomba de alimentación del tanque acondicionador primario.

La flotación de limpieza y limpieza-barrido de plomo y zinc se estructura de la siguiente forma:

- Sopladores de aire de la planta flotación.
- Receptores de aire de instrumentación de la planta de flotación.
- Tanque acondicionador de primera limpieza de plomo y zinc.
- Celdas de flotación de primera limpieza de plomo y zinc.
- Cajón distribuidor de bombas de alimentación de segunda limpieza de plomo y zinc.
- Bombas de alimentación de tercera limpieza de plomo y zinc.
- Celdas de flotación de tercera limpieza de plomo y zinc.
- Cajón de alimentación de muestreados de alimentación del espesor de concentradores de plomo y zinc.
- Bombas de alimentación del espesado de concentrado de plomo y zinc.
- Celdas de flotación de primera limpieza-barrido de plomo y zinc.
- Sumidero de colas de primera limpieza-barrido de plomo y zinc.
- Bombas de colas de primera limpieza-barrido de plomo y zinc.
- Mostradores de colas de primera limpieza-barrido de plomo y zinc.
- Cajón distribuidor del muestreado de colas de primer limpieza-barrido de plomo y zinc.
- Bomba de alimentación de acondicionamiento primario de plomo y zinc.
- Cajón distribuidor del tanque acondicionador primario de plomo y zinc.
- Muestreados de flotación.
- Bombas de entrega de muestras.
- Multiplexores de muestreos.
- Analizadores de rayos X.
- Bombas de retorno de muestras de segunda de plomo y zinc.

Se utiliza un proceso de flotación para recuperar el plomo y zinc del mineral. El plomo se recupera en forma de concentrado de plomo de alto valor, con cantidades significativas de oro y plata. El zinc se recupera en forma de un concentrado de zinc de menor valor, con cantidades menores de oro y plata. Los valores de oro y plata sólo pueden ser removidos a través del procesamiento adicional del plomo y zinc.

Tabla I. **Celdas de flotación de limpieza y limpieza-barrido**

Sección de flotación	Cantidad de celdas de flotación	Tamaño de celda
Primera limpieza	5	5 metros cúbicos
Primera limpieza-barrido	2	5 metros cúbicos
Segunda limpieza	6	1,5 metros cúbicos
Tercera limpieza	3	0,75 metros cúbicos

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Los procesos de limpieza y limpieza-barrido de plomo y zinc mejoran la pulpa de sobre flujo de los ciclones a través de tres etapas de flotación de limpieza y una etapa de flotación de limpieza-barrido.

concentrado barrido generalmente es de muy baja ley y habitualmente se limpia bajo condiciones diferentes a las del concentrado primario de flotación más rápida. De la misma forma, las colas de la etapa de limpieza generalmente contienen una cantidad significativa de mineral valioso y ellas, también, son barridas antes de ser recirculadas de regreso al tanque acondicionador. El barrido de colas de la etapa de limpieza se le conoce como la etapa de limpiebarrido. El porcentaje de un elemento valioso recuperado como concentrado de alimentación se denomina recuperación.

La ley de concentrado es el porcentaje del concentrado que constituye un elemento valioso. Si la recuperación aumenta durante una etapa de flotación, la ley del producto disminuye y viceversa. Las celdas de flotación primaria operan para obtener una alta recuperación, con la ley como objetivo secundario con la ley como objetivo secundario. Las celdas de flotación de limpieza operan con la ley como un objetivo primario y la recuperación como un objetivo secundario. Aunque sería ideal que todos los minerales que contienen metal estuvieran en el concentrado y ninguno en colas, ningún proceso es perfecto; parte de los minerales con metal se pierden con las colas. La recuperación es un término que indica cuántos de los metales valiosos son realmente recuperados en el concentrado comparado con cuánto estuvo contenido originalmente en la alimentación del concentrador.

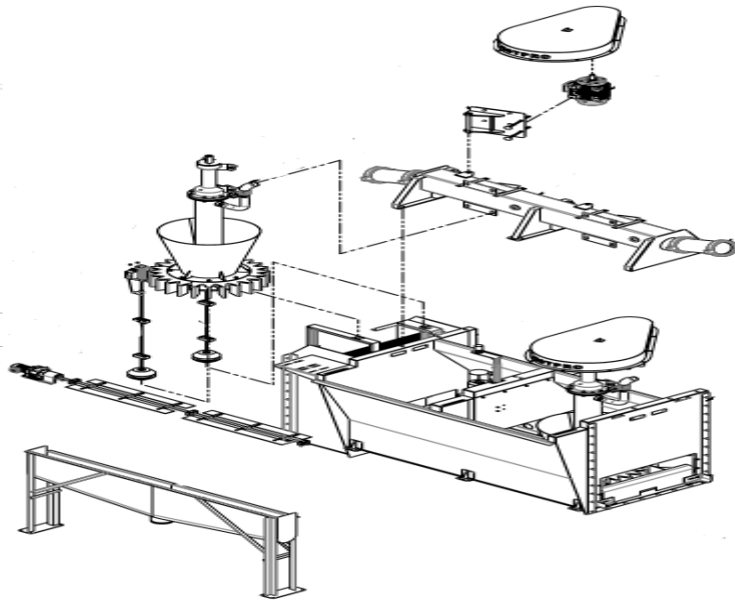
El proceso de flotación es muy eficiente, pero no perfecto, es por eso que se debe tener un programa de mantenimiento para las celdas FL50 donde su disponibilidad y confiabilidad la podamos garantizar.

3.3. Listado de partes y componentes de celda flotación FL50

- Tanque de celda de flotación con revestimiento laterales de caucho

- Caja de alimentación
- Sistema de control de nivel
- Válvula de dardo manual
- Válvula de dardo neumática
- Puerto de inspección
- Conjunto de transmisión de correa en V
- Sistema de paletas de espumas
- Placa deflectora
- Caja de descarga
- Mecanismo para agitación
- Motor 1HP/1750rpm/3ph/60hz/460V
- Motor 20HP/1200rpm/3ph/60hz/460V

Figura 5. **Principales componentes de celda de flotación FL50**



Fuente: elaboración propia.

3.3.1. Identificar piezas de desgaste

Para la celda de flotación FL50, las piezas de desgaste son:

- Fajas de transmisión
- Difusor
- Impulsor
- Placa de desgaste
- Dardo
- Sello del dardo
- Bloque de guía del dardo
- Paleta de espuma

3.3.2. Determinar frecuencia de cambio de piezas de desgaste

Para la celda de flotación FL50 se estipula en el manual de mantenimiento una forma de conocer su condición para realizar los cambios de pieza de desgaste que se hace con base en las horas de operación. El manual de operación recomienda una inspección visual a cada 3 000 horas de operación para verificar las condiciones y 6 480 horas de operación para el cambio de las piezas de desgaste.

3.4. Propuesta de cambio programado de piezas de desgaste

Para este control se propone una hoja en Excel; a través de la alimentación diaria de datos de horas operadas por equipo, proyecta las fechas de las siguientes inspecciones: registra el acumulado de cada día para que se pueda conocer el tiempo de operación a una fecha determinada, de forma

anticipada, alerta al usuario que se debe realizar inspecciones del equipo antes de alcanzar la proyección del cambio en fecha y horas de operación.

3.4.1. Programa de cambio de piezas de desgaste

En el control de datos se muestra el cuadro en Excel que se alimenta diariamente a partir de datos del reporte diario de horas de operación del equipo. En este cuadro se registran los datos de horas operativas en las celdas de flotación durante las últimas 24 horas constituidas por el turno diurno y nocturno. Tiene la funcionalidad de marcar las casillas con formato condicional, el total de horas de operación en cada celda de flotación FL50 antes de alcanzar el límite que indica la necesidad de inspección y/o cambio de piezas de desgaste. Este cuadro se acopla a las distintas fechas cuando se realizan las inspecciones y/o cambios de piezas de desgaste para reiniciar el contador de horas de operación.

Tabla II. Control de datos de horas de operación

Numero de Tag	Equipo	Horas de operación	Valor 1 (horas)	Valor 2 (minutos)	total horas	Fecha
400FC035	Celda de flotación 2nd limpieza de plomo	Horas/minutos	0	0	0	01-ene
400FC036	Celda de flotación 2nd limpieza de zinc	Horas/minutos	0	0	0	01-ene
400FC039	Celda de flotación 1st limpieza de plomo	Horas/minutos	0	0	0	01-ene
400FC040	Celda de flotación 1st limpieza de zinc	Horas/minutos	0	0	0	01-ene
400FC044	Celda de flotación 1st de limpieza-barrido de plomo	Horas/minutos	0	0	0	01-ene
400FC045	Celda de flotación 1st de limpieza-barrido de zinc	Horas/minutos	0	0	0	01-ene

400FC035	400FC036	400FC039	400FC040	400FC044	400FC045
0	0	0	0	0	0
Útil	Útil	Útil	Útil	Útil	Útil

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.4.2. Establecer número de cambios y costo

Se propone una tabla de proyección de inspección y cambio de piezas de desgaste que muestra las fechas proyectadas para la inspección y el cambio de

piezas de desgaste. En total se proyectan la siguiente cantidad de inspecciones y cambios de piezas de desgaste:

- 3 inspecciones anuales
- 1 cambio de piezas de desgaste cada 9 meses
- Costo: Q 149 912,05

Tabla III. **Costo (Q) de piezas de desgaste**

Pieza de desgaste	Precio Q
Campana de aire con abrazadera	4 696
Asiento de dardo	583
Faja de transmisión	684
Block de UHMW para guia de bastago	285
Dardo de flotación FL50	4 711
Difusor FL50	10 437
Impulsor FL50	11 861
Mecanismo completo FL50	113 867
Paleta de espuma FL50	1 123
Total	148 247

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Se propone el recuadro de proyección para inspección y/o cambio de piezas de desgaste, para la fecha de un año calendario; se toma en cuenta que si se realiza la inspección y/o cambio de piezas de desgaste antes o después por motivos de operación de la celda, el programa proyecta la siguiente fecha de inspección o cambio a partir de la fecha real de la última inspección o cambio de piezas de desgaste.

Tabla IV. **Proyección de inspección y/o cambio de piezas de desgaste**

Equipo	Dias	H.O/día	H.O/mes	Descripción	AÑO CALENDARIO											
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
400FC035	365	24	720	Celda de flotación 2nd limpieza de plomo			30-mar			30-jun			30-sep			30-dic
400FC036	365	24	720	Celda de flotación 2nd limpieza de zinc			30-mar			30-jun			30-sep			30-dic
400FC039	365	24	720	Celda de flotación 1st limpieza de plomo			30-mar			30-jun			30-sep			30-dic
400FC040	365	24	720	Celda de flotación 1st limpieza de zinc			30-mar			30-jun			30-sep			30-dic
400FC044	365	24	720	Celda de flotación 1st de limpieza-barrido de plomo			30-mar			30-jun			30-sep			30-dic
400FC045	365	24	720	Celda de flotación 1st de limpieza-barrido de zinc			30-mar			30-jun			30-sep			30-dic

Estimación de duración de piezas de desgaste			
Equipo	Dias	H.O. Inspeccion	H.O. Cambio
400FC035	365	125	270
400FC036	365	125	270
400FC039	365	125	270
400FC040	365	125	270
400FC044	365	125	270
400FC045	365	125	270

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.4.2.1. Establecer costos de mantenimiento preventivo

En la tabla que a continuación se presenta se muestran los costos asociados a los repuestos que van relacionados al cambio de piezas de desgaste. Es necesario cambiarlos para garantizar la disponibilidad de la celda y aprovechar que se vacía toda la celda de flotación FL50 en un paro programado de 16 horas. Se incluye la lubricación y el cambio de aceite.

Tabla V. **Costo del mantenimiento de la celda de flotación FL 50**

Ítem	Pieza	Costo	Cantida utilizada	Cantid de cambios	Costo por cambio	Presupuesto anual de cambios
1	Cojinete NU222 ECM/C3	Q 3 298,08	1	4	Q 3 298,08	Q 13 192,32
2	Cojinete 23134EIA M C3	Q 9 032,82	1	4	Q 9 032,82	Q 36 131,28
3	Sello de laberinto HAR-018-01	Q 741,35	1	2	Q 741,35	Q 1 482,70
4	Sello de laberinto HAR-017-01	Q 741,35	1	2	Q 741,35	Q 1 482,70
5	Cojinete 6210-2Z	Q 117,41	2	4	Q 234,82	Q 939,28
6	Cojinte 6310-2Z-C3	Q 239,7	2	4	Q 479,4	Q 1 917,60
7	Aceite Mobil SCH 630	Q 1 434,75	1	1	Q 1 434,75	Q 1 434,75
8	Grasa Mobil SCH 460	Q 2 518,25	1	1	Q 2 518,25	Q 2 518,25
Total						Q 58 098,88

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.5. Stock de repuesto recomendados

Se realiza la siguiente tabla donde se recomienda el *stock* de repuestos para tener durante un año calendario para garantizar que cuando se programe una inspección y/o cambio de piezas de desgaste se tengan los repuestos disponibles en almacén.

Tabla VI. Stock de repuestos recomendados

No. de parte	Descripción	Unidad de medida	Punto de Reposición	Cantidad a reordenar	Cantidad inicial
BEA-D06-01	Cojinete NU222 ECM/C3	Pz	1	2	3
BEA-D05-01	Cojinete 23134EIA M C3	Pz	1	2	3
HAR-018-01	Sello de laberinto HAR-018-01	Pz	1	1	2
HAR-017-01	Sello de laberinto HAR-017-01	Pz	1	1	2
6210-2Z	Cojinete 6210-2Z	Pz	1	2	3
6310-2Z-C3	Cojinte 6310-2Z-C3	Pz	1	2	3
SCH 630	Aceite Mobil SCH 630	Tonel	0	1	1
SCH 460	Grasa Mobil SCH 460	Cubeta	0	1	1
FLX22P-015-01	Campana de aire con abrazadera	Pz	1	2	3
FLX224P-007-01	Asiento de dardo	Pz	1	2	3
BEL-001-07	Faja de transmisión	Pz	1	2	3
FLX24P-085-01	Block de UHMW para guía de bastago	Pz	1	2	3
FLX24P-006-08	Dardo de flotación FL50	Pz	1	2	3
FLX22P-011-01	Difusor FL50	Pz	1	2	3
FLX22P-012-01	Impulsor FL50	Pz	1	2	3
FLX22A-032-01-C1	Mecanismo completo FL50	Pz	0	1	1
FLX24A-043-01	Paleta de espuma FL50	Pz	1	2	3

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.5.1. Propuesta de punto de reposición y cantidad a reordenar

Para garantizar la cantidad de existencia de los repuestos necesarios, recomendados en la tabla VI, se menciona el punto de reposición que determina el momento cuando será necesario realizar una nueva orden de pedido y la cantidad a reordenar, o la cantidad de repuestos a comprar para garantizar la existencia para los mantenimientos programados.

3.6. Rutinas e inspecciones de mantenimiento

En las siguientes figuras se muestran las tareas propuestas para el plan de mantenimiento preventivo para las celdas de flotación FL50. Se incluyen tareas que indica el manual de mantenimiento. El formato propuesto contempla otra información: nombre del equipo, frecuencia de las tareas, nombre del técnico, tiempo estimado, tiempo de ejecución e insumos.

3.6.1. Rutinas diarias

Están diseñadas para que los colaboradores realicen el chequeo diario, en el equipo y puedan detectar las distintas fallas que puedan existir.

Figura 6. Rutina de mantenimiento diario

Rutina de mantenimiento										Departamento de mantenimiento			
										Planificación			
Equipo: <input type="text" value="Celda de flotación FL50"/>										Frecuencia			
Función del Equipo: <input type="text"/>										Diaria <input checked="" type="checkbox"/>			
Componente: <input type="text"/>										Semanal <input type="checkbox"/>			
Prioridad: <input type="text"/> Programada: <input type="text"/>										Quincenal <input type="checkbox"/>			
Nivel de Mantenimiento: <input type="text"/> Asignada: <input type="text"/>										Mensual <input type="checkbox"/>			
Tarea: Inspeccionar Celda de flotación FL50													
Descripción detallada de las Tareas					Nota	SI	No	Tiempo Estimado	um	Materiales			
										Item	No Stock	Descripcion	Cantidad Requerida
1	Verificar el estado del tanque (fugas)							5.00	min				
2	Verificar el funcionamiento del control del nivel de dardo							5.00	min	1			
3	Verificar el funcionamiento del control de nivel de espuma							5.00	min	2			
4	Verificar el funcionamiento del nivel de espuma							5.00	min	3			
5	Verificar las condiciones del anclaje del tanque							5.00	min	4			
										5			
										Herramientas			
										Tiempo Total Estimado: 25.00 min			
Observaciones:													
Fecha _____ Realizado por _____ Fecha _____ Revisado por _____ Fecha _____ Aprobado por _____													

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.6.2. Rutina de mantenimiento semanal

Están diseñadas para complementar los chequeos diarios y detectar fallas mayores en el equipo y con esto programar en un mantenimiento mayor.

Figura 7. Rutina de mantenimiento semanal

Rutina de mantenimiento							Departamento de mantenimiento								
							Planificación								
Equipo : <input type="text" value="Celda de flotación FI 50"/>						Frecuencia									
Función del Equipo : <input type="text"/>						Diaria <input type="checkbox"/>									
Componente: <input type="text"/>						Semanal <input checked="" type="checkbox"/>									
Prioridad: <input type="text"/> Programada: <input type="text"/>						Quincenal <input type="checkbox"/>									
Nivel de Mantenimiento : <input type="text"/> Asignada: <input type="text"/>						Mensual <input type="checkbox"/>									
Tarea: Inspeccionar Celda de flotación FL50															
Descripción detallada de las Tareas				Nota	Si	No	Tiempo Estimado	um	Materiales						
									Item	No Stock	Descripción	Cantidad Requerida			
1	Aplicar grasa a bastagos de valvulas Dart						15.00	min							
2	Verificar la presencia de ruidos y vibraciones inusuales durante la operación de la celda						10.00	min	1						
3	Verifique que todas las tuercas, pernos y sujetadores no estén flojos						5.00	min	2						
4	Inspección de respiradero de deposito de aceite						5.00	min	3						
5	Verificar el nivel de aceite de caja reductora de palte de espuma de ser necesario nivelar						10.00	min	4						
6	Verificar que no haya fugas en tuberías y mangueras						10.00	min	5						
7	Verificar el estado de las paletas de espuma						15.00	min							
								min	Herramientas						
								min							
								min							
							Tiempo Total Estimado: 70.00 min								
Observaciones:															
Fecha			Realizado por			Fecha			Revisado por			Fecha		Aprobado por	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.6.3. Rutina de mantenimiento mensual

Estas rutinas están diseñadas para una mayor inspección y corregirlas si fuese necesario.

Figura 8. Rutina de mantenimiento mensual

Rutina de mantenimiento							Departamento de mantenimiento							
							Planificación							
Equipo : <input type="text" value="Celda de flotación FL50"/>							Frecuencia							
Función del Equipo : <input type="text"/>							Diaria ()							
Componente: <input type="text"/>							Semanal ()							
Prioridad: <input type="text"/> Programada: <input type="text"/>							Quincenal ()							
Nivel de Mantenimiento : <input type="text"/> Asignada: <input type="text"/>							Mensual (X)							
Tarea: Inspeccionar Celda de flotación FL50														
Descripción detallada de las Tareas					Nota	Si	No	Tiempo Estimado	um	Materiales				
										Item	No.Stock	Descripción	Cantidad Requerida	
1	Verificar el estado del acople de sistema de paleta de espumas						15.00	min						
2	Torqu岸 todos los tornillos del equipo						10.00	min		1				
3	Toma de vibraciones al equipo (captura de datos para historial)						10.00	min		2				
4	Calibración del posicionador de valvula dart						10.00	min		3				
5	Toma de mediciones de espesor de lamina del tanque						15.00	min		4				
6	Verificar el estado de los sellos de dardos (celda tiene que estar vacia)						10.00	min		5				
7	Verificar el estado de los sellos del cilindro del posicionador						15.00	min						
8	Verificar el estado de los ejes de las valvulas dart						10.00	min						
9	Verificar el estado y tension de las fajas de transmisión						10.00	min						
10	Toma de temperatura a motor electrico (puntos de cojinetes)						15.00	min						
								Tiempo Total Estimado:	120.00 min					
Observaciones:														
Fecha			Realizado por			Fecha			Revisado por		Fecha		Aprobado por	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.7. Estimación de costos del plan de mantenimiento preventivo

El costo es el indicador operativo más importante, permite medir el plan de mantenimiento diseñado. En las siguientes tablas se muestran las tareas de mantenimiento preventivo contempladas para la celda de flotación FL50. En

cada recuadro se incluye el personal correspondiente para su realización, el tiempo estimado de ejecución y el costo hora/hombre.

3.7.1. Asociar cantidad de personal a cada tarea

En la tabla VII se detalla la cantidad de personal que se necesitara para realizar las correcciones detectadas en las rutinas de mantenimiento.

Tabla VII. Horas/hombre para tareas de celda flotación FL50

ítem	Frecuencia	Tarea	Tiempo para ejecución horas	Mano de obra asociada			Costo Q
				Mecánico	Lubricador	Salario hora de técnico Q	
1	Diaria	Verificar el estado del tanque (fugas)	0.5 hrs	1		27.78	27.78
2		Verificar el funcionamiento del control del nivel de dardo		1		27.78	27.78
3		Verificar el funcionamiento del control de de nivel de espuma		1		27.78	27.78
4		Verificar el funcionamiento del nivel de espuma		1		27.78	27.78
5		Verificar las condiciones del anclaje del tanque		1		27.78	27.78
6	Semanal	Aplicar grasa a bastagos de valvulas Dart	1.2		1	12.78	12.78
7		Verificar la presencia de ruidos y vibraciones inusuales durante la operación de la celda		1		27.78	27.78
8		Verifique que todas las tuercas, pernos y sujetadores no estén flojos		1		27.78	27.78
9		Inspección de respiradero de deposito de aceite		1		27.78	27.78
10		Verificar el nivel de aceite de caja reductora de palte de espuma de ser necesario nivelar			1	12.78	12.78
11		Verificar que no haya fugas en tuberías y mangueras		1		27.78	27.78
12		Verificar el estado de las paletas de espuma		1		27.78	27.78
13	Mensual	Verificar el estado del acople de sistema de paleta de espumas	2	1		27.78	27.78
14		Torquear todos los tornillos del equipo		1		27.78	27.78
15		Toma de vibraciones al equipo (captura de datos para historial)		1		27.78	27.78
16		Calibración del posicionador de valvula dart		1		27.78	27.78
17		Toma de mediciones de espesor de lamina del tanque		1		27.78	27.78
18		Verificar el estado de los sellos de dardos (celda tiene que estar vacia)		1		27.78	27.78
19		Verificar el estado de los sellos del cilindro del posicionador		1		27.78	27.78
20		Verificar el estado de los ejes de las valvulas dart		1		27.78	27.78
21		Verificar el estado y tension de las fajas de transmisión		1		27.78	27.78
22		Toma de temperatura a motor electrico (puntos de cojinetes)		1		27.78	27.78
						Total	581,16

Salario aproximado por hora en planta concentrado de minerales
Mecánico Q 27,78
Lubricador Q 12,78

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

3.7.2. Establecer costos y beneficios

El costo de implementar el plan de mantenimiento preventivo para la celda de flotación FL50 se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Cambio de piezas de desgaste
- Rutinas de inspección y verificación
- Inventario de repuestos e insumos
- Rutinas de lubricación

Tabla VIII. **Resumen de costos de celda flotación FL50**

Celda de Flotación FL50	
Aspecto	Costo Q
Cambio de piezas de desgaste	Q 148 247
Rutina de mantenimiento diario	Q 582,16
Rutina de mantenimiento semanal	
Rutina de mantenimiento mensual	
Inventario de repuestos	Q 58 098
Rutinas de lubricación	Q 4 078
Total	Q 211 005,16

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Los beneficios de diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la celda de flotación FL50 se detallan a continuación:

- Garantizar la disponibilidad y confiabilidad de la celda de flotación FL50; esto se obtiene teniendo las tareas programadas e intervenir la celda en el momento indicado.
- Tener un costo estimado y presupuestarlo para garantizar la disponibilidad financiera para el funcionamiento óptimo de la celda.

- Se establece un historial y/o registros de las tareas específicas desarrolladas para el mantenimiento preventivo de la celda de flotación FL50.
- Mayor confiabilidad en la operación de la celda de flotación; el mantenimiento preventivo busca garantizar la disponibilidad ofrecida; sin un plan de mantenimiento preventivo, no se podría establecer un dato de tiempo de disponibilidad ya que no se tendría información de los trabajos que requieren ejecutar ni el tiempo.
- Conocer la cantidad de personal, repuestos e insumos necesarios para cada tarea establecida en el plan de mantenimiento.
- Se definen, planifican, asignan, controlan y monitorean las actividades de mantenimiento para la celda de flotación FL50.
- Tener la información necesaria para establecer los KPI.

4. ENSAYOS Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS A REALIZAR A LA CELDA DE FLOTACIÓN FL50

Como su nombre lo indica, las pruebas no destructivas son pruebas o ensayos de carácter no destructivo, que se realizan a los materiales: metales, polímeros, cerámicos o compuestos. Este tipo de pruebas, generalmente se emplea para determinar cierta característica física o química del material en cuestión.

4.1. Medición de los espesores de lámina en paredes del tanque principal de la celda FL50

El tanque de la celda de flotación está sujeto a desgaste y está protegido por un forro para el fondo y el costado. Entre las celdas, los ángulos de las esquinas de las alas pueden estar sujetas a desgaste. Es necesario programar a cada 2 160 horas de operación de la celda la medición del espesor de la lámina: 0,19 pulgadas de espesor.

Figura 9. **Efectos de corrosión en celda de flotación FL50**



Fuente: elaboración propia.

Se utiliza un medidor de espesores que es un dispositivo que indica rápidamente el espesor de los metales férricos y no férricos. Este medidor de espesores de materiales utiliza una sonda externa que envía las ondas ultrasónicas para que penetren en la lámina de la celda de flotación FL50 e indique el grosor actual de la lámina instalada.

Figura 10. **Medidor de espesores**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Análisis de aceite para caja reductora del sistema de paleta de espuma

El aceite limpio es la clave para una vida útil prolongada, una operación precisa, menores costos de mantenimiento para la caja reductora del sistema de paleta de espuma. Se propone una frecuencia de muestreo a cada 1 000 horas de operación al aceite de la caja reductora para enviarla para su análisis; con esto se ahorra al detectar problemas potenciales de manera anticipada, de modo que se pueda programar el cambio para evitar fallas y costos innecesarios. Por razones de costo se está proponiendo el cambio de aceite por condición. En el resultado del análisis de la muestra de aceite está:

- Estado del sistema.
- Gráficos de muestras.
- Datos de límites para la detección fácil de resultados anormales.
- Foto de la contaminación contenida en la muestra de aceite actual.
- Límites de advertencia temprana basados en estándares de la industria.
- Datos de muestras actuales mostrados con hasta 3 resultados de muestra previos.

Al inicio se tiene que enviar una muestra de aceite nuevo que actuará como referencia para comparar con los resultados de muestras posteriores, se enviará una hoja técnica del aceite utilizado. El formulario de muestra de análisis de fluidos se debe completar de la manera más completa y precisa posible. La evaluación precisa del laboratorio de la muestra depende de ello. La información más importante es:

- Nombre de la empresa
- Nombre del responsable

- Su información de correo electrónico y número de teléfono
- Fecha de la muestra
- Tipo de aceite (fabricante y marca)

En la sección de comentarios del formulario de muestra de análisis de fluidos, debe enumerarse lo siguiente:

- Motivo de envío de la muestra
- Todos los límites relevantes, incluido el objetivo ISO para la limpieza
- Componentes críticos
- Cualquier problema sospechado

El estado de la muestra se clasifica en tres categorías:

- Normal: el sistema está funcionando dentro de los parámetros establecidos por los límites proporcionados. El sistema no requiere acción inmediata.
- Precaución: el sistema está funcionando fuera de los límites de precaución en una o más áreas. El sistema requiere mantenimiento programado.
- Crítico: el sistema está operando fuera de los límites críticos en una o más áreas. El sistema requiere atención inmediata.

Usando una muestra mínima de 200 mililitros de aceite, se pueden realizar las siguientes pruebas:

- Contenido de agua

El agua es el segundo contaminante más destructivo en los sistemas hidráulicos. El agua puede reducir la lubricidad, fomentar la oxidación, formar lodo y fomenta la oxidación, la corrosión y la cavitación. Tener el contenido de agua en el aceite puede ayudar a detener el daño que el agua causa a los componentes críticos de la caja.

- Viscosidad

La viscosidad es una propiedad física importante de los aceites hidráulicos. Los grandes cambios en la viscosidad pueden causar un exceso de generación de calor, cavitación, pérdida de película de aceite y fugas. Mantener la viscosidad correcta es importante para lograr una vida útil de los componentes de la caja reductora del sistema de paletas de espuma. La viscosidad se informa en centistokes (cSt) @ 40°. Los datos se muestran junto con los límites de advertencia. Los límites de precaución se calculan en +/- 15 % de viscosidad de aceite nuevo. Los gráficos que muestran las tendencias de viscosidad junto con los límites permiten el reconocimiento rápido de situaciones anormales. Cuando se detectan grandes cambios en la viscosidad, un drenaje parcial del aceite afectado y la adición de aceite nuevo puede corregir el problema. Sin embargo, en algunos casos puede ser necesario un cambio de aceite completo.

- Número total de ácido (TAN)

La oxidación es el principal mecanismo de degradación del petróleo. La presencia de calor excesivo, desgaste de metales y agua puede aumentar la tasa de oxidación. Los subproductos de la oxidación son ácidos orgánicos, que

se detectan mediante la prueba del TAN. Causa problemas de lodo/barniz, pérdida de lubricidad. Los resultados del TAN se informan en mg/g de KOH (hidróxido de potasio). Como todos los fluidos hidráulicos tienen algunas propiedades ácidas inherentes, cualquier aumento en el TAN debe compararse con el nuevo valor de aceite como valor de referencia. Por lo general, los límites de precaución se establecen en +0,6 nuevos varales de aceite y los límites críticos se establecen en +1,0 nuevos valores de aceite. Los resultados se grafican junto con los límites para mostrar claramente cuándo la oxidación del aceite ha aumentado por encima de los niveles aceptables. Cuando el valor del TAN ha aumentado por encima del nivel crítico, el aceite cambiarse de inmediato para evitar daños a la caja reductora del sistema de paleta de espuma. El TAN está determinado por los miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar la acidez de un gramo de aceite usando un valorador automático.

- Análisis espectro gráfico

Los aditivos pueden agotarse durante la vida útil del aceite por varios medios: lavado, uso, etc. Los metales de desgaste pueden indicar patrones de desgaste anormales y también pueden aumentar las tasas de oxidación. Otros contaminantes pueden indicar contaminación del aceite por fluidos incompatibles. Los niveles de aditivos, metales usados y contaminantes se muestran en partes por millón (PPM). La muestra de aceite se analiza para diecisiete elementos diferentes. Los resultados también se muestran gráficamente para una fácil detección de niveles crecientes o decrecientes. El fabricante mezcla aditivos en el aceite en diferentes formas y cantidades. El paquete de aditivos varía con el tipo aceite. Los metales de desgaste indican desgaste en componentes particulares de una unidad individual. Estos metales indicarán un problema de desgaste en el nivel microscópico (<5 micras) antes

de que el problema pueda detectarse por medios convencionales. La existencia de un problema de desgaste está determinada por los valores absolutos de los metales y, lo que es más importante, por un aumento relativo con respecto a tendencias anteriores en uno o más metales. Los contaminantes pueden ser un indicador de contaminación interna o externa. La fuente y la calidad se pueden determinar mediante una comparación con los nuevos datos de aceite.

- Conductividad

La presencia de bombas y filtros crea cargas eléctricas dentro de un sistema. Esta prueba determina la capacidad del aceite para disipar una carga eléctrica dentro de ese sistema. Una conductividad más alta se relaciona con la velocidad a la que el aceite puede disipar la carga, las lecturas de baja conductividad indican una acumulación de cargas y pueden crear una situación peligrosa. La conductividad de una muestra se mide en pS/m (picosiemens/metro) usando un medidor de conductividad digital de acuerdo con ASTM D2624.

- Gravimétrico

La contaminación insoluble no solo puede tapar los filtros, sino también dañar los componentes funcionales del sistema, lo que ocasiona desgaste y eventual falla del sistema. La prueba de sólidos gravimétricos, basada en un protocolo ISO 4405 modificado, proporciona un método valioso para determinar el nivel de contaminación de los fluidos del sistema, los fluidos de lavado utilizados en las pruebas de limpieza de componentes o los fluidos de una estación de prueba de componentes. El método gravimétrico determina la contaminación del fluido al pesar sólidos suspendidos por unidad de volumen de fluido. La muestra de fluido se extrae a través de un filtro de membrana bajo

condiciones de vacío y la contaminación insoluble se recoge en la superficie del filtro. El aumento en la masa de la membrana después de la filtración representa los sólidos de suspensión dentro de la muestra. Esta prueba se puede realizar en diferentes tamaños de filtración. Se tienen los siguientes tamaños:

0,8, 10, 25, 45, 100, 200, 300, 400 μm

- Prueba de parche / foto

La severidad del desgaste del equipo también depende de la forma y dureza de las partículas contaminantes. La prueba de parche y la foto de contaminación complementan la prueba de recuento de partículas al proporcionar evidencia visual del tamaño, cantidad e identidad (si es posible) de las partículas. Los contaminantes sólidos se separan físicamente del aceite por filtración al vacío de 100 mililitros de fluido a través de un filtro de membrana de 0,8 micras. El parche resultante se examina usando un microscopio óptico. Un sistema de imágenes se utiliza para capturar una imagen digital del parche que se adjunta al informe. El parche se puede usar para confirmar y estimar el código de limpieza ISO 4406 (100 ml de volumen de muestra sugerido).

Figura 11. Reporte de análisis de lubricante

Reporte de Análisis de Lubricante																									
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">0</td> <td style="width: 25%;">1</td> <td style="width: 25%;">2</td> <td style="width: 25%;">3</td> <td style="width: 25%;">4</td> </tr> <tr> <td>NORMAL</td> <td>ANORMAL</td> <td>CRÍTICO</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Severidad General del Reporte</p>												0	1	2	3	4	NORMAL	ANORMAL	CRÍTICO						
0	1	2	3	4																					
NORMAL	ANORMAL	CRÍTICO																							
Información de Cuenta				Información del Componente				Información de muestra																	
Número de cuenta: 175181-0002-0000 Nombre de Compañía: PLANTA Contacto: Dirección: Teléfono:				ID de Componente: SM,463-AP1 Componente: REDUCTOR Filtro de tipo de REDUCTION GEAR Fabricante: FLENDER Modelo: Información solicitada Aplicación: PLANT/INDUSTRIAL Capacidad de 55 galón sumidero:				Número de Huella: 00006412550 Número de laboratorio: G-393218 Localización de Laboratorio: Guatemala Analista de Datos: RAM Tomada: 14-ago-2018 Recibido: 29-ago-2018 Completado: 10-sep-2018																	
Información de filtro				Información Misceláneo				Información del Producto																	
Tipo de filtro: IN-LINE Índice de Micrón: 10				Misceláneo: 03/03/2018				Fabricante del Producto: MOBIL Nombre del Producto: SHC 632 Grado de Viscosidad: ISO 320																	
Comentarios: Debido al resultado del análisis de CONTEO DE PARTICULAS, se sugiere filtrar el sistema para mejorar la limpieza del mismo. y/o Cambio del filtro es sugerido si no hecho en el tiempo del muestreo (como aplicable); El conteo de partículas se encuentra a NIVEL SEVERO; Por favor proveer el modelo de la unidad así podremos comparar los datos a los estándares apropiados para esta unidad; Resultados de menor importancia del estudio ferrogaphic. Refiera por favor al informe del ferrogaphic enviado en volumen separado;																									
Metals Contaminantes																									
Fuente de Varios Metales (ppm)																									
Metales de Desgaste (ppm)																									
Metales Aditivos (ppm)																									
Muestra #	Hierro	Cromo	Níquel	Aluminio	Cobre	Pomo	Esterño	Cadmio	Plata	Venedio	Silice	Sodio	Potasio	Titanio	Molibdeno	Antimonio	Manganeso	Litio	Boro	Magnesio	Calcio	Berio	Fosforo	Zinc	
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	461	6
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	2	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	469	9
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	441	15
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0	0	7	0	0	0	0	0	0	7	0	374	13
48	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	438	5
Información de muestra												Contaminantes			Propiedades de líquido										
Muestra #	Fecha de toma	Fecha de recibo	Tiempo de Aceite h	Tiempo de unidad h	Cambio de Aceite	Aceite Agregado galón	Cambio de Filtro	Dilución de Combustible % de Vol	Hollin % de Vol	Agua % de Vol	Viscosidad 40 ° C cSt	Viscosidad 100 ° C cSt	Número de Acido mg KOH/g	No. Básico D4739 mg KOH/g	Oxidación abs/cm	Nitración abs/0.1 mm									
44	16-may-2018	28-may-2018	1618	0	Unk	0	Unk				320	0.58			4	5									
45	21-jun-2018	26-jun-2018	2424	0	Unk	0	Unk				317	0.55			4	5									
46	20-jul-2018	27-jul-2018	3154	0	Unk	0	Unk				321	0.50			3	4									
47	27-jul-2018	31-jul-2018	3322	0	Unk	0	Unk				313	0.42			5	3									
48	14-ago-2018	29-ago-2018	3912	0	Unk	0	Unk				301	0.30			5	5									
Conteo de Partículas (partículas/mL)												Análisis Adicionales													
Muestra #	Código ISO	> 4 µm	> 6 µm	> 10 µm	> 14 µm	> 21 µm	> 38 µm	> 70 µm	> 100 µm	Método de prueba	Ferrogfite Analítica ppm	Karl Fischer - mod. 6304C	Cuantificador de Partículas- PQ												
44	21/15/14	10722	2290	250	103	32	7	1	0	ISO-11500	1	76	14												
45	20/18/15	9636	1980	369	165	47	5	1	0	ISO-11500	0	83	17												
46	23/21/18	74032	16136	4299	2081	658	48	7	0	ISO-11500	0	34	6												
47	24/21/17	152589	17469	2130	844	202	18	2	0	ISO-11500	1	41	18												
48	25/24/15	201714	113596	4593	267	64	6	0	0	ISO-11500	1	63	10												

Fuente: elaboración propia.

4.3. Prueba de aislamiento a motores eléctricos

En la celda de flotación FL50 se tienen instalados 3 motores eléctricos:

- 1 motor 1hp/60hz/1700 rpm/230-460vol/3ph
- 2 motores 20hp/60hz/1175 rpm/230-460vol/3ph

El aislamiento eléctrico se degrada con el tiempo debido a las distintas fatigas que se le imponen durante su vida normal de trabajo. El aislamiento está diseñado para resistir esas fatigas por un periodo de años que se considera como la vida de trabajo de ese aislamiento. La fatiga anormal puede llevar a un incremento en este proceso natural de envejecimiento que puede acortar severamente la vida de trabajo del aislamiento.

Por esta razón, es bueno realizar pruebas regulares para identificar si tiene lugar un incremento del envejecimiento y, si es posible, identificar si los efectos son reversibles o no. En su forma más simple, las pruebas de diagnóstico toman la forma de una prueba puntual (*spot*). La mayoría de los profesionales de mantenimiento eléctrico han hecho pruebas puntuales (*spot*) cuando se aplica un voltaje al aislamiento y se mide una resistencia (prueba de megohmetro).

Pero lamentablemente la información brindada por una sola lectura del megohmetro es poca, aunque es la clase de prueba que se aplica generalmente a los circuitos de bajo voltaje donde el costo de una falla es bajo y el equipo puede reemplazarse fácilmente y sin grandes desembolsos. Pero cuando se habla de un equipo muy costoso, y/o para media tensión o alta tensión, lo que generalmente se recomienda es comparar con las lecturas registradas del

megohmetro con otras realizadas anteriormente para ver una tendencia y prescribir las acciones correctivas.

En marzo del 2 000 la directiva de estándares del IEEE (Asociación internacional de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos), aprobó una revisión que ha servido de guía para las medidas de aislamiento en máquinas rotatorias, el ANSI/IEEE 43-2 000 (práctica recomendada para la medida de resistencia de aislamiento de máquinas rotatorias). De acuerdo con el IEEE, el estándar está dirigido para quienes fabrican, operan, prueban, dan mantenimiento o son responsables para la aceptación de máquinas rotatorias. El estándar solicita: la prueba de resistencia de aislamiento y la prueba del índice de polarización (IP); recomienda que ambas pruebas sean hechas si es posible.

La ANSI/IEEE 43-2 000 recomienda un procedimiento para la medición de la resistencia de aislamiento de los bobinados de la armadura y del campo en máquinas rotatorias de potencias de 1hp, 750 W o mayor, y se aplica a:

- Máquinas síncronas
- Máquinas de inducción
- Máquinas de corriente continua
- Condensadores síncronos

La norma indica la tensión de corriente continua que se debe aplicar a la prueba de aislamiento (basada en la potencia de la máquina, y durante un minuto) y los valores mínimos aceptables de la resistencia de aislamiento para los bobinados de las máquinas rotatorias para CA yCC (es decir, la resistencia medida al cabo de un minuto). La siguiente tabla proporciona las guías para el voltaje de c.c. que será aplicado durante una prueba de resistencia de

aislamiento. Nótese que los voltajes de hasta 10 kV son recomendados para bobinas clasificados a voltajes mayores de 12kV.

Tabla IX. **Referencia para prueba de aislamiento**

Voltaje(V) del bobinado(V es la tensión entre fases para maquinas trifásicas, y la tenson nominal para maquinas de c.c. o bobinados de cambpo)	Voltaje que se aplicará en la prueba de aislamiento
<1 000	500
1 000-2 500	500-1 000
2 501-5 000	1 000-2 500
5 001-12 000	2 500-5 000
>12 000	5 000-10 000

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

El estándar recomienda que cada fase sea aislada y probada separadamente (de ser posible) dado que este acercamiento permite las comparaciones que deberán hacerse entre fases. Las dos fases que no están siendo probadas deberán ser puestas a tierra en la misma tierra que la del núcleo del estator o el cuerpo del rotor. Cuando todas las fases son probadas simultáneamente, únicamente el aislamiento a tierra es probado.

Las mediciones de resistencia de aislamiento deben ser hechas con todo el equipo externo (cables, capacitores, supresores de disturbios, etc.) desconectados y conectados a tierra debido a que estos objetos pueden influenciar la lectura de la resistencia. Deberá usarse un punto común de tierra.

Así mismo, se establece que el historial de las pruebas deberá ser usado para el seguimiento de los cambios. Si el historial no está disponible, el

estándar proporciona valores mínimos para ambas pruebas (aislamiento e índice de polarización) que pueden ser usados para estimar la situación en que se encuentra el bobinado.

La resistencia de aislamiento mínima, recomendada, después de un minuto y a 40 °C, puede ser determinada de la siguiente tabla.

Tabla X. **Referencia para la resistencia de aislamiento mínima**

Resistencia mínima , en Mohm, según IEEE43-2000	Maquina bajo prueba
$KV+1$ (donde kV es la tensión nominal de la maquina, medida en kilovoltios)	Para bobinados fabricados antes de 1 970
100	Para motores de c.c. y estatores AC construidos después de 1 970
5	Para máquinas de bobinado aleatorio y formado, de tensiones menores a 1 kV.

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

La resistencia mínima de una fase del bobinado de una armadura de tres fases probada con las otras dos conectadas a tierra deberá ser aproximadamente del doble del bobinado total. Si cada fase es probada separadamente (con los circuitos de guarda estando usados en la fase que no están bajo prueba), la resistencia mínima (a 1 minuto) observada deberá ser tres veces el bobinado total.

La norma indica que si la resistencia a 1 minuto es mayor a 500 Mohm, entonces, el cálculo del IP puede dejarse de lado.

- Índice de polarizado

Cuando se desea obtener el índice de polarizado IP, se realiza la prueba de resistencia durante 10 minutos. El resultado de dividir la lectura de resistencia a diez minutos entre la lectura de 1 minuto da como valor el IP. El resultado es un número puro y se puede considerar independiente de la temperatura. En general, una relación baja indica poco cambio, consecuentemente aislamiento pobre, mientras que una relación alta indica lo opuesto. Las referencias a valores IP típicos son comunes en la literatura, lo que hace que esta prueba sea fácilmente empleada. Los valores mínimos recomendados para el IP están basados en la clase de los materiales de aislamiento y se aplican a todos los materiales de aislamiento indiferentemente de su aplicación de acuerdo con el IEC 60 085-01:1 984.

Tabla XI. **Referencia para valores de IP**

Tipos de aislación	Valores minimo de IP
CLASE A	1,5
CLASE B,F o H	2,0

Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Generalmente, los valores de IP son entre 2 a 5. Pero un IP muy alto (mayor de 5) puede estar indicando problemas de resecamiento en el aislamiento y posiblemente, luego de una inspección visual se observa zona quebradiza en el aislamiento.

- Efectos de la temperatura en las medidas de resistencia

Las variaciones de temperatura pueden tener un efecto crítico en las lecturas de resistencia de aislamiento. La resistencia cae marcadamente con un incremento en la temperatura para el mismo aparato. Cada tipo de material aislante tiene un grado diferente de cambio de resistencia con la temperatura. Se han desarrollado tablas de factores de corrección por temperatura para distintos tipos de aparatos eléctricos y pueden adquirirse del fabricante. A falta de estas, se recomienda que se desarrollen las propias tablas de factores de corrección para registrar dos valores de resistencia para el mismo equipo a dos temperaturas diferentes. Se puede trazar entonces una gráfica de resistencia para el mismo equipo a dos temperaturas diferentes.

Se puede trazar entonces una gráfica de resistencia (en una escala logarítmica) contra temperatura (en una escala lineal). La gráfica es una línea recta y puede extrapolarse para cualquier temperatura de modo que los factores se pueden leer directamente. En lugar de datos detallados, la regla práctica es que por cada 10 °C de incremento en temperatura, la resistencia se reduce a la mitad; o por encima 10 °C de disminución de la temperatura, la resistencia se dobla. Por ejemplo, una resistencia de 100 Gohmios a 20 °C se hace 25 Gohmios a 40°C.

Un método común para evaluar la condición de los motores eléctricos es la prueba de resistencia de aislamiento. Los métodos más comunes de prueba IR son resumidos en el estándar de IEEE 43-2 000 (R2 006) e incluye la prueba de los 60 segundos, la prueba dieléctrica de absorción y la de índice de polarización. Cada una de estas pruebas es utilizada para evaluar solo la porción del sistema de aislamiento entre el devanado del motor y el marco de motor eléctrico.

En las máquinas posteriores a 1 970, los sistemas de aislamiento tienden a polarizar rápidamente y los sistemas con valores de más de 5 000 Mega ohmios solo deben ser tendencias dos cuando se usa DA y PI. Sin embargo, la carga de aislamiento puede ser vista para ver si presenta carga capacitiva, que indica contaminación del devanado o aislamiento, está ocurriendo. Sin embargo, la prueba de resistencia de aislamiento es un instrumento poderoso cuando se usa en conjunción con otros métodos de prueba.

CONCLUSIONES

1. La flotación es un proceso físico-químico de separación de minerales o compuestos finamente molidos, basados en las propiedades superficiales de los minerales, que hace que un mineral o varios se queden en una fase o pasen a otra. Las propiedades superficiales pueden ser modificadas a voluntad con ayuda de reactivos. Este proceso se desarrolla en una celda de flotación la que tiene que operar en condiciones óptimas para que la recuperación de mineral valioso sea al máximo.
2. Los datos de operación que determinan las frecuencias de las tareas de mantenimiento preventivo para la celda de flotación FL50 son las horas trabajadas para el equipo.
3. Un programa de cambio de piezas de desgaste debe estar enfocado a obtener la máxima vida útil de las piezas, informar en tiempo oportuno al usuario para planificar y programar los cambios.
4. El mantenimiento preventivo de la celda de flotación FL50 debe ser el adecuado y actualizado a la operación que se tenga, para que se puede tener los recursos disponibles y se pueda garantizar la disponibilidad del equipo.

RECOMENDACIONES

1. Al personal responsable de mantenimiento revisar y actualizar el plan de mantenimiento para identificar las fortalezas y debilidades y hacer las correcciones necesarias.
2. Para garantizar los tiempos que se establecieron para el programa del cambio de piezas de desgaste se debe comprar las piezas originales que se distribuyen.
3. Registrar diariamente las horas de operación de la celda de flotación FL50 para tener un historial fiable de las condiciones reales y programar fechas acertadas para los cambios de piezas de desgaste.
4. El personal de mantenimiento debe leer, interpretar y cumplir con las normas de seguridad para evitar cualquier incidente o accidente durante el desarrollo de las tareas descritas en el plan de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALACÁ CRUZ, Edgar. *Capacitación de mineros en Escuela Minera de Chiripujio*. Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2005. 16 p.
2. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *La productividad en el mantenimiento industrial*. México: Patria, 2007. 350 p.
3. GARCÍA GARRIDO, Santiago. Renovetec, *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. México: McGraw-Hill, 2009. 690 p.
4. Performance Associates International, Inc. Minera San Rafael, S.A. *Planta procesos proyecto Escobal, manual de operación de flotación*. Estados Unidos: Performance Associates International, Inc., 2012. 643 p.
5. PUERTA, Jorge Luis. *Industrial Management & Consulting Inc., gestión estratégica del mantenimiento de clase mundial*. México: McGraw-Hill, 2007. 63 p.
6. TAMAYO, Amarildo. *Manual del flotador*. Estados Unidos: Performance Associates International, Inc., 2010. 17 p.
7. Wespro Machinery Inc. *Manual de instrucciones de la máquina de flotación*. Inglaterra: British Columbia, 2010. 43 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Bancos de celdas FL50



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Celda de Flotación FL50 en operación



Fuente: elaboración propia.

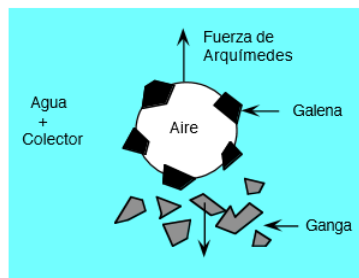
ANEXOS

Anexo 1. Evolución del mantenimiento industrial



Fuente: DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *La productividad en el mantenimiento industrial*. p. 4.

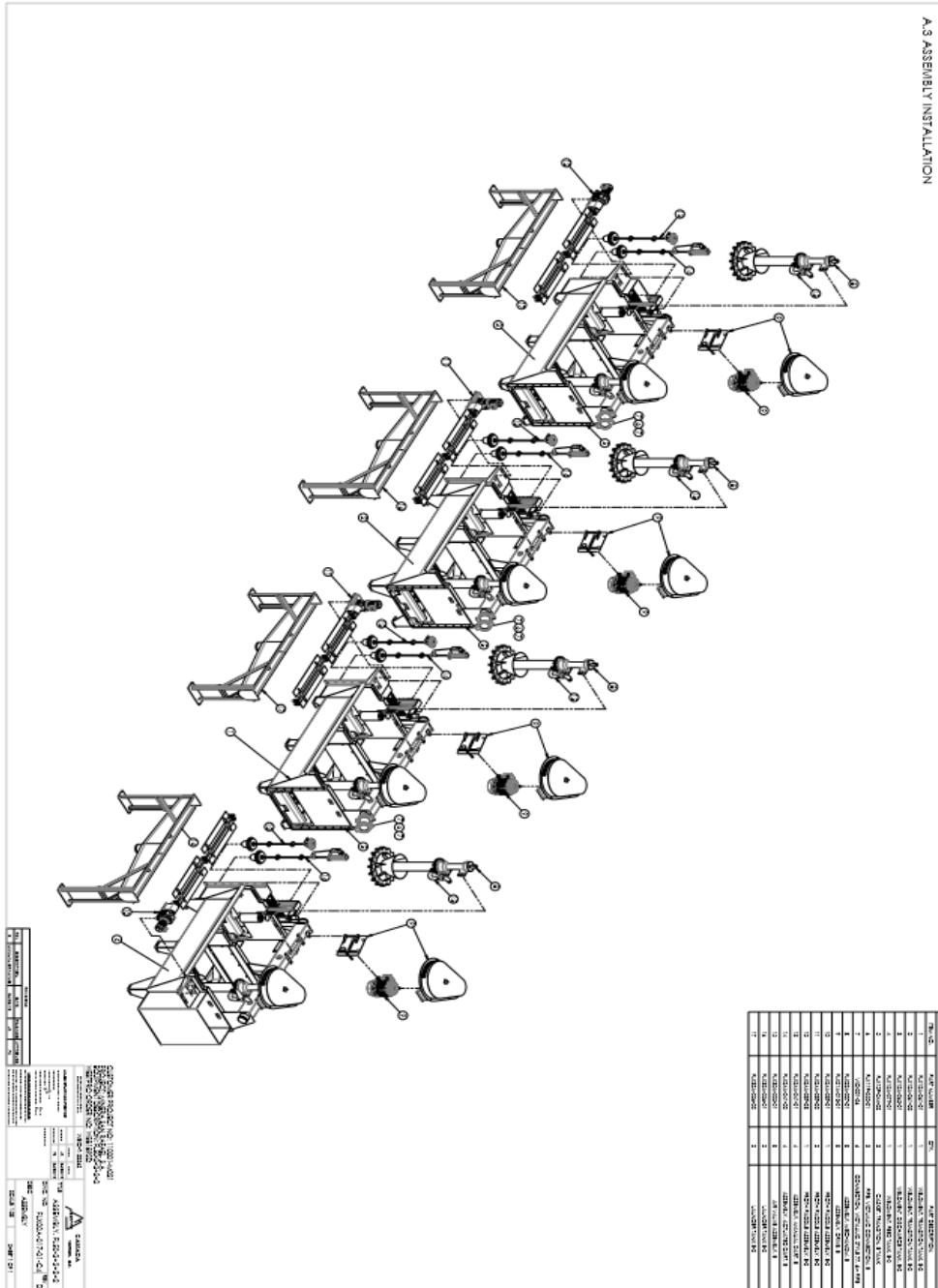
Anexo 2. Principios de la separación por flotación



Fuente: SALAGER, Jean Louis; FORGIARINI, Ana. *Fundamentos de la flotación*. p. 1.

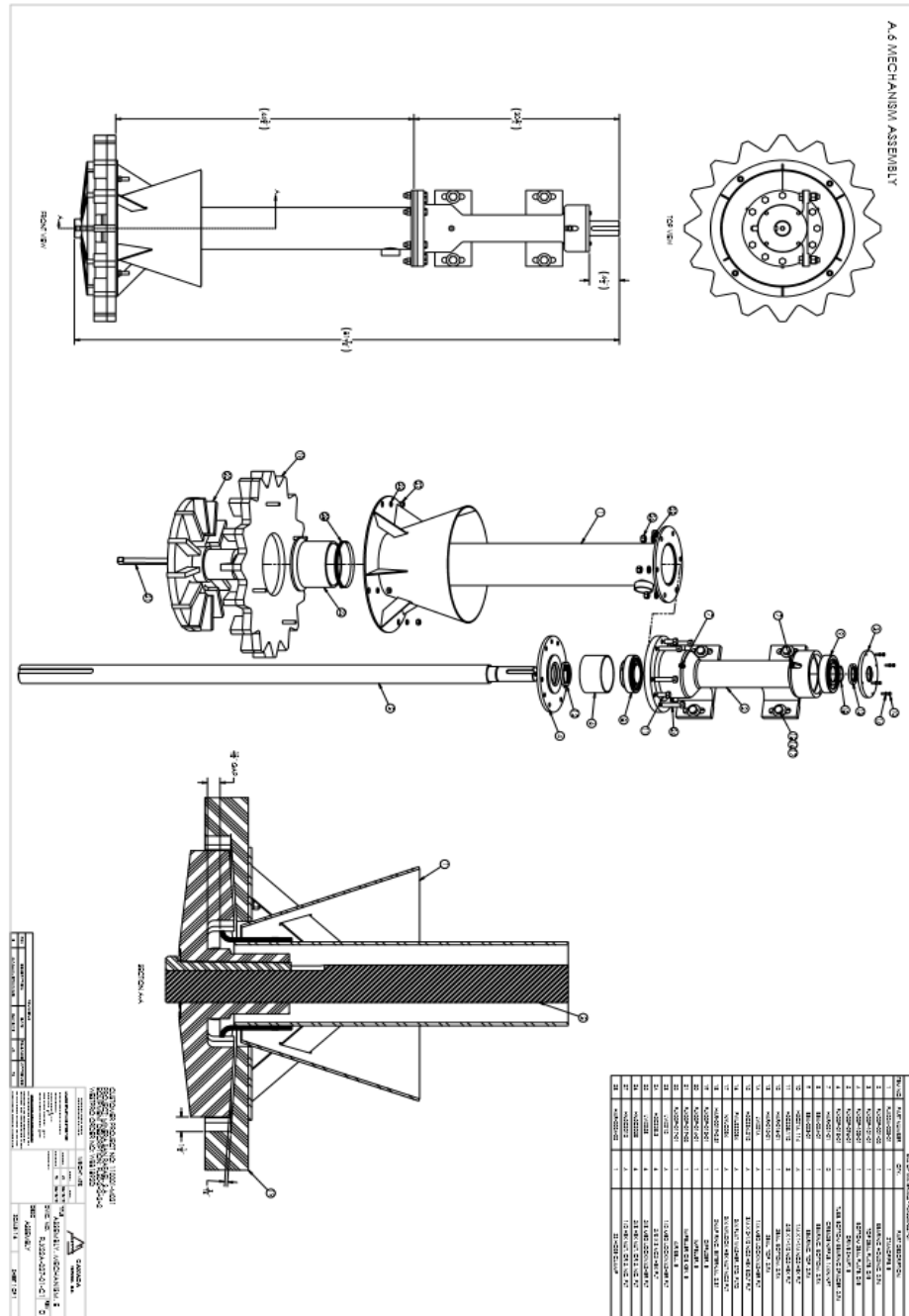
Anexo 3.

Ensamble de celda flotación FL50



Fuente: Minera San Rafael S.A. *Manual de instrucciones de la máquina de flotación*, p. 14.

Anexo 4. Ensamble del mecanismo completo FL50



Fuente: Minera San Rafael S.A. *Manual de instrucciones de la máquina de flotación*. p. 15.

Anexo 5.

Ensamble del sistema de válvulas Dart FL50

A.7 FLSO DART VALVE ASSEMBLIES

ITEM NO.	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REMARKS
1	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
2	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
3	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
4	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
5	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
6	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
7	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
8	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
9	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
10	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
11	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
12	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
13	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
14	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
15	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
16	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
17	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
18	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
19	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	
20	FLSO DART VALVE ASSEMBLY	1	UNIT	

1. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 2. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 3. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 4. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 5. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 6. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 7. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 8. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 9. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 10. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 11. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 12. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 13. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 14. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 15. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 16. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 17. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 18. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 19. FLSO DART VALVE ASSEMBLY
 20. FLSO DART VALVE ASSEMBLY

Fuente: Minera San Rafael S.A. *Manual de instrucciones de la máquina de flotación*. p. 16.

