



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN
PARA LA PLANTA PILOTO DE OBTENCIÓN DE METALES
PRECIOSOS DEL LABORATORIO DE MINERALOGÍA DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORAS: JESSICA LISSETH GODOY GATIA

ANDREA ESTEFANIA VALLE MOYA

DIRECTORA: Ing. ILIANA ELIZABETH CARRERA FLORES Msc.

Riobamba - Ecuador

2022

© 2022, Jessica Lisseth Godoy Gatia & Andrea Estefanía Valle Moya

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, JESSICA LISSETH GODOY GATIA y ANDREA ESTEFANÍA VALLE MOYA, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de noviembre de 2022



Jessica Lisseth Godoy Gattia

060395936-2



Andrea Estefanía Valle Moya

180541824-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN PARA LA PLANTA PILOTO DE OBTENCIÓN DE METALES PRECIOSOS DEL LABORATORIO DE MINERALOGÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**, realizado por las señoritas, **JESSICA LISSETH GODOY GATIA** y **ANDREA ESTEFANÍA VALLE MOYA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Segundo Hugo Calderón, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-11-16
Ing. Iliana Elizabeth Carrera Flores, Msc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-16
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy, Mgs. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-11-16

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por brindarme su protección en todo este largo proceso de aprendizaje. En segundo lugar, con todo mi amor lo dedico a mi madre Alicia Gatia, por ser mi pilar fundamental ya que me dio la mejor educación y me apoyo incondicionalmente, pues sin ella no lo habría logrado, gracias a sus enseñanzas y buenos valores logro guiarme por el camino del bien. A mi abuela Mariana a quién quiero como una madre, ella me enseñó que todo se puede lograr si se lo hace con esfuerzo y dedicación. A mi tía Pilar por compartir momentos significativos conmigo y estar dispuesta a escucharme en cualquier momento. Mi tío abuelo Manuel por impulsarme a ser mejor cada día y lograr con éxito mi carrera profesional. Así mismo dedico a mis hermanos Wendy, Dilan y Ariadna quienes con sus palabras me hacían sentir orgullosa de lo que soy y de lo que les puedo enseñar; en especial a mi hermana Wendy por siempre estar para mí, sabes que este logro también es tuyo. A mi querida bisabuela Teresa, por sus buenos consejos que nunca olvidaré, aunque lamento que ya no esté físicamente conmigo, sé que desde el cielo está feliz celebrando este triunfo que tanto anhelamos.

Lisseth

El presente trabajo de Integración Curricular es dedicado en primer lugar a mis padres, Carlos y Rosa, que fueron el pilar fundamental en esta etapa de mi vida y no dejaron que me dé por vencida, de los cuales aprendí el verdadero valor del respeto, responsabilidad, sacrificio, amor, familia y humildad, de quienes junto con mi hermano Andrés me brindaron todo el apoyo incondicional sin importar las circunstancias y me enseñaron que en la vida hay que luchar y esforzarse para conseguir aquellas metas planteadas; a mis abuelos Lola y Gonzalo que siempre me brindaron sus consejos, motivación y ganas para sacar en adelante mis estudios; a mis tías Paty, Enma y Pastora que siempre estuvieron ahí dándome animo en todo momento y brindarme todo su apoyo; a mis primas Doménica e Ingrid a las cuales adoro con mi alma y siempre estuvieron pendiente y me escucharon en los momentos buenos y malos. Y por último a cada una de las personas, familiares y docentes que pusieron su granito de arena para llevar a cabo mi formación académica y que de una u otra forma han formado parte de este proceso. Gracias a Dios por regalarme a estos seres tan maravillosos.

Andrea

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, queremos dar gracias a Dios por ser nuestro guía en este proceso académico y permitirnos cumplir esta meta tan aspirada, en segundo lugar, a nuestros padres que día a día se esforzaron para sacarnos adelante sin que nada nos falte, por su amor y sacrificio en todos estos años, a nuestros hermanos y demás familiares quienes estuvieron en todo momento apoyándonos incondicionalmente.

Son muchas las personas e instituciones que han contribuido al proceso y finalización de este trabajo de manera especial queremos agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, escuela de Ingeniería Química por habernos aceptado formar parte de ella, a cada maestro que fueron parte de nuestra vida universitaria, gracias a sus sabios conocimientos y consejos, por medio de ello podernos convertir en excelentes profesionales.

A nuestra directora Ing. Iliana Carrera Flores quién fue la primera persona que creyó en este proyecto, nos apoyó de manera personal e institucional, compartiéndonos su conocimiento y nos alentó para que concluyéramos con el trabajo; a nuestro asesor Ing. Ramiro Cepeda Godoy por su tiempo brindado, sus conocimientos impartidos, su paciencia y consejos para que nuestro proyecto se cumpla con éxito. Al técnico docente del laboratorio de Mineralogía Ing. Georgina Olalla por su acompañamiento en el proceso de experimentación de nuestro equipo.

Durante el desarrollo de la etapa de observación y análisis de nuestro proyecto, fue necesario el desplazamiento del equipo de trabajo a la ciudad de Portovelo en la provincia del Oro, en donde el Sr. Bolívar Minga propietario de la mina Asociación Minera Rica Suave amablemente nos guio en la visita técnica al interior de su mina y además nos ayudó con muestras para la experimentación. Finalmente agradecer al Sr. Carlos Buena gerente de la planta de beneficio Compañía Minera COMINEB S.A que desinteresadamente nos colaboró con la adquisición de los reactivos indispensables en el proceso de flotación.

Lisbeth & Andrea

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Identificación del problema.....	2
1.2. Justificación del proyecto.....	3
1.3. Antecedentes.....	4
1.4. Beneficiarios directos e indirectos.....	4
1.4.1. <i>Beneficiarios directos</i>	4
1.4.2. <i>Beneficiarios indirectos</i>	5
1.5. Localización del proyecto.....	5
1.6. Objetivos.....	5
1.6.1. <i>Objetivo general</i>	5
1.6.2. <i>Objetivos específicos</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de investigación.....	7
2.2.1. <i>Flotación</i>	9
2.2.2. <i>Minerales hidrofílicos</i>	9
2.2.3. <i>Minerales hidrofóbicos</i>	9
2.2.4. <i>Principio de la flotación</i>	9
2.2.5. <i>Factores que intervienen en la flotación</i>	10
2.2.5.1. <i>La pulpa</i>	10
2.2.5.2. <i>El aire</i>	11
2.2.5.3. <i>Los reactivos</i>	11
2.2.5.4. <i>La agitación</i>	11

2.2.7.	Celda de flotación	13
2.2.8.	Fases en una celda de flotación	14
2.2.8.1.	Fase sólida	14
2.2.8.2.	Fase líquida	14
2.2.8.3.	Fase gaseosa	14
2.2.9.	Tipos de celda de flotación	15
2.2.9.1.	Celdas de flotación mecánicas	15
2.2.9.2.	Celdas de flotación neumáticas	15
2.2.9.3.	Celdas de flotación de columnas	16
2.2.10.	Reactivos de flotación	16
2.2.10.1.	Espumantes	17
2.2.10.2.	Colectores	17
2.2.10.3.	Depresantes	18
2.2.10.4.	Activadores o reactivadores	18
2.2.10.5.	Dispersantes	18
2.2.10.6.	Modificadores	18
2.2.11.	Dosificación de reactivos	19
2.2.12.	Variables del proceso de flotación	20
2.2.13.	Materiales	21
2.2.13.1.	Clasificación de los materiales	21
2.2.14.	Metales y aleaciones	22
2.2.14.1.	Acero	22
2.2.14.2.	Clasificación del acero	22
2.2.15.	Acero estructural	23
2.2.15.1.	Clasificación del acero estructural	23
2.2.16.	Acero inoxidable	24
2.2.16.1.	Clasificación de los aceros inoxidables	24
2.2.17.	Aceros ASTM A36	26
2.2.17.1.	Composición química	26
2.2.17.2.	Requisitos mecánicos	26
2.2.17.3.	Características	27
2.2.17.4.	Usos	27
2.2.17.5.	Ventajas	27
2.2.18.	Aceros inoxidables austeníticos	27
2.2.18.1.	Acero inoxidable 316	28
2.2.18.2.	Características técnicas del acero inoxidable austenítico	28
2.2.19.	Soldadura	29

2.2.19.1. Soldadura TIG	29
2.2.19.2. Proceso de soldadura - arco manual con electrodo revestido (SMAW)	30
2.2.20. Electrodo de soldadura	30
2.2.20.1. Electrodo 316	30
2.2.20.2. Electrodo 7018	30
2.2.20.3. Electro 60-13	30

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	31
3.1. Ingeniería del Proyecto.....	31
3.1.1. Tipo de estudio	31
3.1.2. Métodos	31
3.1.2.1. Inductivo	31
3.1.2.2. Deductivo.....	32
3.1.2.3. Experimental.....	32
3.2. Propuestas previo a la selección del modelo final del equipo.....	32
3.2.1. Celda columna CPT (Canadá, EE.UU)	32
3.2.2. Celda DENVER sub-A. (EE.UU).....	33
3.2.3. Celda de flotación Jameson (Australia).....	35
3.2.4. Selección del modelo final de diseño	36
3.3. Planificación de la construcción	37
3.4. Cálculos de la celda de flotación.....	38
3.4.1. Variables del proceso	38
3.4.2. Dimensionamiento de la celda	38
3.4.3. Dimensionamiento de la turbina o agitador	39
3.4.3.1. Diámetro de la turbina (D).....	40
3.4.3.2. Espesor de la pared (t)	41
3.4.3.3. Altura del agitador (E)	41
3.4.3.4. Altura de la pala (W).....	42
3.4.3.5. Anchura de la pala (L).....	42
3.4.4. Dimensionamiento del estator	43
3.4.4.1. Número de barras	43
3.4.5. Relación de poleas	43
3.4.6. Longitud y ángulos de contacto de bandas en disposición normal.....	44
3.4.7. Orificio del alimentador	45
3.4.7.1. Diferencia de presión a lo largo del orificio	45

3.4.7.2.	<i>Flujo volumétrico</i>	46
3.4.7.3.	<i>Área del orificio</i>	46
3.4.8.	<i>Velocidad de flujo de alimentación</i>	46
3.4.8.1.	<i>Flujo de alimentación</i>	47
3.4.9.	<i>Flujo de bias</i>	47
3.4.10.	<i>Velocidad superficial del gas (aire normalmente en la celda: Jg)</i>	48
3.4.11.	<i>Tiempo de flotación</i>	49
3.5.	Diseño	49
3.6.	Materiales utilizados	50
3.7.	Herramientas y máquinas	51
3.7.1.	Maquinaria pesada	51
3.7.2.	Maquinaria liviana	52
3.7.3.	Herramienta menor	52
3.7.4.	Consumibles	52
3.8.	Tareas realizadas por cada componente	53
3.8.1.	Agitador	53
3.8.2.	Celda (estanque circular)	53
3.8.3.	Motor	53
3.9.	Pasos seguidos en la construcción	54
3.10.	Validación del equipo	55
3.10.1.	Metodología aplicada	55
3.10.1.1.	<i>Recolección del material</i>	56
3.10.2.	Equipos	56
3.10.2.1.	<i>Equipo de flotación</i>	56
3.10.2.2.	<i>Reactivos</i>	56
3.10.2.3.	<i>Materiales auxiliares</i>	57
3.10.3.	Prueba de laboratorio	58
3.10.3.1.	<i>Procedimiento</i>	58
3.10.4.	Datos Experimentales	60
3.10.4.1.	<i>Datos de muestra</i>	60
3.10.4.2.	<i>Datos para la densidad de la pulpa</i>	60
3.10.4.3.	<i>Dosificación de reactivos</i>	60
3.10.4.4.	<i>Balace de masa de la recuperación</i>	62
3.10.4.5.	<i>Eficiencia del proceso</i>	62
3.10.4.6.	<i>Eficiencia de la celda</i>	62

3.10.4.7. <i>Análisis SEM-EDS del producto del concentrado de la celda de flotación en el microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM-IT 100 utilizando de 5 a 13 KV</i>	63
--	----

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS	65
4.1. Resultados del dimensionamiento de la celda de flotación	65
4.1.1. <i>Dimensionamiento del tanque</i>	65
4.1.2. <i>Dimensionamiento de la canaleta o camisa</i>	65
4.1.3. <i>Dimensionamientos de la turbina</i>	66
4.1.4. Dimensionamiento del tubo externo de la turbina	66
4.1.5. <i>Dimensionamiento de la base del cilindro o tanque</i>	67
4.1.6. <i>Dimensionamiento de la caja soporte para el motor</i>	67
4.1.7. <i>Dimensionamiento del soporte lateral</i>	68
4.1.8. <i>Equipo de flotación Denver Sub A adaptación a una sola celda, circular</i>	68
4.1.8.1. <i>Celda de flotación</i>	68
4.1.8.2. <i>Panel de control</i>	69
4.2. Resultados de la validación del equipo	70
4.2.1. <i>Densidad de la pulpa</i>	70
4.2.2. <i>Dosificación del colector</i>	70
4.2.3. <i>Dosificación de espumantes</i>	71
4.2.4. <i>Balance de masa de la recuperación</i>	71
4.2.5. <i>Eficiencia</i>	71
4.2.6. <i>Resultado del análisis SEM-EDS del producto del concentrado de la celda de flotación en el microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM-IT 100 utilizando de 5 a 13 KV</i>	71

CONCLUSIONES	74
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	76
------------------------------	----

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Dosificaciones de Reactivos.....	19
Tabla 2-2:	Clasificación de material de los materiales	21
Tabla 3-2:	Clasificación más común del acero.	22
Tabla 4-2:	Propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono.	23
Tabla 5-2:	Propiedades generales de los aceros inoxidables	24
Tabla 6-2:	Tipos de aceros más usados y sus aplicaciones.....	25
Tabla 7-2:	Composición química de colada para grados ASTM	26
Tabla 8-2:	Requisitos mecánicos para grados ASTM.....	26
Tabla 9-2:	Requisitos técnicos para el acero 316.....	28
Tabla 1-3:	Selección del Modelo	36
Tabla 2-3:	Parámetros geométricos del tanque	40
Tabla 3-3:	Resumen de los parámetros geométricos del agitador.....	43
Tabla 4-3:	Medidas del cilindro base.....	49
Tabla 5-3:	Turbina	49
Tabla 6-3:	Material de construcción para celda de flotación.	50
Tabla 7-3:	Soldadura y electrodos a utilizar en el proceso.	51
Tabla 8-3:	Parámetros para seguir durante el proceso de flotación.	58
Tabla 9-3:	Peso de muestra	60
Tabla 10-3:	Densidad de la muestra.....	60
Tabla 1-4:	Resultado del dimensionamiento del tanque	65
Tabla 2-4:	Resultado del dimensionamiento de la canaleta o camisa	65
Tabla 3-4:	Resultado del dimensionamiento de la turbina.....	66
Tabla 4-4:	Resultado del dimensionamiento del tubo externo de la turbina.....	66
Tabla 5-4:	Resultado del dimensionamiento de la base del cilindro o tanque	67
Tabla 6-4:	Resultado del dimensionamiento de la caja soporte para el motor.....	67
Tabla 7-4:	Resultado del dimensionamiento del soporte lateral	68
Tabla 8-4:	Densidad de la pulpa	70
Tabla 9-4:	Dosificación del colector	70
Tabla 10-4:	Dosificación de los espumantes	71
Tabla 11-4:	Balace de masa de la recuperación.....	71
Tabla 12-4:	Eficiencia del proceso y de la celda de flotación	71
Tabla 13-4:	Elementos encontrados en la muestra que ingresa y concentrado que sale de la celda de flotación.....	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Google Maps Ubicación del laboratorio de Mineralogía	5
Ilustración 1-2:	Esquema de Adhesión Selectiva	10
Ilustración 2-2:	Principio de la flotación de espuma	13
Ilustración 3-2:	Esquema de Celda de Flotación Mecánica.....	15
Ilustración 4-2:	Celda de Flotación Neumática	16
Ilustración 5-2:	Diferencia entre Celda Mecánica y Celda de Columna.....	16
Ilustración 1-3:	Celda Columna CPT.....	32
Ilustración 2-3:	Componentes Celda DENVER Sub-A unitaria.....	34
Ilustración 3-3:	Celda de flotación circular	35
Ilustración 4-3:	Celda de flotación Jameson.....	36
Ilustración 5-3:	Es la polea del motor	44
Ilustración 6-3:	Medidas del tanque.....	49
Ilustración 7-3:	Dimensionamiento de la turbina	50
Ilustración 8-3:	Dimensionamiento de la turbina	50
Ilustración 9-3:	Diagrama de flujo de proceso de flotación.....	55
Ilustración 10-3:	Balance de masa	62
Ilustración 11-3:	Análisis de imagen de las muestras.....	63
Ilustración 12-3:	Muestras que ingresan al microscopio	64
Ilustración 1-4:	Celda de flotación parte frontal	68
Ilustración 2-4:	Celda de flotación parte trasera.....	69
Ilustración 3-4:	Interior de la celda de flotación.....	69
Ilustración 4-4:	Parte exterior del panel de control de la celda de flotación.....	69
Ilustración 5-4:	Parte interior del panel de control de la celda de flotación.	70
Ilustración 6-4:	Resultado del análisis SEM-EDS de la alimentación de la celda de flotación en el microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM-IT 100 utilizando 9 KV.	72
Ilustración 7-4:	Resultado del análisis SEM-EDS del concentrado de la celda de flotación en microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM-IT 100 utilizando 9 KV.72	

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PLANOS DEL ENSAMBLE PRINCIPAL
- ANEXO B:** PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA CANALETA O CAMISA
- ANEXO C:** PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA TURBINA.
- ANEXO D:** PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE DEL CILINDRO O TANQUE
- ANEXO E:** PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA CAJA SOPORTE PARA EL MOTOR
- ANEXO F:** PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL TUBO EXTERNO DE LA TURBINA
- ANEXO G:** PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE LATERAL.
- ANEXO H:** CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA DE FLOTACIÓN.
- ANEXO I:** VALIDACIÓN DE LA CELDA DE FLOTACIÓN
- ANEXO J:** RESULTADO DEL ANÁLISIS SEM- EDS DE LA MUESTRA QUE INGRESA A LA CELDA DE FLOTACIÓN.
- ANEXO K:** RESULTADO DEL ANÁLISIS SEM-EDS DEL CONCENTRADO RESULTANTE DEL PROCESO DE LA CELDA DE FLOTACIÓN.

ÍDICE DE ABREVIATURAS

PNDSM	Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero
ASTM	American Society for Testing and Materials
USFQ	Universidad San Francisco de Quito
pH	Potencial de Hidrógeno
CIM	Ciencia e Ingeniería de Materiales
UNE	Acrónimo de Una Norma Española
UNE-EN	Versión oficial en español de las normas europeas
AISI	American National Standards Institute
DIN	Deutsche Industrie Normen – Alemania
UNS	Unified Numbering System
EN	Normas Europeas
GTAW	Gas Tungsteno Arc Welding
MIG	Metal Inert Gas
SMAW	Shielded metal arc welding
CTP	Canadian Process Technologies
SX	Solventes
CNC	Control Numérico Computarizado
ISO	International Organization for Standardization
Z6	Xantato amílico de potasio
V_{celda}	Volumen de la celda
k	Relación de la altura con respecto a la base.
n	Masa de la muestra
L	Longitud celda
h	Altura de la celda
H	Capacidad máxima de funcionamiento
T	Longitud del tanque
H	Altura del líquido en el tanque
D	Diámetro del agitador
L	Anchura de la pala
W	Altura de la pala
T	Espesor de pared
P	Presión
R	Radio del tanque

S	Esfuerzo del material
E	Eficiencia de soldadura
d_p	Densidad real de la pulpa
U	Velocidad del fluido o pulpa a través del orificio
Q	Flujo volumétrico
A	Área del orificio
Co	Coefficiente del orificio adimensional
A	Área del orificio
D	Diámetro del orificio (m)
Q	Flujo de alimentación
d	Diámetro del orificio (m)
Mc	Flujo másico de concentrado
Qw	Flujo de agua de lavado
Xc	% sólidos (peso) en el alimento
Jg	Velocidad superficial de aire de gas de flotación
Qa	Caudal de aire
Ac	Área de formación de espuma
r	Radio interno del tanque
h	Altura de espuma
T	Tiempo de flotación en minutos
F	Flujo de la pulpa
S_b	Eficiencia de la celda
D_b	Diámetro de la burbuja de aire que ingresa a la celda.

RESUMEN

Con el presente proyecto técnico se logró realizar el diseño y construcción de una celda de flotación misma que formará parte de la planta piloto de obtención de metales preciosos para el Laboratorio de Mineralogía de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Este trabajo inició mediante la revisión bibliográfica de equipos aptos a escala para el proceso de flotación, además se establecieron tres propuestas de modelos en donde se evaluaron las características óptimas para su uso en el laboratorio llegando a elegir una celda Denver sub- A de una celda circular posterior a esto se llevó a cabo los cálculos de ingeniería de la propuesta seleccionada, así como la creación de planos y la construcción del equipo hecho en acero al carbono A-36 y el acero inoxidable A-316, debido a sus características y a la facilidad de obtención en el mercado. Posterior a esto, las muestras a utilizarse en la validación fueron extraídas de la mina Asociación Minera Rica Suave de la ciudad de Portovelo; cabe mencionar que la celda de flotación presenta un volumen total de 38 litros de los cuales se usan 17 para su funcionamiento y una capacidad máxima de muestra de 3 kg. El equipo cumple con todos los factores de diseño señalados, esto se logró verificar por medio de la validación de la celda constatando el rendimiento y la obtención de metales se obtuvo por medio del microscopio electrónico de barrido JEOL SEM, mismo que verificó que el concentrado obtenido presenta el metal precioso de oro; con esto se concluye que el diseño del equipo y el procedimiento son propicios para la obtención de metales preciosos. Finalmente, se recomienda leer los manuales para evitar cualquier desperfecto durante su uso y realizar periódicamente un mantenimiento preventivo del equipo.

Palabras clave: <FLOTACIÓN>, <MINERIA>, <CELDA>, <CONCENTRADO DE MINERAL>, <METALES PRECIOSOS>.



2350-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

With the present technical project, the design and construction of a flotation cell that will be part of the pilot plant for obtaining precious metals for the Mineralogy Laboratory of the Faculty of Sciences of ESPOCH was achieved. This work began with a bibliographic review of equipment suitable for the flotation process, in addition, three model proposals were established where the optimal characteristics for its use in the laboratory were evaluated and a Denver sub-A cell of a circular cell was chosen. After this, the engineering calculations of the selected proposal were carried out, as well as the creation of plans and the construction of the equipment made of carbon steel A-36 and stainless steel A-316, due to its characteristics and the ease of obtaining it in the market. Consequently, the samples to be used in the validation were extracted from the Asociación Minera Rica Suave mine in the city of Portovelo; it is important to mention that the flotation cell has a total volume of 38 liters of which 17 are used for its operation and a maximum sample capacity of 3 kg. The equipment complies with all the design factors indicated, this was verified through the validation of the cell by verifying the performance and the obtention of metals which was attained by means of the JEOL SEM scanning electron microscope, which verified that the concentration obtained presents the precious gold metal; therefore, it is concluded that the design of the equipment and the procedure are propitious for obtaining precious metals. Finally, it is recommended to read the manuals to avoid any damage during its use and to periodically perform preventive maintenance of the equipment.

Key words: <FLOTATION>, <MINING>, <CELL>, <MINERAL CONCENTRATE>, <PRECIOUS METALS>.



Teacher: Abg. Ana Gabriela Reinoso Espinosa, Mgs.

ID number: 110369613-2

INTRODUCCIÓN

La explotación de los recursos minerales forma parte de una importante fuente de riqueza en Sudamérica y a nivel mundial; sin embargo, en el Ecuador, a pesar de tener un potencial alto, el sector de la minería no cuenta con la suficiente inversión encaminada al aprovechamiento de la riqueza mineral. Cabe mencionar que a lo largo de los años la minería en el país, se ha encaminado especialmente en la explotación de oro y plata (Villacís, 2009, p. 1).

Un proceso de gran importancia en el ámbito de la minería es la flotación de metales que consiste en separar partículas dependiendo de sus propiedades hidrofóbicas o hidrofílicas, por medio de burbujas de aire producidas por la acción de un movimiento circular y la adición de reactivos afines al proceso. Cuando las partículas valiosas forman una porción menor del elemento valioso y la ganga o colas representan gran cantidad, el proceso de flotación se convierte en una etapa de concentración y desde ese momento se ha interpuesto una variedad de tipos de equipos de celdas de flotación, tanto mecánicas y neumáticas.

Los equipos de flotación de tipo mecánicos están formados con un sistema rotor-estator que se encarga de dar el movimiento al proceso dentro de la celda, produciendo una buena aireación y de esta manera permitiendo el paso y esparcimiento de las espumas formadas por la acción de un espumante a través de toda la celda, las mismas que se chocan entre sí y mediante la acción de un colector que se encarga de mantener suspendidos a los elementos valiosos llamados hidrofóbicos y las partículas sin importancia denominadas hidrofílicas se depositan en el interior de la celda por efecto de la gravedad.

El rendimiento de la celda de flotación depende de la dimensión de las espumas siendo un factor esencial a considerar ya que actúa en el rendimiento del proceso, por lo que hay que tener el control de las variables operacionales mecánicas que intervienen en el mismo siendo el flujo de aire y por ende la velocidad del agitador, por otro lado, se debe tomar en cuenta las condiciones específicas que por lo general son el diámetro de partículas que ingresaran al proceso, la dosificación correcta de los reactivos a utilizarse y el pH. Mediante la revisión bibliográfica referente a los procesos de extracción de metales preciosos se pudo identificar que el equipo de mayor relevancia en el proceso, es la celda de flotación, la misma que tiene un manejo sencillo de funcionamiento y de esta depende el rendimiento metalúrgico del proceso; razón por la cual se ha optado diseñar un equipo de flotación a escala de laboratorio la cual será didáctica y de fácil manejo para los estudiantes cabe mencionar que servirá de uso netamente experimental para ensayos de laboratorio y para las diferentes investigaciones de la Facultad de Ciencias.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

El sector minero fue declarado como sección estratégica clave por el Gobierno de Ecuador en el año 2008 mediante el cual se logró aprobar el Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero (PNDSM). Desde allí se ha intentado que la actividad con el pasar de los días se vaya fomentando y fortaleciendo respetando las leyes políticas, sociales y ambientales (Arrien, 2018, párr. 11).

El campo minero que posee el Ecuador es incuestionable gracias a las condiciones donde se ubican cada uno de estos puntos estratégicos sin embargo se ha indagado el 10% del territorio. Hoy en día se pretende que este sector sea una de las fuentes generadoras de recursos ya que en el país se considera como uno de los ejes centrales de la economía (Arrien, 2018, párr. 12).

Según datos generados el Banco Central de Ecuador, las acciones que no tienen nada que ver con el petróleo contribuyeron en 2018 aproximadamente 1.000 millones de USD. Mientras que en el lapso del 2013-2016 aumento en un 389% por lo que para el período 2017-2020 se buscaba conseguir el 300% de incremento (Arrien, 2018, párr. 12).

El avance del sector minero en Ecuador contiene las etapas de estudio, exploración, explotación, concentración, fundición, refinación y comercialización de metales. En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en Riobamba 1½ Km de la Panamericana Sur, en el laboratorio de Mineralogía de la Facultad de Ciencias se constató que no existe ningún equipo que ayude a complementar y optimizar el aprendizaje teórico de la materia, por lo que para mantener una formación óptima del estudiante de Ingeniería Química es necesario contar con equipos que sirvan para la ejecución de prácticas de laboratorio ampliando así la visión científica acerca del proceso.

Por tal motivo debido a su importancia y necesidad se plantea el “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN PARA LA PLANTA PILOTO DE OBTENCIÓN DE METALES PRECIOSOS DEL LABORATORIO DE MINERALOGÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS”.

La celda de flotación es una fase esencial para concentrar minerales, los mismos que le otorgan el rendimiento en el campo metalúrgico del proceso; la misma que será implementada en el

laboratorio de Mineralogía, tendrá como finalidad servir de medio experimental para demostrar y aplicar los conocimientos adquiridos en las asignaturas de Mineralogía y Procesos Extractivos Metalúrgicos.

1.2. Justificación del proyecto

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con siete facultades en la cual destaca la Facultad de Ciencias, encontrándose en ella la Carrera de Ingeniería Química quien posee un Laboratorio de Mineralogía que se encuentra en proceso de acoplamiento para los estudiantes de la misma, permitiéndoles conocer los diferentes minerales y metales que existen en el Ecuador; siendo un país que posee un amplio y diverso muestrario de los anteriormente mencionado, en donde sobresalen metales nativos más conocidos como el oro , cobre y plata.

En el laboratorio se pueden realizar pruebas básicas del estudio de mineralogía debido a que es una de las nuevas materias que se imparten en la carrera, ya que, en la actualidad se pretende apoyar en el desarrollo de la industria minera y metalúrgica mediante la intervención del Gobierno Nacional y de esta manera poder tener ingresos económicos de una fuente nueva y atraer nuevas inversiones que ayuden al desarrollo del país y de esta forma ofertar plazas de trabajo en diferentes sectores mineros.

Entre los metales que el Ecuador explota en la actualidad es el oro, uno de los metales preciosos blandos con un color amarillento, llegando a ser el más frecuente en el mercado. Aproximadamente el 75% de la producción mundial del oro se usa en joyería y entre el 10% y 15% se aplica industrialmente en la electrónica (Banco Central del Ecuador, s.f., párr. 2). Por lo que se refiere a la plata, es lustroso y de color blanco-grisáceo, brillante, blando, dúctil y maleable. Se usa por lo general en aleaciones mediante las cuales se atribuyen altas conductividades térmicas y eléctricas en comparación con otros metales (Banco Central del Ecuador, s.f., párr. 3). Finalmente, el cobre es el metal más explotado en la actualidad generando grandes ganancias al país por su extracción debido a que es comercializado a países como China para que sean refinados ya que es un buen conductor eléctrico, térmico, dúctil y resistente a la corrosión siendo materia prima para varios procesos industrializados.

Mediante este proyecto se anhela brindar la oportunidad a los estudiantes de realizar prácticas y de esta forma conozcan de cerca el proceso de extracción de metales preciosos a través de nuestra planta piloto, la misma que contará con una celda de flotación la cual ayudará en la concentración de minerales. En esta etapa se realiza una separación entre el sulfuro valioso de la ganga o relaves, el mismo que con la ayuda de reactivos y con sus características fisicoquímicas se producirán las

burbujas mismas que ascenderán con las partículas deseadas recolectándolas por medio de canales, utilizando equipos mecánicos, llamados celdas de flotación, (Metso:Outotec, 2021, párr. 2). Cabe recalcar que es una de las fases importantes en la extracción de metales.

1.3. Antecedentes

Los laboratorios son de suma importancia al referirse de carreras prácticas como lo es la Ingeniería Química, estos complementan los conocimientos teóricos que son impartidos en los salones de clases además ayudan a que entre los estudiantes se genere interés y curiosidad por la investigación. El laboratorio de Mineralogía de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo fue creado a partir del cambio de malla curricular que tuvo lugar en el 2018 con la aparición de la materia de Mineralogía, la cual, es una rama de la geología encargada del estudio, la forma, la estructura, la composición, las propiedades y los yacimientos de los minerales, con ayuda del laboratorio se logró poner en práctica los conocimientos de la asignatura, al ser un laboratorio nuevo en la carrera con la colaboración y predisposición de todos los estudiantes quienes recibían la materia se logró acondicionar con una gran variedad de minerales y algunas maquetas de las diferentes estructuras de los mismos.

El 14 de junio del 2020 se realizó el rediseño no sustancial de la malla curricular del 2018 por lo que la materia de Mineralogía se cierra y se mantiene la asignatura de Procesos Extractivos y Metalúrgicos manteniéndose también el laboratorio de Mineralogía, sin embargo, se puede evidenciar que no existe ningún equipo en el laboratorio que sustente el componente teórico de la extracción de metales preciosos. Debido a esta necesidad a través de este proyecto técnico se aspira diseñar y construir una celda de flotación para la planta piloto de obtención de metales preciosos del laboratorio de Mineralogía de la Facultad de Ciencias y de esta manera poder poner en funcionamiento el laboratorio y sacar provecho de las prácticas.

1.4. Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1. Beneficiarios directos

Los primordiales beneficiarios del proyecto técnico serán los alumnos y docentes de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, debido a que podrán afianzar los conocimientos teóricos adquiridos en la materia de Metalurgia y Procesos Extractivos, serán aplicados prácticamente en la Celda de Flotación de esta forma conocer de cerca el proceso de extracción de metales preciosos.

1.4.2. Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos formaran parte todos los demás estudiantes, docentes, tesis y e investigadores de las diferentes carreras de la Facultad de Ciencias, así como estudiantes de diferentes carreras de la Universidad ya que es un equipo práctico y de fácil manejo el cual ayudará afianzar la parte práctica de la extracción minera.

1.5. Localización del proyecto

La celda de flotación estará ubicada en la ciudad de Riobamba en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo específicamente en el Laboratorio de Mineralogía de la Facultad de Ciencias (1°39'22.1"S 78°40'40.1"W) para que sea utilizada por todos los estudiantes de la facultad, pero en especial de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química los cuales en su malla curricular poseen la materia de Metalurgia y Procesos extractivos.



Ilustración 1-1: Google Maps Ubicación del laboratorio de Mineralogía

Fuente: Google Maps, 2022.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

- Diseñar y construir una celda de flotación para la planta piloto de obtención de metales preciosos del Laboratorio de Mineralogía de la Facultad de Ciencias.

1.6.2. Objetivos específicos

- Analizar las características, variables de diseño, funcionamiento y condiciones específicas que debe tener la celda de flotación en la planta.
- Diseñar la celda flotación de acuerdo con las necesidades específicas del laboratorio de Mineralogía, para la obtención de metales preciosos.
- Construir la celda de flotación para la obtención de metales preciosos del laboratorio de Mineralogía en base al diseño planteado.
- Validar el equipo en conjunto con la planta piloto.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

El Ecuador es un país con un buen potencial en el área de la minería, teniendo significativos almacenamientos de oro, cobre, plata y otros tipos de metales (Nacional et al., 2015, párr. 5). Hoy en día, se menciona que esta actividad podría llegar a ser una de las futuras fuentes para la evolución económica en el país (Nacional et al., 2015, párr. 7) y de acuerdo al ministerio de Minería, se ha considerado incrementar la investigación y desarrollo de tecnologías para mejorar tanto la explotación como la producción e inclusión de la minería en el país.

La explotación considerara varias etapas para llegar a su objetivo, siendo:

- Exploración geológica de los suelos,
- Explotación Minera,
- Procesamiento de minerales
- Metalurgia Extractiva.

La flotación es un proceso de separación y concentración de minerales usado mayormente hoy en día, permitiendo optimizar la extracción y por ende la producción de minerales valiosos (Américo y Calderón, 2012, p. 3).

La concentración es la acción mediante la cual se incrementa el contenido (en porcentaje) de cierto mineral o mena, por medio de celdas separadoras sólido-sólido originando la disociación de dos o más especies para producir un producto enriquecido en algún mineral de interés (Bustamante, Gaviria y Restrepo, 2008, párr. 4).

El trabajo de (Vilella, 2013, p. 10), presenta el estudio y caracterización de una celda de flotación mecánica con aireación, mediante el diseño y construcción, de la cual se observa el dimensionamiento la celda de flotación, se definieron los reactivos a utilizar en los ensayos posteriores. Para la evaluación de la celda de flotación, se realizaron pruebas para el estudio de recuperación de minerales En este trabajo se realizaron tres pruebas a diferentes concentraciones iniciales de material, 3.5, 2 y 1 kg de material. El concentrado obtenido fue de un mineral desconocido por lo que se realizaron algunas respectivas pruebas de análisis químico para determinar que mineral se recuperó. Los resultados obtenidos mostraron una mayor recuperación del mineral cuando se alimenta una menor concentración de material en la celda de flotación.

La fabricación de un prototipo de celda piloto de flotación “San Marcos”, por (Figuroa et al., 2009, p. 67) beneficia a los alumnos de la institución en su aprendizaje diario, la misma que sirve para experimentación y observación de pruebas metalúrgicas la misma que inicio primeramente por la elaboración de planos de las partes que conforman la máquina los mismos que poseen adicionalmente cortes, moldes de fundición de piezas y otras partes, posteriormente se da el ensamblaje de la celda, instalación, circuitos y prueba de funcionamiento.

La celda Jameson se usa principalmente de manera industrial, tiene un funcionamiento simple, con un dispositivo compacto y eficiente para el proceso grande de minerales, la misma que fue elaborada por el Prof. Jameson de la Universidad de Newcastle de Australia, conjunto con la compañía Mount Isa Ltd. La misma que mediante investigaciones se corrobora que logra operaciones eficientes (Figuroa y Aquiles, 2005, p. 23).

La selección del diseño más adecuado de una celda de flotación DENVER según Osorio, (2018, p. 12) se relaciona con el costo de fabricación y a la facilidad de operación. En la planta concentradora Raura cuenta con un equipo de flotación para el concentrado de zinc el mismo que fue elaborado con poca dificultad y diseñado en acero ASTM A36, ya que es muy cotizado en el mercado, por otro lado el proceso de construcción y ensamblaje no tiene mayor dificultad, la maquinaria usada para la fabricación fueron comúnmente torno, fresadora, dobladora, máquina de soldar, taladro, etc.; siendo estos materiales universales para este tipo de equipos dependiendo de cada parte que se quiera elaborar; los mismos que coinciden con el material al usar en este proyecto con la diferencia de que la celda de flotación va destinada para uso de laboratorio conociendo que cumple en mismo mecanismos de una celda industrial.

El trabajo presentado por (Pazmiño, 2017, p. 11), de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) se encamina por el análisis del funcionamiento de la celda de flotación de fabricación local destinada al laboratorio de investigación aplicada en metalurgia extractiva en el cual se analizan variables de construcción y diseño anteriores para su futura optimización, es una celda funcional con cierto tiempo considerable de uso y que por ciertos motivos el desempeño del proceso se ha visto afectado por factores propios del equipo quizá por no haber tenido un mantenimiento y limpieza adecuado o por mal uso del mismo y es por ese motivo que el imponer un buen diseño y adaptación de cada una de las partes que conforman la celda para mantener un equilibrio otorga con el paso del tiempo una operación beneficiosa y por ende con un buen mantenimiento se alarga la vida útil del equipo.

Según Romero, (2016, p. 12), la celda de flotación tipo Denver Sub-A generalmente de forma cuadrada configurada en un banco de 4 cajones o individualmente, cumple la misma función que

una celda de flotación circular y con una propiedad de optimización, la celda Denver permite tener una mayor concentración de los metales generando un concentrado de mejor calidad, pero en menor volumen que es lo que se necesita industrialmente, mientras que la celda de flotación circular actuando con el mismo principio de la celda Denver permite un mayor volumen de concentrado, pero de menor calidad, debido a que es un equipo de laboratorio demostrativo donde se observa en sí, como se lleva el proceso de flotación en grandes industrias y por ende no tiene un cambio económico.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Flotación

Proceso cuya finalidad consta de la separación selectiva entre minerales hidrofóbicos e hidrofílicos (Vilela, 2013, p. 15), para recuperar de esa manera los metales valiosos como son: oro, plata, zinc, cobre, etc., y rechazando los metales sin grado de importancia o simplemente la ganga.

2.2.2. Minerales hidrofílicos

Aquellos afines con el agua, formados por: óxidos, carbonatos, silicatos, sulfatos, etc., que constituyen en mayor cantidad la ganga. Los mismos que perduran en suspensión en la pulpa para últimamente depositarse en el fondo de la celda. Son aerofóbicos, por lo tanto no se fijan a las burbujas de aire (Salcedo, 2015, p. 25).

2.2.3. Minerales hidrofóbicos

No tienen afinidad con el agua o a su vez son poco mojables, estos pueden ser: metales nativos, sulfuros de metales, carbón bituminoso, grafito, talco, etc., esto permite que las partículas se unan a las burbujas de aire y asciendan a la superficie; estos minerales son aerofílicos, poseen afinidad con las burbujas de aire (Salcedo, 2015, p. 26).

2.2.4. Principio de la flotación

La flotación funciona por medio de un principio fisicoquímico, en el cual las partículas hidrofóbicas que corresponden a los minerales valiosos chocan con las espumas originando una adsorción selectiva con las partículas que se mantienen en suspensión en el agua y ascienden a la superficie en contra de la gravedad (Pazmiño, 2017, p. 18), consiguiendo esta burbujas de aire una

espuma que conforme llega a la superficie va siendo eliminada, por otro lado las partículas hidrofílicas no valiosas descienden al fondo como desechos o relaves mineros.

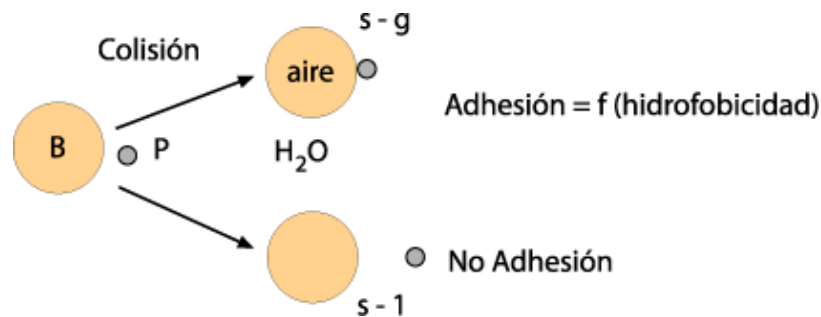


Ilustración 1-2: Esquema de Adhesión Selectiva

Fuente: (Codelco Educa, 2018, párr. 3).

2.2.5. Factores que intervienen en la flotación

2.2.5.1. La pulpa

Es la unión del mineral seco previamente molido con el agua, formándose una mezcla que contiene todos los elementos que forman el mineral (sulfuros valiosos, ganga y agua). Tiene que estar apropiadamente molida a un diámetro que no sobrepase la malla 150, ni menos de la malla 100, en este intervalo, se conseguirá recuperar de una forma efectiva (Salcedo, 2015, p. 28).

- Si la pulpa posee diámetros gruesos de partículas (mayores a malla 150), estas se sedimentarán en el fondo de las celdas de flotación junto con la ganga y ocasionarían daño al agitador de la celda por la demasiada acumulación de sedimentos en el fondo, estas no flotan debido a que los reactivos y el aire no pueden levantar diámetros demasiados grandes ni así cuando se aumente considerablemente la cantidad de colectores y espumantes. (Fonseca, 2012, p. 9).
- Si la pulpa posee diámetros muy finos de las partículas (menores a la malla 100), la flotación no será eficiente porque se desearían en forma de slimes (lamas). Ahora, si la pulpa es aguada, se debe comprobar que las espumas asciendan de manera normal del recipiente y que no se dé un exceso de espuma, dando a entender que estamos pasando menos volumen de material valioso y por lo tanto estamos perdiendo capacidad (Salcedo, 2015, p. 29).

El pH de la pulpa debe ser neutro es decir mantenerse en niveles de 7 (ni alcalino ni ácido) y corresponde al agua pura, este indica el contenido de cal en el proceso de flotación, a mayor cantidad de cal, la mezcla es más alcalina; a menor cantidad de cal, es menos alcalina. Por ende, este sería la manera de acondicionar cal si fuera el caso. (Salcedo, 2015, p. 30).

2.2.5.2. *El aire*

Es el elemento mediante la agitación ayuda a la formación de burbujas (burbujas + partículas forman las espumas), las cuales hacen subir las partículas valiosas hacia la superficie de la celda (Salcedo, 2015, p. 30).

- a) El aire se produce por medio de entradas o ventiladores a baja presión (2-6 lb/pulg² = 2-6 PSI), este también puede ser natural o tomado del medio ambiente que ingresa al interior de la celda (Salcedo, 2015, p. 31).
- b) Cuando existe un exceso de aire, la agitación se sobrepasa, esto provoca que las espumas se revienten antes de ser recogidas en la superficie o salgan junto con la pulpa, con mayor cantidad de agua, y hasta llevándose consigo la ganga (Huapaya, 2010, p. 27).

Cuando la cantidad de aire es poca, las espumas no serán lo suficientemente fuertes para poder llevar las partículas valiosas consigo, las cuales al no ser llevadas a la superficie se perderían como relave; es por ello que la cantidad de aire dependerá de las necesidades del proceso (Huapaya, 2010, p. 27).

2.2.5.3. *Los reactivos*

Son compuestos químicos cuya función es salvar las partículas valiosas, desechando la ganga. En todo proceso de flotación van a existir reactivos que son afines con el aire pero no con agua; habrá por otro lado aquellos que les gusta la roca, pero no los sulfuros, y viceversa y así continuamente (Salcedo, 2015, p. 32).

2.2.5.4. *La agitación*

Ayuda la conformación de espumas para el respectivo proceso, homogeniza la mezcla equivalente entre los reactivos con los elementos que conforman el mineral contenido en la pulpa (Salcedo, 2015, p. 32).

- a) La agitación debe ser equilibrada. Si se excede en este fenómeno rebalsará la pulpa en vez de las espumas, esto provocará un rompimiento en las burbujas y si hay deficiencia de agitación la espuma será muy poca y débil y por ende no alcanzará a sobresalir (Pazmiño, 2017, p. 25).
- b) El tamaño de las burbujas es uno de los factores más importantes para poder estimar el rendimiento del equipo ya que se relaciona directamente con las variables operacionales mecánicas siendo estas la tasa superficial de aire y la velocidad del empeller (Pazmiño, 2017, p. 25).

- c) El flujo de aire está directamente relacionado con el tamaño de las burbujas la misma que otorgan la estabilidad de la espuma y el buen rendimiento del proceso. Al ser el aire el generador de las burbujas, el aumento de este flujo aumenta la tasa de flotación en la pulpa, y esto puede causar daños en la etapa de espumas disminuyendo la recuperación deseada (Venkatesan, Harris y Greyling, 2014, p. 221).

2.2.6. Tipos de flotación

2.2.6.1. Flotación no selectiva de aceite (bulk oil flotation)

El material seco previamente molido con aceite ingresa al proceso con agua, las partículas hidrófobas, se quedan retenidas en la fase del aceite y las partículas con gran afinidad con el agua permanecen en la fase acuosa, finalmente, mediante un proceso de separación (decantación) la capa aceitosa es separada y posteriormente el mineral se filtraba para separarlo del aceite (Huapaya, 2010, p. 28).

2.2.6.2. Flotación de película (film or skin flotation)

El mineral seco molido se difunde por la superficie del agua, donde las propiedades hidrófobas hacen que estas partículas emerjan para formar una película muy fina en la superficie y luego ser recolectada por algún tipo de mecanismo o proceso; por otro lado, la ganga por sedimentación se deposita en el fondo. Actualmente ya no se usa y es considerado un método antiguo (Huapaya, 2010, p. 28).

2.2.6.3. Flotación de espuma

Se conoce como el apego o adhesión selectivo de minerales hidrófobos a burbujas de aire se forman en el interior de la pulpa. Esta unión asciende a la superficie con el material valioso deseado y es removida de la celda mediante un sistema de paletas o de acuerdo a la configuración de la celda por rebalse, trabaja conjuntamente con reactivos químicos que ayudan a equilibrar las propiedades superficiales (Huapaya, 2010, p. 29); (Gzogyán y Gubin, 2008, p. 108).

Una celda de flotación dependiendo la necesidad a cubrir tiene dispositivos para inyectar aire y se produzcan las burbujas o simplemente con el aire que ocasiona el agitador y esto ayuda a mantener en suspensión las partículas. Aproximadamente las celdas tienen un volumen desde 2 a 3 000 pies cúbicos (Huapaya, 2010, p. 29). El lapso en el cual las partículas hidrófobas se unen a las

burbujas de aire y suben hacia la superficie se lo llama tiempo de flotación y varía dependiendo de la cantidad de pulpa y de reactivos desde segundos hasta minutos (Gzogyan y Gubin, 2008, p. 108).

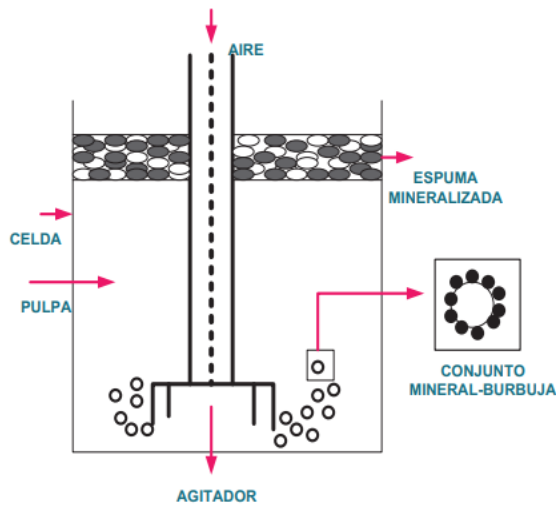


Ilustración 2-2: Principio de la flotación de espuma

Fuente: (Huapaya, 2010, p. 32).

La flotación de espuma se clasifica en:

- a) **Flotación Directa:** las partículas valiosas del mineral sale adherida en la espuma y la ganga se queda en el fondo (nonfloat) (Salcedo, 2015, p. 34).
- b) **Flotación Inversa:** las partículas valiosas se depositan en el fondo y la ganga es la que permanecerá en flotación (Salcedo, 2015, p. 34).
- c) **Flotación Colectiva (Bulk Flotation):** todas las partículas valiosas flotan en una única espuma sin selectividad de uno solo, (Salcedo, 2015, p. 35).
- d) **Flotación Selectiva o Diferencial:** está formado por etapas de flotación donde un solo mineral va a flotar en cada etapa (Salcedo, 2015, p. 37).

2.2.6.4. Flotación de iones

Los reactivos de flotación van hacer el medio de ayuda del proceso, ocasionado una precipitación de los iones y posteriormente son flotados (Gzogyan y Gubin, 2008, p. 109).

2.2.7. Celda de flotación

Equipo de concentración de minerales cuya finalidad es separar eficientemente metales valiosos a partir de la pulpa. Generalmente presentan un sistema rotor-estator ayudando al esparcimiento de los sólidos presentes en la pulpa y del aire que ingresa (Pazmiño, 2017, p. 31).

2.2.8. Fases en una celda de flotación

Dentro de la Celda de flotación existen tres fases:

2.2.8.1. Fase sólida

Formada por las partículas secas previamente molidas (minerales) que se someterán a separación que presentan una estructura cristalina (Salcedo, 2015, p. 37). Los factores que interviene en esta fase son:

- a) Forma que mantiene la superficie aireada (tipo de superficie).
- b) Contaminantes presentes en las muestras tanto sólidos como líquidos y gases.

2.2.8.2. Fase líquida

El agua es el medio para que se produzca la separación (Salcedo, 2015, p. 37). Hay factores que pueden alterar el proceso con por ejemplo la dureza del agua ocasionada por sales de magnesio, calcio y sodio estas cambian la naturaleza de flotabilidad y también puede aumentar el consumo de reactivos (Américo y Calderón, 2012, p. 77).

- a) La etapa de pulpa constituye el lugar donde está presente la agitación, se va a generar el movimiento causando una perturbación en el fluido para ocasionar colisiones y gracias a estas últimas se unirán las partículas hidrófobas a las burbujas las mismas que formarán espumas.
- b) La zona intermedia representa a la pulpa en estado transitorio donde se realiza la adsorción selectiva y las espumas con un movimiento uniforme se desplazarán fácilmente hacia la superficie.
- c) La fase de espuma está en la fase superior de la celda la misma que será recolectada por cierto mecanismo y en la cual se puede observar que la turbulencia va disminuyendo ayudando a la estabilidad de las burbujas y por ende a la flotación de los minerales valiosos (Pazmiño, 2017, p. 33).

2.2.8.3. Fase gaseosa

Es el aire representa esta fase el mismo que puede ser neumática, mecánica o por acción del propio agitador, importante para la formación de burbujas que son el medio de transporte de las partículas sólidas de valor (Salcedo, 2015, p. 39).

2.2.9. Tipos de celda de flotación

2.2.9.1. Celdas de flotación mecánicas

Su funcionamiento se genera mediante un impulsor maniobrado por un motor, el impulsor está ubicado inferiormente, con la finalidad de agitar la pulpa, encontrar un equilibrio y poder dispersarla por todo el fluido, el mismo que mantiene dicha pulpa en suspensión y esparce el aire a ella, para que con la ayuda de reactivos y empleando el método de succión se puedan formar las burbujas se realice el proceso (Bastias, 2019, p. 11).

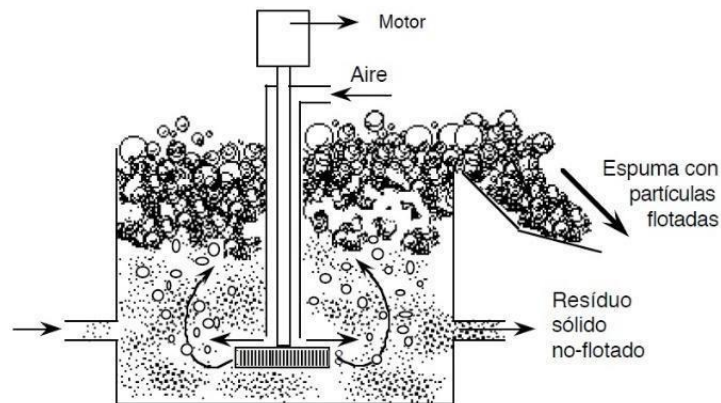


Ilustración 3-2: Esquema de Celda de Flotación Mecánica

Fuente: (Wikispaces, flotación, 2019, párr. 1).

Se utiliza en plantas pequeñas, ofreciendo un buen rendimiento y sobre todo un rendimiento aceptable. (Bastias, 2019, p. 15).

2.2.9.2. Celdas de flotación neumáticas.

Utilizan en el proceso aire comprimido y no tienen un impulsor, su funcionamiento está basado en menor tamaño (Bastias, 2019, p. 15). Presenta cierto control sobre el flujo de aire enviado a la pulpa para generar burbujas.

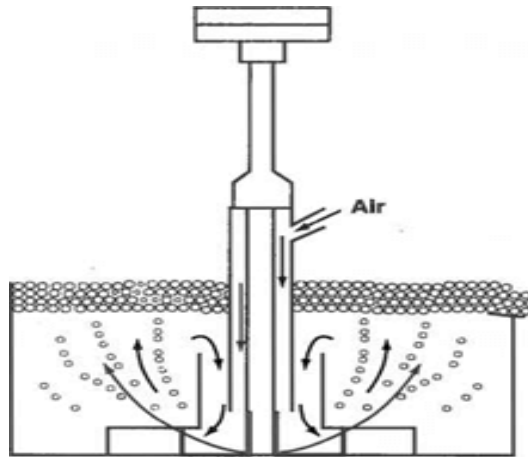


Ilustración 4-2: Celda de Flotación Neumática

Fuente: (Michaud, 2015, párr. 3).

2.2.9.3. Celdas de flotación de columnas

Operan mediante la separación de corrientes encaminadas en dos direcciones, la primera entre las burbujas y la pulpa y la segunda entre las burbujas mineralizadas (con minerales) y el agua de lavado. Tiene un tamaño considerable ya que forma una columna, considerando que el aire de entrada del modelo y la necesidad a cubrir (Bastias, 2019, p. 16).

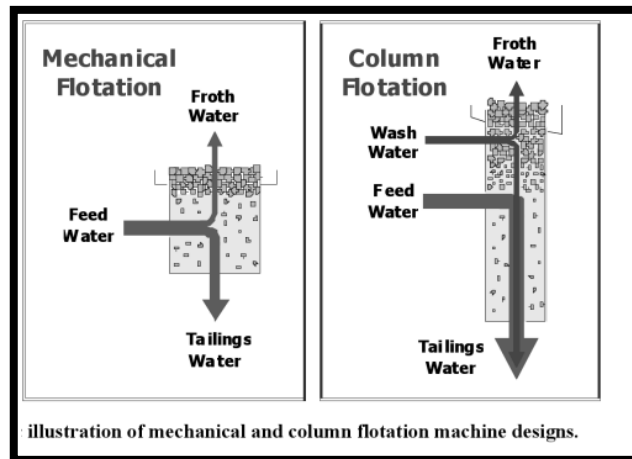


Ilustración 5-2: Diferencia entre Celda Mecánica y Celda de Columna

Fuente: (Michaud, 2015, párr. 7).

2.2.10. Reactivos de flotación

Para flotar minerales se usan una variedad de químicos reactivos, los mismos que se mezclan homogéneamente con el material conseguido luego del proceso de molienda seca o húmeda.

2.2.10.1. Espumantes

Su función es perturbar la tensión superficial del fluido, para formar burbujas tenaces y consistentes permitiendo la unión del mineral seleccionado para crear una capa absorbida de estas y generando de esta manera las espumas y funcionando como medio de transporte hacia la superficie manteniendo el mineral consigo y sin desintegrarse aportando también elasticidad para que estas penetren la capa de agua sin problema (Bastias, 2019, p. 17).

(Brown, Thurman y Bain, 2004, p. 27) han justificado que la firmeza de las espumas crece si la viscosidad es creciente y la permeabilidad decrece es decir que la espuma que contiene cantidades pequeñas de las partículas es más estable que aquella vacía.

¿Qué ocurre si no se utiliza espumante?

- Las burbujas son inestables y por ende se reventarían.
- No se formarían espumas.
- No ocurriría la flotación y habría contaminación de relaves.

¿Qué ocurre si se coloca espumante en exceso?

Se genera un desperdicio de reactivo y se producirán muchas espumas que excederán los orificios de recolección ensuciando los concentrados y los alrededores (Salcedo, 2015, p. 40).

¿Qué sucede si no se coloca suficiente espumante?

Las espumas serían débiles y muy bajas y por ende las partículas valiosas formarían parte del relave y no se daría el proceso de (Salcedo, 2015, p. 40).

2.2.10.2. Colectores

Reactivos que ayudan a la separación del mineral interviniendo en sus propiedades hidrofóbicas y aerofílicas del mineral que se va a separar, permitiendo la unión del mineral elegido a las burbujas y no a partículas indeseados (Bastias, 2019, p. 16).

El catión o anión del grupo polar ayuda al ion del colector absorberse a la superficie polar, del mineral; mientras que el grupo no-polar se dirige hacia la etapa acuosa hidrofugando el mineral, para formar la película hidrofóbica en la superficie (Salcedo, 2015, p. 43). Como resultado se tendrá la adherencia de las partículas valiosas a las burbujas (Salcedo, 2015, p. 45).

¿Qué sucede si no existen colectores en el proceso?

No se daría la unión de los minerales de valor a las burbujas, los mismos que formarían parte del relave y las espumas ascendería sin ningún contenido a la superficie (Bastias, 2019, p. 13).

¿Qué pasa si hay exceso de colector?

Flotarían tanto metales de valor como aquellos indeseables o caso contrario no se dejarían que floten aquellas partículas deseadas. (Salcedo, 2015, p. 47).

¿Qué pasa si hay poca cantidad de colector?

La ganga sería alta ya que no se flotaría nada y toda la muestra quedaría en el fondo de la celda. (Salcedo, 2015, p. 48).

2.2.10.3. Depresantes

Tiene la finalidad de que los minerales no seleccionados se mantengan alejados de las burbujas, es decir que ayuda a la selectividad de lo que se quiere flotar (Bastias, 2019, p. 13). Crean barreras superficiales por un intercambio iónico para retraer la unión del colector, aumentando la absorción de la superficie mineral y despegando los iones del colector (Brown, Thurman y Bain, 2004, p. 39).

2.2.10.4. Activadores o reactivadores.

Fenómeno contrario de los depresores donde estos incrementan la flotación permitiendo la adsorción del colector de aquellos minerales (Bastias, 2019, p. 14).

2.2.10.5. Dispersantes

Por efectos mecánicos en la molienda, se originan lamas que se pegan al proceso, estos ayudan a evitar que estos slimes floten (Salcedo, 2015, p. 50).

2.2.10.6. Modificadores

Su función es mantener el medio de flotación en estado neutro y mejorar las condiciones del proceso (Bastias, 2019, p. 20), los más conocidos son los modificadores de pH, que actúan como depresantes, dispersantes y cumpliendo su función de estabilización de pH.

2.2.11. Dosificación de reactivos

Tabla 1-2: Dosificaciones de Reactivos

REACTIVOS	TIPOS COMUNES	CARACTERISTICAS	DOSIFICACION APROX.
Colectores	Xantatos	Tienen mayor uso y son bien aceptados, son reactivos químicos derivados del ácido carbónico.	Se usan en concentraciones del orden del 5 a 20% en relación a su peso.
	Xantato amílico de potasio Z6	Principalmente para concentrar minerales que contiene oro, plata, cobre, entre otros.	Se usa con concentraciones entre 20 a 100 g/t, para experimentación se varía de entre los 50 g/t; o relaciones 10/100, es decir 10g de reactivo en 100ml de agua, (Di Yorio et al., 2001, p. 14).
	Ditiofosfatos AR-1404 AR-1208 AR 1242	Flotar diferentes minerales sulfurados (CHICA y SALINAS, 2017, p. 7).	Según Renasa, (2017, párr. 2) está por lo general entre los 25 a 100 g/t, para experimentación varía entre 60 a 75g/t, Preferible su disolución que podría ser del 10% al 20%.
Espumantes (Aceite de pino, Cresoles, Éter glicol polipropinel, Fenoles, MIBC)	Alcoholes	Espumantes débiles porque tienen una baja actividad superficial.	ER- 370 Su dosificación está entre 30 a 100 g/t, para experimentación se puede agregar puro, se adicionará solamente gotas, al poner demasiado espumante, las espumas empiezan a arrastrar tanto ganga como material valioso, Cytec, (2002, p. 15).
	Poliglicoles	Son más resistentes a los alcoholes.	
Activadores	Sulfato de cobre	Elevan la adsorción de los colectores (10% p/v de pureza)	Flotación de oro o de los minerales que contiene oro, por ejemplo: pirita, pirrotina, estibina y arsenopirita.
Depresores	Sulfhidrato de sodio NaSH	Deprime a los sulfuros, (Naranjo, 2012, p. 33).	Se utiliza para sulfuros de cobre en la flotación de Mo-Cu.
	Cianuro de sodio	Deprime al sulfuro de zinc (ZnS) y a la calcopirita.	
	Cal	Deprime a la pirita (FeS)	Siendo útil usar de 1 a 3 kg/t para el oro.
Reguladores de pH	Cal	Es más económica y se utiliza siempre y cuando no afecte la concentración por flotación.	A un rango deseado entre 8 y 14 en la escala de pH.

Realizo por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Los reactivos utilizados en la flotación son necesarios para llevar a cabo el proceso ya que debido a ellos se obtienen las espumas y las condiciones óptimas para que el conjunto mineral-burbuja asciendan a la superficie y puedan ser recolectados, de la misma manera optar por una dosificación correcta ayudara que se tenga mayor cantidad de concentrado y sobre todo efectiva del mineral de interés.

2.2.12. Variables del proceso de flotación

➤ El agua

El agua tiene propiedades polares, toda agua sea natural o industrial posee características que pueden alterar el medio de cualquier proceso, tanto como la dureza del agua, las impurezas y contaminaciones interfieren la flotabilidad de algunos minerales lo que provoca generalmente el consumo en exceso de reactivos y por ende mayor contaminación del agua residual resultante.

➤ El aire

Gracias a la acción del aire se genera un proceso eficiente ya que este actúa en el acondicionamiento del medio y en la formación de espumas lo que aporta es oxígeno disperso en el agua donde con el dióxido de carbono influyen en la hidrofobización del mineral (Bulatovic, 2007, párr. 11).

➤ Densidad de pulpa

Interviene directamente en la viscosidad, donde las pulpas con baja densidad de 10 a 15 %, tienden a producir leyes de concentración mayores manteniendo un mejor vaciado de espuma mineralizada (Cytex, 2002, p. 26); (Wills y Napier, 2006, p. 267).

➤ Temperatura

No tiene mayor interferencia en el proceso ya que el precalentamiento de pulpas no sucede a menudo y por ende ya no se considera.

➤ Tiempo de flotación

Tiene que ver directamente con el dimensionamiento en si del equipo de flotación en el cual se considera también el tamaño de partícula y los reactivos (Wills y Napier, 2006, p. 271).

➤ Puntos de adición de reactivos

Los tiempos establecidos para el acondicionamiento de cada reactivo es de suma importancia ya que de estos va a depender la factibilidad del proceso tomando en cuenta también la cantidad de muestra seca, calidad del agua y los tipos reactivos.

➤ Granulometría

Las partículas que ingresan al proceso de flotación deben estar previamente molidas y tamizadas por las mallas adecuadas (150-100 μm) para obtener la mayor cantidad de partículas liberadas valiosas.

➤ Influencia de lamas

Conforman aquellas partículas inferiores a los 20 μm, que por ende no tienen ninguna composición fija y actúan de forma negativa en el proceso, consumiendo reactivos e interfiriendo en la unión de burbuja-material valioso.

2.2.13. Materiales

El estudio y manipulación de la composición (naturaleza química) y estructura (arreglo de átomos) de los materiales para reconocer las propiedades mediante el procesamiento y la síntesis es estudiada por la ciencia e ingeniería de materiales (CIM) (Grisebach y Vollmer, 2005, p. 7).

2.2.13.1. Clasificación de los materiales

Tabla 2-2: Clasificación de material de los materiales

Material	Ejemplos	Propiedades
Metales y aleaciones	Cobre, aceros, aceros inoxidables, aceros para herramientas, aluminio, titanio, tungsteno, etc.	Conductividad eléctrica alta, buena formabilidad, moldeable, maquinable, amortiguador de vibraciones, endurecimiento significativo por tratamiento térmico.
Cerámicos y vidrios	$SiO_2 - Na_2O - CaO$, $Al_2O_3 - MgO - SiO_2$, titanio de bario, sílice	Ópticamente transparente, aislante térmico, soportan altas temperaturas, relativamente inertes al metal fundido.
Polímeros	Polietileno, epoxi, fenólicos, nylon, hule, siliconas, etc.	Convertible a películas delgadas, flexibles y herméticas, aislante eléctricamente y resistente a la humedad, fuertes.
Semiconductores	Silicio, GaAs, etc.	Comportamiento eléctrico único, convierte señales eléctricas en luz, láseres, etc.
Compuestos	Grafito-epoxi, acero revestido de titanio, carburo de tungsteno-cobalto, etc.	Razón resistencia-peso, alta dureza, buena resistencia al impacto, costo bajo.

Fuente:(Grisebach y Vollmer, 2005, p. 11).

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

De entre las formas de reagrupar los materiales, por lo general se describen cinco grupos siendo estos los metales y aleaciones, cerámicos y vidrios, primeros, semiconductores y compuestos los mismos que poseen características específicas que los diferencia uno del otro.

2.2.14. Metales y aleaciones

Forman parte los aceros, zinc, magnesio, aluminio, hierro fundido, níquel, titanio y cobre. La aleación está conformada por un metal que en su composición se adhieren uno o más metales, inclusive pueden llegar a ser los no metales (Grisebach y Vollmer, 2005, p. 16).

2.2.14.1. Acero

Formado por aleaciones de hierro y carbono, clasificados comúnmente por aceros al simple carbono (tienen aparte del carbono cantidades pequeñas de Mn, Si, S, P). Aceros aleados (níquel, cromo, vanadio, molibdeno y tungsteno) (Maldonado, 2006, p. 17).

2.2.14.2. Clasificación del acero

Tabla 3-2: Clasificación más común del acero.

General	Norma UNE-EN ISO 36010				
	Composición química	Aceros finos de construcción general	Aceros para usos especiales	Aceros resistentes a la oxidación y corrosión	Aceros para herramientas
Aceros al carbono Bajo carbono Medio carbono Alto carbono Aceros aleados Baja aleación Alta aleación	Finos al carbono Aleados de gran resistencia Aleados de gran elasticidad Cementación Nitruración	Fácil mecanización Fácil soldadura Propiedades magnéticas Dilatación térmica específica Resistentes a la fluencia	Inoxidables Resistentes al calor	Al carbono para herramientas Aleados para herramientas Rápidos	Al carbono de moldeo de usos generales Baja radiación Moldeos inoxidables

Fuente:(Arnal, 2010. p. 47).

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

La clasificación de los aceros es extensa ya que abarca todas las normas a las cuales se rige el acero como por ejemplo la norma UNE-EN ISO 36010, AISI, DIN (Deutsche Industrie Normen - Alemania), UNS (Unified Numbering System) y EN (Número estándar: WNr). Se ha tomado en cuenta una clasificación general y de acuerdo a la norma UNE debido a que contienen en conjunto los mismos componentes de las demás normas.

2.2.15. Acero estructural

Presenta en su composición hierro (min 98 %), carbono (0.5 - 1.5%) y elementos en menor cantidad como manganeso, azufre, sílice, fósforo, vanadio y oxígeno.

Su eficiencia estructural es alta y más usada debido a su abundancia, resiste a la flexión, compresión y tiene facilidad de ensamblaje, se usa en partes de máquinas (recipientes, engranajes, ejes y palancas) y en el área de la construcción (Angulo & Carvajal, 2009, p. 2).

2.2.15.1. Clasificación del acero estructural

- Aceros estructurales al carbono

Constituidos por carbono y manganeso en cantidades minuciosamente dosificadas (1.7% C, 1.65% Mn, 0.60% Si y 0.60% Cu). El A36 es el acero más común que presenta un esfuerzo mínimo de fluencia y catalogado el más idóneo para utilizarlos en estructuras, puentes, procesos de soldadura y empernado, y equipos que no exponen diariamente a las condiciones del ambiente (Angulo y Carvajal, 2009, p. 2).

Tabla 4-2: Propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono.

Tipo ASTM	Espesor cm	Esfuerzo de fluencia Kg/cm ²	Resistencia a latensión Kg/cm ²	Elongación (%)	
				En 5 cm.	En 20 cm.
A36	Hasta 20	2530	4077-5624	23-21	20
	Mayor a 20	2245	4077-5624	23	20
	A573				
Grado 58	Hasta 3.9	2245	4077-4991	24	21
Grado 65	Hasta 3.9	2461	4570-5413	23	20
Grado 70	Hasta 3.9	2953	4921-6327	21	18

Fuente: (Angulo y Carvajal, 2009, p. 6).

Realizo por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Se muestra los aceros principales de esta clasificación siendo estos el tipo A36 y el A573 (Grado 58, 65 y 70) donde la comparar sus características principales entre los dos tipos se puede observar que el acero presenta una fluencia de $F_y=36$ kpsi.

- Aceros alta resistencia y baja aleación

Están formados por carbono, manganeso y adicionalmente el vanadio, cromo, silicio, cobre, níquel, etc. Estos elementos aleantes no excede de; 5%, presenta resistencia a la corrosión atmosférica más que los aceros al carbono (Angulo y Carvajal, 2009, p. 8).

- Aceros aleados tratados térmicamente para la construcción

Presentan alta resistencia, porque los elementos aleantes son en mayor cantidad y superan el 5%, tratados térmicamente lo que le otorgan tenacidad y resistencia (Angulo & Carvajal, 2009, p. 15).

2.2.16. Acero inoxidable

Formado a base de hierro, carbono (0,8%) y cromo (min 11%). Su mayor características es la alta resistencia a la corrosión (Ibarra, N, 2010, p. 21).

2.2.16.1. Clasificación de los aceros inoxidables

- Aceros inoxidables martensíticos

Contienen cromo (10.5 - 18%) y carbono (máx. 1.2%); endurecidos por tratamiento térmico, tienen características magnéticas, moderada resistencia a la corrosión, y soldabilidad pobre (Bonnet, 2022, párr. 2).

- Aceros inoxidables ferríticos

Forman parte de la serie 400 AISI, contienen cromo (10.5 - 30%) y carbono (máx. 0.08%); endurecidos por trabajo en frío, soldabilidad pobre y resistencia de moderada a buena en corrosión (Bonnet, 2022, párr. 3).

- Aceros inoxidables austeníticos

Presentar en máximo número de aleaciones en el mercado, va desde 200 y 300 AISI, conformado por cromo (16 - 26%) y su de carbono (0.03 - 0.08%); presenta gran resistencia a la corrosión, endurecimiento por trabajo en frío, excelente soldabilidad y no presentan propiedades magnéticas (Bonnet, 2022, párr. 3).

Tabla 5-2: Propiedades generales de los aceros inoxidables

Tipo	Resistencia Corrosión	Dureza	Magnéticos	Temple	Soldabilidad
Martensíticos	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
Ferríticos	Buena	Media-Baja	Si	No	Limitada
Austeníticos	Excelente	Alta*	No**	No	Excelente

*Adquieren mayor dureza al ser trabajados en frío
 **Adquieren cierto magnetismo al ser trabajador en frío

Fuente: (Bonnet, 2022, párr. 4).

Realizo por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Los aceros inoxidables son de amplia utilización en la industria principalmente química, alimentaria y farmacéutica debido a las características que posee, los de tipo austeníticos al presentar una gran resistencia hacia corrosión, excelente soldadura y al no ser magnéticos son los ideales para emplear en la construcción de la turbina de la celda de flotación ya que son factores que ayudan a obtener una agitación limpia

Tabla 6-2: Tipos de aceros más usados y sus aplicaciones

Tipo ASTM	Acero	Formas	Usos	σ_y min (Ksi)	σ_{ut} min (Ksi)
A-36	Al carbono	Perfiles y barras	Puentes, edificios, estructuras en general, atornillados, remachados y soldados, equipos no expuestos a fenómenos del ambiente	36 e<8" 32 e>8"	58 - 80
A-441	Alta resistencia y baja aleación	Doblados en caliente, tubos sin costura y barras hasta 1/5"	Estructuras remachadas, atornilladas o soldadas, pero principalmente para puentes y edificios soldados	40 - 50	60 - 70
A-572	Alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras e<6"	Grados 42, 45 y 50 propuestos para puentes remachados, atornillados o soldados, edificios y otras estructuras. Grados 55, 60 y 65 destinado a puentes remachados o atornillados y otras estructuras que puedan atornillarse, remacharse o soldarse	42 - 65	60 - 80
A-514	Templados y revenidos	Placas e<4"	Propuesto para uso en puentes y otras estructuras soldadas, técnica de soldadura es muy importante	90 - 100	100 - 150
A-316	Inoxidable	Lámina, banda (tira)	En la industria química donde hay presencia de medios agresivos, en la industria alimentaria y médica.	36-248	30-205

Fuente: (Angulo y Carvajal, 2009, p. 15).

Realizo por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Los modelos de aceros comúnmente usados en Ecuador, las manera de comercializarse, su demanda y las aplicaciones son observables en la tabla, de los cuales por poseer características excelentes que van de la mano con el objetivo del trabajo se decidió utilizar el acero al carbono A36 ya que es muy común en el país, fácil de obtener, manejable, de soldado fácil, y no necesita ningún tratamiento ya que se empleara en un equipo que no está expuesto a condiciones ambientales, por otro lado, también se va a emplear al acero inoxidable A-316 por su gran aplicabilidad en las industrias químicas gracias a su muy buena resistencia a la corrosión.

2.2.17. Aceros ASTM A36

Forman parte de esta los aceros al carbono estructurales que sirven para la construcción, accesorios y equipos guiados y conformados por la ASTM A36/ A36M (METINVEST, 2006, párr. 2).

2.2.17.1. Composición química

Tabla 7-2: Composición química de colada para grados ASTM

Análisis de colada Elementos de la composición química	
Grado	A 36
Calidad	Grado 36*
C % (Máx.)	0,26
Mn %	0,8-1,2
S % (Máx.)	0,05
P % (Máx.)	0,04
Si %	≤0,40
Cu %	7)

7) Si se acuerda una calidad con cobre, Cu ≥ 0.20.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012, p. 3).

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

La composición química de acero ASTM A36 consta de hierro (min 98 %), carbono (máx. 0.26 %), manganeso (0,8-1,2%), silicio (≤0,40%), azufre (máx. 0,5%), fósforo (máx. 0,04%) y cobre (0,20%); sabiendo que mientras mayor sea el contenido de carbono, la resistividad y la dureza del material vendrá a ser más grande, en este caso del acero A 36, presenta un porcentaje apto y suficiente para que sea una aleación más manejable, he ahí su utilización a nivel mundial para la construcción de todo tipo estructuras en general.

2.2.17.2. Requisitos mecánicos

Tabla 8-2: Requisitos mecánicos para grados ASTM

Norma	A 36	
Calidad	Grado 36*	
Esfuerzo de fluencia Re MPa[ksi]	≥250[36]	
Resistencia a la tracción Rm MPa[ksi]	400-550 ²⁾ [58-80]	
Alargamiento mínimo A	mín. 200 mm [8 in.] %	20 ¹⁾
P % (Máx.)	mín.50 mm [2 in.] %	21 ²⁾

1) véanse los ajustes relativos a los requisitos de elongación en el apartado " Ensayos de Tensión" de la norma A6/A6M
2) Para perfiles con espesor de a la >75 mm (3 pulg): A mín. 19% en 2 pulg. (50mm), Gr. 36 exento de Rm máx.
2a) Para perfiles con espesor de ala >75 mm (3 pulg): a mín. 18% en 2 pulg. (50 mm).
2b) Para perfiles superiores a 634 kg/m (426 lbs/ft): A mín. 19% en 2 pulg. (50 mm).

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012, p. 4).

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

El acero A-36 está creado con gran resistencia de entre los 400-550 MPa (ksi) de acuerdo a los perfiles del espesor de la norma. La cantidad de presión que se usa para doblar el acero hasta el lugar en donde no retorne a su forma original es decir la elasticidad, es de 36.300 psi. El alargamiento que es la cantidad de estiramiento que el acero puede resistir sin romperse, es del 20%. Las mismas que otorgan una gran resistencia física, y buena elasticidad permitiendo dar forma a los metales, y a su vez se deriva una capacidad excelente para soldar sin que se produzcan imperfecciones.

2.2.17.3. Características

- ASTM A36 contiene hierro (mín. 98 %), carbono (máx. 0.26 %) y manganeso y silicio, los cuales le dan la resistencia a la tracción y buena atribución en la soldadura (General de Acero Cia., 2020, p. 1).
- Tiene buena resistencia a la compresión y debido a su bajo costo tiene gran demanda (General de Acero Cia., 2020, p. 1).

2.2.17.4. Usos

Es el componente que más se usa para la fabricación y construcción de estructuras (puentes, edificios, estructuras atornilladas y soldadas) (General de Acero Cia., 2020, p. 1).

2.2.17.5. Ventajas

- Ductilidad
- Homogeneidad
- Buena soldabilidad
- Correspondencia resistencia -precio
- Idóneo para cortarlo en llama, sin endurecimiento

2.2.18. Aceros inoxidables austeníticos

Presentan contenidos de níquel (8-37%) como uno de los elementos principales, tiene cromo (15-32%); usado principalmente en plantas y equipos (Ibarra, Núñez y Huerta, 2010, p. 14).

2.2.18.1. Acero inoxidable 316

Conformado por cromo y níquel austenítico; resistente a la corrosión y temperaturas elevadas, mejorando el tiempo de vida útil debido a picaduras de iones de cloruro (NKS, 2020, p. 1)

2.2.18.2. Características técnicas del acero inoxidable austenítico

Tabla 9-2: Requisitos técnicos para el acero 316

COMPOSICIÓN QUÍMICA: ASTM A240, A666		
Tipo 316		
Elemento	Cantidad	
Carbón	0.08 máx.	
Manganeso	2.00 máx.	
Azufre	0.030 máx.	
Fósforo	0.045 máx.	
Silicio	0.75 máx.	
Cromo	16.00 a 18.00	
Níquel	10.00 a 14.00	
Molibdeno	2.00 a 3.00	
Nitrógeno	0.10 máx.	
PROPIEDADES MECÁNICAS: ASTM A240		
Límite elástico 0,2 % compensación (KSI)	Resistencia a la tracción (KSI)	% de elongación (longitud de calibre de 2")
30 min.	75 mín.	40 min.
PROPIEDADES FÍSICAS		
Coeficiente promedio de expansión térmica (pulg. x 10 ⁻⁶ por o F)	32 a 212 °F (0 a 100 °C)	8.9
	32 a 600 °F (0 a 316 °C)	9.0
	32 a 1000 °F (0 a 538 °C)	9.7
	32 a 1200 °F (0 a 649 °C)	10.3
Resistencia eléctrica (microhmios por cm)	a 70 °F (21 °C)	29.4
Rango de punto de fusión (°F)		2500–2550
Soldabilidad	Muy buena	
Maquinabilidad comparada con un acero Bessemer para a.B1112	45%	
Embutición	Buena	

Fuente: (Irestal Group, 2010, p. 3).

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

El acero inoxidable grado 316 posee cantidades de 2 a 3 por ciento de molibdeno lo que le diferencia de los otros tipos, esta adición incrementa la resistividad a la corrosión, sus propiedades físicas, mecánicas y su composición hacen que sea usado en aplicaciones industriales que

contienen procesos químicos. Poseen una muy buena soldabilidad y una maquinabilidad del 45% en comparación con el acero Bessemer.

2.2.19. Soldadura

Proceso de adhesión de dos o más materiales, con la finalidad de formar una única pieza mediante calentamiento a cierta temperatura, aplicando o no presión y con el uso o no de un metal de aportación.

2.2.19.1. Soldadura TIG

Es una soldadura bajo atmósfera inerte de tungsteno GTAW (Gas Tungsteno Arc Welding) (EWM AG, 2021, párr. 2); comprende el uso de un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno y cierta pieza que se desea unir, con la protección de un gas (Esquivel, 2017, párr. 2).

➤ Características

- Usa un electrodo permanente de tungsteno y gases inertes como protección (VLD ENGINEERING, 2021, párr. 1).
- Usa el calor emitido por un arco eléctrico concedido por un electrodo para proceder a la fundición del material (VLD ENGINEERING, 2021, párr. 2).
- El gas protector traslada el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera descartando riesgos de corrosión (VLD ENGINEERING, 2021, párr. 4).

➤ Ventajas

- Mayor productividad
- Calidad de soldadura, limpia, fuerte y resistente (VLD ENGINEERING, 2021, párr. 5).
- Perfecto para soldar materiales de poco espesor.
- Utilizado en la industria alimenticia y farmacéutica ya que es un proceso limpio y no deserta residuos (VLD ENGINEERING, 2021, párr. 7).

➤ Desventajas

Considerado más complejo que la soldadura MIG porque posee tolerancias entre el relleno, el electrodo, y el metal de trabajo (VLD ENGINEERING, 2021, párr. 8).

2.2.19.2. Proceso de soldadura - arco manual con electrodo revestido (SMAW)

Shielded metal arc welding (SMAW) unión de dos metales mediante una fusión localizada, emitida por un arco eléctrico entre el electrodo metálico y el metal que se va a unir (Westarco, 2022, párr. 2).

➤ Características

- El electrodo reside en la varilla metálica, cubierto por una capa revestida, donde se traslada el núcleo al metal mediante electricidad emitida por la soldadura (Westarco, 2022, párr. 2).
- Es simple y, por lo tanto, tiene bajo precio.
- Muy bueno para reparación, fabricación y construcción (Westarco, 2022, párr. 4). Usado para cualquier espesor y uniones (Westarco, 2022, párr. 5).

2.2.20. Electrodo de soldadura

Se encuentran en el grupo de los consumibles de soldadura y son utilizados para transportar la electricidad, sirven como un metal de aporte; se clasifican en dos partes núcleo y revestimiento, son instalados en el porta electrodo y son los encargados de cerrar el circuito, el mismo que produce el arco eléctrico (Sumatec, 2020, párr. 1).

2.2.20.1. Electrodo 316

Es un electrodo rufílico usado en aceros austenítico (19% Cr, 12% Ni y 2.5% Mo), y aceros inoxidable (16-21% Cr, 10-15% Ni y 0-3% Mo) otorga resistencia a la tracción y a altas temperaturas, empleados en equipos químicos y petroquímicos, industria lechera, etc. (Ibarra, Núñez y Huerta, 2010, p. 22).

2.2.20.2. Electrodo 7018

Contiene bajo nivel de hidrogeno y tiene resistencia a la humedad, empleado en soldaduras que con controles rigurosos aplicado en todo tipo de aceros al carbono, gran propiedades de impacto a temperaturas bajo cero (INDURA, 2014, p. 1).

2.2.20.3. Electrodo 60-13

Es muy utilizado en aceros frecuentes, muy aplicado en carpintería metálica, espesores delgados en general, en todos campos que se deba cuidar el terminado (ZonaFerreteria, 2017, párr. 2).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ingeniería del Proyecto

3.1.1. Tipo de estudio

En siguiente Trabajo de Integración Curricular presenta un proyecto técnico el cual propone el diseño y construcción de una celda de flotación para que los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH para que los mismo puedan aplicar los conocimientos adquiridos teóricamente en los salones de clases. El proyecto empezara desde la revisión bibliográfica, aplicación de cálculos ingenieriles para su diseño, hasta concluir en la construcción de la celda, la misma que se propone cubrir todos los déficits de los estudiantes en la parte práctica y se pretende que conozcan de cerca el proceso de separación de metales preciosos.

3.1.2. Métodos

El presente Trabajo de Integración Curricular al ser un trabajo técnico en su estructura posee la utilización y aplicación de métodos científicos como parte preliminar de la obtención de parámetros de diseño que ayudará para el diseño del equipo y su adecuado manejo. Cabe mencionar que entre los métodos que utilizaremos en nuestro trabajo constan el inductivo, deductivo y experimental.

3.1.2.1. Inductivo

El proyecto parte de una idea general de crear una planta piloto de obtención de metales preciosos a partir de ideas separadas y específicas, las cuales surgen a partir de recibir materias como metalurgia y procesos extractivos, las cuales no pueden ser puestas en práctica ya que el laboratorio de mineralogía no cuenta con equipos necesarios para el estudio de este y con este trabajo se pretende explicar la situación actual en las plantas de procesamiento de los metales desde el dimensionamiento de equipos a escala de laboratorio utilizados en el proceso; el mismo que inicia desde lo particular del asunto el cual es no conocer físicamente como sucede el proceso de flotación hasta lo general.

3.1.2.2. *Deductivo*

Para poder concretar el diseño y la construcción de la celda de flotación la misma que opere eficientemente, es necesario exponer lo que sucede a partir de la lógica; razón por la cual es de utilidad identificar las variables de proceso como la densidad, presiones, los parámetros de diseño como volumen y cantidad de muestra, la selección de materiales correctos, los flujos volumétricos con el único propósito de proponer criterios correctos tanto en el diseño como funcionamiento que tendrá el equipo.

3.1.2.3. *Experimental*

Finalmente, una vez realizado el dimensionamiento correcto de la celda de flotación permite la construcción de este, además se propone para la validación del equipo el método experimental por medio de pruebas realizadas se permitir identificar las condiciones adecuadas del equipo para q este pueda funcionar sin ningún inconveniente.

3.2. Propuestas previo a la selección del modelo final del equipo

3.2.1. *Celda columna CPT (Canadá, EE.UU)*

Este tipo de celda utiliza el principio del flujo a contracorriente que se da en medio de las burbujas de aire y la mezcla de muestra con agua denominado pulpa; es ahí donde las partículas que descienden de la parte superior en la alimentación, estás chocan con las burbujas que ascienden de la parte inferior los que son llamados repartidores de burbujas. Se utiliza especialmente para minerales especiales los que tienen problemas de selectividad en el proceso; en el proceso poseen solo una etapa de limpieza, la misma que permite levantar principalmente el concentración del concentrado y así obteniendo mayor eficiencia de recuperación (Suarez, García y Amariz, 2005, p. 8).

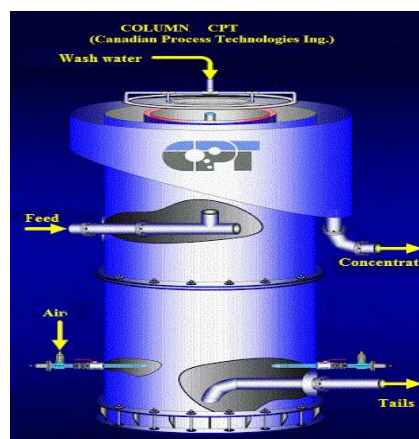


Ilustración 1-3: Celda Columna CPT
Fuente: (Petrovskaya, 2017, párr. 5).

Características Principales

- Utiliza un método de creación de burbujas y es indispensable la utilización de una ducha de agua o como es comúnmente llamado en inglés wash water.
- En el proceso de flotación convencional es muy utilizado la agitación mecánica cabe mencionar que este posee un gasto extra de energía; además, estas burbujas se desplazan en la misma dirección y velocidad que las partículas que se encuentran en el proceso, estas no utilizan por ningún motivo agitación mecánica para suspender las partículas y dispersar el aire, razón por la cual las hace más eficientes por un parámetro muy importante como lo es en la energía siendo así costosas de mantener, (Suarez, et. al, 2005, p. 7).
- Instalación industrial más rentable en los procesos.
- Posee valores mínimos en los costos de instalación y operación.
- Este a diferencia de otros tiene menores de valores de consumo de energía para el proceso de generación de burbujas es decir que no necesita de impellers en el proceso de operación, (Suarez, et. al., 2005, p. 8).
- Menor ocupación de espacio

Limitaciones

Se debe tomar en cuenta que las variables presentes en la flotación por medio de columnas son complejas; por ese motivo se requiere una exhaustiva investigación y un gran desarrollo en dos campos los que son a nivel de laboratorio como de plantas piloto a fin de mejorar las condiciones del proceso, (Suarez, García y Amariz, 2005, p. 9); debido a que la pulpa a tratar por ser demostrativa es demasiada pequeña comparada industrialmente la misma que elevaría los costos al querer implantar este sistema a escala.

3.2.2. Celda DENVER sub-A. (EE.UU)

La celda de flotación Denver determinó dos tipos de celdas las que fueron llamadas Cell-to Cell y las DR, estas más tarde con nuevos acondicionamientos y su evolución fueron denominadas las Sub A, cabe mencionar que estas fueron acondicionadas como celdas cuadradas que poseen su agitador, estos se encuentran reunidos en una sola celda o en grupos de 2, 4, 6, 8 o más dependiendo la necesidad del proceso con el fin de obtener buen rendimiento, (Alegria, 2012, párr. 3).

Características Principales

- Se presentan dos tipos de recipientes como lo son los de flujo abierto o fraccionado por celdas individuales.

- Son comúnmente usadas por su variabilidad y versatilidad para modificar circuitos, ya que presenta su impulsor al portarse como succionador no solo origina una auto aireación, sino que evita usar bombas para la manipulación de concentrados y relaves (Linares, 2018, p. 1).
- En este tipo de celda trata de reunir todos los principios básicos que deben tener las celdas y los requerimientos que debe tener el proceso de flotación, al mismo tiempo que las características importantes una de ellas es la resistencia al desgaste, lo que hacen al equipo perfecto de flotación, (Michaud, 2015, párr. 6).

Ventaja

Los recipientes de celdas de flotación de espuma que se usan a nivel industrial, estas son las reconstrucciones más modernas de los diseños clásicos de equipos de flotación de este tipo, (Michaud, párr. 7). Las mismas se pueden adaptar a escala de laboratorio sin presentar problemas de funcionamiento ni de costos ya que es un modelo que se presta para trabajar solo con una única celda o en serie, la misma que se puede adaptar a diferentes tamaños o volúmenes según la necesidad que se requiera satisfacer.

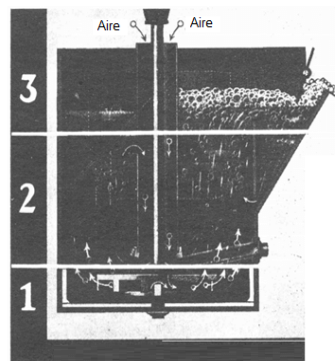


Ilustración 2-3: Componentes Celda DENVER Sub-A unitaria

Fuente: (Michaud, 2015, párr. 7).

Las celdas que son para el proceso de flotación que tienen forma circular cumplen la misma función de una celda que generalmente es cuadrada, según Metso Outotec, (2022, párr. 2) las celdas circulares al ser combinadas con este tipo de celda, pueden crear características únicas del mecanismo de una celda Denver, se puede diseñar las condiciones adecuadas para obtener el rendimiento adecuado de flotación y de todas las tareas de recolección, limpieza y finalmente barrido.

Así se incrementa la relación existente entre burbujas y partículas que se pueden encontrar en el interior del proceso teniendo así una adecuada dispersión y distribución del aire, en el interior de la celda lo cual suaviza la superficie y elimina la espuma sin desperdicio alguno de esta manera se minimiza el proceso de manipulación de la espuma, (Metso Outotec, 2022, párr. 2).

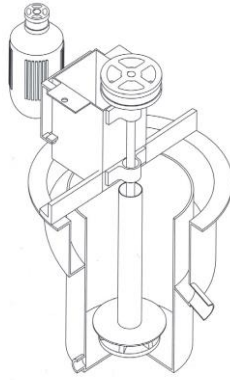


Ilustración 3-3: Celda de flotación circular

Fuente: (Figuroa et al., 2009, p. 51).

3.2.3. Celda de flotación Jameson (Australia)

Son equipos de flotación que se lleva a cabo por medio de presiones variables, donde la aireación de la mezcla de agua con muestra es realizada por medio de burbujas de aire, la agitación se realiza en la etapa líquida debido a la baja de la presión encima de la pulpa, además son celdas neumáticas de flotación corriente, (Petrovskaya, 2017, párr. 6).

Características principales

- Generan burbujas finas y una intensa mezcla entre aire y pulpa de manera constante, es decir, la flotación es rápida y eficaz. Como se sabe el principio de usar burbujas de aire para recuperar partículas valiosas es la base del proceso en sí, es la manera en que se crean las burbujas y la manera que interactúan con las partículas lo que la diferencian de las otras (Glencore Technology, 2022, párr. 1).
- La relación o contacto partícula- burbuja sucede en el downcomer, donde se separa la espuma de la pulpa, y permitiendo realizar un enjuague de la espuma producida para optimizar la ley del producto, (Glencore Technology, 2022, párr. 2).
- No posee agitadores, compresores ni ventiladores, la instalación industrial de la Celda Jameson es sencilla pero de extremo cuidado y, hablando en términos de energía, su operación es eficiente (Glencore Technology, 2022, párr. 3).

Limitaciones

A nivel de laboratorio es innecesario esta implementación debido a la incorporación del downcomer que esta presenta ya que se necesitaría gran cantidad de pulpa para que este pueda entregar la eficacia que industrialmente posee.



Ilustración 4-3: Celda de flotación Jameson

Fuente: (Petrovskaya, 2017, párr. 7).

3.2.4. Selección del modelo final de diseño

Tabla 1-3: Selección del Modelo

Modelo	Columna CPT	Denver Sub-A.	Jameson
INDUSTRIALMENTE			
Aplicaciones	Procesar minerales finos y complejos para etapas de limpieza o de difícil tratamiento metalúrgico.	Flotación de cobre, cobremolibdeno, plomo-zinc, plomo-zinc-hierro, hierro, oro-plata, oro, óxido de cobre y plomo, níquel, níquel-cobre, fluorita, tungsteno, litio, tantalio, estaño, carbón, etc.	Flotación de metales base, preciosos, carbón, arenas bituminosas, extracción por solventes (SX) de cobre, cobalto, níquel, platino y zinc.
ESCALA DE LABORATORIO			
Diseño	Forma de columna totalmente cerrada por lo cual no se puede observar el proceso de flotación.	Adaptable a condiciones a escala, su principio de funcionamiento puede adaptarse a diseños circulares, el cual en combinación otorgan un buen rendimiento a nivel de laboratorio evitando pérdidas innecesarias.	Equipo circular netamente industrial su diseño a escala sería una inversión alta ya que necesita de grandes cantidades de pulpa para poder aplicar el principio de flotación.
Componentes	No hay mecanismo mecánico que provoque la agitación, la separación tiene lugar en la columna que es mucho más alto que el ancho, usa aire en la lechada, en la columna, mediante tubos rociadores, haciendo la flotación en columna es más lenta por el ingreso de poco material.	Está constituido por el mecanismo de mezclado (rotor y estator eje (lower shaft), reductor y motor. De funcionamiento sencillo en el cual se puede observar detalladamente el proceso y la función de cada componente.	Sin agitadores, ni sopladores o compresores, un tubo de descenso, un cajón de bombeo con recirculación de relaves, bomba de alimentación, sistema de agua de lavado, panel de control, válvulas e instrumentación.

Mantenimiento	Debido al uso de reactivos, su limpieza traería problemas debido a que es una columna cerrada y por ende no se observa por completo para la limpieza y esto puede ocasionar desgaste de los componentes.	Sencillo y económico, no requiere de mover y desarmar el equipo para su limpieza debido a que por su configuración circular se puede lavar fácilmente.	Mantenimiento fácil industrialmente mediante presión, no existe evidencias de estos equitos para laboratorio por lo que no se puede deducir su mantenimiento.
Rendimiento	Rendimiento promedio según bibliografía, al ser un equipo totalmente cerrado no se produciría tantas perdidas.	Rendimiento bueno experimentalmente debido a que la adaptación circular permite que las espumas no se queden en los bordes y puede descender todo el material valioso al plato recolector.	Se supone bajo rendimiento debido a que no existe evidencias de los mismos experimentalmente.
Implementación	Demanda un espacio considerable verticalmente para su adaptación.	Adaptable al espacio de acuerdo a los requerimientos especificados.	Sofisticada y técnica; demanda gran espacio horizontal y vertical.

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Al realizar un análisis bibliográfico de características y condiciones que debe cumplir todas las celdas de flotación de tipo CPT, Denver Sub-A y Jameson se determinó que la que cumple con las condiciones que benefician a su implementación en el laboratorio es la DENVER Sub-A, debido a que esta tiene un funcionamiento y/o ejecución sencilla, adaptable para cualquier tamaño. En la misma se puede observar directamente el proceso y controlar las variables que tienden a entorpecer el mismo, cuenta con una celda circular en donde se realiza la flotación gracias a un agitador accionado por un motor que produce la formación de burbujas por medio de la inyección de aire, pero esto dependerá de los reactivos que ingresan a la celda.

Debido a la fuerza uniforme distribución de la forma geométrica (circular), no hay ningún defecto de la concentración de esfuerzos, que es adecuado para el desarrollo de gran tamaño. No se hunde a la celda inferior: Un buen flujo de las propiedades mecánicas de los tanques circulares garantizar la ausencia de hundimiento y la plaza de ángulo muerto, en comparación con los tanques (Yantai Huize Mining Engineering, 2019, párr. 1).

3.3. Planificación de la construcción

Después de una exhaustiva investigación sobre diferentes tipos de celdas de flotación cabe mencionar que todas las celdas tienen como función principal hacer que las partículas que se han transformado en hidrofóbicas se pongan en contacto y se adhieran a las burbujas de aire, realizando que dichas partículas se adhieran a las burbujas de aire, de esta forma permite que las

partículas se eleven a la superficie y formen espuma la cual sea movida, una vez revisado los diseños preliminares se ha decidido realizar una Celda de Flotación tipo Denver Sub-A adaptación de una sola celda circular a escala de laboratorio debido a que actualmente es una de las más usadas por su importancia tecnológica.

Estas son alimentadas a través del tanque de la celda y se descarga el relave la parte superior del tanque el mismo que cae sobre una canaleta, de esta forma el movimiento de la pulpa dentro del equipo se lo realiza de forma gravitatoria por la ayuda del agitador. El concentrado ubicado en la parte superior se retira de la celda a una canaleta o recipiente. Para el diseño de la Celda de Flotación tipo Denver Sub-A adaptación de una sola celda a escala de laboratorio se tomó en cuenta varios parámetros de operación importantes en el funcionamiento como lo son pH, densidad, capacidad, volumen de agua, diámetro, velocidad del agitador.

3.4. Cálculos de la celda de flotación

3.4.1. Variables del proceso

- ✓ Capacidad de muestra: 3 kg
- ✓ Volumen: 38 litros= 38000 cm³
- ✓ Densidad: 0.002 a 0.0025 kg/m³
- ✓ Presión: 1 atm= 1.01325 bar o 101.325 kPa

3.4.2. Dimensionamiento de la celda

Para el dimensionamiento de la celda de flotación en primer lugar se debe realizar una relación entre el volumen y tamaño de la celda de flotación:

3.4.2.1. Longitud de la celda

$$V_{Celda} = k * L^n$$

Ecuación 1 Volumen de la Celda

Datos:

$$V_{Celda} = \text{Volumen de la celda} = 38 \text{ litros} = 38000 \text{ cm}^3$$

k = Es la relación de la altura con respecto a la base h/L = 1.2756

n = Masa de la muestras en Kgr = 3 kgr

$$L = \sqrt[n]{\frac{V_{celda}}{k}}$$

Ecuación 2 Longitud de la celda

$$L = \sqrt[3]{\frac{38\,000\text{cm}^3}{1.2756}}$$

$$L = 30.9996\text{ cm} = 31\text{ cm}$$

3.4.2.2. Altura de la celda

Una vez que se obtiene L podemos encontrar la altura de la celda por medio de la siguiente ecuación:

$$V = L^2 * h$$

Se despeja h para saber la altura de la celda

$$h = \frac{V}{L^2}$$

Ecuación 3 Altura de la celda

$$h = \frac{38000\text{cm}^3}{(31)^2}$$

$$h = 39.5421\text{ cm} = 40\text{ cm}$$

Un 62.5% de su capacidad máxima y el 37.5% restante es de espuma, por lo tanto, vamos la altura del líquido (H) será:

$$H = \% * h$$

$$H = 0.625 * 40\text{ cm}$$

$$H = 25\text{ cm}$$

3.4.3. Dimensionamiento de la turbina o agitador

Para la celda de flotación por los problemas de agitación que pueda tener se ha decidido optar por una turbina la cual será modificado para la capacidad de la celda de flotación a escala de laboratorio.

Las proporciones típicas son:

$$\frac{D}{T} = \frac{1}{3}; \frac{H}{T} = 1; \frac{t}{T} = \frac{1}{12}; \frac{E}{T} = \frac{1}{3}; \frac{W}{D} = \frac{1}{5}; \frac{L}{D} = \frac{1}{4}$$

Ecuación 4 Proporciones típicas para el dimensionamiento de la turbina

Tabla 2-3: Parámetros geométricos del tanque

Parámetros geométricos	Abreviatura
Longitud del tanque	T
Altura del líquido en el tanque	H
Diámetro del agitador	D
Anchura de la pala	L
Altura de la pala	W
Espesor de pared	T
Altura del agitador	E

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

La altura del líquido con respecto al diámetro del tanque es X del llenado total, lo que significa que el tanque no estará totalmente lleno.

$$\frac{H}{T} = X$$
$$\frac{H}{T} = \frac{25 \text{ cm}}{31 \text{ cm}}$$
$$\frac{H}{T} = 0.806$$

Despejando H nos queda:

$$H = \left(\frac{H}{T}\right) * T$$

Ecuación 5 Altura del líquido en el tanque (H)

$$H = 0.806 * 31 \text{ cm}$$

$$H = 25 \text{ cm}$$

3.4.3.1. Diámetro de la turbina (D)

Para poder calcular el diámetro de la turbina se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{D}{T} = \frac{1}{3}$$

Ecuación 6 Diámetro del agitador (D)

$$D = \frac{1}{3} * T$$

$$D = \frac{T}{3}$$

$$D = \frac{31 \text{ cm}}{3}$$

$$D = 10.33 \text{ cm}$$

El diámetro de la turbina calculado matemáticamente no es lo suficientemente necesario para que cumpla la función de agitar, se toma la decisión de aumentar el diámetro de la turbina para que

este cumpla de mejor manera con la ejecución del proceso y pueda realizar el proceso de burbujeo adecuado en el equipo.

$$D = 15.00 \text{ cm}$$

3.4.3.2. Espesor de la pared (t)

Se debe calcular el espesor adecuado que tendrá la celda de flotación para que sea resistente y no sea flexible, razón por la cual nos basaremos en la normas técnicas del Código ASME de sus siglas (American Society of Mechanical Engineers) el cual es un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para diferentes tipos de equipos y recipientes sujetos a presión, el código es realizado por Estados Unidos que establecen una serie de normas para que el equipo a realizarse cuente con una larga vida de servicio y el mismo asegure la protección personal de quienes utilicen el equipo.

$$\text{Cuerpo } t = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P}$$

Ecuación 7 Espesor de la pared (t)

Donde:

t = Espesor de pared

P = Presión de diseño = 1 atm = 14.69595 lb/in²

R = Radio del tanque = 15.5 cm = 6.102362 in

S = Esfuerzo del material = 580.5779 lb/in³

E = Eficiencia de soldadura tabla 0.8

$$\text{Cuerpo } t = \frac{(14.69595 \text{ lb/in}^2) * (6.102362 \text{ in})}{(580.5779 \text{ lb/in}^3 * 0.8) - (0.6 * 14.69595 \text{ lb/in}^2)}$$

$$\text{Cuerpo } t = 0.19682 \text{ in}$$

$$\text{Cuerpo } t = 0.5 \text{ cm}$$

3.4.3.3. Altura del agitador (E)

Para calcular la altura del agitador se realiza con la siguiente fórmula:

$$\frac{E}{T} = \frac{1}{3}$$

Ecuación 8 Altura del agitador (E)

De la anterior fórmula despejamos E quedando de la siguiente forma:

$$E = \frac{1}{3} * T$$

$$E = \frac{T}{3}$$

$$E = \frac{31 \text{ cm}}{3}$$

$$E = 10.33 \text{ cm}$$

Por las medidas del diseño del tanque matemáticamente nos arroja un valor muy deficiente para cubrir la necesidad por tal motivo se decide aumentar el valor para satisfacer y llegar hasta el sistema de polea

$$E = 46 \text{ cm}$$

3.4.3.4. Altura de la pala (W)

Para poder calcular la altura de la pala se obtiene la siguiente fórmula:

$$\frac{W}{D} = \frac{1}{5}$$

Ecuación 9 Altura de la pala (W)

De la formula anterior despejamos W quedando de la siguiente forma:

$$W = \frac{1}{5} * D$$

$$W = \frac{D}{5}$$

$$W = \frac{10.33 \text{ cm}}{5}$$

$$W = 2.066 \text{ cm}$$

3.4.3.5. Anchura de la pala (L)

Para el cálculo de la anchura de la pala se utilizará la siguiente fórmula:

$$\frac{L}{D} = \frac{1}{4}$$

Ecuación 10 Anchura de la pala (L)

Despejando L queda de la siguiente manera:

$$L = \frac{1}{4} * D$$

$$L = \frac{D}{4}$$

$$L = \frac{10.33}{4}$$

$$L = 2.58325 \text{ cm}$$

Tabla 3-3: Resumen de los parámetros geométricos del agitador

Parámetros geométricos	Abreviatura	TAMAÑO (cm)
Longitud del tanque	T	31
Altura del líquido en el tanque	H	36
Diámetro del agitador	D	15
Anchura de la pala	L	2.5
Altura de la pala	W	2
Espesor de pared	T	0.5
Altura del agitador	E	10.33

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

3.4.4. Dimensionamiento del estator

Para poder realizar el dimensionamiento del estator debemos calcular el número de barras que el mismo debe tener, en primer lugar, se calculará el perímetro a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Perímetro} = D_{\text{estator}} * \pi$$

Ecuación 11 Perímetro del estator

$$\text{Perímetro} = 15 \text{ cm} * \pi$$

$$\text{Perímetro} = 47.1239 \text{ cm}$$

3.4.4.1. Número de barras

Para calcular el número de barras se lo hará por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Número de barras} = \frac{\text{Perímetro del estator}}{\text{ancho de barra} + \text{separación de barra}}$$

Ecuación 12 Número de barras

$$\text{Número de barras} = \frac{47.1239 \text{ cm}}{0.30 \text{ cm} + 7.554 \text{ cm}}$$

$$\text{Número de barras} = 5.9999 \text{ barras}$$

$$\text{Número de barras} = 6 \text{ barras}$$

3.4.5. Relación de poleas

Para calcular la velocidad de agitación en la celda, se lo hace por medio del cálculo de relación de poleas el mismo que debe estar en un rango de 400 a 1000 rpm, como se muestra a continuación:



Ilustración 5-3: Es la polea del motor

Fuente: (Irestal Group, 2010, p. 3).

La polea del motor es 3.5 veces menor que la polea del agitador.

$$\text{Velocidad de salida del agitador} = \frac{\text{velocidad del motor}}{\text{número de vueltas}}$$

Ecuación 13 Velocidad de salida del agitador

$$\text{Velocidad de salida del agitador} = \frac{3423 \text{ RPM}}{3.5}$$

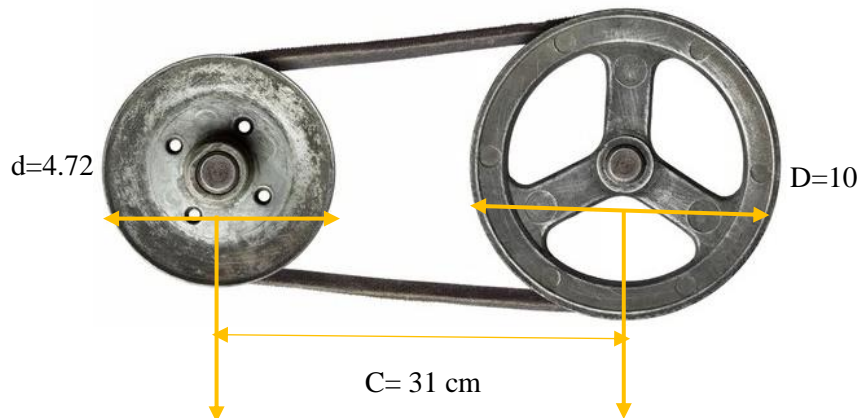
$$\text{Velocidad de salida del agitador} = 978 \text{ rpm}$$

Lo ideal de la velocidad del agitador va desde los valores de 950 a 979 rpm

3.4.6. Longitud y ángulos de contacto de bandas en disposición normal

a) Es la polea del motor

b) Polea del agitador



$$\theta_s = \pi - 2\text{sen}^{-1} \frac{D - d}{2C}$$

Ecuación 14 Ángulo de contacto

Donde:

D = Diámetro de la polea del agitador

d = Diámetro de la polea del motor

C = Distancia que existe entre las poleas del agitador y motor

$$\theta_s = \pi - 2\text{sen}^{-1} \frac{10 \text{ cm} - 4.72 \text{ cm}}{2(31 \text{ cm})}$$

$$\theta_s = -6.63 \text{ cm}$$

$$\theta_L = \pi + 2\text{sen}^{-1} \frac{D-d}{2C}$$

Ecuación 15 Ángulo de contacto

Donde:

D = Diámetro de la polea del agitador

d = Diámetro de la polea del motor

C = Distancia que existe entre las poleas del agitador y motor

$$\theta_L = \pi + 2\text{sen}^{-1} \frac{10 \text{ cm} - 4.72 \text{ cm}}{2(31 \text{ cm})}$$

$$\theta_L = 12.91 \text{ cm}$$

$$L = \sqrt{4C^2 - (D-d)^2} + \frac{1}{2}(D\theta_L + d\theta_s)$$

Ecuación 16 Longitud de la banda en el sistema de transmisión

Donde:

D = Diámetro de la polea del agitador

d = Diámetro de la polea del motor

C = Distancia que existe entre las poleas del agitador y motor

θ_L y θ_s = Ángulo de contacto

$$L = \sqrt{4(31)^2 - (10 \text{ cm} - 4.72 \text{ cm})^2} + \frac{1}{2}((10 * 12.91) + (4.71 * -6.63))$$

$$L = 110.68 \text{ cm}$$

3.4.7. Orificio del alimentador

La celda de flotación opera a la presión deseada de 1 atm= 1.01325 bar (101.325 kPa),

3.4.7.1. Diferencia de presión a lo largo del orificio

$$P = \frac{1}{2} * d_p * U^2$$

Ecuación 17 Diferencia de presión a lo largo del orificio

Donde:

P = Diferencia de presión a lo largo del orificio (Pascal)

d_p = Densidad real de la pulpa en (kg/m³) = 2.5 gr/ml = 0.0025 (kg/m³)

U = Velocidad del fluido o pulpa a través del orificio ($\frac{m}{s}$) referencia

$$P = \frac{1}{2} * d_p * U^2$$

$$P = \frac{1}{2} * (0.0025m^3) * (9003.33 m/s)^2$$

$$P = 101324.93 Pa$$

3.4.7.2. Flujo volumétrico

$$Q = Co * A * U$$

Ecuación 18 Flujo volumétrico

Donde:

Q = Flujo volumétrico (m³/s)

A = Área del orificio (m²)

Co = Coeficiente del orificio adimensional

Co = 0.8 a 1.0 para orificios circulares

U = Velocidad del fluido o pulpa a través del orificio ($\frac{m}{s}$)

$$Q = (0.8) * (0.0004909 m^2) * (9003.3327m/s)$$

$$Q = 3.5358 m^3/s$$

3.4.7.3. Área del orificio

El área del orificio (A) puede ser despejada con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Ecuación 19 Área del orificio

Donde:

A = Área del orificio (m²)

D = Diámetro del orificio (m)

$$A = \frac{\pi * (0.025m)^2}{4}$$

$$A = 0.0004909 m^2$$

3.4.8. Velocidad de flujo de alimentación

$$U = \left(\frac{2P}{d_p} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 20 Velocidad de flujo de alimentación

Donde:

P = Diferencia de presión a lo largo del orificio (Pascal)

d_p = Densidad real de la pulpa en (kg/m³) = 2.5 gr/ml = 0.0025 (kg/m³)

U = Velocidad del fluido o pulpa a través del orificio ($\frac{m}{s}$)

$$U = \left(\frac{2(101325 Pa)}{(0.0025 kg/m^3)} \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$U = 9003.3327 m/s$$

3.4.8.1. Flujo de alimentación

Posteriormente se procede a calcular el flujo de alimentación con la siguiente fórmula:

$$Q = U * \frac{\pi}{4} * D^2$$

Ecuación 21 Flujo de alimentación

Donde:

Q = Flujo de alimentación (m³/s)

U = Velocidad del fluido o pulpa a través del orificio ($\frac{m}{s}$) referencia

D = Diámetro del orificio (m)

$$Q = (9003.33 m/s) * \frac{\pi}{4} * (0.025 m)^2$$
$$Q = 4.4194 m^3/s$$

3.4.9. Flujo de bías

Las bías son básicamente la diferencia entre el flujo de agua el cual es aplicado en el lavado con el de agua separado de la celda en el concentrado, cabe recalcar que cuando la celda de flotación se encuentra en operación no existe ningún método con el que podamos determinar de forma directa las bías. Para encontrar este valor es importante conocer el flujo de concentrado y el porcentaje de sólidos.

Luego el flujo bías de agua de lavado Q_b es:

$Q_b = \text{Flujo de agua de lavado} - \text{Flujo de agua removida en concentrado}$

$$Q_b = QW - \frac{Mc - (100 - Xc)}{100}$$

Ecuación 22 Flujo de Bías

Donde:

Mc = Flujo másico de concentrado

Qw = Flujo de agua de lavado

Xc = % sólidos (peso) en el alimento

$$Qb = 13.1120 \text{ m}^3/\text{seg} - \frac{21.3903 \text{ m}^3/\text{s} - (100-40)}{100}$$

$$Qb = 13.4980 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.4.10. Velocidad superficial del gas (aire normalmente en la celda: Jg)

$$Jg = \frac{Qa}{Ac}$$

Ecuación 23 Velocidad superficial de aire de gas de flotación

Donde:

Jg = Velocidad superficial de aire de gas de flotación (cm/s)

Qa = Caudal de aire (cm³/s)

Ac = Área de formación de espuma (cm²)

$$Jg = \frac{Qa}{Ac}$$

$$Jg = \frac{3190 \text{ cm}^3/\text{s}}{1899 \text{ cm}^2}$$

$$Jg = 1.6798 \text{ cm/s}$$

Para calcular el aire libre o área de formación de espuma se lo puede hacer a través de la siguiente fórmula:

$$Ac = 2\pi rh + 2\pi r^2$$

Ecuación 24 Área de formación de espuma o aire libre

Donde:

Ac = Área de formación de espuma (m²)

r = Radio interno del tanque (m)

h = Altura de espuma (m)

$$Ac = 2 * (\pi) * (0.155\text{m}) * (0.04\text{m}) + 2(\pi) * (0.155\text{m})^2$$

$$Ac = (0.03896) + (0.15095)$$

$$Ac = 0.1899 \text{ m}^2$$

$$Ac = 1899 \text{ cm}^2$$

3.4.11. Tiempo de flotación

$$T = \frac{V * N^{\circ} \text{ de celdas}}{F}$$

Ecuación 25 Tiempo de flotación

Donde:

T = Tiempo de flotación en minutos

V = Volumen de celda en ft^3

F = Flujo de la pulpa en ft^3/min

$$T = \frac{1.34196 \text{ ft}^3 * 1}{0.09940 \text{ ft}^3/min}$$

$T = 13.5$ minutos

3.5. Diseño

Tabla 4-3: Medidas del cilindro base

Cilindro Base	
Longitud de la celda	31 cm
Altura de la celda	40 cm
Altura del líquido del tanque	25 cm

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

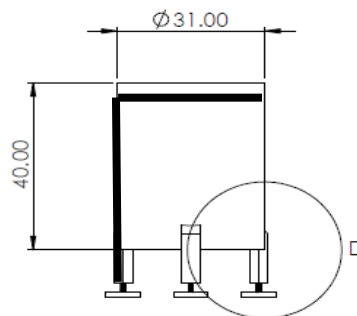


Ilustración 6-3: Medidas del tanque

Fuente: (Irestal Group, 2010, p. 3).

Tabla 5-3: Turbina

Turbina	
Diámetro del agitador	15 cm
Anchura de la pala	2.5 cm
Altura de la pala	2.00 cm
Espesor de pared	0.5 cm
Altura del agitador	57 cm
Número de barras	6 barras

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

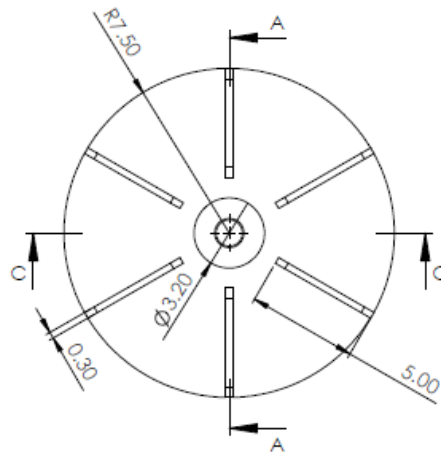


Ilustración 7-3: Dimensionamiento de la turbina

Fuente: (Irestal Group, 2010, p. 3).

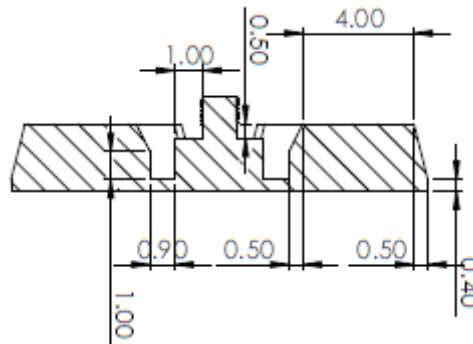


Ilustración 8-3: Dimensionamiento de la turbina

Fuente: (Irestal Group, 2010, p. 3).

3.6. Materiales utilizados

Para la construcción de la celda de flotación se empleó el acero estructural A36 siendo el material más importante de la misma, y el acero inoxidable A-316 las mismas que se rigen a la norma ASTM, la misma que es reconocida como Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. La organización ya antes mencionada desarrolla y publica todas normas técnicas para una gran variedad de materiales, sistemas, productos, y servicios. Se trata de un documento desarrollado y establecido dentro de los principios de consenso de la organización, y que cumple los requisitos de los procedimientos y regulaciones de ASTM (AC-GT-DIA, 2021, párr. 4).

Tabla 6-3: Material de construcción para celda de flotación.

Tipo	Acero A-36	Forma
A-36	Al carbono	Perfiles y barras
A-316	Inoxidable	Lamina, banda (tira)

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Se usará el acero A-36 para la construcción de casi toda la celda de flotación excepto la turbina y los componentes que conforman esta, por las características mecánicas ya mencionadas y por su abundancia y fácil acceso en el país. Los elementos que conforman la turbina y propiamente esta serán de acero A-136 debido a que se expone mayormente al contacto de reactivos, de esta manera se evitara un desgaste por corrosión.

Tabla 7-3: Soldadura y electrodos a utilizar en el proceso.

Soldadura	TIG
	SMAW
Electrodos	Electrodo 7018
	Electro 60-13
	Electrodo 316

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Se hará uso de la soldadura TIG debido a que es una buena opción para la soldadura de materiales de pequeño espesor, además de ser muy resistente a la corrosión y es parte del proceso muy limpio de la soldadura; y la soldadura SMAW por su aplicabilidad en la fabricación y construcción. Ahora, los electrodos a usarse son: electrodo 7018 muy usado en los aceros al carbono en todas sus aplicaciones, el electrodo 60-13 para uso en aceros comunes y el electrodo 316 para soldadura de aceros inoxidables.

3.7. Herramientas y máquinas

3.7.1. Maquinaria pesada

- Torno horizontal: sirve para mecanizar piezas (de precisión) que tienen formas geométricas. Se usará para darle el diámetro del eje del motor y poder colocar la polea, para hacer las bisagras, el eje de la turbina, las patas del equipo, el contra plato de la turbina y los roscados de los ductos de salida.
- Fresadora Universal: realizan trabajos de corte, ranurado recto, de forma y cóncavos, copiado, fresado de cavidades, roscas y engranajes, taladrado y escariado. Se usará para realizar las líneas rectas que conforman el equipo, el canal U del temple del motor, la chaveta que sostiene la polea y para linear y dar un acabado plano de las piezas.
- Dobladora: es una máquina de conformado, acopla una curva en una pieza o lámina de trabajo mediante un movimiento lineal o giratorio. Se usará para hacer la caja protectora de la banda.
- Roladora: es una máquina curvadora de láminas, la misma que se usará para realizar el tanque interno y externo de la celda los mismos que son rolados (redondos).

- Compresor: sirve para el abastecimiento del aire al momento de pintura del equipo, funcionan de forma similar a los compresores pequeños, acabados finales.

3.7.2. Maquinaria liviana

- Herramientas manuales (llaves, destornilladores, martillos, cinceles o alicates, etc.).
- Soldas (TIG, SMAW, dependiendo de la pieza que se vaya a soldar y la deformidad del material), principalmente se usó para unir las piezas del equipo por ejemplo las patas, tubos, anillos, etc.

En el agitador que está elaborado con acero inoxidable se usó un electrodo 316 y la suelda TIG (tungsteno y gas argón) debido al tipo de acero, para la caja que protege a las bandas al ser un material grueso se usó el electrodo 70-18 ya este necesita un sistema rígido para anclarse en el torno y en la turbina y a su vez permita la estabilidad del equipo y no se fleje; y para el resto de la celda se usó el electrodo 60-13 ya que este permite un acabado limpio.

- Mangueras: aire, neumática
- Cortes por plasma: el plasma es una máquina que utiliza aire con electricidad lo que genera un arco con plasma a temperatura muy elevadas y permite realizar todos los cortes redondos que forman parte del equipo.

3.7.3. Herramienta menor

- Pulidoras
- Taladros

3.7.4. Consumibles

- Discos de corte
- Discos de pulir
- Discos de lija
- Boquillas del equipo de corte, plasma

3.8. Tareas realizadas por cada componente

3.8.1. Agitador

Es el encargado de generar el movimiento durante todo el proceso de flotación, el mismo que usa el aire producido por sí mismo para obtener el estado perfecto para el proceso y para que suceda la combinación perfecta de aire, la mezcla de muestra con agua y los diferentes reactivos en la zona del impulsor. Con el fin de obtener una pulpa con el suficiente aire para formar las burbujas, las mismas que ascenderán en contra de la gravedad con el mayor número de partículas minerales valiosas.

3.8.2. Celda (estanque circular)

En la celda las partículas sólidas ocasionan colisiones con las burbujas de aire formadas gracias a los reactivos, solo las partículas hidrofóbicas se unirán a la parte superior de la burbuja y permanecerán en torno a ella hasta que poco a poco ascienda a la superficie, y las partículas hidrofílicas descenderán al fondo de la celda. Está compuesto por tres fases de importancia:

- Zona de Espuma: corresponde a la formación de burbujas.
- Zona de Mineralización: instante donde se da la formación de las burbujas con la ayuda del espumante y gracias al colector las partículas hidrofobas se adhieren a las burbujas y las hidrofílicas se depositen en el fondo.
- Zona de Mezclado: unión de la partícula-burbuja, con la ayuda del aire y los reactivos se produce la adhesión.
- Zona de recolección: comprende la parte superior de la celda, donde por medio de rebalse las espumas se depositarán junto con el mineral valioso.

3.8.3. Motor

Es la parte que energiza a la celda de flotación la misma que es inducida por un motor a un eje de accionamiento principal, es operado por poleas y un sistema de rodamientos. Es un motor de ½ hp debido a que no existen grandes fuerzas en el proceso y por ende no se necesita un mayor esfuerzo, no requiere algún especial diseño del eje del motor.

3.9. Pasos seguidos en la construcción

- a) Selección del modelo de la celda de flotación, se analizaron bibliográficamente tres modelos de celdas de flotación de las cuales se consideraron características, uso y rendimiento y mediante una comparación se llegó a la conclusión de que la más idónea a escala para un laboratorio es la Denver Sub-A de una celda individual (circular).
- b) Se realiza un análisis donde contempla un prediseño del equipo, del mismo que se examina características de rendimiento del modelo elegido y cambios que se le pueden hacer para obtener un equipo eficiente. Tomando en cuenta lo dicho se decidió realizar el modelo Denver y para evitar pérdidas del producto concentrado el diseño de la celda o recipiente circular de la misma ya que este permite que toda la espuma caiga hacia el plato recolector evitando así pérdidas.
- c) Se considera las partes importantes que conformaran el equipo siendo estas el tanque interior donde se da el fenómeno de flotación y el tanque exterior correspondiente a la recolección de espumas, anexo A.
- d) Dimensionamiento del tanque, primero se realiza el tanque interior y luego el exterior de acuerdo al diseño, el mismo que se realizó en computadora y luego es mandado a cortar en CNC (Control Numérico Computarizado) el cual permite realizar cortes precisos, anexo H.
- e) Diseño de la estructura de soporte dependiendo del peso del equipo, anexo D.
- f) Se construyen todas las partes móviles (el motor, los anclajes que viene a ser la caja protectora de la banda, bisagras, etc.), anexo E.
- g) Se ensamblan las partes móviles con los tanques previamente
- h) Se toman las medidas para hacer las partes finales móviles que son el eje con la turbina y los chupasores, anexo C.
- i) Colocación del motor, anexo H.
- j) Adaptación de la transmisión (unión del motor con la banda hacia el eje que transmite la fuerza hacia la turbina), anexo H
- k) Maquinar el eje que consta de la inyección del aire.
- l) Proceso de limpieza y pintura, anexo H.
- m) Conexión del sistema eléctrico que constituye el medio de arranque con un compresor pequeño, anexo H.

3.10. Validación del equipo

3.10.1. Metodología aplicada

El siguiente trabajo se va a realizar mediante una metodología teórica y experimental que comprende ciertas pruebas de flotación con repeticiones para de esa manera determinar el rendimiento del equipo.

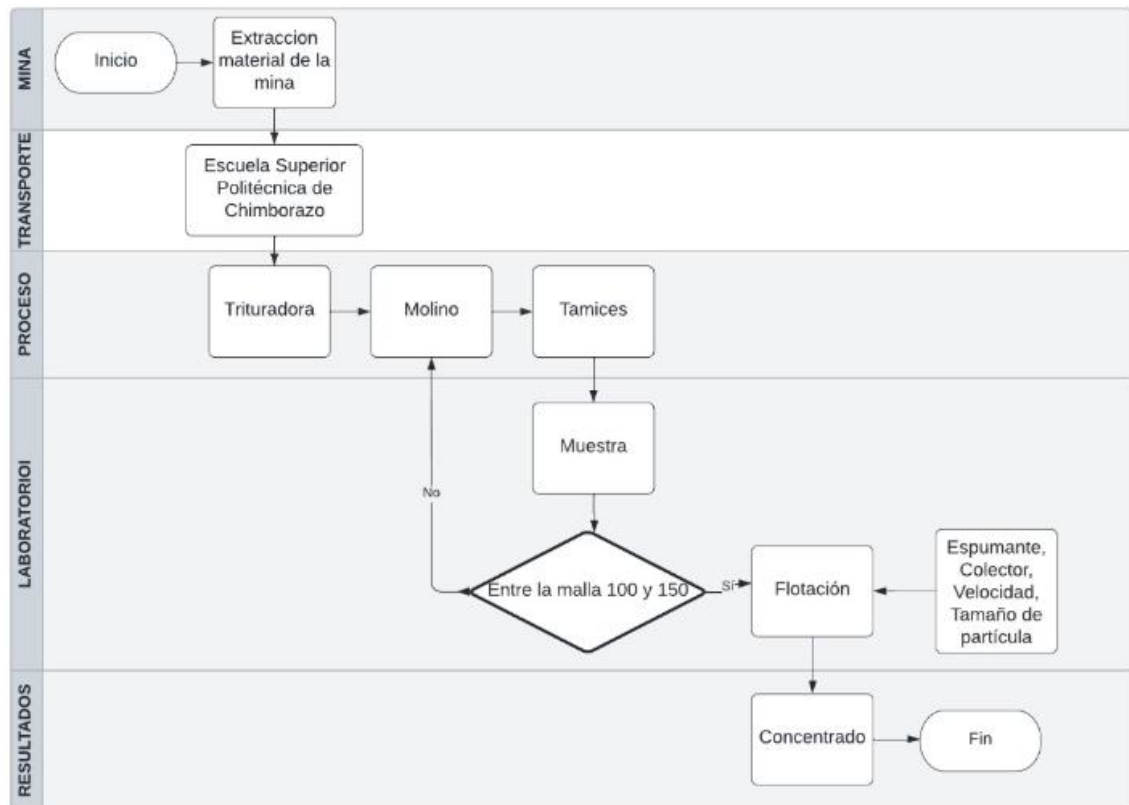


Ilustración 9-3: Diagrama de flujo de proceso de flotación

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

El diagrama de flujo representa el proceso que sigue el mineral hasta llegar al proceso de flotación en un laboratorio, primero es extraído de la mina y transportado hacia el laboratorio de la ESPOCH, el mismo debe sufrir algún mecanismo de reducción de tamaño (trituración, molienda) para luego ser tamizado y obtener la muestra que se desea flotar en la celda con ayuda de reactivos (espumantes, colectores) que ayudan al proceso y con esto obtener el rendimiento del equipo con el concentrado deseado.

3.10.1.1. Recolección del material

La muestra que será utilizada en el equipo proviene de la ciudad de Portovelo específicamente del barrio la Cascada de la Asociación Minera Rica Suave que tiene como gerente propietario el señor Bolívar Minga, el material fue recogido después del proceso de extracción de la veta, la mina tiene principalmente oro y plata, tomando en cuenta que la experimentación se va a basar en la flotación de oro; se realizó una molienda y posteriormente de paso por tamices tipo ISO 565 que mantiene el laboratorio de Mineralogía de la ESPOCH, para tener el tamaño de partícula ideal.

El material con el que se va a trabajar en la parte experimental deberá cumplir con condiciones de tamaño al ser triturado y molido y es lo siguiente:

- Cabe mencionar que el material deberá pasar por la malla entre los rangos de #100 a #150, en nuestra validación ocuparemos la malla #125.

3.10.2. Equipos

3.10.2.1. Equipo de flotación

El equipo de flotación que se dimensiono en el presente Trabajo de Integración de Curricular es una adaptación de la celda DENVER Sub-A de una sola celda circular, el cual va a ser de mucha utilidad en el laboratorio de Mineralogía de la Facultad de Ciencias para los experimentos de flotación; es de uso sencillo, versátil y mecánico los mismos que ayudará a mantener una recirculación homogénea de la pulpa a través del agitador; y así finalmente obtener un buen resultado en la experimentación, cabe mencionar que se debe tener en cuenta la capacidad máxima del equipo que es de 3 kg y de esta manera tener una alimentación constante del material, del líquido y reactivo a usarse.

3.10.2.2. Reactivos

Se debe tener en cuenta que para que se realice el proceso de flotación es necesario la utilización de reactivos que ayudan a que el mineral valioso se recupere, el uso y colocación de los reactivos se lo realiza en relación a la cantidad de muestra y el tiempo de flotación, razón por la cual se calculó la dosificación adecuada de los reactivos que se utilizaran en el proceso de flotación, estos cálculos se los tomó referencialmente a la dosificación de la Planta de Beneficio Santa Marianita ubicada en la ciudad de Portovelo otorgado por (Cuenca, 2018, p. 26).

Después de investigar bibliográficamente, comparando reactivos usados para la flotación de oro y guiándonos en resultados obtenidos por (Cuenca, 2018, p. 28) se estableció usar el un espumante y cualquiera de los 3 colectores debido a que pueden ser encontrados en las plantas de tratamientos de minerales comercialmente y son los siguientes :

- El Xantato amílico de potasio (Z6): es un colector muy utilizado en el proceso de flotación en Ecuador ya que es muy comercial y se lo puede encontrar fácilmente en los distribuidores además de ser conocido en la industria polimetálica para recolectar metales de interés como oro, plata, cobre, plomo y zinc; posee un olor y color muy característico por tener en sus estructura gases mercaptanos los cuales en sus formulación tienen cantidades de azufre, hidrogeno y carbono (Cuenca, 2018, p. 33).
- Ditiófosfato AR-1404 y Ditiófosfato AR- 1242: son colectores utilizados de igual manera en la industria minera ya que tienen gran rendimiento en las plantas de beneficio especialmente para la flotación de sulfuros, cabe mencionar que tienen menor potencia que los Xantatos, pero son más selectivos en el proceso.
- Espumante ER-370: es el espumante más utilizado en la flotación de metales de interés ya que inicia acondicionándose con el colector en un tiempo prudente, y este es insoluble en agua el cual genera espuma para dejar dentro de la celda los relaves de proceso de concentración y sobrepasar dicha celda adicionando oxígeno (Cuenca, 2018, p. 34).
- Reguladores de pH (opcional): la cal es el regulador de pH más usado, se lo emplea siempre y cuando la pulpa no se mantenga en un medio alcalino es decir de aproximadamente 7.

3.10.2.3. *Materiales auxiliares*

- Balanza: es muy importante la para medir precisamente el peso de la muestra, ya cuando se lleve a cabo el proceso nos ayudará para pesar los concentrados y colas obtenidas en los procesos de flotación.
- Bandeja: servirá de almacenamiento puede ser plástica o metálica, para recolectar el mineral valioso, las colas y posterior secado natural o en estufa de estas.
- Espátula: es de una forma plana hecha en acero con un mango de madera, se utiliza para la remoción de las bandejas del concentrado y colas del proceso de flotación.
- Pissetas: es el material que en su interior posee agua destilada y ayudará a la desinfección de los materiales de vidrio a utilizarse en el proceso de flotación.
- Probeta: ayuda a medir el volumen de agua.
- Pipetas graduadas: permite medir el volumen de los reactivos en forma exacta.

- Pipetas Pasteur: son pipetas de plástico de rango entre 0.5 a 3 ml utilizadas para realizar el goteo continuo
- Bandas de pH: son bandas rectangulares que permiten medir la potencia de hidrógeno de la pulpa, por lo general para los procesos de flotación para que sea exitoso deberá tener un pH de 7 el mismo que indica que trabaja un medio neutro.

3.10.3. Prueba de laboratorio

3.10.3.1. Procedimiento

El procedimiento del Trabajo de Integración Curricular para poder realizar la validación del equipo se considera la capacidad de la celda, diferentes tipos de colectores mismos que se utilizarán dependiendo del material a flotar, espumantes, granulometrías diferentes, tiempo y velocidad de agitación.

En primera instancia el tamaño de la partícula a trabajar será específico, el mismo que deberá pasar por la malla #125 esto se logra a través del molino de bolas del laboratorio de Mineralogía de la ESPOCH. Se debe considerar ciertos parámetros para seguir durante el proceso como los detallamos a continuación:

Tabla 8-3: Parámetros para seguir durante el proceso de flotación.

PARÁMETROS	
Espumante:	ER-370
Colectores: (solo se deberá elegir un colector para el proceso)	Xantato amílico de potasio Ditiofosfato AR-1242 Ditiofosfato AR-1404
Granulometría:	Malla #100-150.
Tamaño de burbuja:	1.61 mm
pH:	7
Velocidad del agitador:	978-979 rpm
Tiempo de acondicionamiento:	Durante 4 minutos sin reactivos
Tiempo de retención:	Se trabaja en intervalos de 6 minutos
Tiempo de flotación:	Aproximadamente de 22.5 minutos para alimentación de 30 rpm 13.5 minutos para alimentación de 70 rpm
Temperatura:	Ambiente
Calidad de agua:	Agua purificada
Cantidad de agua:	17 litros
Peso de muestra:	3.00 Kg

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Una vez ya conocido los parámetros se procede a realizar las pruebas siguiendo el siguiente proceso:

- a) Triturar la roca de la mina y pulverizarla alrededor de 3 Kg.

- b) Proceder a pasar por el tamiz de malla #125 la muestra pulverizada, hasta obtener 3 Kg de muestra.
- c) Medir la densidad del material, con ayuda de una probeta de 50 ml.
- d) Adicionar 30 ml de agua y pesar 30 gr de material.
- e) Introducir en la probeta de un solo golpe, observar la elevación del agua y proceder a calcular la densidad.
- f) Colocar los 3 Kg de muestra en el tanque de la celda y luego adicionar 17 litros el agua purificada.
- g) Encender el equipo girando la perilla de encendido si se desea trabajar a 70 rpm.
- h) En el caso de que se requiera menos velocidad angular o frecuencia proceder abrir el panel de control y giramos la perilla del frecuencímetro hasta la velocidad deseada.
- i) Verificar que la agitación sea efectiva.
- j) Medir el pH de la pulpa (agua + la muestra de roca) con ayuda de las bandas de pH, en el caso que el pH no sea neutro se procede a colocar el regulador de pH.
- k) Una vez que se haya alcanzado el pH adecuado de 7 y haya pasado aproximadamente 4 minutos, se procede a colocar el colector Xantato amílico de potasio (Z6) en un vaso de precipitación con la ayuda de una pipeta procedemos a medir la cantidad requerida para ser colocada en el tanque de la celda de flotación por goteo continuo.

Nota: Para la colocación de colectores y espumantes se lo realiza por medio de la formulación adecuada de reactivos, cabe mencionar que la dosificación de los reactivos es muy variada para cada uno, debido a que su dosificación estará sujeta a la cantidad de muestra inicial que se utilizará. Para el acondicionamiento de la pulpa será de alrededor de 6 minutos.

- l) Cuando ya haya pasado el tiempo del acondicionamiento de la pulpa con el colector se procede a colocar el espumante ER-370 con ayuda de un vaso de precipitación y una pipeta graduada medimos la cantidad adecuada, se debe colocar por goteo continuo.
- m) Dejar 3 minutos hasta que la espuma procede a salir por la parte superior y es recolectada en la canaleta de la celda, la espuma sale por el orificio de la canaleta la cual es recogida en las bandejas para posterior a esto ser enviadas a la estufa a 80 °C durante 48 horas para ser secadas.

Nota: se deberá observar detenidamente el color de la espuma producida en el proceso ya que si es de color plomo oscuro este será que es la espuma adecuada, cuando cambie de coloración a un plomo más claro nos indicará que el proceso de flotación ha terminado y esta espuma ya no estará sacando el concentrado de la pulpa sino netamente solo el espumante.

- n) Después de 13 minutos se detener el agitador.
- o) Proceder a extraer la muestra denominada colas, que se queda en el fondo del tanque de la celda de flotación y colocar en las bandejas.
- p) Llevar las bandejas de espuma y colas a la estufa para ser secadas a 80°C durante 48 horas.
- q) Una vez que haya sido secada la muestra con ayuda de una espátula remover la muestra de las bandejas y proceder a pesarlas para ser llevadas a su respectivo análisis.

El procedimiento antes ya mencionado puede ser observado a través del anexo fotográfico que se encuentra en el Anexo I.

3.10.4. Datos Experimentales

3.10.4.1. Datos de muestra

Tabla 9-3: Peso de muestra

Muestra	Peso (kg)
Roca de mina	3

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

3.10.4.2. Datos para la densidad de la pulpa

Tabla 10-3: Densidad de la muestra

Peso de la muestra (gr)	Volumen de agua(ml)	Elevación de la probeta (ml)
30	30	12

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

La elevación de la probeta puede ser observado en el Anexo I en el proceso de validación del equipo.

✓ Fórmula general de la densidad:

$$d = \frac{m}{v}$$

Ecuación 26 Densidad

$$d = \frac{30 \text{ gr}}{12 \text{ ml}}$$

$$d = 2.5 \text{ gr/ml}$$

3.10.4.3. Dosificación de reactivos

Se debe tener en cuenta la adecuada dosificación de reactivos en la flotación, se lo realizará en función al volumen de la celda y peso de la muestra a concentrarse, en la ecuación que fue

proporcionada del Trabajo de Titulación de Ronald Cuenca (Cuenca, 2018, p. 35) de la Planta de beneficio Santa Marianita ubicada en la ciudad de Portovelo que consta en nómina de empresas activas en el Ministerio del Ambiente.

- Xantato amílico de potasio al 10%

$$\frac{50 \text{ gr de Xantato amílico de potasio (10\%)}}{1000 \text{ kgr de mineral seco}} \times 3.00 \text{ Kgr de mineral seco}$$

$$= 0.15 \text{ gr de Xantato amílico de potasio (10\%)}$$

Para obtener la correcta dosificación en mililitros.

$$\begin{array}{r} 10 \text{ gr} \qquad 100\text{ml} \\ 0.15 \text{ gr} \qquad x \\ x = \frac{0.15 \text{ gr} * 100 \text{ ml}}{10 \text{ gr}} \end{array}$$

$$x = 1.5 \text{ ml de Xantato amílico de potasio}$$

- Ditiofosfato AR 1242

$$\frac{67 \text{ gr de Ditiofosfato AR 1242}}{1000 \text{ kgr de mineral seco}} \times 3.00 \text{ Kgr de mineral seco}$$

$$= 0.201 \text{ gr de Ditiofosfato AR 1242}$$

Para obtener la correcta dosificación en mililitros.

$$\begin{array}{r} 10 \text{ gr} \qquad 100\text{ml} \\ 0.201 \text{ gr} \qquad x \\ x = \frac{0.201 \text{ gr} * 100 \text{ ml}}{10 \text{ gr}} \end{array}$$

$$x = 2.01 \text{ ml de Ditiofosfato AR 1242}$$

- Ditiofosfato AR 1404

$$\frac{75 \text{ gr de Ditiofosfato AR 1404}}{1000 \text{ kgr de mineral seco}} \times 3.00 \text{ Kgr de mineral seco}$$

$$= 0.225 \text{ gr de Ditiofosfato AR 1404}$$

Para obtener la correcta dosificación en mililitros.

$$\begin{array}{r} 10 \text{ gr} \qquad 100\text{ml} \\ 0.225 \text{ gr} \qquad x \\ x = \frac{0.225 \text{ gr} * 100 \text{ ml}}{10 \text{ gr}} \end{array}$$

$$x = 2.25 \text{ ml de Ditiofosfato AR 1404}$$

- Espumante

$$\frac{30 \text{ ml Espumante ER – 370 (10\%)}}{1000 \text{ kgr de mineral seco}} \times 3.00 \text{ Kgr de mineral seco}$$

$$x = 0.09 \text{ ml Espumante ER – 370 (10\%)}$$

3.10.4.4. Balance de masa de la recuperación

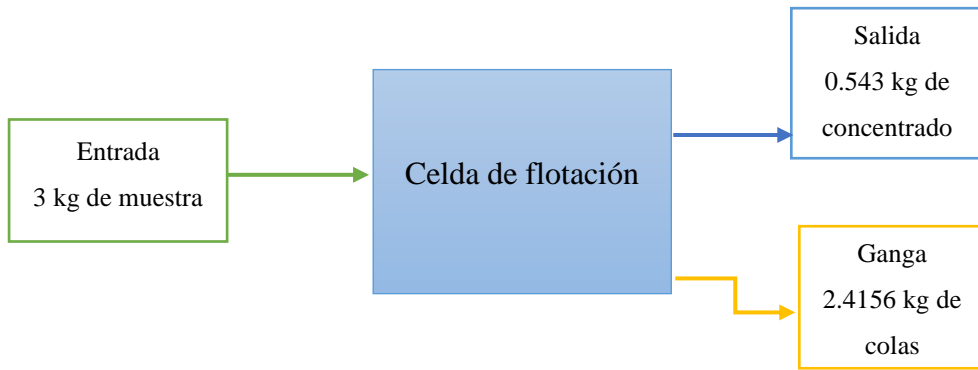


Ilustración 10-3: Balance de masa

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

Balance de masa global:

$$E = S + G$$

Ecuación 27 Balance general

$$3 \text{ kg} = 0.543 \text{ kg} + 2.4156 \text{ kg}$$

$$3 \text{ kg} = 2.9586 \text{ kg}$$

Cabe mencionar que se obtiene un valor de pérdida 0.0414 kg debido a que el polvo al estar en contacto con el agua se pudo haber disuelto en ella o al momento de colocar la muestra en el tanque de la celda se colocó de manera brusca provocando que esta salga en el aire y se pierda un poco de muestra.

3.10.4.5. Eficiencia del proceso

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Rendimiento experimental gr}}{\text{Rendimiento teórico gr}} * 100$$

Ecuación 28 Eficiencia del proceso

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{salida de concentración kg} + \text{ganga kg}}{\text{entrada de la muestra en kg}} * 100$$

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{0.543 \text{ kg} + 2.4156 \text{ kg}}{3 \text{ kg}} * 100$$

$$\% \text{ Eficiencia} = 98.62\%$$

3.10.4.6. Eficiencia de la celda

$$S_b = 6 * \frac{J_g}{D_b}$$

Ecuación 29 Eficiencia de la celda

Donde:

S_b = eficiencia de la celda

J_g = velocidad superficial de aire

D_b = diámetro de la burbuja de aire que ingresa a la celda.

$$S_b = 6 * \frac{2.42 \text{ cm/s}}{0.161 \text{ cm}}$$

$$S_b = 90.1863 \text{ 1/s}$$

1/s= la eficiencia se repite tantas veces en un segundo

El valor de S_b es el que puede medir el desempeño metalúrgico al ser pronosticado debido a que la tasa de recolección de las partículas siempre dependerá de la superficie específica de la burbuja que estará en el proceso.

3.10.4.7. Análisis SEM-EDS del producto del concentrado de la celda de flotación en el microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM-IT 100 utilizando de 5 a 13 KV.

En el análisis del concentrado producto del proceso de flotación realizado en la celda de flotación se lo realizó por medio del análisis SEM-EDS la cual es una microscopía electrónica de barrido o comúnmente llamado SEM, este permite la observación visual de un área de interés completamente diferente de un microscopio óptico normal, además este tipo de análisis es directo a gran escala de la composición de la textura; esta prueba fue realizado en la Facultad de Mecánica en el Laboratorio de Materiales de la ESPOCH donde ingresa una mínima muestra cómo se puede observar en el Anexo K y con ayuda de las imágenes SEM de las muestras del concentrado mostraron contrastes simples de materiales metálicos como lo fue en nuestro caso Oro, con este resultado podemos demostrar que nuestra celda de flotación es de gran eficiencia y cumple con todos los parámetros óptimos de diseño.



Ilustración 11-3: Análisis de imagen de las muestras

Fuente: Godoy, L., Valle, A., 2022.



Ilustración 12-3: Muestras que ingresan al microscopio
Fuente: Godoy, L., Valle, A., 2022.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados del dimensionamiento de la celda de flotación

4.1.1. Dimensionamiento del tanque

La celda de flotación tipo Denver sub-A adaptación a una sola celda circular a escala de laboratorio tiene como capacidad 38 litros de agua total y 17 litros cuando se encuentre operando en el proceso de flotación con capacidad de muestra de 3 kg razón por la cual se ha realizado el dimensionamiento el tanque tendrá 40 cm de altura y 31cm de diámetro realizado en acero estructural A-36 como se detalla en el Anexo D.

Tabla 1-4: Resultado del dimensionamiento del tanque

Nombre de la parte	Medida (cm)
Altura	40
Diámetro	31
Espesor	0.5
Nota: observar el plano en el Anexo D	

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.1.2. Dimensionamiento de la canaleta o camisa

La celda de flotación cuenta con una canaleta de recolección de espumas que es una parte fundamental en el proceso de flotación, la misma está ubicada en la parte exterior del tanque de 50 cm de diámetro y 31 cm de diámetro interno, el mismo que es de igual medida que el tanque de la celda, esta canaleta tiene un espesor de 0.80 cm hecho en acero estructural A-36, de forma diagonal de corte por eso posee dos medidas de altura una de 7 cm que este se encuentra en la parte de abajo de la caja que sostiene el motor y otra de 22 cm que se localiza en la parte frontal de la celda con un orificio de 3 cm, donde una vez que se realice el proceso de flotación salen las burbujas para que sean colocadas en las bandejas como se puede observar en el Anexo B.

Tabla 2-4: Resultado del dimensionamiento de la canaleta o camisa

Nombre de la parte	Medida (cm)
Diámetro exterior de la camisa	50
Diámetro interior de la camisa	31
Espesor de la parte superior de la camisa	0.80
Altura de la parte superior de la camisa que va junto al motor	7
Altura de la parte inferior de la camisa donde se ubica el orificio de salida de burbujas	22
Diámetro del orificio de burbujas	3
Nota: observar el plano en el Anexo B	

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.1.3. Dimensionamientos de la turbina

La turbina de la celda de flotación está realizada en acero inoxidable A-316 con el mismo que al estar en contacto con agua evitaremos la corrosión y con el futuro no sufra daños por las mismas, está dimensionada con un diámetro de 15 cm para que produzca la agitación adecuada para el proceso, posee una pala de anchura de 2.5 cm y altura de 2 cm con espesor de 0.5 cm y una altura desde la parte inferior de la turbina hasta llegar al sistema de poleas de 57 cm. Finalmente en la parte inferior de la turbina el estator tiene una división de 6 barras que son adecuadas para el proceso de agitación y un correcto diámetro de burbuja, como se puede observar en el Anexo C.

Tabla 3-4: Resultado del dimensionamiento de la turbina

Nombre de la parte	Medida (cm)
Diámetro del agitador	15
Anchura de la pala	2.5
Altura de la pala	2.00
Espesor de pared	0.5
Altura del agitador	57
Número de barras	6 barras
Nota: observar el plano en el Anexo C	

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.1.4. Dimensionamiento del tubo externo de la turbina

La turbina tiene un recubrimiento para que ingrese directamente el flujo de aire y se pueda producir las burbujas desde el interior de la celda, cabe mencionar que al estar en contacto con el agua se diseñó en acero inoxidable A-316 para evitar la corrosión, el tubo externo tiene una altura de 46 cm y el diámetro del tubo es de 4.60 cm; en la parte superior del tubo existe un orificio de entrada de aire de 1.91 cm de diámetro de largo de 1.5 cm. En la parte superior del agitador posee un plato de espesor de 0.40 que cubrirá este, con un diámetro de 18 cm. Como se puede observar en el Anexo F.

Tabla 4-4: Resultado del dimensionamiento del tubo externo de la turbina

Nombre de la parte	Medida (cm)
Altura de tubo externo de la turbina	46
Diámetro del tubo externo de la turbina	4.60
Diámetro exterior de la parte superior de la turbina	18
Espesor del platillo de la parte superior de la turbina	0.40
Diámetro del orificio de entrada de aire para la turbina	1.91
Largo de orificio de entrada de aire para la turbina	1.5
Nota: observar el plano en el Anexo F	

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.1.5. Dimensionamiento de la base del cilindro o tanque

Para estabilidad de la celda de flotación se colocó tres soportes hechos en acero estructural A-36, cuyas bases son círculos de diámetro de 7.16 regulables por medio de sistema de tornillos, en la parte superior tiene una estructura rectangular de altura total de 14 cm, esta tiene un corte diagonal de 2.80 cm y el resto del soporte es de 11.90 cm las mismas que se ajustan adecuadamente al tanque de la celda de flotación y aportan un estabilidad adecuada sin modificar el interior del tanque, como se puede observar en el Anexo D.

Tabla 5-4: Resultado del dimensionamiento de la base del cilindro o tanque

Nombre de la parte	Medida (cm)
Diámetro de las patas base de la celda de flotación	7.16
Espesor las patas base	1
Altura total de la patas	14
Altura de las patas sin corte diagonal	11.90
Corte diagonal de las patas para que se ajuste al tanque	2.80
Diámetro de la llave de la salida de agua del tanque	2.68
Nota: observar el plano en el Anexo D	

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.1.6. Dimensionamiento de la caja soporte para el motor

En la celda de flotación para que se produzca el proceso de agitación adecuado se lo realizó por medio de transmisión de poleas la misma que necesita un motor y para poderlo sostener se diseñó una caja de soporte para el motor en acero estructural A-36 y con varios agujeros los mismos que permiten el paso de gases propios del proceso de agitación para evitar el daño del motor. La caja de soporte tiene de largo 17 cm y ancho 22 cm que en la parte trasera tiene una pared de acero de las mismas dimensiones sujetadas con un sistema de bisagras de acero con diámetro de 2 cm para que esta tenga un efecto de vaivén, estas bisagras tienen un largo de 9 cm y ancho de 1.50 cm. Se encuentran sujetas con una cerradura hecha con un radio de 1.25 cm y un diámetro de 1.60 cm, con un espesor de 1 cm para que aguante la fuerza del motor; la distancia entre esta cerradura es de 3.5 cm donde ingresa en el medio un tornillo para ser ajustado y evitar que el motor se mueva, como se puede observar en el Anexo E.

Tabla 6-4: Resultado del dimensionamiento de la caja soporte para el motor

Nombre de la parte	Medida (cm)
Largo de la caja soporte	17
Ancho de la caja soporte	22
Largo de la parte en la que ira sujeta el motor	17
Ancho de la parte en la que ira sujeta el motor	22
Espesor de la caja soporte	0.80
Largo de las bisagras	9
Ancho de las bisagras	1.50
Diámetro del agujero para la bisagra	2
Radio de la cerradura que sujetara la caja y la pared del motor	1.25

Diámetro de la cerradura que sujetara el tornillo de la caja y la pared del motor	1.60
Espesor de la cerradura	1
Espacio intermedio de la cerradura	3.5
Nota: observar el plano en el Anexo E	

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.1.7. Dimensionamiento del soporte lateral

En la parte superior para sostener la caja de soporte del motor se colocó un soporte lateral en forma de L, la misma que tiene de largo de 48.99 cm y de la parte interior de 49.56 cm este tiene un espesor de 1.30 cm y ancho externo de 5 cm. La parte interna tiene una medida de 3.70 cm de ancho, para que pueda ajustarse al diámetro del tanque se hizo un corte circular de aproximadamente 25 cm de diámetro como se puede observar en el Anexo G.

Tabla 7-4: Resultado del dimensionamiento del soporte lateral

Nombre de la parte	Medida (cm)
Largo del soporte lateral	48.99
Largo de la parte interior del soporte	49.56
Espesor de soporte lateral	1.30
Ancho externo del soporte lateral	5
Ancho interno del soporte lateral	3.70
Corte diagonal de las esquinas con un radio	25
Nota: observar el plano en el Anexo G	

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.1.8. Equipo de flotación Denver Sub A adaptación a una sola celda, circular

4.1.8.1. Celda de flotación

➤ Parte frontal



Ilustración 1-4: Celda de flotación parte frontal

Fuente: Godoy, L., Valle, A., 2022.

➤ Parte trasera



Ilustración 2-4: Celda de flotación parte trasera.
Fuente: Godoy, L., Valle, A., 2022.

➤ Parte Interior

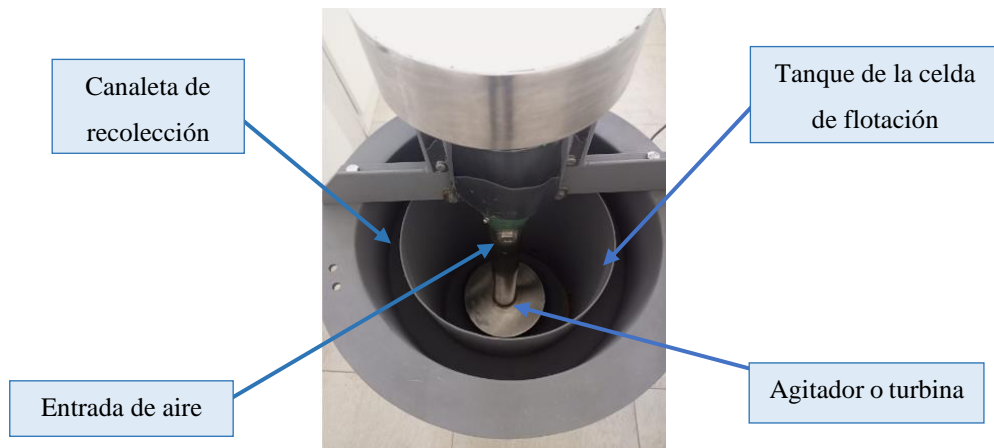


Ilustración 3-4: Interior de la celda de flotación.
Fuente: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.1.8.2. Panel de control

➤ Parte exterior



Ilustración 4-4: Parte exterior del panel de control de la celda de flotación.
Fuente: Godoy, L., Valle, A., 2022.

➤ Parte Interior



Ilustración 5-4: Parte interior del panel de control de la celda de flotación.
Fuente: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.2. Resultados de la validación del equipo

Para poder ejecutar la validación del equipo se lo hizo por medio de una práctica de laboratorio denominada “Flotación de Metales” quién tuvo lugar en el laboratorio de Mineralogía ubicado en la Facultad de Ciencias con los estudiantes de la materia de Metalurgia y el tribunal otorgado por la Comisión de Carrera de Ingeniería Química en los cuales se obtuvo los siguientes datos:

4.2.1. Densidad de la pulpa

Tabla 8-4: Densidad de la pulpa

Peso de la muestra (kg)	Volumen de agua(litros)	Densidad (gr/ml)
3	17	2.5

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.2.2. Dosificación del colector

Tabla 9-4: Dosificación del colector

Reactivo	Muestra (kg)	Dosificación del colector en gr	Dosificación del colector en ml
Xantato amílico de potasio al 10%	3	0.15	1.5

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.2.3. Dosificación de espumantes

Tabla 10-4: Dosificación de los espumantes

Reactivo	Muestra (kg)	Dosificación del colector en ml
Espumante ER-370	3	0.09

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.2.4. Balance de masa de la recuperación

Tabla 11-4: Balance de masa de la recuperación

Muestra de entrada (kg)	Salida de concentrado (kg)	Ganga (kg)	Perdida (kg)
3	0.543	2.4156	0.0414

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.2.5. Eficiencia

Tabla 12-4: Eficiencia del proceso y de la celda de flotación

Eficiencia del proceso	Eficiencia de la celda (1/s)
98.62%	90.1863

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

4.2.6. Resultado del análisis SEM-EDS del producto del concentrado de la celda de flotación en el microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM-IT 100 utilizando de 5 a 13 KV

La prueba realizada en la Facultad de Mecánica en el Laboratorio de Materiales de la ESPOCH se obtuvieron resultados positivos teniendo como metal precioso Oro, demostrando que la eficiencia de la planta es muy bueno y además que la planta piloto cumple con todos los aspectos que debe tener una planta de beneficio a escala de laboratorio siendo muy didáctica; finalmente con este resultado podemos demostrar que la celda de flotación cumple con todos los parámetros de flotación y tiene una eficiencia muy buena como podemos observar a continuación:

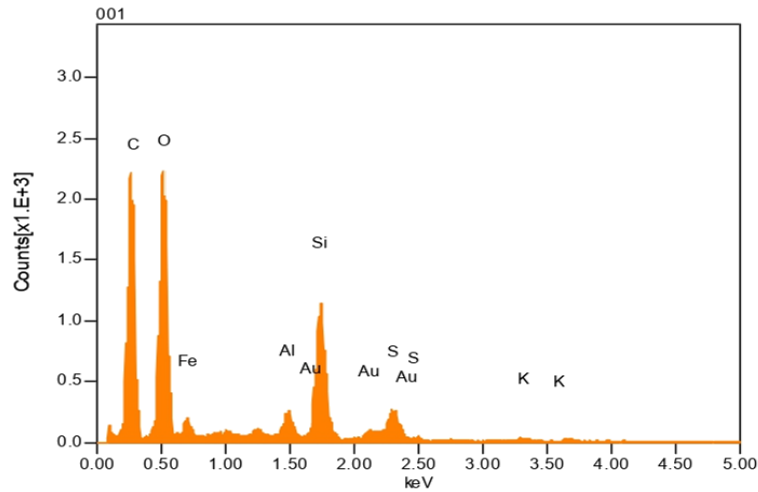


Ilustración 6-4: Resultado del análisis SEM-EDS de la alimentación de la celda de flotación en el microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM-IT 100 utilizando 9 KV.

Fuente: JEOL EDS System, 2022.

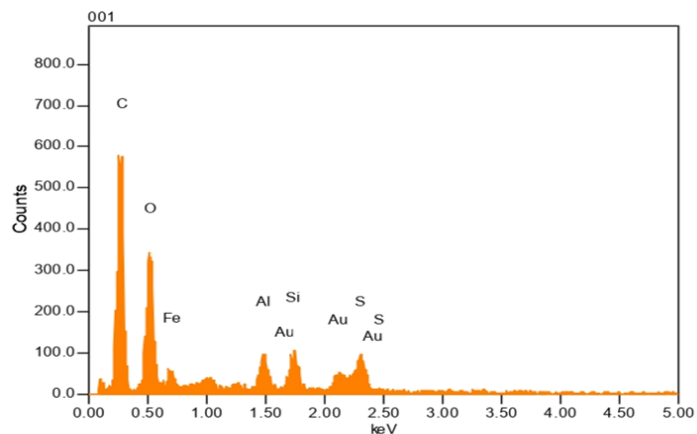


Ilustración 7-4: Resultado del análisis SEM-EDS del concentrado de la celda de flotación en el microscopio electrónico JEOL SEM modelo JSM-IT 100 utilizando 9 KV.

Fuente: JEOL EDS System, 2022.

Tabla 13-4: Elementos encontrados en la muestra que ingresa y concentrado que sale de la celda de flotación

Muestra que ingresa a la celda de flotación	Concentrado producto de la celda de flotación
C	C
O	O
Al	Al
Si	Si
S	S
K	--
Fe	Fe
Au	Au

Realizado por: Godoy, L., Valle, A., 2022.

En la tabla podemos identificar que todos los elementos casi en su totalidad se obtuvieron en el proceso de flotación a diferencia del potasio, pero el más importante es que floto metales y el de más importancia al ser un metal elemental como el oro (Au), quedando demostrado que se da el proceso de flotación además se puede considerar que el colector Xantato Amílico de potasio Z6 fue el adecuado, para mayor detalle de los resultados se puede observar en el Anexo J y Anexo K.

CONCLUSIONES

Se diseñó y se construyó una celda de flotación tomando en cuenta las necesidades del laboratorio de Mineralogía, la misma que formara parte de este y conformará la planta piloto de obtención de metales preciosos como lo pueden ser oro, plata y cobre que se encuentran en el país, está se encontrará en el Laboratorio de Mineralogía ubicado en la Facultad de Ciencias y por medio de este podrán los estudiantes poner en práctica todos los conocimientos teóricos impartidos por los docentes y observar más de cerca el proceso de concentración de minerales más usados en la industria metalúrgica en el Ecuador.

Se analizaron los parámetros más importantes que debe contener una celda de flotación, siendo estos, las variables de diseño tales como capacidad de muestra que es 3 kg, volumen de su máxima capacidad de 38 litros, la pulpa que se encontrará en el interior del tanque deberá ser aproximadamente de 2.5 gr/ml y con una presión estándar de 1 atm; mientras en cuanto a las características de más importantes resaltan las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales que deben tener frente al agua el cual es el medio para realizar el proceso y esté accede de manera eficiente a la unión de las partículas sólidas con las burbujas de aire, por otro lado la creación de espumas estables que mantienen las partículas valiosas sobre la superficie y la adición de los principales reactivos químicos como son el colector y espumante al sistema. Finalmente las condiciones específicas están dadas por el pH de la pulpa que se debe mantener en un estado neutro, el tamaño de partícula que ingresa en la alimentación debe ser de entre la malla #100 a #150, si se habla de la dosificación de reactivos esté será planteado en base a la formulación específica para cada reactivo y con esto evitar errores en el proceso, la velocidad optima de flotación de nuestra celda es de 70 rpm a un tiempo es de 13.5 minutos y con ello podemos llegar al tamaño adecuado de burbuja que es de 1,61mm.

Se diseñó una celda de flotación tipo Denver Sub-A adaptación de una sola celda de forma circular con medidas de dimensionamiento de un tanque de 40 cm de alto, un diámetro de 31 cm, esta celda cuenta con una canaleta exterior la cual tiene la función de recoger todas las burbujas producidas en el proceso cuenta con un diámetro exterior e interior de 50 y 31 cm respectivamente; que tiene dos alturas en forma diagonal una altura de 7 cm que está en la parte de abajo de la caja que sostiene el motor y una altura 22 cm que se encuentra en la parte frontal de la celda con un orificio que permite la salida de burbujas con un diámetro de 3 cm, ya que con esto producimos una mayor eficiencia del equipo porque de esta forma pueden bajar todas las burbujas producidas en el proceso. Posee en el interior de la celda una turbina de un diámetro de 15 cm con una altura de 57 cm, el estator esta dimensionado con una altura de 2.5 cm y dividido por medio de 6 barras que ayudan al proceso de agitación y es del tamaño adecuado de burbujas.

Se construyó la celda de flotación siguiendo los parámetros de dimensionamiento, los planos realizados en SolidWord y las características del material a usarse, la celda interior y canaleta exterior que conforman el equipo al igual que los soportes están construidos de acero estructural A-36 con un espesor que va desde 0.5 a 1 dependiendo de cada parte que fue realizada, la caja soporte del motor que separa el motor con la celda es de acero estructural A-36 con un espesor de 0.8 y contiene agujeros que ayudan a que cualquier gas generado en el proceso salga y no ocasione incrustaciones en el mismo, la protección de la transmisión de poleas, el conjunto de la turbina y el agitador son de acero inoxidable A-316 con un espesor de 0.4 debido a que los últimos se encuentra en mayor contacto con la pulpa, y los reactivos evitando de esta manera la corrosión de sus componentes. El equipo está conformado por la celda de flotación, sistema de transmisión de poleas, canaleta de recolección de espumas, orificio de salida de espumas, agitador, entrada de aire, motor de 1/2Hp, válvula de bolas para el drenaje del agua y el panel de control manual que contiene exteriormente el botón de emergencia, perilla de encendido, luz indicadora de encendido y la cerradura del panel e interiormente un breker, variador de frecuencia y la perilla vareadora de frecuencia; cabe mencionar que todo el equipo es desmontable es decir que se puede desarmar si existiera el caso.

Se validó la celda de flotación en el laboratorio de Mineralogía ubicado en la Facultad de Ciencias mediante una práctica de laboratorio denominada “Flotación de metales” con los estudiantes de la materia de metalurgia quienes forman parte de la carrera de Ingeniería Química, con los mismos se logró evaluar el funcionamiento, características y la finalidad que se cumple mediante el proceso que ocurre en el equipo y con esta información se consiguió obtener por medio de la practica valores el rendimiento de la celda de flotación del 90.1863 (1/s) y una eficiencia del proceso de flotación del 98,62 %. Por medio del microscopio electrónico de barrido JEOL SEM modelo JSM-IT 100 se realizó el análisis a 9.00 KV de la alimentación a la celda y del concentrado producto del proceso de flotación teniendo como resultado en la alimentación elementos como fueron carbono, oxígeno, aluminio, silicio, azufre, potasio, hierro y oro; en el concentrado se logró evidenciar carbono, oxígeno, aluminio, silicio, azufre, hierro y oro. Con este análisis podemos evidenciar la presencia del metal precioso y de interés como lo es el Oro, de esta forma se puede concluir que la celda cumple con los parámetros requeridos de flotación.

RECOMENDACIONES

Antes de utilizar por primera vez el equipo se deberá leer atentamente la totalidad del manual de instalación y funcionamiento, además para evitar futuros daños del equipo se deberá leer detenidamente el manual de mantenimiento y finalmente para que no existan accidentes en con los estudiantes mientras se realiza la maniobras con el equipo es de suma importancia leer el manual de seguridad.

Nunca introducir ningún tipo de material en el sistema de poleas cuando este se encuentre encendido ya que esto producirá accidentes graves para los operadores y el equipo.

Evitar manipular el panel de control con las manos mojadas cuando este se encuentre en funcionamiento ya que podríamos ocasionar corto circuitos.

Evitar colocar recipientes con reactivos o sustancias ajenas al proceso, sobre la celda de flotación y el panel de control porque se puede provocar derramamiento sobre este y afectar al proceso.

Nunca usar productos corrosivos sobre la celda de flotación.

No obstruir por ningún motivo la entrada de aire de la celda de flotación ya que ocasionará el derramamiento de la pulpa de su interior.

Para futuras investigaciones se recomienda diseñar equipos automatizados para reducir tiempos operacionales, los mismo que incluyan contadoras de goteo automatizado después de que haya pasado los tiempos de acondicionamiento de cada reactivo y la adición de un cronómetro el que permita establecer los tiempos de flotación adecuados, además se recomienda implementar un sistema para tratar el agua que resulta como residuo del proceso de flotación.

GLOSARIO

Adsorción selectiva: relación entre una corriente líquida y una gaseosa, con la finalidad de intercambiar componentes y a su vez propiedades de manera selectiva (Ruiz, Castillo y Ramírez, 2018, p. 24), ya que en el proceso de flotación se añaden reactivos dependiendo del metal que se quiera flotar.

Aerofilicas: partículas que tienen afinidad con las espumas formadas durante el proceso de flotación las mismas que se adhieren a estas y suben a la superficie para depositarse por rebalse.

Aerofobicas: partículas que no tienen afinidad con las espumas formadas durante el proceso de flotación las cuales se depositan en el fondo de la celda y se desechan como relaves.

Concentrados: es el resultado del proceso de flotación que son depositados en bandejas y posteriormente son llevados a un proceso de secado, los mismos que pueden ser sometidos a análisis para determinar que el metal deseado floto.

Downcomer: es un estanque en donde se separa la espuma de la pulpa y en el cual adicionalmente se agrega un lavado de la espuma para de esta manera mejorar la ley del producto y ahorrar el tiempo de operación (Glencore Technology, 2022, párr. 4).

Empeller: sistema formado por el rotor/estator del agitador que otorga el movimiento al proceso de flotación.

Ganga: elementos que conforman el yacimiento y que no poseen valor y por ende no tienen valor comercial; los mismos que son separados de la mena (Sánchez, 2011, p. 21).

Hidrofobización: fenómeno que se encarga de repeler el agua gracias a las propiedades hidrofóbicas del material, es decir, no tiene afinidad con el agua (RAE, 2017, párr. 1).

Lamas: son aquellas partículas que tiene tamaños bajo 200 mallas tyler, que afectan el funcionamiento de celdas de flotación y aquellos procesos metalúrgicos (Codelco, 2018, párr. 3).

Lower shaft: corresponde al eje por cual se da el movimiento del sistema de transmisión.

Maquinabilidad: capacidad que poseen los materiales metálicos para permitir ser mecanizados por arranque de viruta, mediante una máquina o herramienta (Narvaez y Monroy, 2014, p. 13).

Nonfloat: son todas las partículas que se depositan en el fondo de la celda de flotación y son considerados con desechos y relaves mineros.

Pulpa: es la mezcla de las partículas sólidas con el agua que es considerado generalmente como un fluido de transporte en minería (Rayo, 2006, p. 43).

Rebalse: es el mecanismo por el cual las espumas originadas en el proceso llegan a la superficie de la celda y se depositan automáticamente en los recipientes de recolección.

Relaves o colas: son desechos provenientes de cualquier proceso minero comúnmente conformados por tierra, minerales hidrofílicos, piedras, agua y restos de los químicos usados en el proceso (Carhuamamaca, 2018, párr. 3).

Tensión superficial: fuerza que realiza un líquido sobre cierta superficie (Morales, 2006, p. 25).

BIBLIOGRAFÍA

AC-GT-DIA, Norma ASTM - Definicion - Aceropedia - La Enciclopedia del Acero. [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <http://aceropedia.com/definicion/norma-astm/>.

ALEGRIA, M., Celdas de Flotacion DENVER . [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://prezi.com/t3lfyprag-kp/celdas-de-flotacion-denver/>.

AMÉRICO, G. & CALDERÓN, R., Evaluación por modelación CFD del proceso de flotación en una celda de agitación mecánica y del efecto de la granulometría en la recuperación de mineral. [en línea], pp. 77. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/110946/cf-garcia_rm.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

ANGULO, D.A. & CARVAJAL, E.I., Diseño de una matriz ensambladora de vigas tipo I para usos en la construcción de edificios. [en línea], pp. 117. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1629/1/CD-2297.pdf>.

ARNAL, J., Clasificación, tratamientos y propiedades de los aceros de herramientas. ,

ARRIEN, I., Proyectos de minería en Ecuador. [en línea], pp. 12. Disponible en: <https://www.icex.es>.

BASTIAS, P., Propuesta para recuperación con técnicas de mantenimiento de celda de flotación minera. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* [en línea], Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48119/3560901064696UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

BONNET, Clasificación de los aceros inoxidables. [en línea]. [Consulta: 1 julio 2022]. Disponible en: <https://www.bonnet.es/Utilidades/ClasificacionAcerosInoxidables.aspx>.

BROWN, G., THURMAN, C. & BAIN, M., Manual de Flotacion. *Manual de Espesamiento y Filtrado, Casapalca* [en línea], pp. 1-39. Disponible en: https://www.academia.edu/42953478/Manual_flotacion_minerales.

BULATOVIC, S.M., Handbook of flotation reagents : chemistry, theory and practice : flotation of sulphides ores. [en línea], [Consulta: 30 abril 2022]. Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/handbook-of-flotation-reagents-chemistry-theory-and-practice/bulatovic/978-0-444-53029-5>.

BUSTAMANTE, O., GAVIRIA, A. & RESTREPO, J., *CONCENTRACION DE MINERALES* [en línea]. 2008. S.l.: s.n. Disponible en: https://www.mendeley.com/catalogue/efbcaaf4-f7c3-3434-bb7e-491677e149e1/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.4&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bd9fc6ee8-1e1c-43e1-82f7-2b6155a71d9f%7D.

CARHURICRA, W., CHAVEZ, C., PANEZ, M. & SALVADOR, J., 292553088 disenodeceldas-de-flotacion. [en línea]. [Consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/ZathexKaliz/292553088-disenodeceldasdeflotacion>.

CHICA, R. & SALINAS, J., *Concentración de sulfuros demineral decobre (calcopirita), mediante el proceso de flotación con la variación del pH y trestipos de colectores*. [en línea]. Cuenca: UNIVERSIDAD DEL AZUAY. [Consulta: 20 mayo 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/74253116-Universidad-del-azuay-facultad-de-ciencia-y-tecnologia.html>.

CODELCO EDUCA, Esquema de Adhesión Selectiva. [en línea]. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/inicio.html>.

CUENCA, J., *Concentración de oro de la mina "San Alfonso" mediante flotación con variación de granulometría y colectores*. [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7914/1/13654.pdf>.

CYTEC, 2002a. *Manual de productos químicos para minería* [en línea]. Estados Unidos: s.n. [Consulta: 20 mayo 2022]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Manual_de_productos_químicos_para_miner.html?id=UB7GtgAACAAJ&redir_esc=y.

CYTEC, 2002b. Mining Chemicals. [en línea], pp. 1-434. Disponible en: <https://www.ausimm.com/globalassets/insights-and-resources/minerals-processing-toolbox/cytechandbook.pdf>.

DI YORIO, C., CALLES, B., PEÑA, Y., CARCEDO-GARCÍA, F., et. al. Estudio de la flotabilidad de pirita aurífera proveniente de desechos de procesos venezolanos de cianuración. *Revista de Metalurgia* [en línea], no. c. DOI <http://dx.doi.org/10.3989/revmetalm.2003.v39.i5.345>. Disponible en: <https://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/345>.

ESQUIVEL, R., Procesos de soldadura: MIG, TIG, SMAW, PAC, SAW, Tándem, y Rayo láser. *Ferreat* [en línea], [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.revista.ferreat.com/herramientas/procesos-de-soldadura-mig-tig-smaw-pac-saw-tandem-y-rayo-laser/>.

EWM AG, Soldadura TIG, equipo – EWM AG. [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.ewm-group.com/es/fachwissen/wig-schweissen-grundlagen.html>.

FIGUEROA, A., DIONISIO, E., CABALLERO, M. & MORENO, L., Construcción de un prototipo de celda de flotación a escala piloto. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, vol. 12, no. 23, pp. 67-71. ISSN 1682-3087.

FIGUEROA, L. & AQUILES, M., Celda de flotación de nueva generación, prototipo, pilotaje y evaluación. [en línea], Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2872/Figueroa_lm.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

FONSECA, J., *Análisis, modelación y simulación del proceso de flotación en una celda de contacto*. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Químico. [en línea], pp. 63. Disponible en: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111531/cf-fonseca_jm.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

GENERAL DE ACERO CIA., *Acero Grado Estructural Lámina A36*. [en línea], pp. 50-51. Disponible en: https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_Técnica_Aceros_Grado_Estructural_A36.pdf.

GLENCORE TECHNOLOGY, *Jameson Cell*. [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.glencoretechnology.com/es/technologies/jameson-cell/how-it-works/operating-principles>.

GRISEBACH, H. & VOLLMER, K.O., *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. 2005. S.l.: s.n.

GZOGYAN, T.N. & GUBIN, S.L., Effect of the physical-chemical factors on flotation perfection of magnetite concentrates. *Journal of Mining Science* 2008 44:1 [en línea], vol. 44, no. 1, pp. 108-114. [Consulta: 30 abril 2022]. ISSN 1573-8736. DOI 10.1007/S10913-008-0011-4. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10913-008-0011-4>.

HU, Y., SUN, W. & WANG, D., *Electrochemistry of Flotation of Sulphide Minerals* Electrochemistry of flotation of sulphide minerals. [en línea], pp. 1-304. [Consulta: 30 abril 2022]. DOI 10.1007/978-3-540-92179-0. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/252483864_Electrochemistry_of_Flotation_of_Sulphide_Minerals.

IBARRA, M., NÚÑEZ, E. & HUERTA, J., *Manual Aceros Inoxidables*. Indura [en línea], vol. Marzo, pp. 21-24. Disponible en: [https://www.indura.com.ec/Descargar/Manual de Aceros Inoxidables?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F76c04d6268cc493f8a071902e5baeab5.pdf](https://www.indura.com.ec/Descargar/Manual%20de%20Aceros%20Inoxidables?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F76c04d6268cc493f8a071902e5baeab5.pdf).

INDURA, Electroodos Para Aceros Al Carbono. [en línea], pp. 1. Disponible en: www.cryogas.com.co/content/storage/co/biblioteca/be9c677c9a414e56b688f4013da62d07.pdf.

INFRA, *Electrodos Infra*. Manual de Electroodos para Soldar. [en línea], vol. 39, no. 5, pp. 25. Disponible en: http://www.electrodosinfra.com.mx/pdf/manual_general/manual_general.pdf.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, Perfiles de acero laminados en caliente.Requisitos (INEN-2215). [en línea], pp. 13. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2215-1R.pdf>.

IRESTAL GROUP, *Tabla de características técnicas del acero inoxidable*. Tablas técnicas del acero inoxidable [en línea], pp. 1-4. Disponible en: <http://data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf>.

LINARES, N., *Procesamiento De Minerales – Mineralúrgia Ii* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://baixardoc.com/documents/capitulo-iv-circuitos-y-maquinas-de-flotacion-5c75a1e22d999>.

MALDONADO, J., 2006. Aceros y sus Aplicaciones. *Universidad Autonoma de Nuevo Leon* [en línea], pp. 1-35. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/421/1/1020118272.PDF>.

METINVEST, Acero ASTM A36: características, propiedades, análogos - Metinvest. [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>.

METSO OUTOTEC, Máquinas de flotación RCS™. . [en línea]. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en: <https://www.mogroup.com/es/portafolio/maquinas-de-flotacion-rcs/>.

MICHAUD, D., Máquinas de flotación. [en línea]. [Consulta: 30 abril 2022]. Disponible en: <https://www.911metallurgist.com/blog/flotation-machines>.

MORALES, M., Tensión Superficial: Fenómeno Sencillo, Fenómeno Más Que Observado, Pero Tantas Veces Desconocido Por Su Nombre. [en línea], pp. 1-3. Disponible en: <http://www2.ib.edu.ar/becaib/cd-ib/trabajos/Morales.pdf>.

NACIONAL, E., EJECUTIVO, D., SECRETAR, E., OBJETIVOS, L., LEY, L. & NACIONAL, P., Sector minería. *Boletín Científico de la Escuela Superior Atotonilco de Tula* [en línea], vol. 2, no. 4. DOI 10.29057/esat.v2i4.1469. Disponible en: https://www.mendeley.com/catalogue/efbcaaf4-f7c3-3434-bb7e-491677e149e1/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.4&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Bd9fc6ee8-1e1c-43e1-82f7-2b6155a71d9f%7D.

NARVAEZ, F.C. & MONROY, C.R., Una metodología para el estudio de la maquinabilidad de aleaciones de aluminio-cobre. *Excellence in Engineering to Enhance a Countrys Productivity : July 22 to 24, 2014 Guayaquil, Ecuador* [en línea], pp. 1-8. Disponible en: <http://oa.upm.es/36749/>.

NARANJO, D., *Flotacion directa de oro nativo grueso, como substituto de la amalgamacion tradicional* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10141>.

NKS, Acero Inoxidable 316 Y 316L. [en línea], pp. 1-2. Disponible en: <https://t5a9m4s3.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/Acero-Inoxidable-316-y-316L.pdf>.

OSORIO, I., Diseño de un tanque celda de 30 m³ para la flotación de concentrado de zinc en la planta concentradora Raura. [en línea], Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4949/T010_46564656_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RAE, hidrofóbico, hidrofóbica | Diccionario histórico de la lengua española. [en línea]. [Consulta: 8 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.rae.es/dhle/hidrofóbico>.

RAYO, J., Historia del manejo de pulpas mineras en Chile. *Centro de Investigación JRI* [en línea], vol. 1999, no. December, pp. 1-6. Disponible en: https://www.cimsjri.cl/wp-content/uploads/2021/02/006_historia-manejo-pulpas.pdf.

PAZMIÑO, B., Optimización de una Celda de Flotación. [en línea], Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7172/1/135939.pdf>.

PETROVSKAYA, N., 2017. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS DE FLOTACIÓN | LinkedIn. [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/clasificación-de-los-máquinas-flotación-natalia-petrovskaya-ph-d-/?originalSubdomain=es>.

RENASA, Reactivos Químicos para la Concentración de Minerales. [en línea]. [Consulta: 20 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.renasa.com.pe/es>.

ROMERO, H., *Concentrado polimetálico: mejoramiento de capacidad de producción, en base a estudios de recuperación y enriquecimiento con metales de valor (oro, plata y cobre)* [En Línea]. S.L.: Universidad De Guayaquil. Disponible en: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18317/1/Tesis Gabriel Romero.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18317/1/Tesis%20Gabriel%20Romero.pdf).

RUIZ, K.M., CASTILLO, C.A. & RAMÍREZ, E., Generalidades y aplicaciones del equipo absorción de gases GUNT. *Universidad EAN* [en línea], no. 1, pp. 1-5. Disponible en: <https://editorial.universidadean.edu.co/acceso-abierto/generalidades-y-aplicaciones-del-equipo-de-absorcion-de-gases-gunt-ean.pdf>.

SALCEDO, B., Estudio Para Mejorar La Recuperación De Estaño Mediante La Flotación Inversa De Sulfuros En La Planta Piloto Bofedal 11 De La Unidad San Rafael Minsur S.a. [en línea], pp. 106. Disponible en: http://www.energia2012.es/sites/default/files/Combustion_de_carbon.pdf.

SÁNCHEZ, C., Introducción a la Metalurgia. *Innovación docente e investigación educativa* [en línea], pp. 1-9. Disponible en: https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/1._mineralurgia_introduccion.pdf.

SUARES, G., GARCÍA, E. & AMARIZ, J.J.D.J., Flotación en columna como técnica de beneficio para minerales finos. *Tecnura* [en línea], vol. 9, no. 17, pp. 4-15. ISSN 0123-921X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257021014008.pdf>.

SUMATEC, Electroodos para soldadura: Conoce su funcionamiento. [en línea]. [Consulta: 1 julio 2022]. Disponible en: <https://sumatec.co/electroodos-para-soldadura-conoce-su-funcionamiento/>.

VENKATESAN, L., HARRIS, A. & GREYLING, M., Optimisation of air rate and froth depth in flotation using a CCRD factorial design – PGM case study. *Minerals Engineering* [en línea], vol. 66-68, pp. 221-229. [Consulta: 29 abril 2022]. ISSN 0892-6875. DOI 10.1016/J.MINENG.2014.07.012. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687514002428?via%3Dihub>.

VILLELA, J., Diseño, construcción, arranque y operación de una celda de flotación para minerales. [en línea], pp. 170. Disponible en: <https://bibliotecas.uan.mx/index.php/component/k2/item/6595-diseno-construccion-arranque-y-operacion-de-una-celda-de-flotacion-para-minerales>.


VLD ENGINEERING, Soldadura MIG, MAG O TIG | Soldaduras | VLD ENGINEERING. [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.vld-eng.com/blog/soldadura-mig-mag-tig/>.


WESTARCO, Proceso de Soldadura - Arco Manual con Electrodo Revestido (SMAW). [en línea]. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.westarco.com/westarco/sp/education/blog/proceso-de-soldadura-arco-manual-con-electrodo-revestido.cfm>.

WILLS, B.A. & NAPIER, M., *Mineral Processing Technology* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 0750644508. Disponible en: https://www.academia.edu/40297760/Mineral_Processing_Technology_An_Introduction_to_the_Practical_Aspects_of_Ore_Treatment_and_Mineral_Recovery_by_Barry_A_Wills_Tim_Napier_Munn.

YANTAI HUIZE MINING ENGINEERING, El equipo de minería de la celda de flotación circular neumática de la planta de procesamiento de minerales - China Máquina de recuperación Benificiation Benificiation, la recuperación de la maquinaria. [en línea]. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en: https://es.made-in-china.com/co_hze-beneficiation/product_Mining-Equipment-Pneumatic-Circular-Flotation-Cell-of-Mineral-Processing-Plant_egigyehry.html.

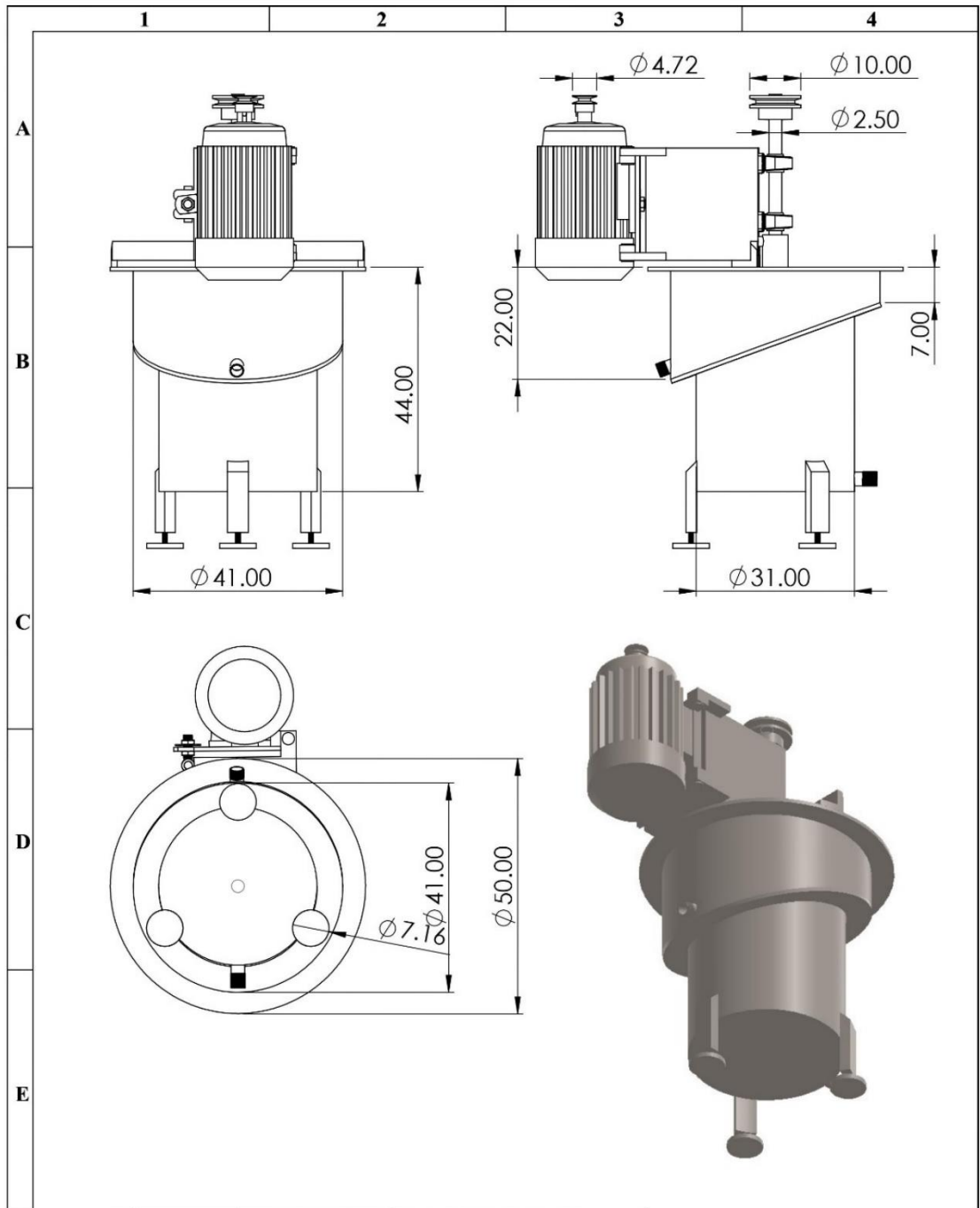
ZONAFERRETERIA, Electrodo, tipos y usos. [en línea]. [Consulta: 17 junio 2022]. Disponible en: <https://www.zonaferreteria.com/blog/herramienta/electrodos>.



DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
 Ing. Jhonatan Parreño Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

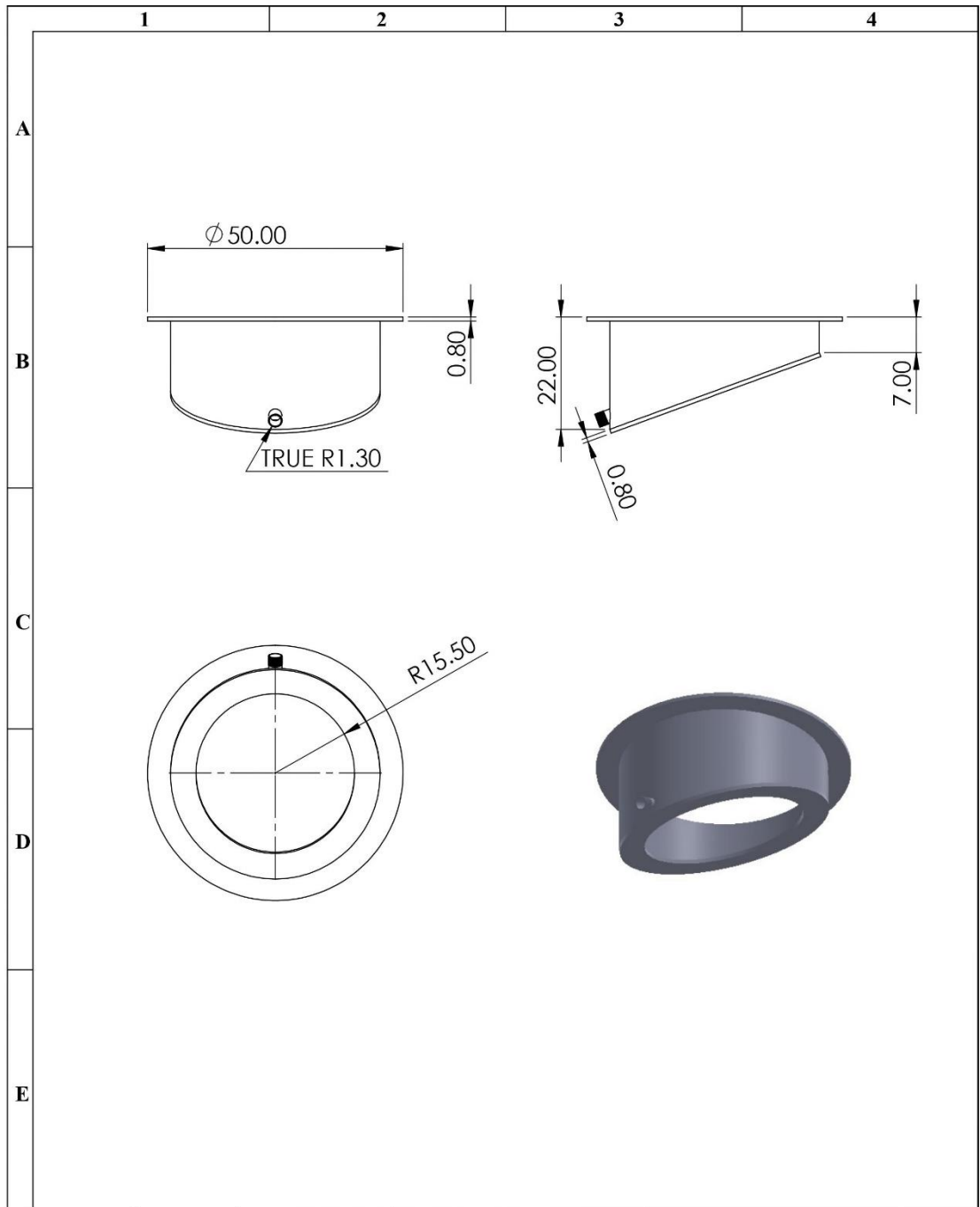
ANEXOS

ANEXO A: PLANOS DEL ENSAMBLE PRINCIPAL.



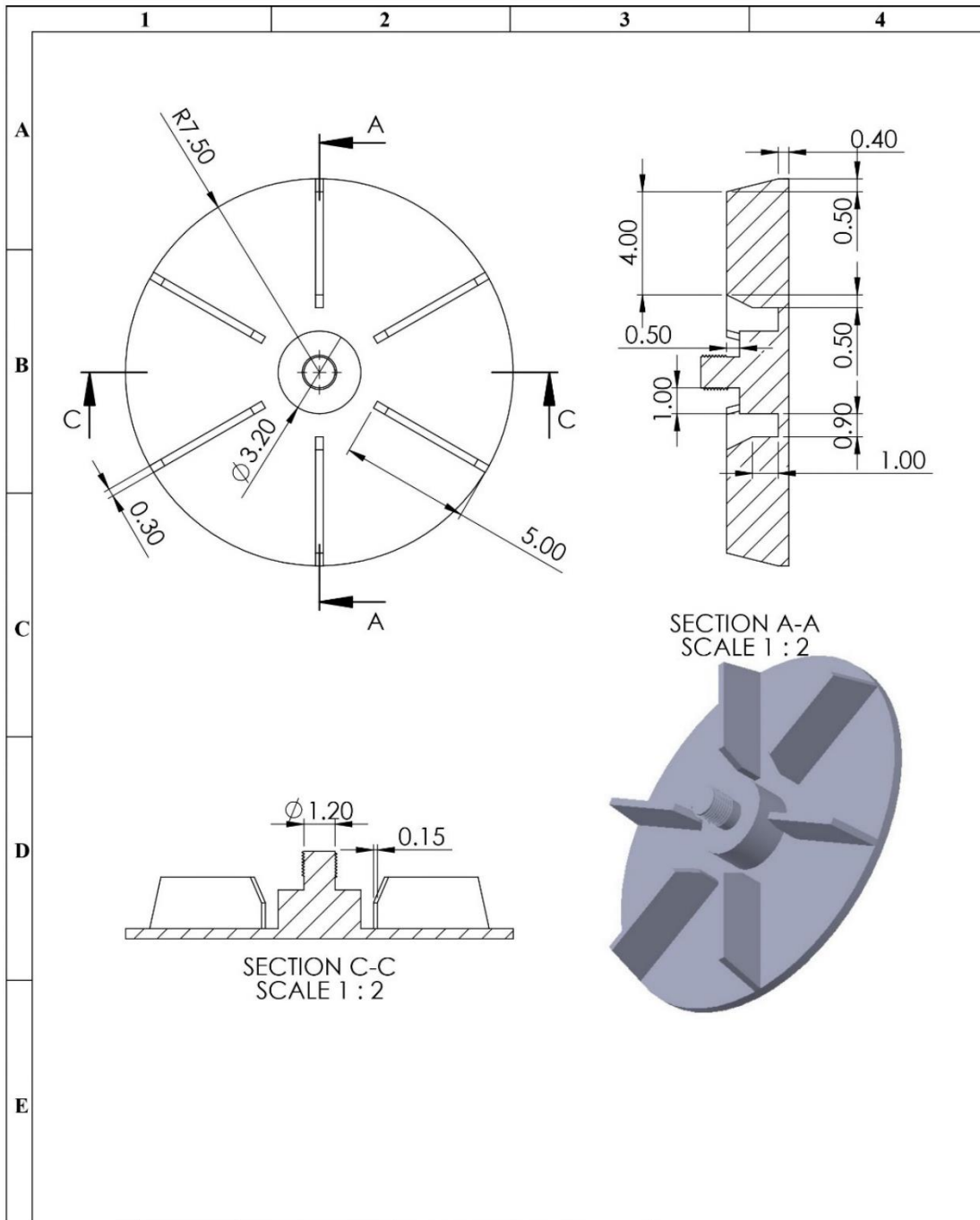
Nº. Lámina: 1 de 7		Nº. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: FC-MER-D-001-01-2022		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS			
Email:						Denominación:					
Teléfonos:						Ensamble principal		38.6	±0.3 [mm]	1:20	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO							
Proyectó	Srta. Jessica Godoy		2022/06/24	Nombre de archivo: Ensamble.sldprt							
Dibujó	Srta. Andrea Valle		2022/06/24								

ANEXO B: PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA CANALETA O CAMISA



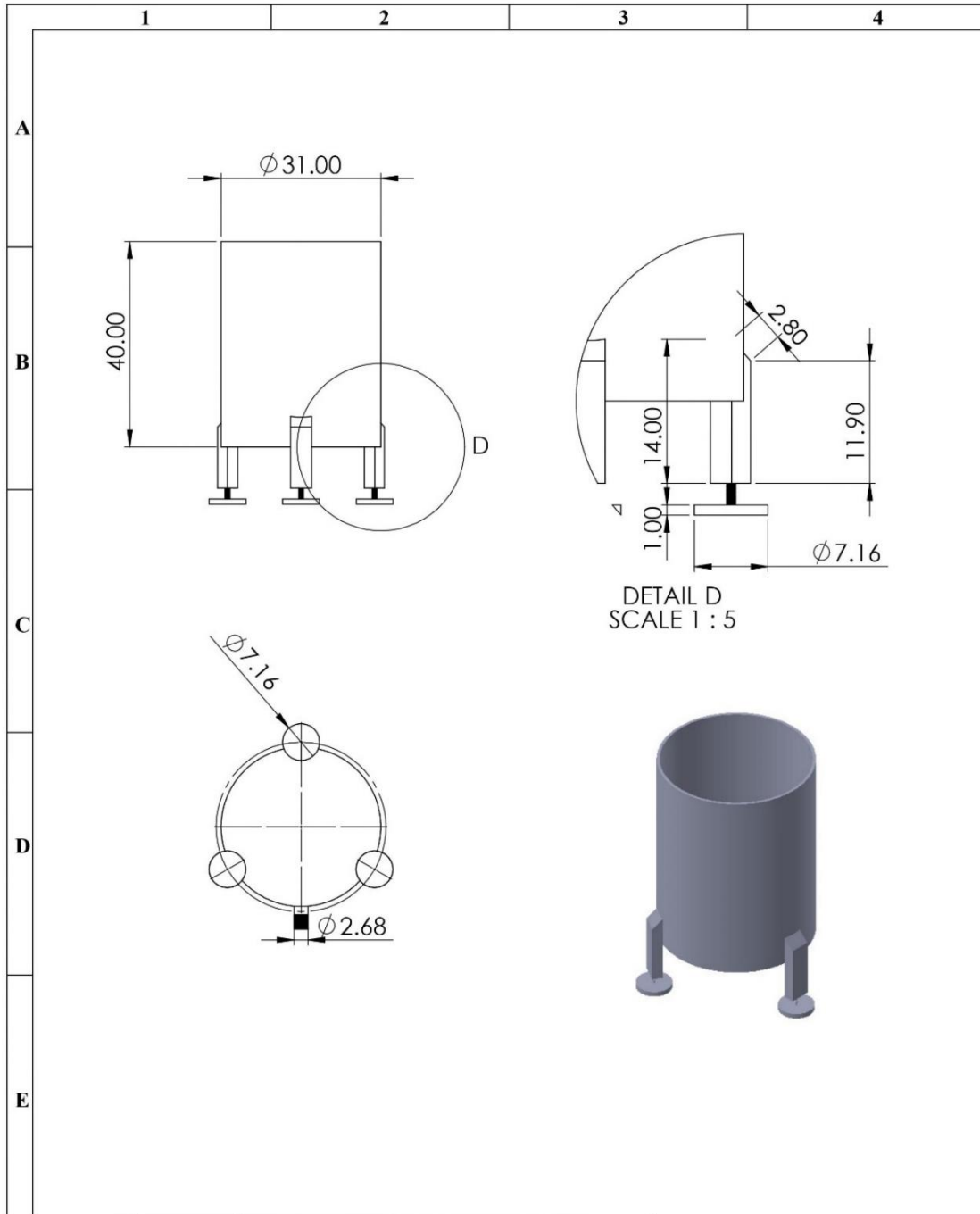
N°. Lámina: 2 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: FC-MER-D-002-01-2022		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS					
Email: Teléfonos:						Camisa							
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Peso [Kg]		Registro	
Proyectó		Srta. Jessica Godoy						2022/06/24		8		±0.3 [mm]	
Dibujó		Srta. Andrea Valle						2022/06/24		1:10			
						Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J. G. Y A. V. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
						Nombre de archivo: Camisa.sldprt							

ANEXO C: PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA TURBINA.



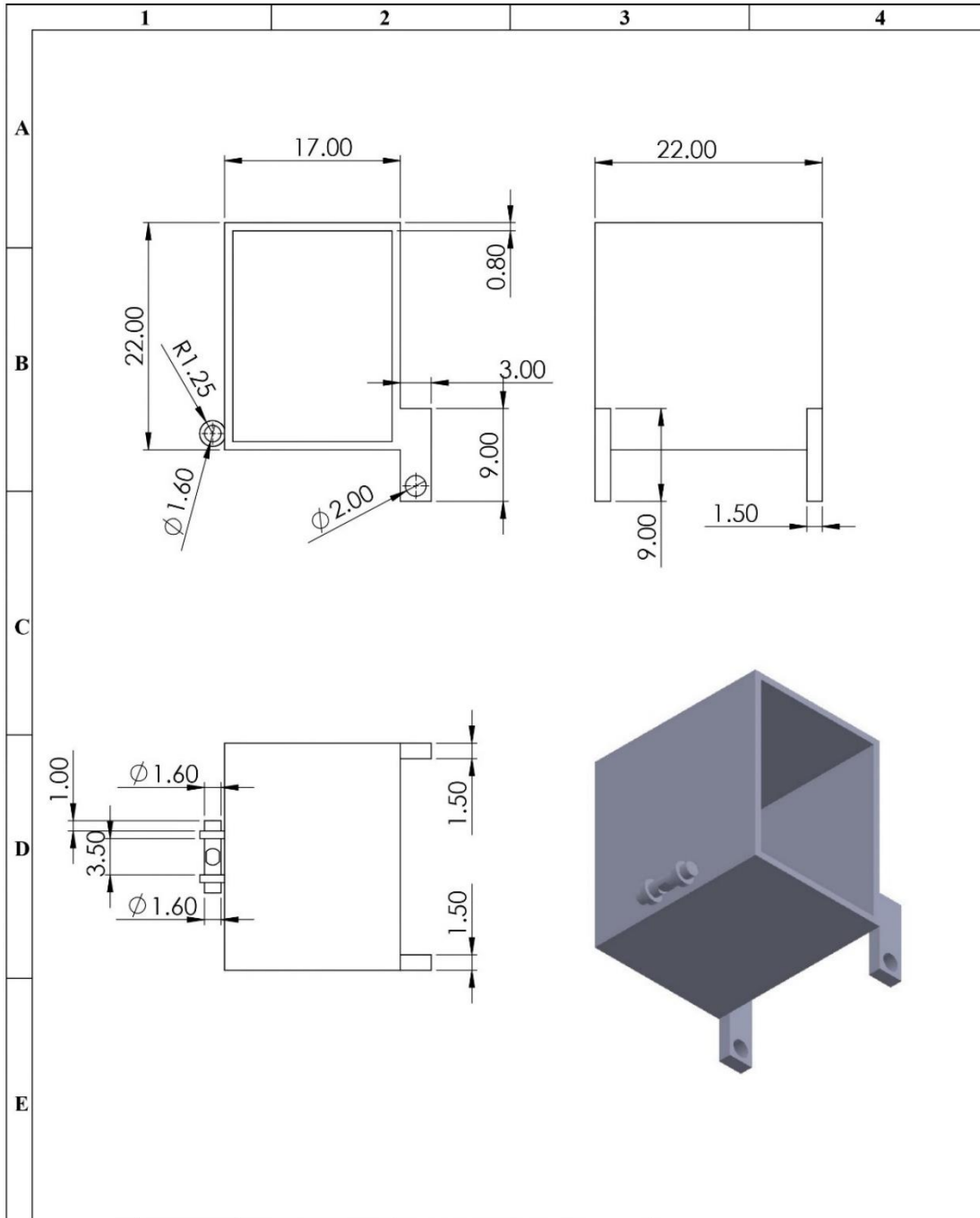
Nº. Lámina: 3 de 7		Nº. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: FC-MER-D-003-01-2022		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS							
Email: Teléfonos:						Denominación: Turbina						Peso [Kg]		Tolerancia	
Proyectó		Srta. Jessica Godoy		Fecha		2022/06/24		1		±0.3 [mm]		1:5			
Dibujó		Srta. Andrea Valle		Fecha		2022/06/24		Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J. G. Y A. V. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Nombre de archivo: Turbina.sldprt															

ANEXO D: PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA BASE DEL CILINDRO O TANQUE.



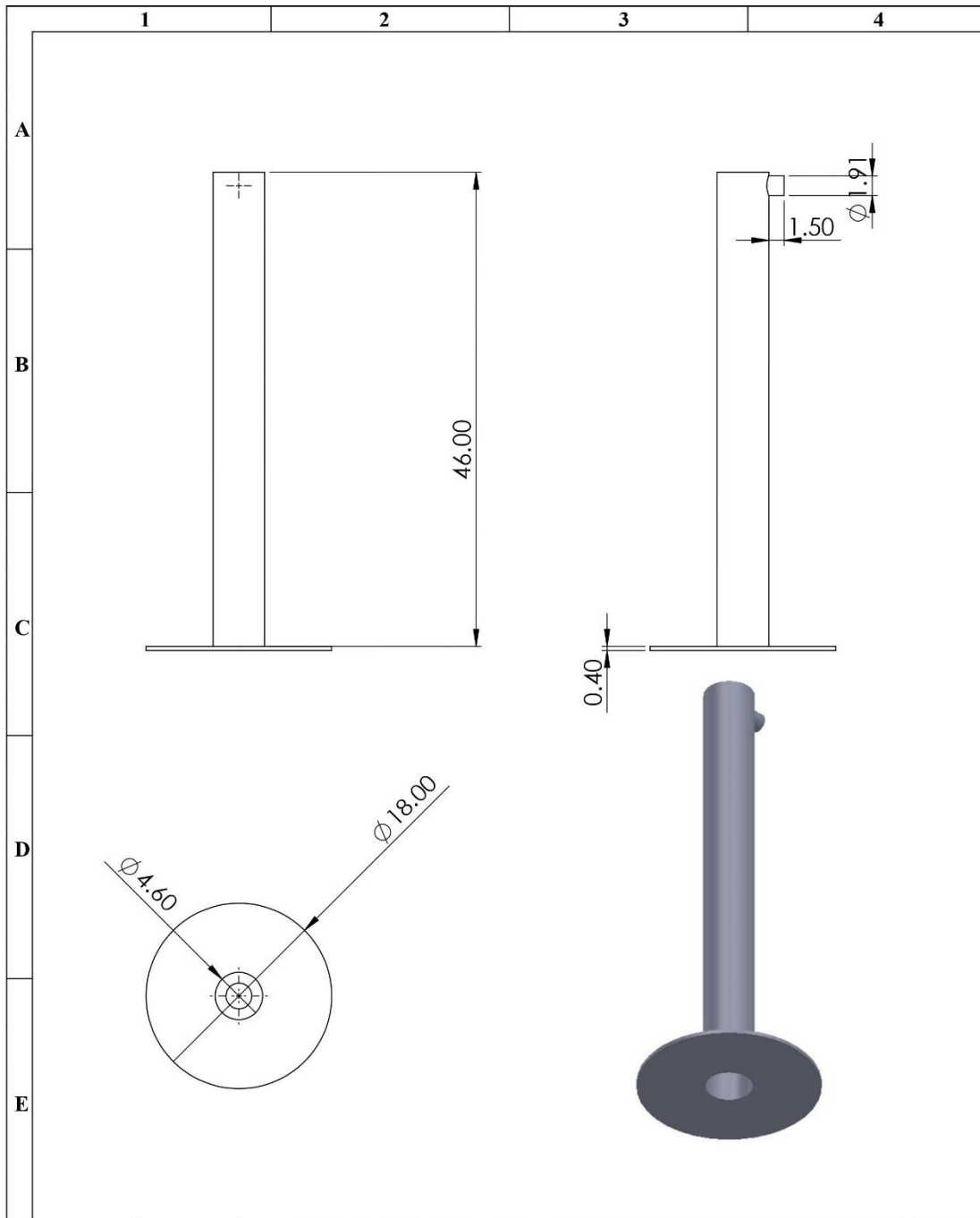
N°. Lámina: 4 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: FC-MER-D-004-01-2022		ESPOCH			
Email: Teléfonos:						Denominación:		FACULTAD DE CIENCIAS			
Datos		Nombre	Firma	Fecha	Cilindro base		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro	
Proyectó		Srta. Jessica Godoy		2022/06/24			15	±0.3 [mm]	1:10		
Dibujó		Srta. Andrea Valle		2022/06/24							
						Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J. G. Y A. V. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
						Nombre de archivo: Cilindro base.sldprt					

ANEXO E: PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA CAJA SOPORTE PARA EL MOTOR.



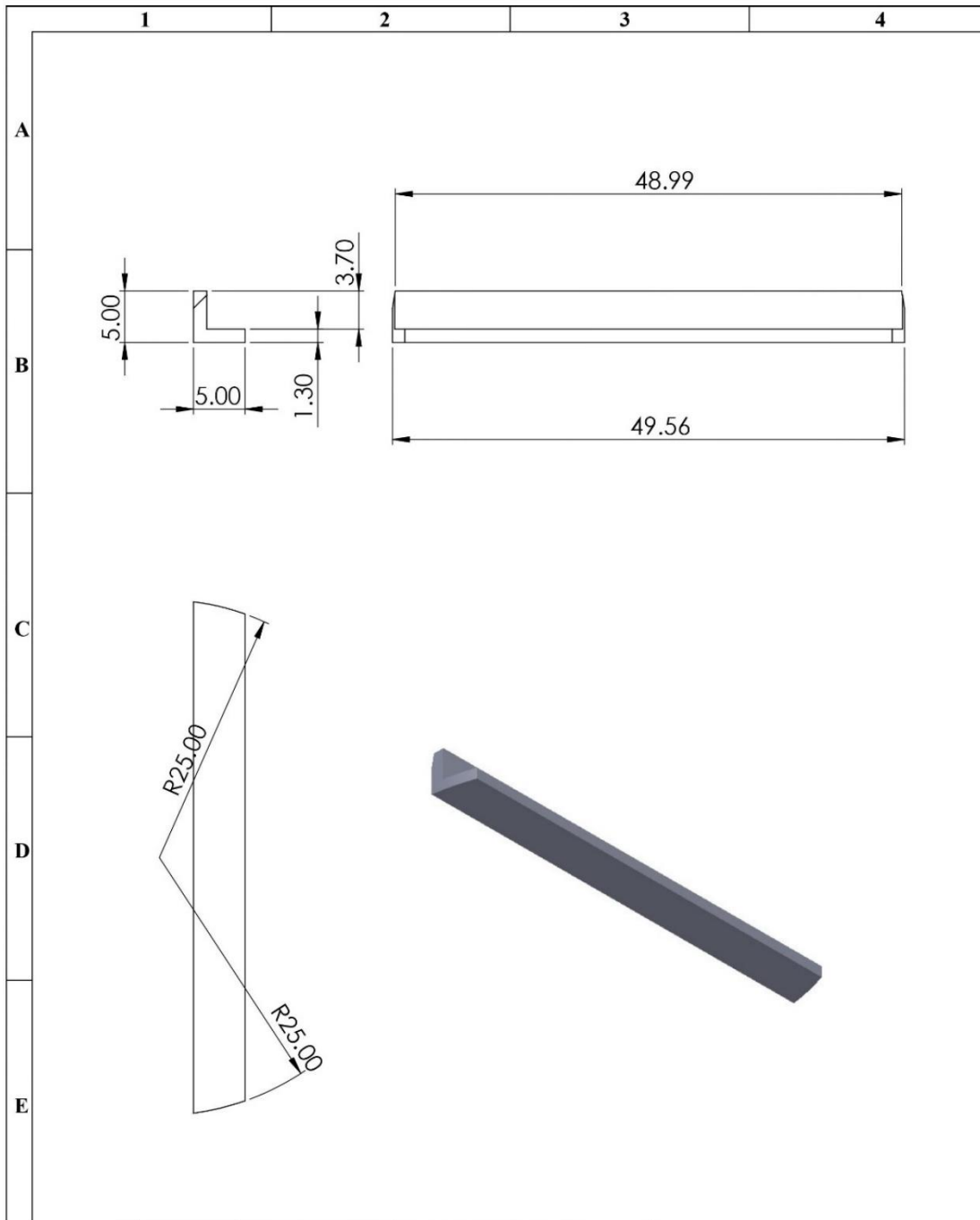
Nº. Lámina: 5 de 7		Nº. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: FC-MER-D-005-01-2022		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS											
Email: Teléfonos:						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Caja				7		±0.3 [mm]		1:5			
Proyectó		Srta. Jessica Godoy				2022/06/24						Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J. G. Y A. V. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Srta. Andrea Valle				2022/06/24		Nombre de archivo: Caja.sldprt											

ANEXO F: PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL TUBO EXTERNO DE LA TURBINA.



N°. Lámina: 6 de 7		N°. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: FC-MER-D-006-01-2022		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS									
Email: Teléfonos:						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Tubo externo		2.4		±0.3 [mm]		1:5			
Proyectó		Srta. Jessica Godoy				2022/06/24											
Dibujó		Srta. Andrea Valle				2022/06/24											
						Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: J. G. y A. V. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY									
						Nombre de archivo: Tubo externo.sldprt											

ANEXO G: PLANO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SOPORTE LATERAL.



Nº. Lámina: 7 de 7		Nº. Hojas: 7		Sustitución:		Codificación: FC-MER-D-007-01-2022		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS				
Email: Teléfonos:						Denominación: Soporte lateral						Peso [Kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha					1.2	±0.3 [mm]	1:5		
Proyectó	Srta. Jessica Godoy		2022/06/24									
Dibujó	Srta. Andrea Valle		2022/06/24									
						Materiales: SEGUN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE J. G. Y A. V. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY				
						Nombre de archivo: Soporte lateral.sldprt						

ANEXO H: CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA DE FLOTACIÓN.



Construcción del tanque



Soldadura de la canaleta



Orificio de salida de espuma de la canaleta



Adición de la caja soporte para el motor



<p>Construcción de la turbina</p>	<p>Ensamble de la turbina con el sistema de transmisión y el motor</p>
	
<p>Pruebas de velocidad por minuto del sistema de transmisión</p>	<p>Recubrimiento de pintura de la celda de flotación</p>
	
<p>Ensamble del sistema eléctrico</p>	<p>Colocación de la válvula de bolas en el desfogue de la celda de flotación</p>
	
<p>Cubierta con acero inoxidable A-316 al sistema de poleas por seguridad</p>	<p>Celda de Flotación</p>

ANEXO I: VALIDACIÓN DE LA CELDA DE FLOTACIÓN

	
<p>Tamizado de la muestra</p>	<p>Para medir el pH se toma una muestra de 30 gr</p>
	
<p>En una probeta se coloca 30 ml de agua</p>	<p>De un solo toque se coloca los 30gr de muestra</p>
	
<p>Observar la elevación de la probeta</p>	<p>Colocar 17 litros de agua en la celda</p>



Colocar 3 kgr de muestra y encender el equipo



Proceder a medir el pH de la pulpa



Colocar el colector



Medir el flujo de aire con el anemómetro



Dosificar el espumante



Empieza el proceso de flotación



Recolectar las espumas en bandejas y llevar a la estufa



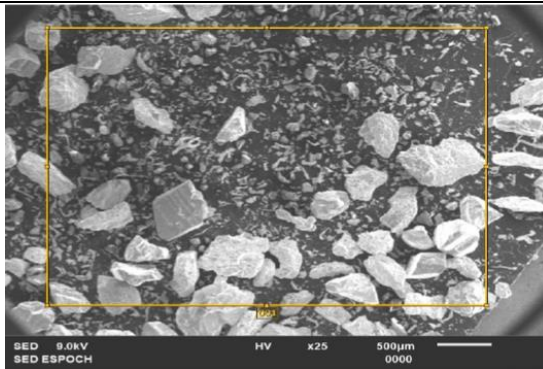
Muestra del concentrado después de la estufa



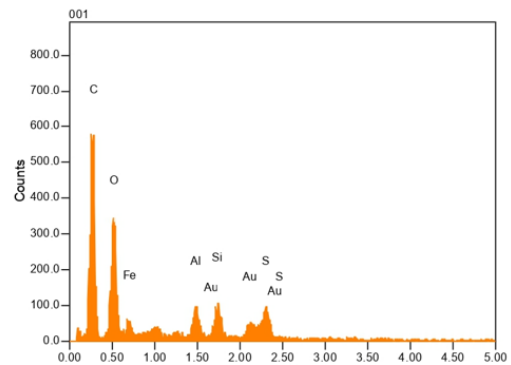
Colas secas de la estufa



Resultado del proceso de validación



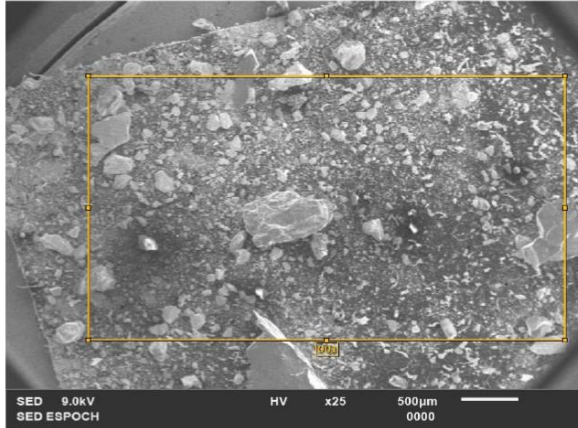
Muestra para el análisis SEM-EDS



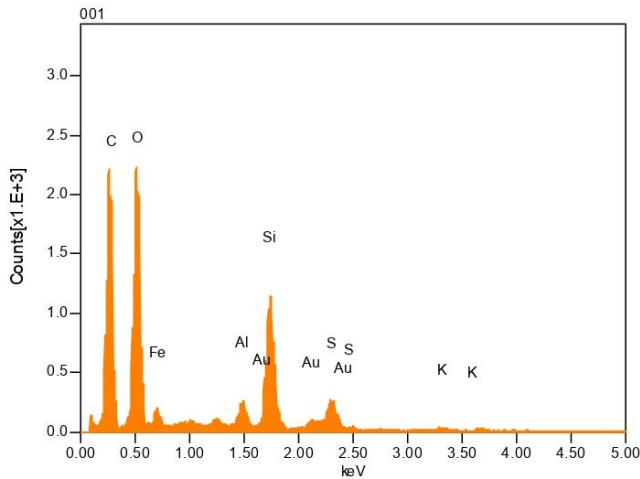
Resultado del análisis SEM-EDS

ANEXO J: RESULTADO DEL ANÁLISIS SEM- EDS DE LA MUESTRA QUE INGRESA A LA CELDA DE FLOTACIÓN.

003



Volt : 9.00 kV
 Mag. : x 25
 Date : 2022/08/04
 Pixel : 640 x 480

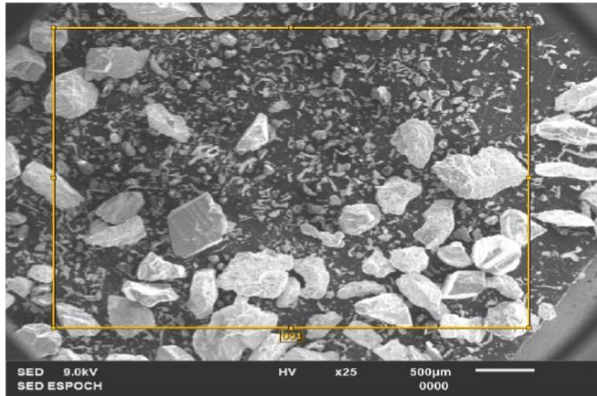


Acquisition Condition
 Instrument : IT100LA
 Volt : 9.00 kV
 Current : ---
 Process Time : T4
 Live time : 120.00 sec.
 Real Time : 121.85 sec.
 DeadTime : 1.00 %
 Count Rate : 644.00 CPS

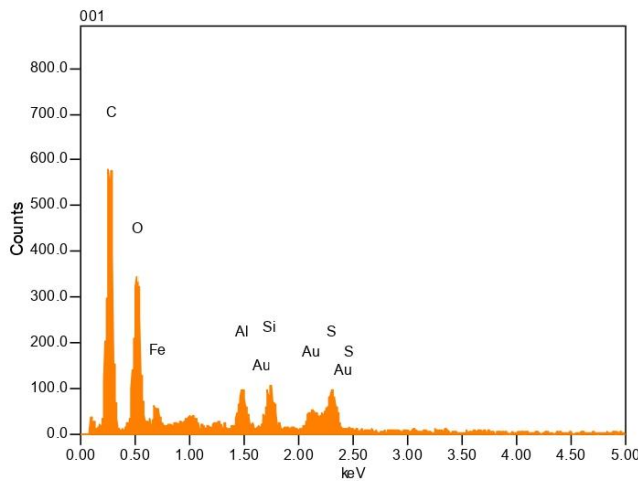
Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	13.12	55.27	0.08	10656	0.0534748	K
O	9.51	30.10	0.06	11728	0.0560618	K
Al	0.61	1.14	0.02	1490	0.0043181	K
Si	3.68	6.63	0.04	8573	0.0283155	K
S	1.38	2.17	0.02	2362	0.0101549	K
K	0.25	0.33	0.02	248	0.0018906	K
Fe	4.49	4.07	0.14	1453	0.0161685	L
Au	1.14	0.29	0.07	889	0.0053379	M
Total	34.17	100.00				

ANEXO K: RESULTADO DEL ANÁLISIS SEM-EDS DEL CONCENTRADO RESULTANTE DEL PROCESO DE LA CELDA DE FLOTACIÓN.

004



Volt : 9.00 kV
 Mag. : x 25
 Date : 2022/08/04
 Pixel : 640 x 480



Acquisition Condition

Instrument : IT100LA
 Volt : 9.00 kV
 Current : ---
 Process Time : T4
 Live time : 30.78 sec.
 Real Time : 31.27 sec.
 DeadTime : 2.00 %
 Count Rate : 472.00 CPS

Formula	mass%	Atom%	Sigma	Net	K ratio	Line
C	12.89	64.34	0.14	2948	0.0576744	K
O	5.87	21.99	0.09	1781	0.0331948	K
Al	0.91	2.02	0.04	590	0.0066651	K
Si	1.17	2.50	0.05	718	0.0092400	K
S	1.79	3.35	0.05	812	0.0136120	K
Fe	4.55	4.89	0.28	407	0.0176579	L
Au	3.01	0.92	0.18	618	0.0144588	M
Total	30.20	100.00				



esPOCH


Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Jessica Lisseth Godoy Gatia Andrea Estefania Valle Moya
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
 Ing. Jonathan Parreño Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

2350-DBRA-UTP-2022