

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DE FLOTACIÓN RÁPIDA  
EN LA DESCARGA DEL MOLINO DE BOLAS SECUNDARIO EN  
LA EMPRESA MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**DEYVIS GONZALES GUEVARA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**  
 “IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DE FLOTACIÓN RÁPIDA  
 EN LA DESCARGA DEL MOLINO DE BOLAS SECUNDARIO EN LA  
 EMPRESA MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.”

**PRESENTADA POR:**


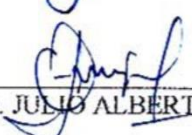

DEYVIS GONZALES GUEVARA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO METALURGISTA



**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

<b>PRESIDENTE</b>	:	 <hr/> M.Sc. ALFREDO MAMANI CANQUI
<b>PRIMER MIEMBRO</b>	:	 <hr/> M.Sc. JULIO ALBERTO MAQUERA GIL
<b>SEGUNDO MIEMBRO</b>	:	 <hr/> Ing. HIPOLITO CORDOVA GUTIERREZ
<b>DIRECTOR / ASESOR</b>	:	 <hr/> M.Sc. OSWALDO LUZVER MAYNAS CONDORI

**Área : PROYECTOS Y DISEÑO DE PLANTAS METALURGICAS.**

**Tema : FLOTACIÓN RÁPIDA (FLASH).**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 DE DICIEMBRE DEL 2018**

## DEDICATORIA

*A Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.*

*A mi padre Eulogio Gonzales B. por enseñarme a crecer y a que si caigo debo levantarme, por orientarme con sus sabios consejos para seguir adelante en la vida, los cuales fueron necesarios para llegar a la meta anhelada.*

*Con infinita gratitud a mi madre Maria M. Guevara G. quien ha luchado por hacerme persona de bien a mí y a mis hermanos, que con paciencia e inmenso amor nos ha sabido impulsar para que sigamos adelante, también por su gran motivación que hicieron posible este gran éxito.*

*A mis hermanos Julio Erick G. Adrian G. por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.*

*A mi familia Guevara Guerra, quienes en todo momento supieron apoyar, motivar a seguir adelante y hacer que día a día me supere.*

*A mí Querida Hija, Deydania Aylin, que me dio su apoyo y comprensión para poder culminar exitosamente esta etapa de mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

*Mis agradecimientos a la primera casa de estudio superior “Universidad Nacional del Altiplano - Puno” en especial a la Facultad de Ingeniería Metalúrgica, a todos sus docentes que a lo largo de mi formación Profesional han sabido llegar a transmitir las experiencias de sus conocimientos y plasmar hacia mí.*

*A los miembros del jurado Ing. M.Sc. Alfredo Mamani Canqui, Ing. M.Sc. Alberto Maquera Gil, Ing. M.Sc. Hipolito Cordova Gutierrez, por sus recomendaciones en la realización de la tesis y por sus acertados comentarios; por sus sabias observaciones y correcciones, que hicieron al trabajo final y por el tiempo que dedicaron para revisarlo, aún a pesar de tantas actividades que los ocupan.*

*Asimismo, mis reconocimientos a los señores docentes que compartieron sus conocimientos y experiencias profesionales, por el apremio constante en la continuidad del presente trabajo de investigación, que me permitió concretar mi formación profesional.*

*Al director y Asesor de mi tesis, M.Sc. Oswaldo L. Maynas Condori por su amable orientación y colaboración en el desarrollo del presente proyecto de investigación.*



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	17
--------------	----

ABSTRACT.....	18
---------------	----

### CAPITULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
--------------------------------------	----

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	23
-------------------------------------	----

1.2.1. PREGUNTA GENERAL.....	23
------------------------------	----

1.2.2. PREGUNTAS ESPECIFICAS.....	24
-----------------------------------	----

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	24
--	----

1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	24
--------------------------------	----

1.3.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS.....	24
-----------------------------------	----

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	25
-------------------------------------	----

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
---	----

1.5.1. OBJETIVO GENERAL .....	26
-------------------------------	----

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	26
------------------------------------	----

### CAPITULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO.....	27
-------------------------	----

2.1.1.	FLOTACIÓN DE MINERALES .....	27
2.1.2.	FASES EN LA FLOTACIÓN.....	31
2.1.3.	CARACTERÍSTICAS DE LAS INTERFASES .....	33
2.1.4.	FENÓMENO DE ADSORCIÓN .....	36
2.1.5.	INTERFASE SÓLIDO – LIQUIDO .....	39
2.1.6.	POTENCIAL ELECTROQUÍMICO .....	40
2.1.7.	POTENCIAL ELECTROCINÉTICO .....	42
2.1.8.	CONTACTO DE TRES FASES .....	44
2.1.9.	ÁNGULO DE CONTACTO .....	45
2.1.10.	HISTÉRESIS DE MOJABILIDAD .....	46
2.2.	INTERFASE MINERAL – AGUA Y LA DOBLE CAPA ELÉCTRICA.....	49
2.2.1.	DOBLE CAPA Y POTENCIAL ZETA .....	50
2.3.	TEORÍAS DE LA FLOTACIÓN DE SULFUROS .....	51
2.3.1.	TEORÍA QUÍMICA O DE LA OXIDACIÓN SUPERFICIAL.....	51
2.3.2.	TEORÍA DE SEMICONDUCTORES .....	52
2.3.3.	TEORÍA ELECTROQUÍMICA O DEL POTENCIAL MIXTO .....	53
2.4.	VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA FLOTACIÓN.....	54
2.5.	FLOTACIÓN FLASH .....	54
2.5.1.	VARIABLES DE FLOTACIÓN FLASH .....	55
2.5.2.	FINALIDAD DE FLOTACIÓN FLASH.....	56

2.5.3.	USOS POTENCIALES DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH .....	56
2.5.4.	BENEFICIOS QUE BRINDA LA FLOTACIÓN FLASH .....	57
2.5.5.	PARÁMETROS DE OPERACIÓN .....	57
2.5.6.	CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE LA CELDA DE FLOTACIÓN .....	59
2.5.7.	CAPACIDAD EN UNA CELDA FLASH SkimAir® DE OUTOKUMPU.....	64
2.5.8.	CONSIDERACIONES SOBRE USO DE LA FLOTACIÓN FLASH .....	68
2.5.9.	USOS PRINCIPALES DE LAS CELDAS DE FLOTACIÓN FLASH.....	68
2.5.10.	VENTAJAS DEL USO DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH .....	69
2.5.11.	DESVENTAJAS DEL USO DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH .....	69
2.6.	MARCO TEÓRICO SOBRE CIENCIAS METALÚRGICAS RELACIONADAS CON LA FLOTACIÓN FLASH .....	70
2.6.1.	MINERALOGÍA .....	70
2.6.2.	GRANULOMETRÍA .....	70
2.6.3.	INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN PRUEBAS DE FLOTACIÓN....	71
2.6.4.	CINÉTICA DE FLOTACIÓN.....	74
2.7.	MARCO CONCEPTUAL.....	77
2.7.1.	ASPECTOS GENERALES .....	77
2.7.2.	OPERACIONES DE CONCENTRACIÓN DE MINERALES .....	78
2.7.3.	DESCRIPCIÓN DE REACTIVOS .....	80
2.7.4.	VARIABLES OPERACIONALES RELEVANTES EN EL PROCESO .....	80

## CAPITULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....	83
3.1.1.	GENERALIDADES.....	83
3.1.2.	UBICACIÓN Y ACCESO .....	83
3.1.3.	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD .....	85
3.1.4.	REQUERIMIENTO DE AGUA .....	88
3.1.4.1.	FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	88
3.1.4.2.	REQUERIMIENTO DE AGUA PARA PROCESAMIENTO DE MINERAL .....	88
3.1.5.	GESTIÓN DE RESIDUOS GENERADOS .....	89
3.1.5.1.	RELAVES .....	89
3.1.5.2.	RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS .....	90
3.2.	CANCHA DE MINERALES.....	91
3.3.	ÁREA DE CHANCADO.....	92
3.3.1.	TOLVA DE GRUESOS .....	93
3.3.1.1.	CAPACIDAD DE LA TOLVA.....	93
3.3.1.2.	DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	93
3.3.2.	PARRILLA ESTÁTICA (Grizzly):.....	95
3.3.3.	CHANCADORA DE QUIJADAS (9" x 12") .....	96
3.3.4.	FAJA TRANSPORTADORA QUE ALIMENTA A LA TOLVA DE FINOS.....	97
3.3.5.	TOLVA DE FINOS.....	97
3.4.	ÁREA DE MOLIENDA .....	99

3.4.1.	FAJA TRANSPORTADORA DEL MOLINO .....	99
3.4.2.	MOLINO DE BOLAS 4 x 4 COMESA .....	100
3.4.3.	MOLINO DE BOLAS SECUNDARIO 3 X 4 (REMOLIENDA) .....	101
3.4.4.	CLASIFICADOR HELICOIDAL .....	102
3.5.	ÁREA DE FLOTACIÓN .....	103
3.6.	COCHAS DE FILTRACIÓN Y COCHAS DE RECUPERACIÓN .....	104
3.6.1.	COCHA DE CONCENTRADO DE PLOMO .....	105
3.6.2.	COCHA DE CONCENTRADO DE ZINC .....	105
3.7.	DEPOSICIÓN DEL RELAVE .....	106
3.8.	DISEÑO EXPERIMENTAL A NIVEL LABORATORIO .....	107
3.8.1.	PRUEBA DE FLOTACIÓN PRELIMINAR .....	107
3.9.	EQUIPOS Y MATERIAL DE LABORATORIO .....	110
3.9.1.	CELDA DE FLOTACIÓN DE LABORATORIO .....	110
3.9.2.	PHMETRO DIGITAL .....	110
3.9.3.	MATERIALES AUXILIARES .....	111
3.10.	MÉTODOS .....	111
3.10.1.	PRUEBA ESTANDARD DE FLOTACIÓN .....	111
3.11.	VARIABLES .....	113
3.11.1.	FUNCIÓN OBJETIVO .....	113
3.11.2.	TIPO DE DISEÑO EXPERIMENTAL .....	113

## CAPITULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	115
4.1.1.	RESULTADOS DISEÑO EXPERIMENTAL A NIVEL LABORATORIO.....	115
4.1.2.	PRUEBAS DE FLOTACIÓN LABORATORIO FINAL .....	117
4.2.	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARA ESTUDIAR .....	118
4.2.1.	LA MINERALOGÍA.....	119
4.2.2.	LA GRANULOMETRÍA.....	119
4.2.3.	ENSAYOS QUÍMICOS .....	120
4.3.	PRUEBAS DE LABORATORIO USANDO UNA CELDA DE FLOTACIÓN CONVENCIONAL. (STANDARD).....	120
4.3.1.	PRUEBAS DE FLOTACIÓN EN LABORATORIO STANDARD.....	120
4.4.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CIRCUITO DE MOLIENDA .....	123
	CONCLUSIONES.....	125
	RECOMENDACIONES: .....	127
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128
	ANEXOS.....	130



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: La flotación como un proceso Mineralúrgico-Químico-Cinético.....	29
Figura N° 2: Fases del proceso de flotación por espumas .....	32
Figura N° 3: Interpretación esquemática del origen de la tensión superficial .....	34
Figura N° 4: La tensión superficial es el costo energético asociado a incrementar en una unidad el área de interfase. ....	36
Figura N° 5: Fenómeno de adsorción de materias tensoactivas .....	37
Figura N° 6: El carácter del sólido y de la concentración de la solución acuosa. ....	39
Figura N° 7: Formación de la doble capa de cargas eléctricas. ....	42
Figura N° 8: Definición del ángulo de contacto .....	45
Figura N° 9: Ángulos de contacto en sólidos de distintas mojabilidades.....	46
Figura N° 10: Fenómeno de histéresis de mojabilidad .....	47
Figura N° 11: Histéresis de mojabilidad en partículas minerales.....	48
Figura N° 12: Puntos de Operación de una Celda de Flotación Rápida.....	58
Figura N° 13: Celda de Flotación Flash 3D, vista interior en 3D.....	61
Figura N° 14: Contenedores para disposición de residuos sólidos.....	90
Figura N° 15: Se observa la cancha de gruesos, minerales procedentes de la mina San Carlos. ....	91

Figura N° 16: Se observa la cancha de gruesos, minerales procedentes de la mina San Carlos. ....	92
Figura N° 17: Se observa la cancha de gruesos, minerales procedentes de la mina San Carlos. ....	92
Figura N° 18: Se observa la tolva de gruesos del circuito de Chancado de la Planta San Carlos. ....	93
Figura N° 19: Se observa la tolva de gruesos del circuito de Chancado de la Planta San Carlos. ....	94
Figura N° 20: Se observa la parrilla estacionaria del circuito de Chancado de la Planta San Carlos. ....	95
Figura N° 21: Se observa la chancadora de quijadas (9" x 12") del circuito de Chancado de Planta San Carlos.....	96
Figura N° 22: Se observa la faja transportadora N° 1 del circuito de Chancado de Planta San Carlos. ....	97
Figura N° 23: Se observa la tolva de Finos del circuito de Chancado de Planta San Carlos. ....	98
Figura N° 24: Se observa el Circuito de Molienda de la Planta San Carlos.....	99
Figura N° 25: Se observa la tolva de finos y la faja N° 2 del Circuito de Molienda de la Planta San Carlos. ....	100
Figura N° 26: Se observa el Molino COMESA 4' * 4' Circuito de Molienda de la Planta San Carlos. ....	101

Figura N° 27: Se observa el Clasificador Helicoidal 16 * 15 del Circuito de Molienda de la Planta San Carlos. ....	103
Figura N° 28: Se observa el Circuito de Flotación de la Planta Concentradora San Carlos. ....	104
Figura N° 29: Se observa la cocha de concentrado de Pb de la Planta San Carlos. ....	105
Figura N° 30: Se observa la cocha de concentrado de Zn de la Planta San Carlos. ....	105
Figura N° 31: Se observa las cochas de concentrado de la Planta San Carlos. ....	106
Figura N° 32: Se observa la relavera de la Planta San Carlos. ....	107
Figura N° 33: Circuito de Flotación Pilotaje - Prueba Preliminar. ....	108
Figura N° 34: Celda de flotación Denver D-12 .....	110
Figura N° 35: pHmetro digital .....	110
Figura N° 36: Diagrama para las Pruebas Estándar. ....	112
Figura N° 37: Diagrama de Pareto. ....	117
Figura N° 38: Grafica efectos principales para recuperación de Pb. ....	117
Figura N° 39: Comparación de las dosificaciones inicial (Prueba preliminar) y Prueba final (Diseño factorial). ....	118

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla N° 1: Caracterización del mineral.....	29
Tabla N° 2: Principales Variables de la Flotación.....	54
Tabla N° 3: Capacidad estándar y tamaños de las máquinas de flotación tipo Denver.	63
Tabla N° 4: Capacidad de la celda N° 18 Especial (32x32) y Gravedad Especifica del mineral de tipo Denver Sub-A.....	64
Tabla N° 5: Información técnica de la celda SK-240 según catálogo del fabricante. ...	67
Tabla N° 6: Coordenada de la concesión minera Metálica ANDEAN 1107.....	84
Tabla N° 7: Ubicación de Componentes de la Planta Concentradora .....	84
Tabla N° 8: Vías de Acceso a la Planta Concentradora.....	85
Tabla N° 9: Requerimiento de Energía.....	87
Tabla N° 10: Requerimiento de Agua.....	89
Tabla N° 11: Balance de Agua de la Planta Concentradora. ....	89
Tabla N° 12: Pruebas de Determinación de Gravedad Especifica.....	94
Tabla N° 13: Características de la Chancadora de Quijada .....	96
Tabla N° 14: Características de la faja transportadora N° 1 .....	97
Tabla N° 15: Características de la faja transportadora N° 2 .....	100
Tabla N° 16: Características del Molino COMESA 4' x 4' .....	101

Tabla N° 17: Características del Molino de Bolas Secundario COMESA 3' X 4' .....	102
Tabla N° 18: Características del Clasificador Helicoidal 16' * 15" Ø .....	103
Tabla N° 19: Valores de las variables - Prueba preliminar.....	108
Tabla N° 20: Balance Metalúrgico – Preliminar .....	109
Tabla N° 21: Condiciones en Pruebas Estándar .....	111
Tabla N° 22: Niveles de Las variables en unidades convencionales.....	114
Tabla N° 23: Diseño Experimental 2 <sup>3</sup> , con 3 réplicas centrales.....	114
Tabla N° 24: Resultados del Diseño factorial - Pruebas Nivel laboratorio .....	116
Tabla N° 25: Flotación con las dosis de Laboratorio.....	118
Tabla N° 26: Balances metalúrgico del proceso con O sin Celda Flash.....	122
Tabla N° 27: Alimento - Molino 4'Ø X 4'.....	123
Tabla N° 28: Producto - Molino 4'Ø X 4'.....	123
Tabla N° 29: Alimento - Molino 3'Ø X 4'.....	123
Tabla N° 30: Producto - Molino 3'Ø X 4'.....	124
Tabla N° 31: Rebose del clasificador.....	124

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

<b>(C)</b>	:	Concentración.
<b>(Co)</b>	:	Concentración Inicial.
<b>(Ct)</b>	:	Concentración después de un tiempo t.
<b>(d)</b>	:	Diferencial.
<b>(dC)</b>	:	Diferencial de la Concentración.
<b>(dt)</b>	:	Diferencial de Tiempo.
<b>(e)</b>	:	Numero Neperiano (2.7182).
<b>(exp)</b>	:	Exponencial.
<b>(f)</b>	:	Función.
<b>(f(C))</b>	:	Función de Concentración C
<b>(K)</b>	:	Constante Cinética.
<b>(KC)</b>	:	Constante Cinética multiplicada por la concentración.
<b>(Kt)</b>	:	Constante Cinética multiplicada por el tiempo.
<b>(R)</b>	:	Recuperación.
<b>(t)</b>	:	Tiempo.



## RESUMEN

El trabajo de “**Implementación de una unidad de flotación rápida en la descarga del molino de bolas primario en la empresa minera SILVER MINSPERU S.A.C.**”; La Unidad de Flotación Rápida o celda unitaria tipo DENVER de 32 " X 32", estará ubicado en la descarga del molino COMESA 3'Øx4', de tal manera que la alimentación y el relave sean por gravedad, a la celda y al sistema de clasificación mecánica, con lo que se permite recuperar el producto con leyes comerciales que representará de un 20% a 30% de la recuperación total de la Planta. Mediante la aplicación del Método de Flotación Rápida, en la empresa minera **SILVER MINSPERU S.A.C.**, se captará o se separará el Plomo, tan pronto como este liberado (As soon as Free) y así obtener las ventajas y beneficios que brinda la Celda de Flotación Rápida en la minería polimetálica. El uso de la unidad de Flotación Rápida (DENVER de 32 " X 32"), tiene como objetivo principal la implementación, del sistema molienda-flotación para incrementar la capacidad de molienda y flotación, evitando “sobre-moler”, mineral valioso que ya está liberado indirectamente esta eliminación de contenidos metálicos con flotación rápida del circuito, incrementa la eficiencia del circuito de flotación subsiguiente para lograr mejores resultados en las celdas ya que al disminuir la cantidad de mineral valioso para la misma cantidad de celdas existentes, el tiempo de flotación se incrementa. El uso de la Celda de Flotación Flash (DENVER de 32" X 32"), en la empresa minera SILVER MINSPERU S.A.C, le resultará bastante rentable y le permitirá una óptima producción y rápida recuperación de la Inversión.

**Palabras Clave:** Celda unitaria, Flotación rápida, Implementación, Molino, Planta concentradora.

## ABSTRACT

The work of "Implementation of a rapid flotation unit in the discharge of the primary ball mill in the mining company **SILVER MINSPERU S.A.C.**"; The Quick Flotation Unit or unit cell type DENVER of 32 "X 32", will be located in the COMESA 3'Øx4 'mill discharge, in such a way that the feeding and the tailings are by gravity, to the cell and to the system of mechanical classification, which allows to recover the product with commercial laws that will represent 20% to 30% of the total recovery of the Plant. Through the application of the Rapid Flotation Method, in the mining company **SILVER MINSPERU S.A.C.**, Lead will be captured or separated, as soon as it is released (As soon as Free) and thus obtain the advantages and benefits provided by the Quick Flotation Cell. in polymetallic mining. The use of the Rapid Flotation unit (DENVER 32 "X 32"), has as main objective the implementation of the grinding-flotation system to increase the grinding and flotation capacity, avoiding "over-grinding", a valuable mineral that already this elimination of metallic contents with fast flotation of the circuit is indirectly released, increases the efficiency of the subsequent flotation circuit to achieve better results in the cells since by decreasing the amount of valuable mineral for the same number of existing cells, the flotation time it increases. The use of the Flash Flotation Cell (DENVER of 32 "X 32"), in the mining company **SILVER MINSPERU S.A.C.**, will be quite profitable and will allow an optimal production and fast recovery of the investment.

**Key Words:** Concentrator plant, Implementation, Mill, Rapid flotation, Unitary cell.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

La planta concentradora San Carlos de la **EMPRESA MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.** que trata tanto su propio mineral como de otras pequeñas mineras, tiene una capacidad de 50 TMSD para procesar minerales polimetálicos (Plomo, Zinc, Plata, otros), para lo cual cuenta con extensa cancha de mineral en la parte superior para depositar minerales procedentes de la mina San Carlos, este mineral es tratado mediante el uso del método de Flotación Convencional, con el cual se ha venido suscitando algunas desventajas en el procesamiento de los minerales los cuales son explotados por la minería.

En la producción minera, la energía representa cerca del 20% del total de los costos, por lo que, con el continuo incremento de los precios de la energía en los últimos años, se ha comenzado a dar cada vez mayor importancia a la gestión energética. Ésta además de ser una forma de reducir los costos en los procesos productivos, ayuda a disminuir la contaminación que conlleva. Todo esto implica hacer cambios para obtener mayor producción con menos recursos y simultáneamente generar menos desechos.

A fin de optimizar cada vez más la etapa de flotación, tecnología que está presente desde los años 60, se han desarrollado asiduamente nuevas tecnologías como celdas neumáticas, flotación rápida, flotación centrífuga y más actualmente la celda Jameson. En el presente estudio se Implementará y mejorará la Flotación Convencional de la Unidad Económica Administrativa “San Carlos” (Planta Concentradora), de la Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C, mediante el uso de una unidad de Flotación Rápida. En este describiremos el funcionamiento de la Flotación Rápida (Flash Flotation), el cual corresponde a un método que se basa en la flotación instantánea de las partículas valiosas desde un circuito de molienda-clasificación, evitando así la posterior sobremolienda, lo que implica un ahorro de energía.

El procedimiento descrito como Flash-Flotation (Flotación Rápida), debido al breve tiempo de residencia requerida, resulta ser una innovación importante por lo siguiente:

- Es viable flotar un concentrado de ley final a partir del circuito de molienda - clasificación, obteniendo una buena recuperación.
- Es posible flotar minerales valiosos en el circuito de molienda, para evitar la sobre molienda y producir concentrados gruesos, fáciles de filtrar. Es una manera eficaz de incrementar la rentabilidad de las concentradoras de hoy en día.
- La estructura de una máquina de flotación especial demostró ser eficiente en una operación continua, capaz de tratar material grueso en densidades de pulpa altas (como las descargas de los molinos) sin originar arenamiento.

Estos resultados fueron posibles porque disminuyen la sobremolienda a través de una flotación muy selectiva de la descarga del molino COMESA 3'Øx4' en el circuito de

molienda. Desde entonces, la Flotación Rápida se viene utilizando en varios otros circuitos de molienda en todo el mundo.

Esta nueva concentración constituye una herramienta eficaz para el proceso de optimización de plantas concentradoras polimetálicas como la nuestra, donde se tienen diferentes gravedades específicas por cada especie mineralógica y donde el Pb generalmente sufre sobremolienda por su mayor tiempo de residencia recirculando en la descarga del Clasificador Helicoidal, lo que se convierte después en pérdidas metálicas de valores.

Al ubicar la celda unitaria tipo DENVER de 32" X 32" directamente a la descarga del molino primario, flotando plomo de granulometría gruesa ya liberada en esta etapa por la menor dureza de la mena, fue posible observar una excelente flotabilidad.

Los beneficios de operar con la celda unitaria tipo DENVER de 32" X 32" directamente a la descarga del molino primario nos ha permitido optimizar nuestro control metalúrgico tal como lo muestran los resultados de este trabajo, en las conclusiones a las que hemos llegado.

El concepto de captar o separar el Pb tan pronto el proceso lo permita es el procedimiento correcto de optimizar la metalurgia del Pb en nuestra Unidad. La flotación en la descarga de la molienda es un logro exitoso obtenido aquí. Nos ha permitido incrementar los ingresos económicos, con lo que ya se ha pagado, ampliamente, toda la inversión realizada. Además, estamos siendo beneficiados por los ingresos adicionales traducidos en el logro de nuestros objetivos, asimismo reducir la Humedad del Concentrado de Plomo (Pb), que originaban altas pérdidas por mermas y además aminorar el Consumo de Bisulfito de Sodio, por la generación de mayores áreas superficiales, el cual es un contaminante del Medio Ambiente.

En la descarga del molino primario, consiguiéndose aumentar la recuperación de plomo de 65.56 % a 84.062 %, elevando el grado de los concentrados: plomo de 58.5% a 68%. Los desplazamientos del plomo al relave final disminuyeron de 0.42 % a 0.20 %.

Esperando que el presente trabajo cumpla con los requisitos de aprobación, el mismo que someto a vuestra consideración para su aprobación señores miembros del jurado.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La planta concentradora San Carlos de la EMPRESA MINERA SILVER MINSPERU S.A.C., donde se encontró que existía una notable segregación en la Molienda de los Sulfuros, originando que los diferentes minerales sean molidos en diferentes grados y de manera no controlada.

La Galena (Sulfuro de Plomo), ha sido ratificada como el sulfuro más fiable en los componentes de esta mina por ser enteramente polimetálica, ya que se ha detectado que comúnmente es el Sulfuro que pasa con mayor facilidad a formar parte de las Mallas finas.

Por lo indicado, un gran porcentaje de pérdidas de Plomo ocurre en las mallas finas, lo cual se explica mediante el fenómeno de la segregación en la Clasificación, es decir, la enorme diferencia que existe entre la Densidad Compósito del mineral, que en nuestro caso es de 3.43 y la Densidad de la Galena que es 7.58; lo que constituye la razón principal para que se originara sobremolienda del plomo, lo cual afectaba la flotabilidad desplazándose 1.80% en promedio al concentrado de Zinc (Zn); y, hasta 0.30% en promedio al Relave Final.

Bajo las consideraciones anteriores se propuso realizar Análisis Granulométricos en el Área de Molienda – Clasificación, iniciando en el Alimento del Molino Primario; Rebose



del Clasificador Helicoidal (Producto de descarga del Molino Primario de Bolas COMESA 4'Øx4' y el Secundario de Bolas COMESA 3'Øx4'); y se encontró que entre el 48 y 50 % del Plomo Fino (49.89%) se encontraba en la Malla –M 200 Passing; Los cuales se consideran como “Elementos metálicos liberados y listos para flotar” y ésta fue precisamente la causa para que éstos incrementaran su contenido metálico en el Rebose del Clasificador Helicoidal, retornando como carga circulante a el molino secundario de bolas COMESA 3'Øx4'.

Un análisis aparentemente insignificante y con el cual se trabaja en el mundo minero, ha originado consecuencias como las que se señalan a continuación:

- a. Bajas recuperaciones por pérdida de Plomo (Pb) sobremolido.
- b. Alta humedad del Concentrado de Plomo (Pb), que originaban altas pérdidas por mermas.
- c. Incremento del consumo de Z-6, por la generación de mayores áreas superficiales, el cual es un contaminante del Medio Ambiente.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PREGUNTA GENERAL**

¿En qué medida, el uso de una Unidad de Flotación rápida, puede permitir mejorar la Flotación Convencional de la Unidad Económica Administrativa “San Carlos” (Planta Concentradora), de la Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C.?

### **1.2.2. PREGUNTAS ESPECIFICAS**

- a. ¿De qué manera, el uso de una Unidad de Flotación rápida, logrará mejorar la metalurgia del Plomo en la Unidad Económica Administrativa “San Carlos”, de la Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C.?
- b. ¿Cuál es el porcentaje, de disminución de Humedad del Concentrado de Plomo, mediante el uso de una Unidad de Flotación rápida, en la Unidad Económica Administrativa “San Carlos”, de la Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C.?
- c. ¿En qué medida, se puede reducir la contaminación del medio ambiente, mediante el uso de una Unidad de Flotación rápida, en la Unidad Económica Administrativa “San Carlos”, de la Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C.?

### **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La Unidad Económica Administrativa de la Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C., mejorará la recuperación de mineral de Plomo mediante el uso de una Unidad de Flotación Rápida en sus operaciones.

#### **1.3.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS**

- a. Si la Unidad Económica Administrativa “San Carlos”, hace uso de una Unidad de Flotación Rápida en sus operaciones, entonces, logrará disminuir las pérdidas de Plomo por sobremolienda, mejorando la calidad del concentrado.

- b. Si la Unidad Económica Administrativa “San Carlos”, hace uso de una Unidad de Flotación Rápida en sus operaciones, entonces, le permitirá disminuir la humedad del Concentrado de Plomo que originaban altas pérdidas por mermas.
- c. Si la Unidad Económica Administrativa “San Carlos”, hace uso de una Unidad de Flotación Rápida en sus operaciones, entonces, logrará aminorar el consumo de Z-6, protegiendo el Medio Ambiente.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

Los motivos y causas que dieron origen a realizar el presente Estudio de Investigación, es que la Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C., tiene una Unidad Económica Administrativa “San Carlos”, (Planta Concentradora), donde se efectúa un procesamiento de Minerales Polimetálicos de Plomo (Pb), Zinc (Zn), y Plata (Ag) por Flotación, razón por el cual se consideró Estudiar e Investigar haciendo uso de una Unidad de Flotación Rápida de valores de Plomo en el propio circuito de Molienda – Clasificación, de manera que los Circuitos de Flotación posteriores queden habilitados para generar una flotación Diferencial de Plomo – Zinc, con menor contenido de Plomo y enriquecido en Zinc, obviamente con un menor consumo de Bisulfito de Sodio en la etapa de separación Plomo (Pb) – Zinc (Zn), (Depresor de Esfalerita y Calcopirita), reactivo que es extremadamente dañino al Medio Ambiente, mejorando el FACTOR METALÚRGICO de la Operación Metalúrgica Total de la Unidad Económica Administrativa “San Carlos”.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar y mejorar la Flotación Convencional de la Unidad Económica Administrativa “San Carlos” (Planta Concentradora), de la Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C, mediante el uso de una unidad de Flotación Rápida.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a. Disminuir las pérdidas de Plomo (Pb) por sobremolienda, mejorando la calidad del concentrado.
- b. Disminuir la Humedad del Concentrado de Plomo (Pb), que originaban altas pérdidas por Mermas.
- c. Reducir el Consumo de Z-6, el cual es un contaminante del Medio Ambiente.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. FLOTACIÓN DE MINERALES

El proceso de flotación se basa en la interacción entre las burbujas de aire y las partículas de sólido presentes en la pulpa. La eficiencia que tienen las burbujas para atrapar en forma selectiva las partículas de mineral y luego ascender cargadas hasta el rebalse, depende de múltiples fenómenos que ocurren en la pulpa, principalmente diferencias en las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas. (Linares Gutiérrez, 2001)

La definición tradicional de flotación de minerales dice que es una técnica de concentración en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección o separación. En otras palabras, se trata de un proceso de separación de materias de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas (aire) y a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas. (Linares Gutiérrez, 2001)

Según la definición, la flotación contempla la presencia de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está representada por las materias a separar, la fase líquida es el agua y la fase gas es el aire. Los sólidos finos y liberados y el agua, antes de la aplicación del proceso, se preparan en forma de pulpa con porcentaje de sólidos variables, pero normalmente no superior a 40% de sólidos. Una vez ingresada la pulpa al proceso, se inyecta el aire para poder formar las burbujas, que son los centros sobre los cuales se adhieren las partículas sólidas. (Linares Gutiérrez, 2001)

Para lograr una buena concentración se requiere que las especies que constituyen la mena estén separadas o liberadas. Esto se logra en las etapas previas de chancado y molienda. Para la mayoría de los minerales, se logra un adecuado grado de liberación moliendo a tamaños cercanos a los 100 micrones (0,1 mm). Al aumentar el tamaño de la partícula, crecen las posibilidades de mala adherencia a la burbuja; en tanto que las partículas muy finas no tienen el suficiente impulso para producir un encuentro efectivo partícula burbuja. (Linares Gutiérrez, 2001)

En un proceso de concentración de minerales ideal, la mena mineral se divide en un concentrado enriquecido con el componente útil o valioso por la acción de un colector y una cola o relave con los minerales que componen la ganga. Por su parte, la estabilidad de la burbuja dependerá del espumante agregado al proceso de flotación. El proceso de flotación de espumas se lleva a cabo en una máquina denominada *Celda de Flotación*. Según esto, podemos resumir a la flotación de espumas como un proceso mineralúrgico-químico-cinético, el cual se puede representar esquemáticamente en el diagrama 1.4a, o también, la flotación de minerales en espumas es un proceso físico-químico, cuyo objeto es la separación de especies minerales valiosas de las no valiosas, a través del uso de la



adhesión selectiva de burbujas de aire a las partículas minerales de valor. (Linares Gutiérrez, 2001)

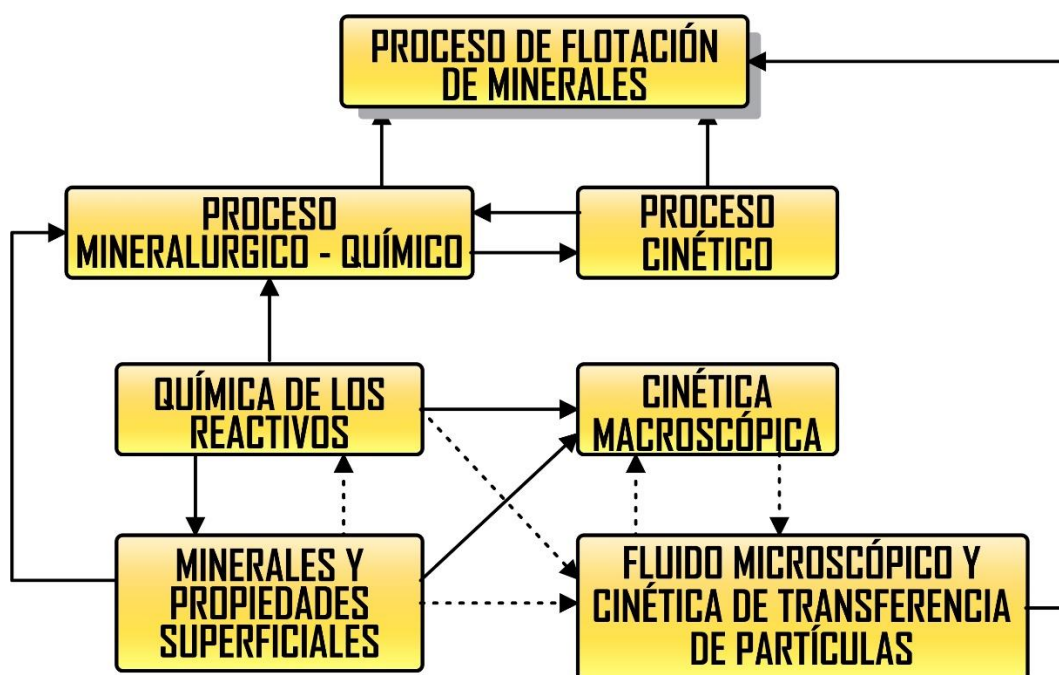


Figura N° 1: La flotación como un proceso Mineralúrgico-Químico-Cinético

2.1.1.1. MINERALOGÍA DE LOS MINERALES

Tabla N° 1: Caracterización del mineral.

MINERALES	FORMULA	METAL
calcopirita	$CuFeS_2$	Cu
esfalerita	$ZnS$	Zn
Galena	$PbS$	Pb
pirita	$FeS_2$	Fe
calcosita	$Cu_2S$	Cu
tetraedrita	$(Cu,Fe)_{12}Sb_4S_{13}$	Cu
magnetita	$Fe_3O_4$	Fe
bornita	$Cu_5FeS_4$	Cu
covelita	$CuS$	Cu
argentita	$Ag_2S$	Ag

**Fuente:** HENLEY, K.J., (1975), Mineralogía de mineral de oro y su relación con el tratamiento metalúrgico: Mineral, Science and Engineering, vol. 7, no. 4, pp. 289-312.

### **2.1.1.2. FLOTACIÓN DE MINERALES POR ESPUMAS**

La flotación por espumas es un proceso físico-químico de la concentración de minerales finamente molidos. El proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa de mineral a fin de crear condiciones favorables para la adhesión de ciertas partículas de minerales a las burbujas de aire. Tiene por objeto la separación de especies minerales, divididos a partir de una pulpa acuosa, aprovechando sus propiedades de afinidad (hidrofílico) o repulsión (hidrofóbico) por el agua. Las especies valiosas o útiles constituyen una fracción menor del mineral, mientras que las especies no valiosas o estériles constituyen la mayor parte, el carácter hidrofílico o de afinidad hace que estas partículas se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa, para finalmente hundirse. El carácter hidrofóbico o de repulsión evita el mojado de las partículas minerales que pueden adherirse a las burbujas y ascender. Estas propiedades de algunos minerales tienen en forma natural, pero pueden darse o asentarse mediante los reactivos de flotación. (Quiroz Nuñez, 1998)

#### **a) MINERALES HIDROFÍLICOS**

Son mojables por el agua, constituidos por: óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, que generalmente representan la mayoría de los minerales estériles o ganga. Haciendo que se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse. (Quiroz Nuñez, 1998)

#### **b) MINERALES HIDROFÓBICOS**

Son aquellos minerales que no son mojables o son poco mojables por el agua, dentro de ellos tenemos: Los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como: grafito, carbón bituminoso, talco y otros, haciendo de que evite el mojado de las partículas minerales, que pueden adherirse a las burbujas de aire y ascender. Además se puede observar, que los minerales hidrofóbicos son aerofílicos. (Quiroz Nuñez, 1998)

### c) PROCESO DE LA FLOTACIÓN POR ESPUMAS

Los minerales hidrofílicos e hidrofóbicos de una pulpa acuosa se pueden separar entre sí, después de ser finamente molidos y acondicionado con los reactivos químicos que hacen más pronunciadas las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas, haciendo pasar burbujas de aire a través de la pulpa. Las partículas hidrofílicas se van a mojar y caer al fondo de la celda de flotación. (Quiroz Nuñez, 1998)

#### 2.1.2. FASES EN LA FLOTACIÓN

##### 2.1.2.1. FASE SOLIDA

Está representada por los sólidos a separar (minerales) que tienen generalmente una estructura cristalina. Esta estructura es una consecuencia de la comparación química de las moléculas, iones y átomos componentes que son cada uno, un cuerpo completo. (Astucuri Tinoco, 1994)

Los factores de importancia son los siguientes:

- Carácter de la superficie aireada en la ruptura del sólido (Tipo de superficie, fuerzas residuales de enlaces)
- Imperfecciones en la red cristalina
- Contaminantes provenientes de los sólidos, líquidos y gases.

##### 2.1.2.2. FASE LÍQUIDA

Está constituida por agua con reactivos. El agua es polar, siendo ésta la causa de la hidratación superficial de algunos minerales en soluciones acuosas. Contiene generalmente iones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ , etc.), impurezas y contaminantes naturales. La dureza del agua, i.e. la contaminación natural causada por sales de calcio,

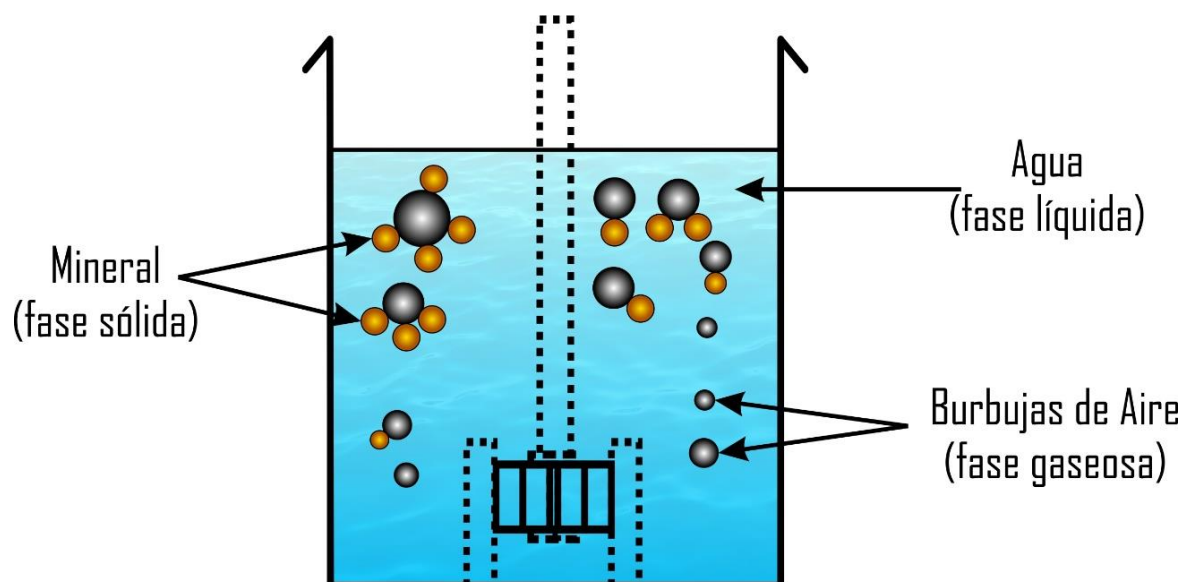
magnesio y sodio, puede cambiar completamente la respuesta de la flotación en algunos casos, ya sea por consumo excesivo de reactivos o formación de sales insolubles. (Astucuri Tinoco, 1994)

### 2.1.2.3. FASE GASEOSA

Es el aire que se inyecta en la pulpa neumática o mecánicamente para poder formar las burbujas que son los centros sobre los cuales se adhieren las partículas sólidas, la función del aire en la flotación tiene distintos aspectos de los cuales los principales son:

- El aire influye químicamente en el proceso de flotación.
- Es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa.
- El aire es una mezcla de nitrógeno (78,10%) y oxígeno (20,96%) con pequeñas cantidades de dióxido de carbono (0,04%) y gases inertes como argón y otros.

(Astucuri Tinoco, 1994)



*Figura N° 2: Fases del proceso de flotación por espumas*

#### a) **Minerales Apolares**

Son hidrofóbicos (no reaccionan con los dipolos del agua), ejemplo: azufre nativo, grafito, molibdenita y otros sulfuros. En estos minerales su estructura es simétrica, no intercambian electrones dentro de sus moléculas, no se disocian en iones, son en general químicamente inactivos y con enlaces covalentes. (Astucuri Tinoco, 1994)

#### **b) Minerales Polares**

Son hidrofílicos (los sólidos tienen la capacidad de hidratarse), ejemplo: óxidos. En estos minerales su estructura es asimétrica, intercambian electrones en la formación de enlaces (enlace iónico) y tienen extraordinaria actividad química en general. (Astucuri Tinoco, 1994)

### **2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS INTERFASES**

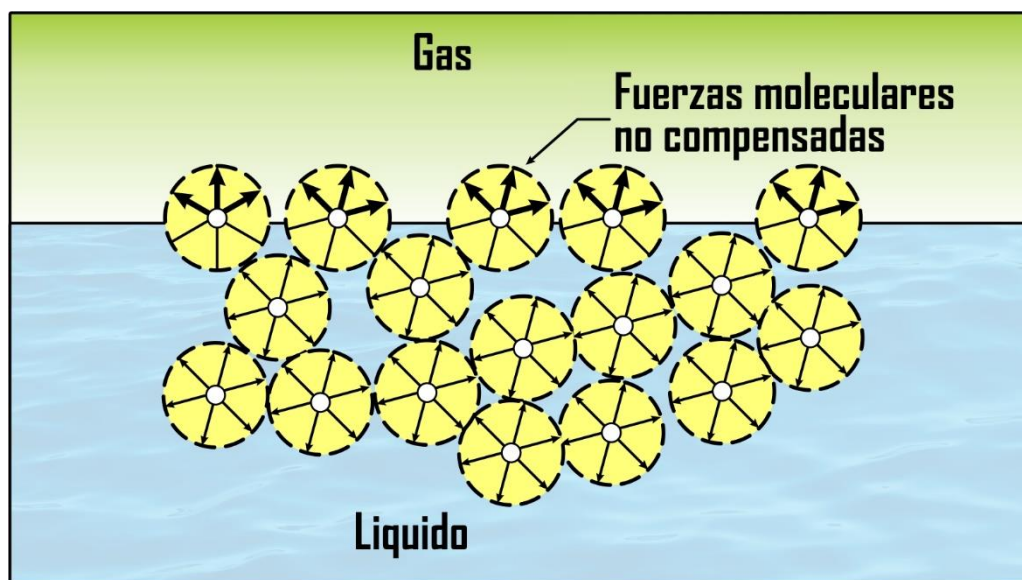
#### **2.1.3.1. INTERFASE GAS – LIQUIDO**

Como se ha dicho anteriormente, en la flotación esta interfase se produce invariablemente entre el aire y el agua. La característica fundamental de la interfase gas – líquido, como lo señala Gaudin, es el hecho de que la materia sufre un salto brusco en densidad y que desde la fase líquida a la gaseosa disminuye su densidad aproximadamente 1000 veces. El fenómeno llega a sus manifestaciones características debido al hecho de que para absorber este salto brusco dispone de una interfase cuyo grosor es del orden de 10 Angstrom. (Quiroz Nuñez, 1998)

Todo líquido (o sólido) en equilibrio con su vapor se caracteriza por la existencia en su superficie de una cierta cantidad de energía libre cuya magnitud es definida por la tensión superficial. La interpretación del origen de esta energía es la siguiente: en un líquido todas las moléculas ejercen entre sí una serie de influencias y se atraen o repelen mutuamente; estas fuerzas se compensan entre sí dentro del líquido y la resultante de ella es, en

consecuencia, igual a cero. Sin embargo, las moléculas que se encuentran en la superficie no son compensadas completamente, pues la mitad de su volumen está orientada hacia la fase gaseosa (ver Figura N° 3) donde la dilución de la materia es de tal orden que prácticamente representa el vacío y, donde por supuesto, no hay suficientes moléculas para absorber la presión de la película superficial. De este modo se crea una cierta cantidad de energía libre cuya magnitud se mide por la tensión superficial. (Sutulov, 1963)

La naturaleza de esta energía es evidentemente del tipo de enlace de van der Waals, pues se trata de influencias entre moléculas. Por la misma razón el alcance de su influencia es muy pequeño, como dijimos del orden de varios angstroms. La fuerza de este enlace decae con la sexta potencia de la distancia, y siendo por sí mismo un enlace débil, no puede propagar lejos su influencia. (Sutulov, 1963)



*Figura N° 3: Interpretación esquemática del origen de la tensión superficial*

Esta energía libre se interpreta como energía potencial porque se puede considerar que las moléculas de la superficie están siempre a una mayor elevación y se necesita una cierta cantidad de energía para llevarlas a este nivel. (Sutulov, 1963)

La energía libre de la superficie se mide en  $\text{erg/cm}^2$  y su intensidad, la tensión superficial, en  $\text{dinas/cm}$ , lo que es básicamente lo mismo, pues:  $\text{erg/cm}^2 = \text{dinas cm/cm}^2 = \text{dinas/cm}$ . Es interesante señalar que la tensión superficial de los líquidos depende del tipo de enlace químico que poseen las moléculas. La tensión superficial aumenta desde los gases nobles (naturalmente licuados), a través de los compuestos de enlace covalente (líquidos orgánicos) y compuestos iónicos hasta los metales, que en el estado líquido tienen las tensiones superficiales más altas. (Sutulov, 1963)

La posición privilegiada del agua se debe al hecho de que tiene la tensión superficial más alta ( $72,74 \text{ dinas/cm}$ ) entre todas las sustancias que se encuentran en forma líquida a la temperatura ambiente. (Sutulov, 1963)

La tensión superficial se puede medir de diferentes maneras y el método clásico consiste en la determinación de la altura a que sube un líquido en un tubo capilar. La tensión superficial se calcula basándose en la siguiente fórmula:

$$TS = 1/2 g (D - d) * r * h$$

**Donde:**

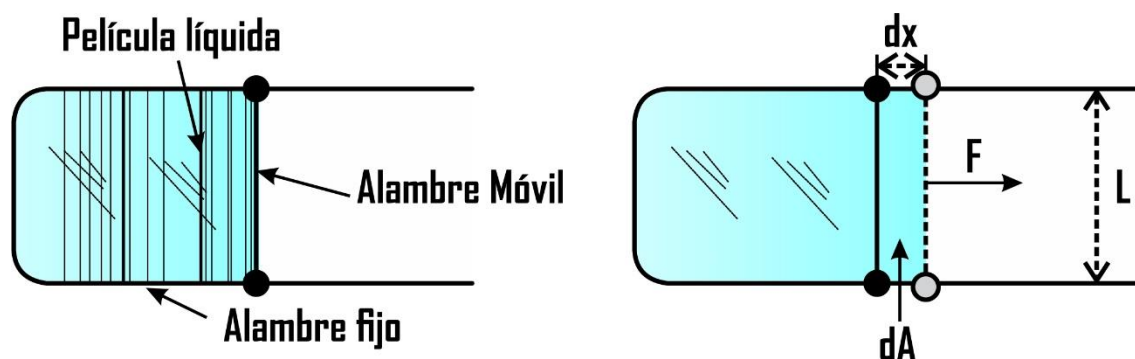
**TS** : es la tensión superficial en  $\text{dinas/cm}$ .

**g** : aceleración de la gravedad en  $\text{cm/seg}^2$ .

**D y d** : Pesos específicos del líquido y del gas.

**r** : radio del capilar.

**h** : altura alcanzada por el líquido



*Figura N° 4: La tensión superficial es el costo energético asociado a incrementar en una unidad el área de interfase.*

#### 2.1.4. FENÓMENO DE ADSORCIÓN

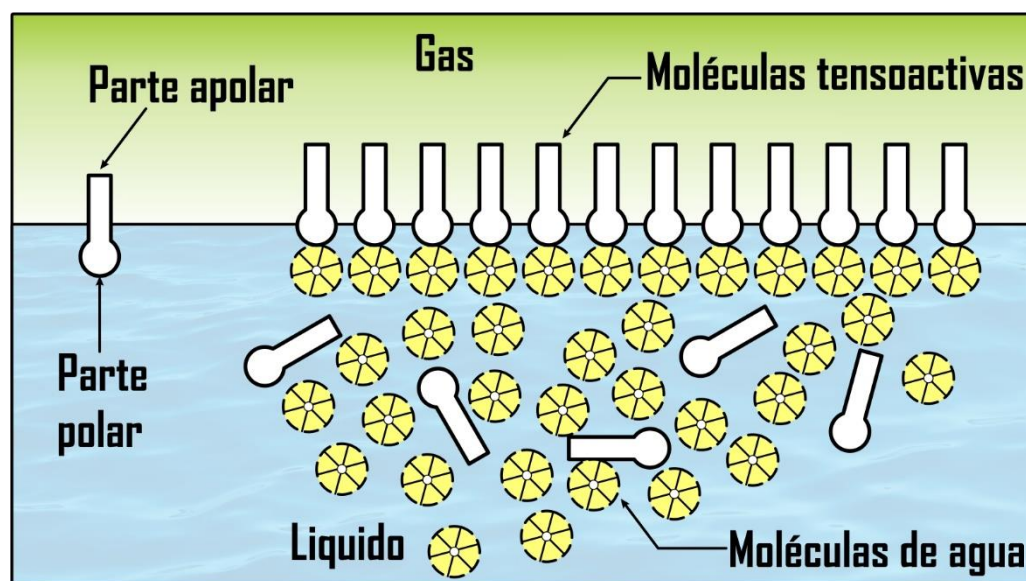
Las interfases gas – líquido desempeñan un importante papel en los fenómenos de adsorción cuando los líquidos contienen sustancias disueltas, o sea, cuando son soluciones. Se ha observado que, en estos casos, las sustancias disueltas están en distinta concentración en el líquido mismo y en su interfase con el gas. Este fenómeno de cambio de concentración que la materia disuelta presenta entre el líquido y su interfase con el gas se llama adsorción. (Sutulov, 1963)

La adsorción puede ser positiva, cuando la concentración de la sustancia disuelta es más alta en la interfase que en el líquido y negativa, cuando es más baja. Por ejemplo, las soluciones de sales inorgánicas se adsorben generalmente en forma negativa, mientras que las de compuestos orgánicos de carácter heteropolar se adsorben positivamente. Este último fenómeno es de inmensa importancia para la flotación y se explica del siguiente modo:

En el estado de equilibrio el agua tiene una cierta cantidad de energía libre que se expresa por su tensión superficial. Al introducir en este sistema un líquido orgánico heteropolar el sistema va a tratar de llegar a un nuevo estado de equilibrio que, según el principio de la termodinámica, tiene que tener el mínimo de energía libre. A este estado se llega,



precisamente, si las materias heteropolares se adsorben selectivamente en la interfase gas – líquido (ver Figura N° 5) pues de esta manera queda neutralizada la energía libre de la superficie y la tensión superficial del sistema se reduce en forma notoria. La parte polar de las moléculas queda ligada al agua y la parte apolar forma una película monomolecular inactiva sobre la superficie. Los compuestos que se adsorben selectivamente en las interfases gas – líquido se llaman tensoactivos. (Sutulov, 1963)



*Figura N° 5: Fenómeno de adsorción de materias tensoactivas*

El fenómeno de adsorción también se produce entre las fases gaseosa y sólida y entre las fases líquida y sólida. Mientras las adsorciones del primer tipo no son de gran importancia (con excepción de la oxidación de las superficies de los minerales), las del segundo son muy importantes porque explican el fenómeno de la hidrofobización artificial de los minerales y en general el cambio de sus propiedades de mojabilidad. (Sutulov, 1963)

Se distinguen dos tipos de adsorción: 1) adsorción física, y 2) adsorción química. en el primer caso se trata de adsorción de moléculas enteras sin cambio químico, en el segundo, los compuestos adsorbidos pierden su individualidad química y forman nuevos compuestos con la superficie. (Sutulov, 1963)

En realidad, es bastante difícil distinguir la adsorción química de la física, con la excepción de que en el primer caso el calor liberado debido a la disminución de la energía del sistema es unas 20 a 50 veces mayor. La adsorción química también a menudo se distingue por el intercambio de iones, por la formación de compuestos insolubles y generalmente se facilita en los casos en que los iones que reaccionan son de dimensiones parecidas y no tienen dificultades en incorporarse a la red cristalina del sólido. (Sutulov, 1963)

El fenómeno de la adsorción fue estudiado y deducido matemáticamente por Gibbs quien llegó a la siguiente fórmula:

$$A = \frac{C^2}{RT} (\partial s / \partial c)$$

**Donde:**

**A** : es la cantidad de sustancia adsorbida, o sea, la diferencia entre su concentración en la interfase y en el líquido.

**C** : es la concentración de la sustancia

**( $\partial s / \partial c$ )**: es el cambio de tensión superficial relacionado con el cambio de concentración.

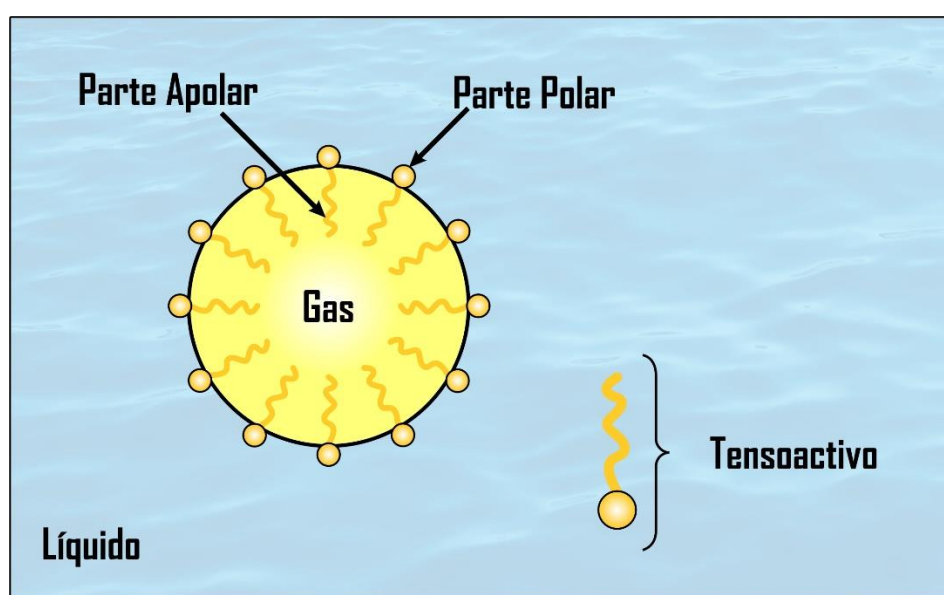
**R y T** : constantes de gases y temperatura absoluta, respectivamente.

Es evidente que con la disminución de la tensión superficial la adsorción aumenta del mismo modo que con el aumento de concentración de la sustancia adsorbida (isotermas de adsorción). (Sutulov, 1963)

### 2.1.5. INTERFASE SÓLIDO – LIQUIDO

Las superficies o partículas sólidas sumergidas en el agua son objeto de hidratación. como se dijo anteriormente, ésta depende del carácter de la superficie de los sólidos, o sea, de las características eléctricas que existen en la superficie después de su creación. La hidratación es, naturalmente, más fuerte en las especies en que se rompieron enlaces químicos, como por ejemplo enlaces iónicos o covalentes. Cuando las fuerzas eléctricas residuales son débiles, la hidratación también es débil. Esto sucede con los minerales que se rompen según planos de clivaje y donde, en consecuencia, no hay rompimiento de enlaces químicos. (Astucuri Tinoco, 1994)

La hidratación de los óxidos empieza, por ejemplo, con una fuerte tendencia a formar hidróxidos. Posteriormente, como en el caso de los enlaces iónicos, si la fuerza de hidratación es superior a la fuerza del enlace cristalino, se produce la disolución de los sólidos en el agua. Como se puede ver (Figura N° 6), se trata de un fenómeno que depende del carácter del sólido y de la concentración de la solución acuosa. (Astucuri Tinoco, 1994)



*Figura N° 6: El carácter del sólido y de la concentración de la solución acuosa.*

### 2.1.6. POTENCIAL ELECTROQUÍMICO

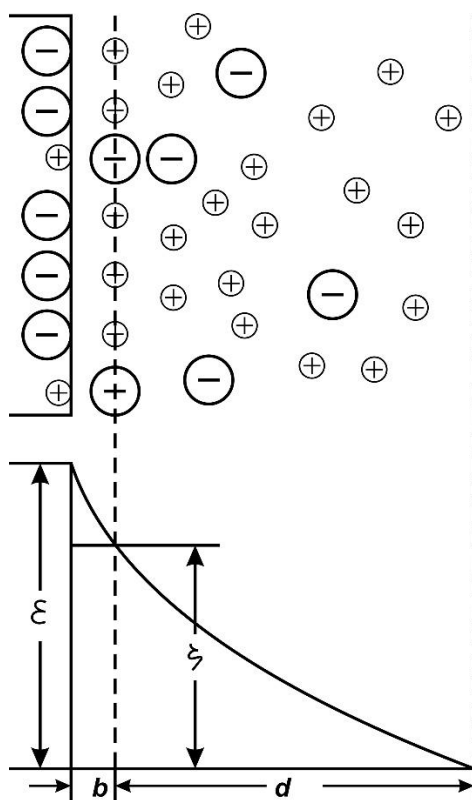
El proceso de hidratación se desarrolla generalmente en forma dispareja. Por ejemplo, al hidratarse una red cristalina de carácter iónico, los cationes se hidratan y posteriormente se disuelven con mayor velocidad que los aniones. Esto inmediatamente produce un desequilibrio eléctrico del sistema, pues las superficies de los sólidos se cargan negativamente. (Kelly G. & Spottiswood J., 1990)

Para equilibrar el sistema sólido – líquido, la superficie cargada negativamente en primer lugar cesará o frenará la disolución de cationes todavía presentes en la red cristalina y en seguida, desde la solución atraerá los iones cargados positivamente. De este modo entre la superficie y el líquido se formará un potencial eléctrico cuyo origen se encuentra en la doble capa de cargas eléctricas recién señalada (ver Figura N° 7). El potencial eléctrico formado por la capa eléctrica de iones de la solución junto con la superficie cargada eléctricamente se llama potencial electroquímico. (Kelly G. & Spottiswood J., 1990)

La capacidad (grosor interior) de este condensador constituido por el potencial electroquímico no es grande y es del orden de 3 angstrom, o sea, de más o menos el tamaño de una molécula de agua. Este potencial no está formado solamente por los iones que se encuentran en la vecindad inmediata de la superficie sólida. A más profundidad en el líquido hay una zona (zona de difusión) donde los iones también están orientados hacia la superficie, aunque su atracción hacia ella es mucho más débil. El grosor de esta zona depende exclusivamente de la concentración de la solución y mientras más alta es la concentración de los iones, menor es el grosor de la zona de difusión. Dependiendo de la concentración, la zona de difusión puede extenderse desde 30 – 40 hasta 2000 Angstrom. (Manzaneda Cabala J. , Procesamiento de minerales, 2000)

La doble capa de cargas eléctricas es de gran importancia en los fenómenos de flotación, pues influye directamente en la adsorción de los reactivos sobre la superficie de los minerales. Se ha observado que hay una relación directa entre el valor del potencial eléctrico y la cantidad de moléculas o iones adsorbidos. Por ejemplo, la adsorción de moléculas orgánicas aumenta con la disminución del potencial y es máxima cuando el potencial es igual a cero. Por otra parte, al alcanzar valores altos, el potencial eléctrico puede reducir a cero la adsorción de moléculas orgánicas. (Manzaneda Cabala J. , 1990)

Las propiedades hidrofílicas de la superficie de los minerales tienen una relación directa con el potencial de la doble capa. La doble capa de un mineral que forma un fuerte campo eléctrico preferencialmente atraerá las moléculas e iones de alta constante dieléctrica (agua). Por otra parte, un débil campo eléctrico atraerá las moléculas de baja constante dieléctrica que fomentarán las propiedades hidrofóbicas de la superficie (moléculas orgánicas). (Manzaneda Cabala J. , 1990)



*Figura N° 7: Formación de la doble capa de cargas eléctricas.*

$\varepsilon$  : potencial electroquímico.

$\xi$  : potencial electrocinético.

b : zona de la doble capa.

d : zona de difusión.

### 2.1.7. POTENCIAL ELECTROKINÉTICO

Cuando el sólido empieza a moverse en el líquido los iones que forman la doble capa del potencial electroquímico quedan firmemente asociados con la superficie y la siguen, mientras que los iones de la zona de difusión quedan inmóviles o se mueven en otra dirección. El potencial que surge entre las dos superficies, eléctricamente cargadas, que se mueven en direcciones opuestas, se llama potencial electrocinético o potencial zeta ( $\xi$ ). (Sutulov, 1963)

El potencial electroquímico depende de la concentración de los iones de la capa doble y se calcula según la fórmula:

$$\varepsilon = \frac{RT}{F} \ln \frac{(C)B}{(C)A}$$

**Donde:**

(C)A y (C)B son las concentraciones de los iones en la superficie del sólido y en el líquido, y R, T, F constantes conocidas.

El potencial electrocinético depende de la velocidad del movimiento relativo entre el sólido y la zona de difusión y se calcula en base a la fórmula:

$$\xi = \frac{4 \eta V}{DE}$$

donde:

**D** : es la constante dieléctrica del líquido.

**$\eta$**  : es su viscosidad.

**V** : es la velocidad del movimiento del sólido.

**E** : es la intensidad del campo eléctrico.

Si expresamos la velocidad en micrones por segundo y el campo eléctrico en volts por centímetro, entonces considerando  $D = 80$  y  $\eta = 0,01$  para  $20^\circ \text{C}$ ,  $\xi$  estará expresado en milivolts. Incorporando las constantes en la expresión anterior vamos a tener:

Así como los fenómenos de adsorción se producen en las interfases gas – líquido, gas – sólido, y líquido – sólido, los potenciales electrocinéticos existen no solamente entre sólidos y líquidos, sino que también entre los líquidos y gases. La estructura de las capas eléctricas es completamente análoga, reemplazando ahora la interfase líquido – gas a la interfase líquido – sólido. Los iones que forman la capa doble están en este caso en la superficie misma que separa el gas del líquido y la zona de difusión se extiende en la profundidad de éste. La capa doble se encuentra entonces, íntegramente en el líquido. (Quiroz Nuñez, 1998)

El estudio de los potenciales electrocinéticos en la interfase gas – líquido indica que los potenciales producidos por los líquidos orgánicos son mucho mayores que los producidos por los compuestos inorgánicos. Particularmente son altos los potenciales cuando no hay

ionización de los compuestos orgánicos tensoactivos. Los potenciales son proporcionados a la concentración de las soluciones y mayores para los homólogos con cadenas más largas. (Muñiz Delgado, 2010)

Los fenómenos relacionados con los potenciales electroquímico y electrocinético, como se puede observar, son de considerable importancia para los procesos de flotación. Su existencia no sólo dirige los fenómenos de hidratación, sino que también la adsorción de líquidos orgánicos que sirven como colectores y espumantes. Las partículas minerales en movimiento, igual que las burbujas, originan un potencial electrocinético que refleja la estructura íntima de las capas dobles y zonas de difusión y estos potenciales a su vez, se pueden influir agregando materias iónicas que cambian su intensidad a carga, creando de este modo las condiciones deseadas para una buena flotación. (Muñiz Delgado, 2010)

#### **2.1.8. CONTACTO DE TRES FASES**

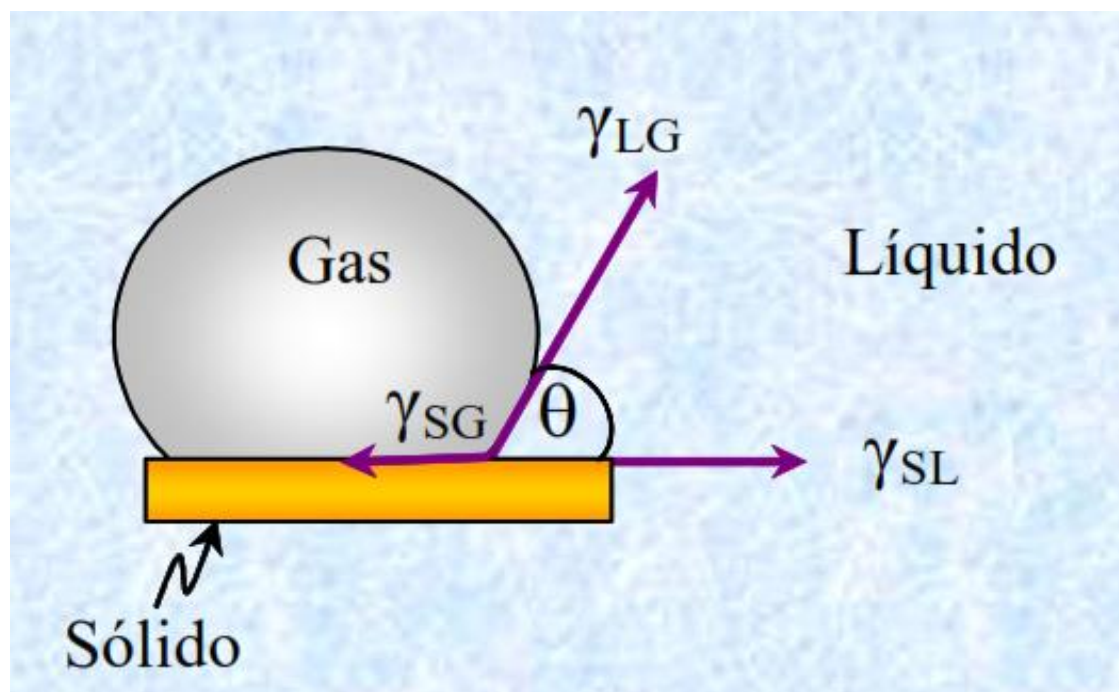
El estudio de las distintas fases y sus interfases nos lleva finalmente al contacto trifásico que es el más importante, pues representa la realidad de lo que sucede en el proceso de flotación. En el mecanismo de flotación de una partícula sólida por una burbuja de aire la unión entre los dos elementos se efectúa a través de un contacto trifásico que tiene propiedades muy especiales. (Muñiz Delgado, 2010)

Para un estudio detallado, es conveniente en principio, imaginar la fase sólida como una superficie hidrofóbica sumergida en el agua en la cual se introduce una burbuja de aire. (Ver Figura N° 8). En el caso más simple la superficie puede ser una placa de vidrio cubierta por un hidrocarburo. (Muñiz Delgado, 2010)

Partiendo del hecho de que el contacto de dos fases es siempre una superficie y el contacto de una superficie con otra (que es la tercera fase) necesariamente una línea, resulta que,



para la descripción matemática de esta línea de contacto trifásico, es lo más conveniente usar el ángulo que forman las superficies de contacto de las fases (ver ángulo  $\theta$  en la Figura N° 8). (Linares Gutiérrez, 2001)



*Figura N° 8: Definición del ángulo de contacto*

### 2.1.9. ÁNGULO DE CONTACTO

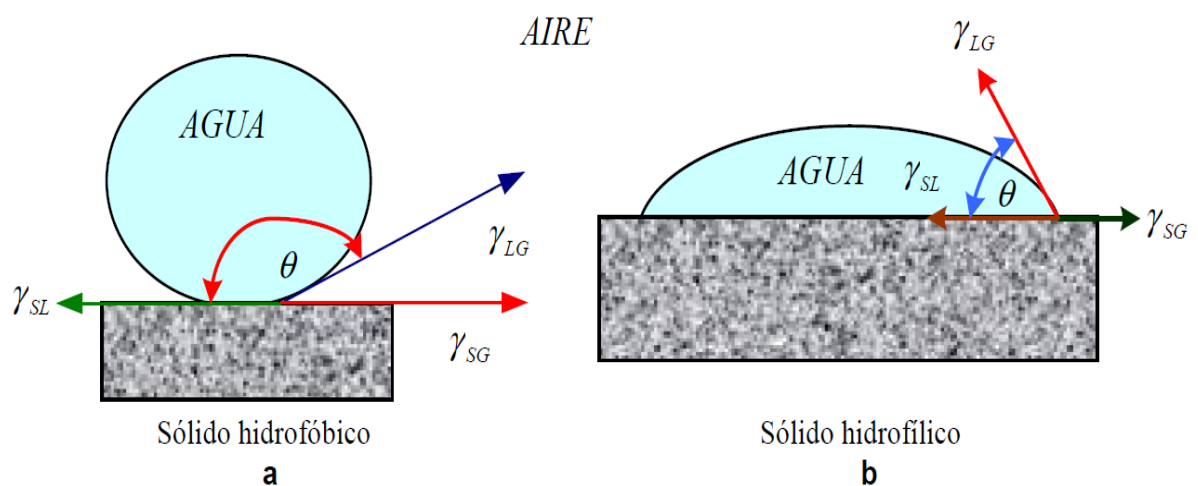
Por ejemplo, si tenemos en vez de una placa de vidrio una superficie de mineral hidrofobizada por un colector y la colocamos debajo del agua e introducimos sobre ella una burbuja de aire, ésta se va a fijar sobre la superficie desplazando el agua. La línea de contacto trifásico se va a extender en forma de círculo sobre el plano de la superficie del mineral. Si ahora en cualquier punto de este contacto trifásico trazamos una tangente a la superficie de la burbuja, entonces el ángulo  $\theta$  entre la tangente y la superficie se llama ángulo de contacto. (Linares Gutiérrez, 2001)

Para la teoría de la flotación los ángulos de contacto tienen una importancia extraordinaria porque relacionan en forma cuantitativa las propiedades hidrofóbicas de un mineral (o de

un reactivo hidrofobizador) con su flotabilidad. En realidad, para relacionar la mojabilidad de un mineral con el ángulo de contacto no se usa precisamente  $\theta$  sin o  $\cos \theta$ . (Linares Gutiérrez, 2001)

Si tomamos superficies de distintas mojabilidades y las observamos colocando sobre ellas una gota de agua en la atmósfera o colocando una burbuja de aire debajo del agua, vamos a llegar a las conclusiones que se pueden observar en la Figura N° 9.

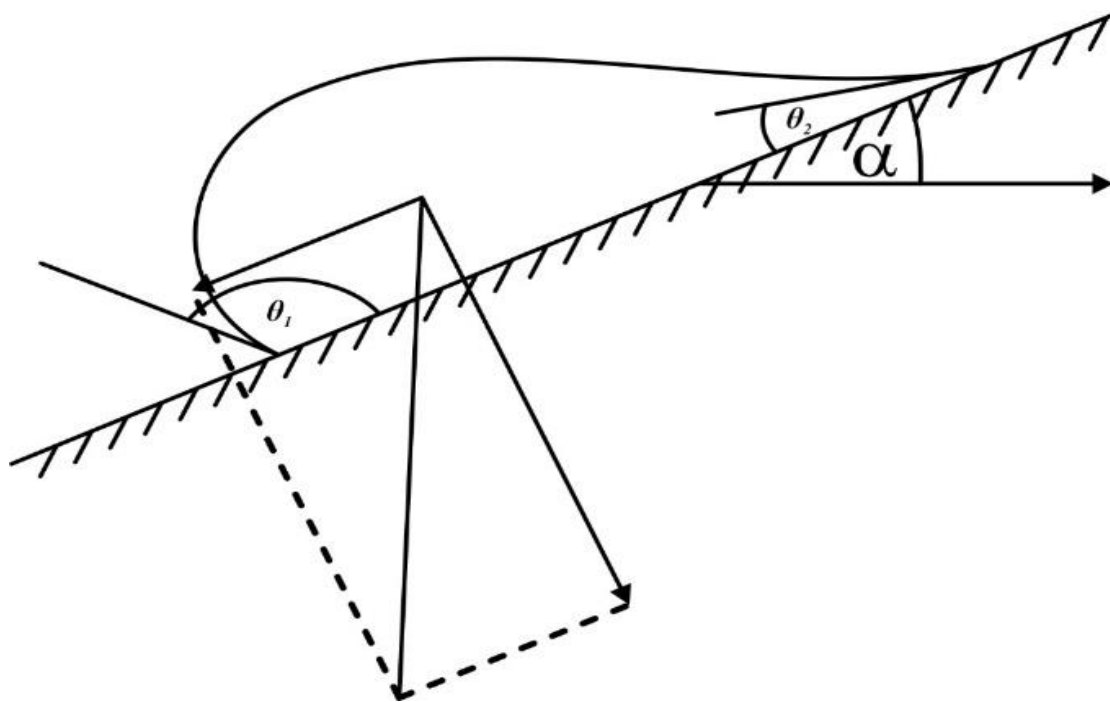
En primer lugar, podemos concluir que existe una equivalencia entre propiedades hidrofóbicas y aerofílicas y viceversa. El ángulo de contacto, o mejor dicho su coseno, las refleja cuantitativamente. (Linares Gutiérrez, 2001)



**Figura N° 9: Ángulos de contacto en sólidos de distintas mojabilidades**

### 2.1.10. HISTÉRESIS DE MOJABILIDAD

Al colocar una gota de cualquier líquido sobre una superficie inclinada (ver Figura N° 10) se produce su deslizamiento debido a la fuerza gravitacional. Sin embargo, habrá también una tendencia a resistir este movimiento, por cuanto se producirá un atraso o simplemente la negativa de la gota a deslizarse. Este atraso del movimiento de la gota, producido a través de un perímetro trifásico de contacto, se llama histéresis de mojabilidad. (Sutulov, 1963)



**Figura N° 10: Fenómeno de histéresis de mojabilidad**

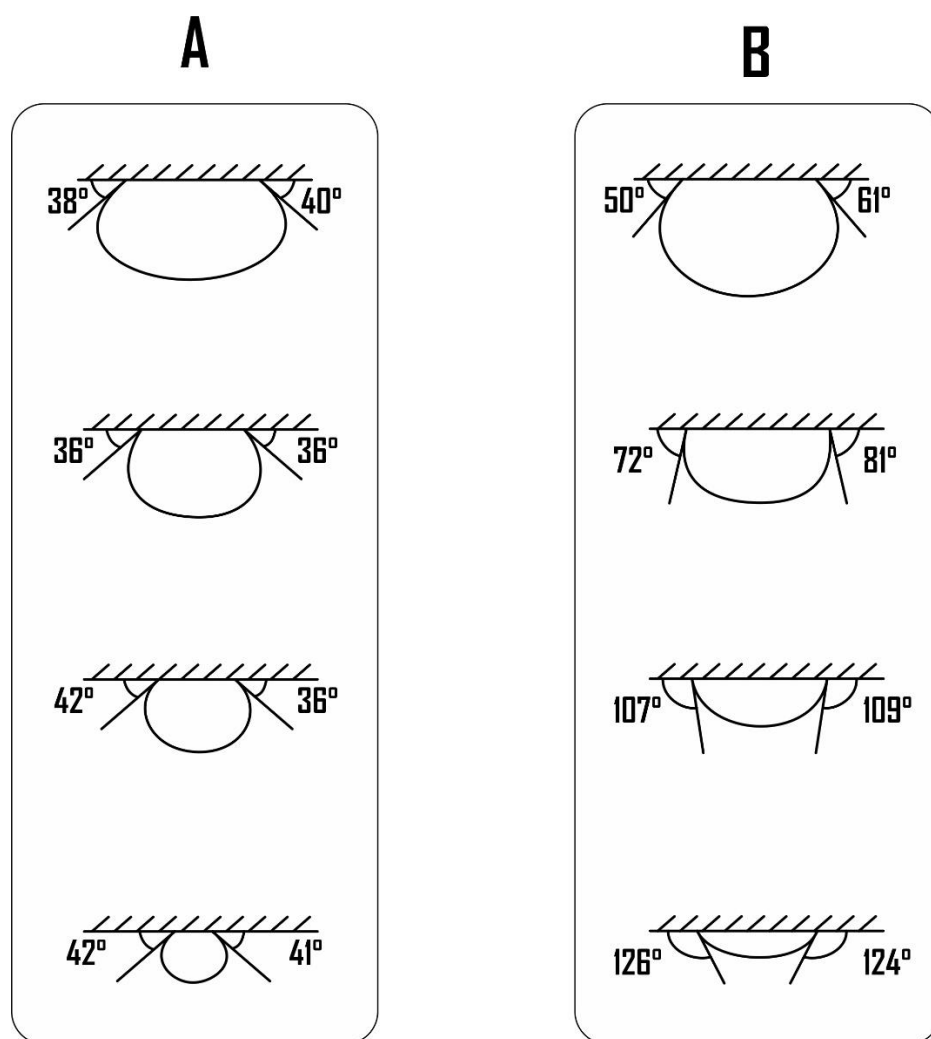
Un cuidadoso estudio del fenómeno, en primer lugar, dejó de manifiesto que la histéresis depende mucho de su dirección, o sea, si la fase gaseosa está desplazando a la fase líquida ( $\theta_2$ ) o si la fase líquida desplaza a la fase gaseosa ( $\theta_1$ ). En segundo lugar, se vio que la histéresis depende de si la gota ya está en movimiento o si se encuentra detenida. La histéresis estática es considerablemente mayor que la dinámica. Finalmente, se ha establecido que depende del carácter de la superficie. (Sutulov, 1963)

Al comienzo la histéresis se atribuía simplemente a las fuerzas de fricción producidas entre la gota y la superficie irregular debido a las imperfecciones de ésta. Sin embargo, Rebinder demostró que también se produce sobre superficies perfectamente pulidas y tratadas con reactivos de flotación (colectores, depresores). La Figura N° 11 muestra dos series de experimentos con galena. En ambos casos se colocó una burbuja de aire sobre una superficie perfectamente pulida y previamente tratada. En el caso A el tratamiento fue con bicromato de potasio que es un depresor de la galena en los circuitos de flotación;

en el caso B la superficie del mineral fue tratada con un xantato, que es un colector de galena. (Sutulov, 1963)

En los dos casos, por medio de una jeringa, poco a poco se evacuaba el aire de la burbuja, estableciéndose que en el caso A prácticamente no había ni histéresis ni cambio de ángulo de contacto. En el segundo caso había una marcada histéresis con un notable aumento del ángulo de contacto. (Sutulov, 1963)

Este experimento, demuestra la importancia que la histéresis tiene en el contacto trifásico y particularmente en la fijación de las partículas de mineral sobre las burbujas de aire. (Sutulov, 1963)



*Figura N° 11: Histéresis de mojabilidad en partículas minerales*

## 2.2. INTERFASE MINERAL – AGUA Y LA DOBLE CAPA ELÉCTRICA

Flotar depende directamente de la naturaleza y propiedades de la interfase mineral-agua.

Dos factores son importantes:

- 1) La interacción de moléculas de agua con la superficie mineral, en un medio líquido y/o gaseoso.
- 2) La doble capa eléctrica formada en la interfase mineral-agua.

En el primer caso, la orientación de las capas de agua sobre una superficie mineral tiene un efecto significativo sobre el humedecimiento de los sólidos y también sobre la adsorción natural de una interfase. (Sutulov, 1963)

La doble capa eléctrica puede afectar el proceso de flotación de muchos modos:

- 1) El signo y magnitud de la carga de superficie controlan la adsorción de reactivos de flotación que son físicamente posibles de absorber.
- 2) Una gran capa superficial puede inhibir la adsorción química de reactivos.
- 3) La floculación y dispersión de suspensiones minerales está controlada por la doble suspensión acuosa de minerales, las partículas de minerales llevan siempre una carga superficial negativa, excepto en pocos casos donde el pH de la pulpa es bastante bajo.

Esta carga superficial se debe a alguno de los siguientes factores:

- Distribución desigual de los iones constituyentes.
- Ionización de las superficies.
- Adsorción específica de los iones de la solución.
- Sustitución isomorfa.

- Orientación dipolar.

Debido a esta carga de las superficies, los iones de carga opuesta en la solución serán atraídos hacia la superficie. (Sutulov, 1963)

Por lo tanto, habrá una mayor concentración de iones opuestos a la carga superficial cerca de ella que en el resto del líquido. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

Esta concentración disminuye al incrementar la distancia entre las partículas; es decir, hay una capa de enlace de iones opuestos en la superficie de la partícula, seguida por una capa más difusa. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

Más allá de la capa difusa está el resto de la solución en la cual la distribución iónica es al azar. Esta capa adyacente se mueve con las partículas cuando estas viajan a través del medio, de tal manera que hay un plano de referencia entre la capa adyacente y la capa difusa. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

### **2.2.1. DOBLE CAPA Y POTENCIAL ZETA**

El potencial entre la capa de referencia y el resto de la solución es el Potencial Zeta. Esta potencial zeta depende de la carga superficial de la partícula y, puesto que puede ser determinado más fácilmente que la carga superficial, se toma como una medida conveniente de carga. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

La mayoría de las determinaciones de potencial zeta se basan en métodos electroforéticos y miden la movilidad de partículas individuales suspendidas, cargadas bajo la influencia de un potencial aplicado, el aparato de medida se conoce como zetameter. (Muñiz Delgado, 2010)

Finalmente se debe remarcar que la importancia del “Potencial cero” radica en que el signo de la carga superficial tiene un mayor efecto de adsorción que de todos los otros iones y particularmente de aquellos cargados aparentemente en la superficie ya que funcionarían como contra-iones para garantizar la electroneutralidad (los colectores de flotación generalmente tienen una función de contra-iones activadores superficiales). (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

### **2.3. TEORÍAS DE LA FLOTACIÓN DE SULFUROS**

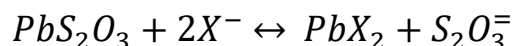
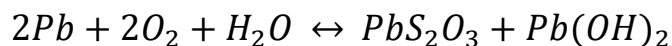
La flotación de sulfuros es un proceso aún con muchas interrogantes, que los investigadores aún continuarán estudiando. Hasta el momento han explicado tres teorías que con un mayor menor grado de competencia son responsables de la flotabilidad de estos minerales. Estas teorías son:

- 1) Teoría química o de la oxidación superficial.
- 2) Teoría de los semiconductores.
- 3) Teoría electroquímica o del potencial mixto

#### **2.3.1. TEORÍA QUÍMICA O DE LA OXIDACIÓN SUPERFICIAL**

En un medio acuoso alcalino, la mayoría de los minerales sulfurados sufren una muy delgada película de oxidación superficial. Un caso particular es la galena (PbS) para la cual existen numerosos estudios que demuestran que la superficie estaría recubierta por especies oxidadas, especialmente de una sustancia denominada tiosulfato básico de plomo. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

La reacción con un xantato ocurriría por mediación de esta película oxidada, operando un mecanismo de intercambio iónico, el cual se resume en las siguientes reacciones:



De esta forma se explica la formación de un recubrimiento del colector formando un xantato de plomo, el que sería responsable de la hidrofobización de la partícula de galena. Sin embargo, los resultados de varios investigadores han mostrado que superficies de plomo recubiertas con este compuesto, continúan siendo hidrofílicas. Este mecanismo de oxidación superficial es poco realista para metales como el platino y el oro; y ha mostrado ser poco importante para el cobre y galena, en algunas experiencias en que se ha adicionado xantato a superficies libres de especies oxidadas. (Bueno Bullón, 2003)

### 2.3.2. TEORÍA DE SEMICONDUCTORES

Esta teoría presenta una diferencia fundamental con la anterior, puesto que atribuye la hidrofobización a la formación de una especie oxidada del colector, un disulfuro orgánico conocido como dixantógeno, el que se formaría directamente sobre la superficie mineral. El rol del oxígeno, que es un fuerte aceptor de electrones, se interpreta en el sentido que su adsorción tomaría los electrones libres de las capas superficiales del cristal del sulfuro semiconductor, de modo que de conductor tipo n pasaría a tipo p. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

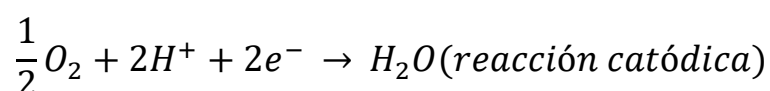
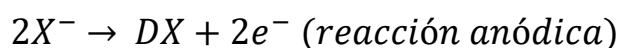
Cuando las bandas de conducción de un sulfuro semiconductor son electrones en exceso, se habla de semiconductores tipo n (negativos), mientras que cuando las bandas están representadas por huecos, se tiene semiconductores tipo p (positivos). Así, la adsorción de especies aniónicas como el xantato, estaría favorecida sobre una especie semiconductor tipo p. La oxidación del xantato a dixantógeno se produciría por el pase de un electrón a la red cristalina, debido a la presencia de huecos (ausencia de electrones



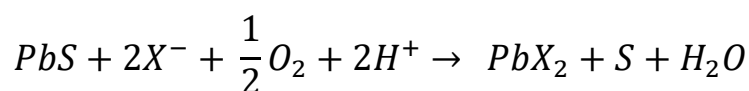
libres). El dixantógeno por ser una molécula neutra permanece coadsorbido físicamente en la película del colector, confiriéndole a la superficie una fuerte hidrofobización. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

### 2.3.3. TEORÍA ELECTROQUÍMICA O DEL POTENCIAL MIXTO

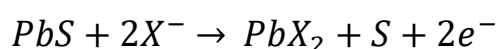
La teoría electroquímica propone la ocurrencia de dos reacciones en la superficie del mineral, superficie que sólo actuaría como catalizador de éstas. Estas reacciones son la oxidación del Xantato a dixantógeno con reducción del oxígeno disuelto en el agua. Esto es:



Enfoque que es igualmente aplicable a reacciones de química de adsorción, así por ejemplo:



Comprende la reacción anódica:



y la reacción de reducción del oxígeno.

Toda la evidencia experimental que apoya esta teoría se ha obtenido mediante curvas de polarización y potenciales mixtos de electrodos de metales y minerales, en conjunto con mediciones de ángulos de contacto en pruebas de flotación. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

## 2.4. VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA FLOTACIÓN

El número de variables que influyen en el proceso de flotación es bastante extenso, pero Gutiérrez y Sepúlveda han esquematizado la relación existente entre las diferentes etapas previas y flotación en sí. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Tabla N° 2: Principales Variables de la Flotación.**

Material de alimentación	Molienda/Clasificación	Etapas de Acondicionamiento	Flotación
Naturaleza de las especies valiosas (principales y secundarias)	Fineza granulométrica	Densidad de pulpa	Densidad y tamaño de las partículas
Ganga asociada	Dureza del mineral y la ganga	Reactivos químicos agregados	Densidad de pulpa
Constituyentes solubles de la mena	Tiempo relativo de las especies minerales en el circuito de molienda	Secuencia de adición de reactivos	Carga circulante
Grado de oxidación de la mena	Tipo de medios de molienda	Temperatura de la pulpa	Tiempo de flotación
Grado de la alcalinidad o acidez de la pulpa	Grado de oxidación durante la molienda	Tiempo medio de acondicionamiento	Geometría de la celda RPM de agitación grado y tipo de aireación
Grado de diseminación y tamaño de liberación de las especies valiosas	Reactivos agregados a la molienda	pH de acondicionamiento	Altura de la espuma
	Densidad de pulpa y tiempo de molienda		Tipo de reactivos químicos

**Fuente:** HENLEY, K.J., (1975), Mineralogía de mineral de oro y su relación con el tratamiento metalúrgico: Mineral, Science and Engineering, vol. 7, no. 4, pp. 289-312.

## 2.5. FLOTACIÓN FLASH

Es un método descrito como el Flash Flotación que significa Flotación Rápida, y que consiste en la flotación instantánea de partículas valiosas desde un circuito de Molienda-Clasificación. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

El Concepto de Flotación Flash, se basa en una Celda de flotación especial instalada en el circuito de molienda, la que procesa el material grueso que tradicionalmente es retornado desde el underflow del Hidrociclón directamente al molino. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

La flotación flash es un proceso que está siendo incluido en muchas plantas de procesamiento de mineral como parte del circuito de molienda. Muchos de los minerales valiosos son liberados a menudo en los tamaños gruesos, sin embargo, estas partículas recirculan en el circuito de molienda con altas cargas circulante en las arenas del ciclón.

Además, los minerales de alta densidad son clasificados a las arenas del ciclón a pesar de ser de un tamaño muy fino. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

### **2.5.1. VARIABLES DE FLOTACIÓN FLASH**

- a) Recuperación del proceso entre 40 % - 60 %
- b) Tamaño de 350 micrones.
- c) Celdas Dimensionales: Las celdas son dimensionadas en función de su tonelaje de alimentación y normalmente opera con el flujo de la carga circulante dentro del circuito de molienda.
- d) Capacidad : De 15 a 2400 TPH.
- e) Densidad recomendable es de 1800 gr/lit.

### 2.5.2. FINALIDAD DE FLOTACIÓN FLASH

Como método la Flotación Flash, en su aplicación constituye una herramienta, que sirve para el Proceso de Optimización de Plantas Concentradoras Polimetálicas, donde tienen diferentes gravedades específicas por cada especie mineralógica, y donde el Sulfuro de Plomo (Galena), generalmente sufre sobremolienda por su mayor tiempo de residencia recirculando en el Underflow del Hidrociclón, los cuales se convierten posteriormente en pérdidas metálicas de valores. (Martínez, Rojas, & Llantén, 2012)

Las celdas de Flotación Flash, disminuyen la sobremolienda a través de una flotación muy selectiva. Esta Flotación selectiva debe ser evaluada en el Underflow del Hidrociclón y, en las descargas de los Molinos Primarios y Secundarios en el Circuito de Molienda – Clasificación; es decir, la idea es la de captar o separar en éste caso el Sulfuro de Plomo (Galena), tan pronto el proceso lo permita. (Coleman, 2017)

### 2.5.3. USOS POTENCIALES DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH

El uso de una Celda de Flotación Flash puede facilitar cuando:

- 1) Distintos tipos de minerales presentes en algunas actividades productivas presentan diferencias entre su gravedad específica y los posibles tamaños de liberación. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)
- 2) En minería de Polimetálicos, donde se pueden extraer minerales como Plomo (Pb), donde la diferencia de densidad es notable, siendo posible realizar Flotación Flash de Plomo para evitar sobre moliendas. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

- 3) En la Mineralización, donde se encuentran minerales como el Cobre (Cu) y Oro (Au). Donde el último por la diferencia de densidad y diferencia en tamaño de liberación pueda separarse mediante Flotación Flash. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

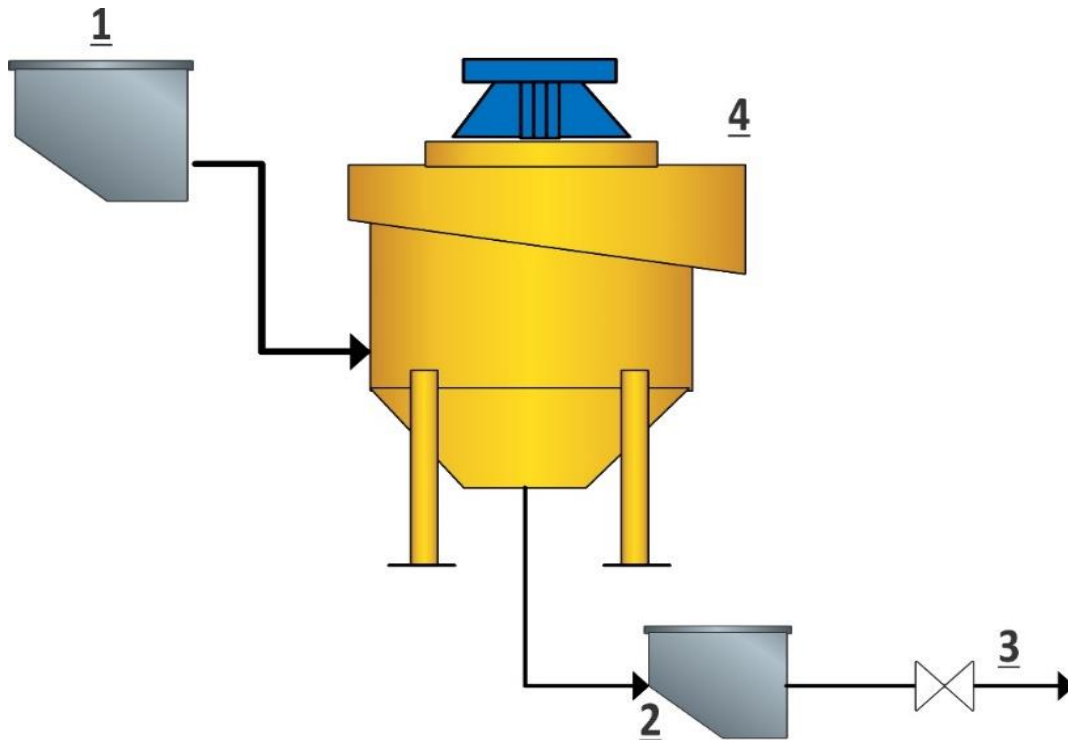
#### **2.5.4. BENEFICIOS QUE BRINDA LA FLOTACIÓN FLASH**

- 1) Brinda menor remolienda de valores.
- 2) Incremento de La Recuperación típica.
- 3) Mejor humedad de concentrados.

#### **2.5.5. PARÁMETROS DE OPERACIÓN**

El funcionamiento de la Celda de Flotación Flash, inicia cuando ésta es Alimentada con Pulpa, la cual es de una Granulometría gruesa (Tamaño de 350 micrones), de manera que las partículas más gruesas que no pueden flotar son descargadas, evitando su arenamiento.

El Nivel de Pulpa es medido y controlado de manera automática juntamente con una válvula de descarga que permite que en la celda exista una buena mezcla de la Pulpa. (Martínez, Rojas, & Llantén, 2012)



**Figura N° 12: Puntos de Operación de una Celda de Flotación Rápida**

Los Parámetros que más influyen en la Operación de una Celda de Flotación Rápida, son los siguientes:

- 1) El cajón de alimentación a la Celda de Flotación Rápida debe ser de un Volumen adecuado, de manera que éste permita disminuir las fluctuaciones de flujo debido a las variaciones de la carga circulante. La alimentación de la Pulpa del cajón hacia la Celda de Flotación Rápida se produce mediante una placa de alimentación ajustable de manera que el flujo alimentado a la Celda sea lo más constante posible. (Martínez, Rojas, & Llantén, 2012)
- 2) En la descarga de la Celda, antes de la válvula de control automático debe colocarse también un cajón que permita disminuir las fluctuaciones de flujo producto de la corrección de pulpa a cargo del Sensor de nivel. (Martínez, Rojas, & Llantén, 2012)

- 3) La válvula Pinch ubicada en la parte inferior del tanque, es empleada para el control de Nivel de la Pulpa. La Válvula opera por un actuador neumático. Cuando es fijado en el modo automático, el controlador realiza un control automático de la posición de la válvula de acuerdo al nivel de pulpa medido en el tanque. (Martínez, Rojas, & Llantén, 2012)
- 4) Control de Nivel de Pulpa, la cual tiene relación directa con la operación de la válvula automática de la descarga de la Celda. (Martínez, Rojas, & Llantén, 2012)
- 5) Para la alimentación de Pulpa hacia la Celda de Flotación Rápida, la densidad recomendable es de 1800 gr/lt; y, la dosificación de Reactivos debe ser en cantidades controladas. (Martínez, Rojas, & Llantén, 2012)

#### **2.5.6. CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE LA CELDA DE FLOTACIÓN**

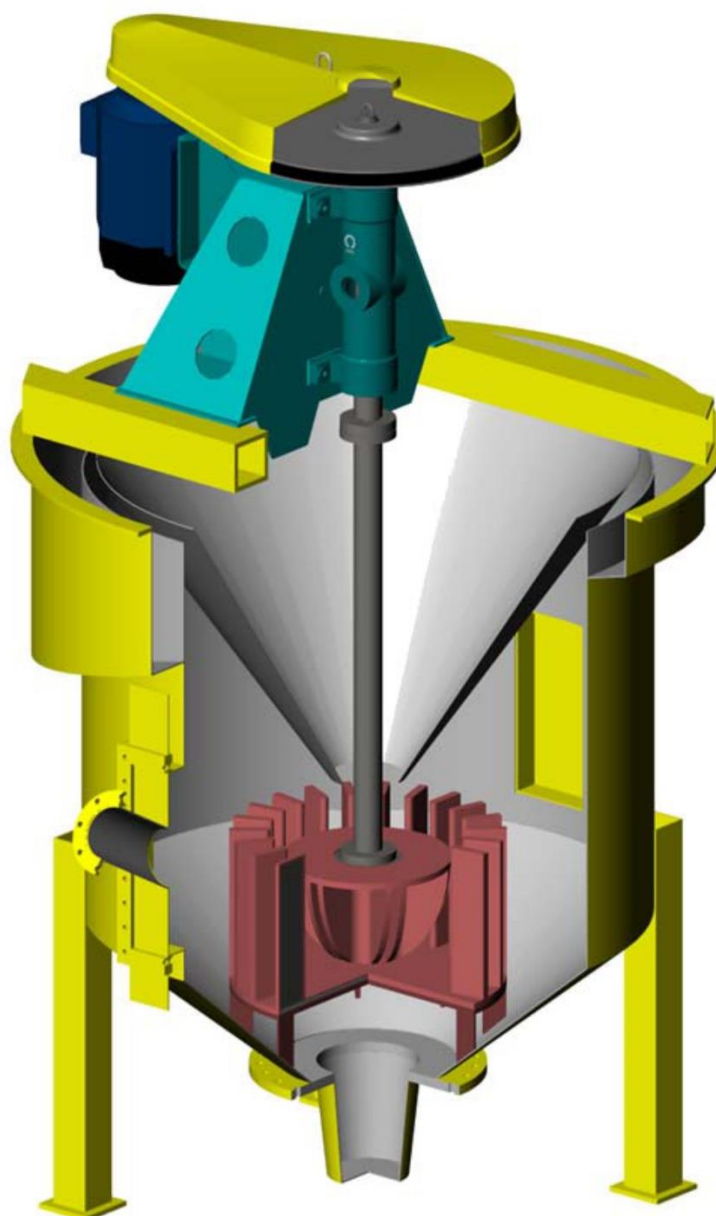
La capacidad de una celda de flotación para tratar un mineral depende de las condiciones que pueden determinarse por la experiencia y los trabajos de pruebas. La densidad de pulpa y el tiempo de contacto necesario afectan sustancialmente la capacidad de una máquina de flotación. Con estos factores conocidos de trabajos anteriores o los resultados de las pruebas, el tamaño de la máquina puede ser determinado. Tres condiciones son los factores para determinar el tamaño correcto de la máquina y del número de celdas: capacidad, volumen, y resultados de las pruebas de flotación. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

##### **a) Capacidad:**

El tiempo de contacto necesario para la flotación de un mineral es uno de los factores determinantes a la hora de calcular la capacidad de la celda de flotación. Si un mineral tiene una flotación lenta y requiere flotante doce minutos de tiempo para su tratamiento,

y otro mineral tiene una flotación rápida, pero requiere tratamiento de seis minutos, es evidente que una máquina de sólo la mitad de la capacidad es necesario en última instancia. La densidad de la pulpa y de la gravedad específica de los sólidos controlan los pies cúbicos de pulpa que deben ser tratados por la máquina de flotación, por lo que son factores determinantes a la hora de calcular el tiempo de flotación. Las capacidades recomendadas para las celdas de flotación “Sub-A” son valores conservadores que se basan en años de operación en campo para el tratamiento de muchos tipos de material. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)





*Figura N° 13: Celda de Flotación Flash 3D, vista interior en 3D.*

**b) Volumen:**

El volumen de la celda de flotación debe ser conocido, ya que el volumen de la máquina de flotación determina el tiempo disponible para que la flotación de los minerales valioso se realice. Por lo tanto, la capacidad de cualquier máquina de flotación depende del volumen. Todas las celdas de flotación teniendo el mismo volumen tendrá aproximadamente la misma capacidad, teniendo en cuenta la potencia, la eficiencia del

impulsor y la aireación. Como el tiempo de flotación es muy importante en cualquier máquina de flotación, el contenido real de cualquier máquina debe verificarse cuidadosamente, así como las determinaciones exactas de los parámetros característicos de la pulpa. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

### c) Resultados:

Los resultados metalúrgicos de la celda de flotación tendrán considerables repercusiones en la capacidad instalada. Varias etapas de limpieza pueden ser necesario para dar un concentrado de alta ley y esto puede lograrse mediante el uso de la celda “Sub-A”, normalmente en una máquina sin recurrir a las bombas para recircular los flujos intermedios. Los resultados con celdas de igual volumen no serán necesariamente igual, porque ellos no pueden ser igualmente eficaces. Puede ser bastante fácil para pasar la pulpa a través de una máquina de flotación, pero tener una máquina que proporciona un concentrado de alta ley, tratar flujos intermedios y dar relaves con bajo contenido de valores es una de las ventajas obtenidas por el uso de las celdas “Sub-A”. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

Los mejores resultados se obtienen con la celda de flotación “Sub-A” a un costo mínimo, ya que la celda recupera el mineral en el tamaño crítico en una celda totalmente protegida contra el desgaste. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

A continuación, se muestran problemas de cálculo para ilustrar el método para calcular el número de celdas requeridas. A fin de asegurar la máxima capacidad de tratamiento del mineral, y para producir un concentrado de alto grado, lo mejor es contar con el volumen total dividido en al menos cuatro celdas y preferiblemente seis celdas, cada celda separada, de modo que puedan utilizarse para la flotación inicial de desbaste, y en las

etapas de limpieza necesarias. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

Para determinar el número de celdas de flotación requeridas multiplicar el tonelaje propuesto por día (24 horas) por el tiempo (número de minutos necesarios para la flotación del mineral), a continuación, dividir este producto por la cifra indicada en la tabla. Esta cifra se obtuvo tomando en consideración el tamaño de la máquina (encontrar la línea horizontal dando la dilución de la pulpa y la línea vertical dando la gravedad específica del mineral; el resultado buscado estará en el punto de intersección. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

**Tabla N° 3: Capacidad estándar y tamaños de las máquinas de flotación tipo Denver**

Tamaño de la Máquina	Capacidad Tons por hora	Volumen de la Celda pie <sup>3</sup>			Tamaño de Motor	Dimensiones Aproximadas Largo Ancho Alto Por 2 Celdas
		Total (pie <sup>3</sup> )	Neto (pie <sup>3</sup> )	Neto (L)	Por 2 Celdas	
No. 5	0.05 to 0.10	0.32	0.25	7	0.75	24" x 20" x 10"
No. 7	0.10 to 0.25	1.35	1	28	1	32" x 26" x 12"
No. 8 (16 x 16)	1-5	2.95	2.5	70	1.5	3' - 8" x 3' - 2" x 3' - 0"
No. 12 (22 x 22)	3-8	10	8	225	2	5' - 4" x 4' x 2" x 4' - 8"
No. 15 (24 x 24)	4-10	12	10	283	3	5' - 10" x 4' x 6" x 4' - 8"
No. 18 (28 x 28)	6-20	18	16	453	5	6' - 4" x 5' x 0" x 5' - 2"
No. 18 SP. (32 x 32)	9-25	24	19.5	552	5	7' - 2" x 5' - 1" x 5' - 8"
No. 21 (38 x 38)	12-35	40	35	991	7.5	8' - 5" x 5' - 6" x 6' - 8"
No. 24 (43 x 43)	14-40	50	40	1132	10	9' - 4" x 5' - 10" x 7' - 0"
No. 30 (56 x 56)	32-80	100	80	2264	20	12' - 0" x 7' - 7" x 8' - 0"
No. 72 (72 x 72)	40-110	200	160	4528	30	14' - 8" x 6' - 10" x 9' - 2"

**Fuente:** Coleman Rob, Skim-Air flash flotation laboratory procedure, (2017)

**Tabla N° 4: Capacidad de la celda N° 18 Especial (32x32) y Gravedad Especifica del mineral de tipo Denver Sub-A**

Maquina de Flotación	Dilución de la Alimentación		Gravedad Especifica								
			4.6	4.2	3.8	3.4	3.2	3	2.7	2.2	1.4
No. 18 Especial (32 x 32) Denver "Sub A" Volumen 24 pies cúbicos (680 L) por Celda	Agua a Sólidos	Porcentaje de Sólidos	Pies Cúbicos Ton								
			7	7.6	8.4	9.4	10	10.7	11.9	14.6	22.9
	1-1	50	885	873	853	833	822	811	788	743	630
	11 / 2-1	40	628	622	613	601	595	590	577	553	488
	2-1	33	481	476	471	465	462	457	450	434	393
	21 / 2-1	28	388	384	381	377	374	372	367	357	328
	3-1	25	336	333	331	327	325	324	320	312	291
	21 / 2-1	22	287	285	283	281	280	278	275	269	253
	4-1	20	256	254	253	251	250	249	247	242	229
	41 / 2-1	18	225	225	223	222	221	221	210	215	204
	5-1	16	197	197	196	194	194	193	192	189	181
	51 / 2-1	15	183	182	182	181	180	179	178	176	169
6-1	14	169	169	168	167	167	166	166	163	157	

**Fuente:** Coleman Rob, Skim-Air flash flotation laboratory procedure, (2017)

### 2.5.7. CAPACIDAD EN UNA CELDA FLASH SkimAir® DE OUTOKUMPU

La flotación flash de Outokumpu corresponde a una tecnología, que en su forma básica o convencional, se desarrolló en la década de los 80 y que ha ido constantemente introduciendo mejoras y nuevos desarrollos que permiten incrementar los beneficios que esta ofrece. (Coleman, 2017)

La flotación Flash es la flotación "rápida" de partículas liberadas de alto grado de la carga de recirculación en el circuito de molienda. El concepto ha existido durante casi ochenta años, aunque solo recientemente los circuitos de flotación a gran escala se han convertido en una realidad. El proceso es ampliamente conocido, sin embargo, no se entiende ampliamente. (Coleman, 2017)

Su campo de aplicación está ligado principalmente a los minerales de oro, destacándose también el tratamiento de otros minerales tales como los de níquel, platino, zinc, plomo y cobre, por nombrar solo algunos. (Coleman, 2017)

Los países que se destacan por el uso de la tecnología son principalmente: Australia, Sudáfrica, Zambia, Indonesia, USA, Brasil y Perú. (Coleman, 2017)

En Chile, la tecnología fue utilizada con bastante éxito en El Indio y en la actualidad se proyecta para futuras concentradoras. (Coleman, 2017)

#### **a) ¿Por qué Flotación Flash funciona tan bien?**

Como los minerales valiosos son blandos en comparación con la roca hospedadora, con una densidad de sólidos significativamente mayor, tienden a concentrarse en la carga recirculante del circuito de molienda. Esto puede llevar a la molienda excesiva de los minerales valiosos hasta que se reporten al desbordamiento del ciclón, lo que a su vez puede llevar a una menor recuperación en el circuito de flotación. En comparación, las condiciones de flotación son significativamente mejores en la corriente de subdesbordamiento del ciclón que en el desbordamiento del ciclón (alimentación de flotación) debido a la presencia de partículas liberadas que flotan rápidamente en esta corriente. Las partículas de flujo inferior del ciclón también tienden a tener superficies más limpias y menos oxidadas y no son demasiado finas para la flotación (es decir, menos lodos). Por lo tanto, la instalación de una celda de flotación especialmente diseñada en el circuito de molienda puede mejorar significativamente el rendimiento de la planta. Hay varios diseños de Flash Flotation en el mercado, pero como este proceso es bastante complejo para "hacerlo bien", es particularmente importante elegir un proveedor con experiencia y un historial comprobado. El diseño típico de la flotación flash de Outotec, SkimAir®. (Coleman, 2017)

**b) ¿Cómo funciona la flotación flash?**

La alimentación al SkimAir® proviene de una caja de distribución que divide el flujo insuficiente del ciclón. Típicamente, la mitad a dos tercios de la corriente de subdesbordamiento del ciclón se desvía al SkimAir®, y el resto de la corriente regresa a la alimentación del molino. También se agrega agua de dilución a la alimentación para reducir la densidad de sólidos a aproximadamente el 65%. Aunque el rendimiento óptimo de flotación es a una densidad de sólidos más baja, esto requeriría más agua de dilución y, como la mayoría de los informes de alimentación a los relaves, el agua adicional regresa al molino, lo que reduce el rendimiento del molino. Por lo tanto, es un acto de equilibrio entre el rendimiento del molino y el rendimiento de SkimAir®. (Coleman, 2017)

Las partículas de tamaño adecuado en la alimentación se ponen en contacto con aire en el mecanismo, las partículas liberadas que flotan rápidamente se flotan a la superficie y luego se recuperan en el concentrado. El tirón de masa para concentrarse es típicamente de 1 a 2% y puede ser de un grado suficientemente alto para mezclarse directamente con el concentrado de circuito convencional. (Coleman, 2017)

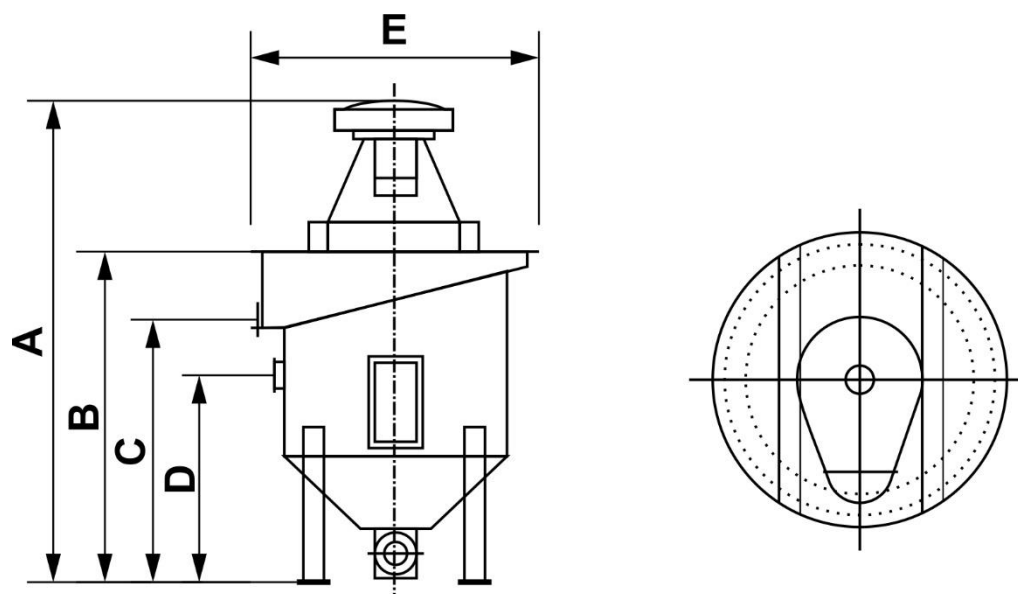
Las partículas en la alimentación que son demasiado gruesas para suspenderse y flotar se segregan a los relaves a través de un piso del tanque de forma cónica. Estas partículas simplemente pasan por alto el SkimAir® y regresan al molino para seguir moliendo. Por lo tanto, el tamaño de las partículas en la alimentación al SkimAir® puede ser tan grande como 10 mm. En otras palabras, el SkimAir® actúa como una celda de flotación y un clasificador. (Coleman, 2017)

Se presentan las dimensiones y datos técnicos de la celda SK-240, dicha información es obtenida a partir de los catálogos del fabricante. (Coleman, 2017)

Tabla N° 5: Información técnica de la celda SK-240 según catálogo del fabricante.

### Technical specifications

	Flotation mechanism		Motor		Flotation Air	
	Diameter [mm]	rpm	Installed [kW]	Consumption [kW]	Min. pressure at sheft [kPa]	Consumption/mechanism [m <sup>3</sup> /min]
SkimAir® - 2400	1400	92	175	105 - 135	77	10 - 25
SkimAir® - 1200	1200	97	132	80 - 100	55	4 - 10
SkimAir® - 500	900	130	55	35 - 45	44	1 - 6
SkimAir® - 240	650	157	22	8 - 13	38	1 - 3
SkimAir® - 80	500	185	11	3 - 5	22	0.5 - 1
SkimAir® - 40	400	210	5.5	2 - 4	17	0.3 - 0.8
SkimAir® - 15	200	370	2.2	1 - 1.5	12	0.2



### Technical specifications

	Diameter [mm]	A	B	C	D	E	Weight [kg]
SkimAir® - 2400	1400	9600	7200	4900	3800	6600	30600
SkimAir® - 1200	1200	8400	5700	4000	2800	4960	23000
SkimAir® - 500	900	6270	5000	3650		4040	8900
SkimAir® - 240	650	4520	3120	2280		2760	3800
SkimAir® - 80	500	3390	2400	1740		1900	1800
SkimAir® - 40	400	2920	2175	1575		1640	1260
SkimAir® - 15	200	1970	1315	800		1290	350

Fuente: Coleman Rob, Skim-Air flash flotation laboratory procedure, (2017)



### **2.5.8. CONSIDERACIONES SOBRE USO DE LA FLOTACIÓN FLASH**

El Método de Flotación Flash (Flotación Rápida), debido al corto tiempo de residencia requerida, presentan innovaciones importantes a tener en cuenta, como:

- a) Es posible flotar un concentrado de ley final a partir del Underflow del ciclón o de la descarga de los molinos Secundarios, obteniendo una buena recuperación. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)
- b) Flotar Minerales valiosos en el Circuito de Molienda, para evitar la sobremolienda y producir concentrados gruesos, fáciles de filtrar, que es una manera eficaz de aumentar la rentabilidad de las concentradoras de hoy en día. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)
- c) El método Flotación Flash, disminuye las variaciones de las Leyes del mineral de alimentación y junto con una alta recuperación posibilita la disminución del volumen del circuito de flotación Convencional. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)
- d) La estructura de una máquina de flotación especial demostró ser eficiente en una Operación Continua, capaz de tratar material grueso en densidades de pulpas altas (como las descargas de los molinos Primarios o Secundarios), sin originar avenamiento. (Manzaneda Cabala J. , Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha, 2004)

### **2.5.9. USOS PRINCIPALES DE LAS CELDAS DE FLOTACIÓN FLASH**

El Método de las Celdas de Flotación Flash, principalmente son utilizados, para:

- 1) Minería de metales pesados en General.



2) Minería de Plomo (Pb).

3) Minería de Oro (Au).

#### **2.5.10. VENTAJAS DEL USO DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH**

En la Minería de Polimetales, como el caso materia de estudio donde se extraen minerales como el Plomo (Pb), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Plata (Ag), y otros; el uso de una Celda de Flotación Flash (Rápida), frente a una Flotación Convencional, permite dar ventajas en el proceso, en los aspectos que se indican:

- Minimiza la Sobremolienda de los minerales valiosos.
- Concentrados finales de alta ley, son responsables sólo en una etapa.
- Volúmenes menores en las Celdas convencionales.
- Se reduce también la carga circulante en el circuito de molienda, posibilitándose así una tasa de procesamiento más alta y un control más constante.
- Mejora en el proceso de Filtración.
- Aumenta la recuperación Global, aprovechando las buenas características del mineral para la flotación.

#### **2.5.11. DESVENTAJAS DEL USO DE UNA CELDA DE FLOTACIÓN FLASH**

- 1) Se requiere disminuir la densidad de Pulpa para la alimentación Flash.
- 2) El Tamaño de equipos.
- 3) Mayor Clasificación en las zonas superiores de las Celdas.
- 4) El Tiempo de Residencia.

- 5) Se debe encontrar un equilibrio entre la mejor recuperación de metales de valor y la disminución de Recuperación debido a baja densidad de Pulpa en Molienda.
- 6) El DUAL OUTLET, mantiene densidades de pulpa en la alimentación del molino a nivel aceptable para no perder eficiencia de Molienda y controla densidad óptima en la Flotación Flash.

## 2.6. MARCO TEÓRICO SOBRE CIENCIAS METALÚRGICAS RELACIONADAS CON LA FLOTACIÓN FLASH

### 2.6.1. MINERALOGÍA

Es la rama de la Geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación. (Vargas Gallardo, 1990)

La ciencia de la mineralogía trata de los minerales de la corteza terrestre y de los encontrados fuera de la tierra, como las muestras lunares o los meteoritos; de la identificación de esos minerales y del estudio de sus propiedades, origen y clasificación. (Vargas Gallardo, 1990)

**La Mineralogía Descriptiva:** Estudia las propiedades y Clasificación de los minerales individuales, su localización, sus formas de aparición y sus usos. (Vargas Gallardo, 1990)

**La Mineralogía Determinativa:** Se dedica a la Identificación de los minerales en función de sus propiedades químicas, físicas y cristalográficas. (Vargas Gallardo, 1990)

### 2.6.2. GRANULOMETRÍA

Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica. (Vargas Gallardo, 1990)

Según la Real Academia Española:

- 1) Parte de la Petrografía que trata de la medida, del tamaño de las partículas, granos, y rocas de los suelos.
- 2) Tamaño de las piedras, granos, arena, etc. Que constituye un árido o polvo.

El Método de Determinación de la Granulometría más sencillo es hacer pasar las partículas por una serie de Mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores) que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente COLUMNA DE TAMICES. Pero para una medición más exacta se usa el granulómetro Laser, cuyo rayo difracta en las partículas para poder determinar su tamaño. (Vargas Gallardo, 1990)

### **2.6.3. INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN PRUEBAS DE FLOTACIÓN**

En el proceso de la flotación están involucradas un gran número de variables. Cada una de ellas inciden en determinada forma en el proceso; es por esto que hay que buscar un equilibrio entre todas ellas para así lograr resultados óptimos tanto metalúrgica como económicamente. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

La flotación de minerales es un método de concentración, muy complejo, el cual consiste en la separación selectiva de minerales de interés que se efectúa de acuerdo con sus propiedades superficiales de adhesión a burbujas de aire. Además, aprovecha las propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas que presentan dichos minerales. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

***Baja mojabilidad ≡ Hidrofobicidad***

NOTA: La **adhesión** es la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

En el contexto fisicoquímico, el término **hidrofobicidad** se aplica a aquellas sustancias que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

Un sólido es hidrofóbico debido a su estructura cristalina y a interacciones débiles del tipo Van Der Waals (en capas) de modo que se unen mejor con la fase gaseosa. (Azañero Ortiz, Concentración y Flotación de Minerales, 2015)

En la naturaleza existen muy poco minerales que presentan superficies con características hidrofóbicas, entre los cuales podemos mencionar a Molibdenita, Azufre, Grafito, Talco entre otras. Por lo general la superficie de los minerales presentan superficies hidrofílicas, o, en otras palabras, con un grado de hidrofobicidad pequeño que no es el suficiente para que flote. (Kelly G. & Spottiswood J., 1990)

La propiedad de flotabilidad natural se explica, por la estructura cristalina de dichas especies, que es de tipo laminar, que expone hacia la solución caras inertes, con escasa posibilidad de interactuar con el agua. (Kelly G. & Spottiswood J., 1990)

Para solucionar dicho inconveniente se hace necesario el uso de reactivos químicos que ayuden a cambiar las características superficiales de las partículas para que así ellas logren convertirse en una partícula hidrofóbica. (Kelly G. & Spottiswood J., 1990)

Los reactivos que se consideran para el proceso de la flotación podemos dividirlos en tres grupos: *Colectores*, *Espumantes* y *Modificadores*. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Colectores:** Presenta la propiedad de inducir hidrofobicidad sobre las superficies de las partículas hidrofílicas. Dichos colectores deben ser selectivos es decir actuar en las superficies de las partículas de interés. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Espumantes:** Son agentes tensoactivos que presentan como principal función la generación de espuma de buena calidad ya que es ella la que permite la evacuación del sistema de las partículas que han flotado. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Modificadores:** Son agentes que modifican el ambiente de la pulpa para que así puedan actuar los colectores más eficientemente haciendo que ellos aumenten su rendimiento. Entre ellos podemos encontrar a modificadores de pH, depresores y activadores. (Linares Gutiérrez, 2001)

La acción de los colectores, activadores y depresores afectan el medio químico de la pulpa favoreciendo o reduciendo la probabilidad de formación de los agregados partícula burbuja. Sin embargo, la fase espuma es también importante en la flotación debido al drenaje selectivo de las especies minerales hacia la pulpa, lo que contribuye en gran medida a la selectividad de la operación. (Linares Gutiérrez, 2001)

Pero estos reactivos que ayudan el proceso van a depender para presentar un buen rendimiento de otras variables. Entre estas variables una de la más importante es la granulometría de las partículas (grado de liberación adecuado) en general se tiende a moler lo menos posible debido al alto costo de la operación, esto está limitado por el tamaño de la partícula y el grado de liberación de la especie útil. (Linares Gutiérrez, 2001)

La granulometría que generalmente se busca en la etapa primaria está entre el 45 al 60% - # 200 Ty. Este tamaño de partícula se logra con una molienda antes de dar inicio al proceso. Para la etapa de limpieza, conocida también como cleaner, en algunas

oportunidades es necesario que las partículas presenten un grado mayor de liberación; para lograrlo en algunos casos es necesario tener una remolienda. (Linares Gutiérrez, 2001)

Es por esta razón que este laboratorio se verá como incide el efecto de la granulometría en el proceso de la flotación y cuán importante es la determinación del tiempo óptimo de molienda. (Linares Gutiérrez, 2001)

También existe un porcentaje de sólido óptimo del proceso, por cuanto incide en el tiempo de residencia del mineral en el circuito. Para minerales de cobre porfídico se consideran los siguientes porcentajes de sólidos:

- **Etapa primaria:** 30 a 45 %.
- **Etapa de limpieza:** 15 a 20 %.

Otras variables que influyen en el proceso de flotación son:

- Tipo y dosificación de reactivos.
- Densidad de pulpa.
- Aireación y acondicionamiento.
- Regulación del pH.
- Tiempo de residencia.
- Temperatura.
- Calidad del agua.
- Envejecimiento de pulpa.
- Envejecimiento de muestra.

#### 2.6.4. CINÉTICA DE FLOTACIÓN

Generalmente se considera a la flotación como un proceso de primer orden, la constante cinética estimada de este principio no debe ser única ya que representará un promedio de

una serie de constantes que dependen de la concentración de la especie mineralógica y de su granulometría en que será flotada. (Linares Gutiérrez, 2001)

Por lo anterior, es fácil asegurar que la constante cinética de flotación disminuirá aguas abajo del circuito debido a la extracción progresiva del material valioso flotable.

El aspecto expuesto anteriormente es la restricción más importante para que la teoría cinética de flotación no tenga una aplicación rigurosa, sin embargo, es posible aceptar que su aplicación proporcione información valiosa para estimar performances de circuitos tentativos de flotación. (Linares Gutiérrez, 2001)

Se tiene las siguientes condiciones:

$$\begin{array}{cc} C_0 & C_t \\ \text{tiempo} = 0 & \text{tiempo} = t \end{array}$$

Para una flotación batch se acepta que la velocidad de cambio para concentración que se describe en el siguiente modo:

$$-dC/dt = f(C) \quad (1)$$

Donde  $f(C)$  es una función de la concentración  $C$ , si la reacción es de primer orden  $f(C)$  puede ser remplazada por  $KC$  siendo  $K$  la constante cinética, luego remplazando en (1):

$$-dC/dt = KC \quad (2)$$

Integrando la ecuación (2) entre las concentraciones  $C_0$  al inicio de la flotación y  $C_t$  después de un tiempo  $t$  se obtiene:

$$C_t = C_0 (\exp(-Kt)) \quad (3)$$

La proporción que ha reaccionado, que corrientemente toma el nombre de recuperación (R) se da por la siguiente expresión:

$$R = 1 - C_t/C_0 = 1 - \exp(-Kt) \quad (4)$$

Se utilizaron las siguientes ecuaciones para el análisis de la cinética de flotación en la planta concentradora San Carlos (Unidad Económica Administrativa) de la **EMPRESA MINERA SILVER MINSAPERU S.A.C.:**

#### **AGAR & BARRET**

$$R_t = R_\infty (1 - e^{-k(t+\theta)})$$

#### **GARCIA – ZUÑIGA**

$$R_t = R_\infty (1 - e^{-kt})$$

#### **KLIMPELL**

$$R_t = R_\infty \left(1 - \frac{1}{kt} (1 - e^{-kt})\right)$$

Donde la recuperación de la especie valiosa en las espumas es:

$$R = \frac{C_0 - C}{C_0}$$

ya que  $C_0 - C$  es la cantidad de material valioso que floto y  $C_0$  es la cantidad de material valioso inicial (esto considerando que el volumen permanece constante).

El cálculo de las constantes  $R_\infty$ ,  $k$ ,  $t$ ,  $\theta$  se realizaron utilizando el **COMANDO SOLVER de la hoja de cálculos EXCEL.**



## 2.7. MARCO CONCEPTUAL

### 2.7.1. ASPECTOS GENERALES

**Ensayo:** Análisis químico de un mineral, concentrado o metal para determinar la cantidad de especies valiosas. Normalmente las leyes de metales preciosos se dan en onzas por tonelada corta o gramos por tonelada métrica, mientras que las leyes de metales no preciosos se expresan en porcentaje. (Vargas Gallardo, 1990)

**Ganga:** Roca u otro material sin valor dentro del cual se encuentran incluidos los minerales valiosos. Es el conjunto de minerales que, en un yacimiento, se encuentra en la roca explotada junto a la mena. La ganga hace que la ley del metal disminuya, por lo que es necesario separarla de la mena, como primera etapa en la concentración. (Vargas Gallardo, 1990)

**Ley:** Cantidad de metal valioso en cada tonelada de mineral. Se expresa en onzas troyano por tonelada para los metales preciosos y como porcentaje para otros metales o no metales. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Mena:** Una mena es un mineral del que se puede extraer un elemento, un metal generalmente, por contenerlo en cantidad suficiente para ser aprovechado. Así, se dice que un mineral es mena de un metal cuando mediante minería es posible extraer ese mineral de un yacimiento y luego mediante metalurgia obtener el metal de ese mineral, las menas suelen ser óxidos, sulfuros o silicatos. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Muestra:** Es una pequeña porción de materia que representa a una cantidad mayor o todo y que permita la determinación de la calidad de cada uno de los componentes. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Oro:** Es un metal de transición blando, brillante, amarillo, pesado, maleable y dúctil. El oro no reacciona con la mayoría de los productos químicos, pero es sensible al cloro y al agua regia, este metal se encuentra normalmente en estado puro, en forma de pepitas y depósitos aluviales. El oro es uno de los metales tradicionalmente empleados para acuñar monedas; se utiliza en la joyería, la industria y la electrónica por su resistencia a la corrosión. Se ha empleado como símbolo de pureza, valor, realeza, etc. (Linares Gutiérrez, 2001)

**PH:** Es el número que exactamente describe el grado de basicidad o de acidez de una solución. La acidez o alcalinidad relativa de una solución se puede expresar en términos de pH en una escala de 1 a 14, donde el pH se refiere a la concentración de iones hidrogeno ( $H^+$ ). El agua destilada pura tiene un valor de pH de 7 y se considera como neutro (entre ácido y alcalino). Los valores de pH disminuyen de 7 a 0 indicando acidez, y los valores de pH se incrementan de 7 a 14 indicando alcalinidad. (Vargas Gallardo, 1990)

**Granulometría:** tamaño de partícula que presenta la mena a procesar, es la variable sobre la cual debe ponerse más énfasis en su control, debido a su efecto en la recuperación metalúrgica y en la selectividad del concentrado final. (Vargas Gallardo, 1990)

### 2.7.2. OPERACIONES DE CONCENTRACIÓN DE MINERALES

**Celdas de flotación:** Equipo en donde se efectúa el proceso de flotación de minerales y que consta de un tanque y un agitador especial. El agitador está montado en un eje hueco para permitir el ingreso del aire. (Yianatos B., 2005)

**Concentración:** Proceso mediante el cual las especies mineralógicas con valor económico que se encuentran contenidas en un mineral, son separadas del material no

valioso o de desecho, utilizando para tal efecto operaciones unitarias tales como chancado, molienda, flotación, etc. (Yianatos B., 2005)

**Concentración gravimétrica:** Proceso que permite separar partículas de diferentes tamaños, formas y pesos específicos, mediante el uso de la fuerza de gravedad o fuerzas centrífugas. Por ejemplo, un grano de oro se hunde en agua mucho más rápido que un grano de sílice del mismo tamaño debido a que el primero tiene un mayor peso específico. (Yianatos B., 2005)

**Concentrado:** Producto rico en metales obtenido mediante la aplicación de procesos de separación y concentración tales como la flotación. Los metales son "concentrados" a partir del mineral que los contiene y el resto es desechado como relave neutralizado. Posteriormente estos metales son extraídos de los concentrados mediante procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos en las fundiciones y refinerías. (Yianatos B., 2005)

**Flotación:** Proceso metalúrgico que permite la separación de las especies valiosas contenidas en un mineral, del material estéril. Para lograr una buena separación, es necesaria que estas especies valiosas sean liberadas del material estéril. Esto se logra moliendo el mineral en circuitos de molienda. La separación se realiza en agua formándose una pulpa y en donde las partículas sólidas se mantienen en suspensión por medio de unos agitadores especialmente diseñados para este caso. (Yianatos B., 2005)

**Relave:** Material de desecho de una planta concentradora después de que los metales valiosos han sido recuperados. Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en "tanques o pozas de relaves" donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada o evaporada. El manejo de relaves es una

operación clave en la recuperación de agua y evitar filtraciones hacia el suelo y napas subterráneas, ya que su almacenamiento es la única opción. (Yianatos B., 2005)

### 2.7.3. DESCRIPCIÓN DE REACTIVOS

**Espumante, MIBC:** Este es el espumante ideal para este tipo de flotación diferencial ya que tiene propiedades de selectividad esto nos permite tener concentrados de alta ley con escaso contenido de pirita e insolubles. (Azañero Ortiz, Evaluación de reactivos de flotación, 1999)

**Colector, Z-6 (xantato amilico de potasio):** Es un reactivo sólido fácilmente soluble en agua tiene un color amarillento y su presentación es en pellets. (Azañero Ortiz, Evaluación de reactivos de flotación, 1999)

**Promotor A-208:** Este reactivo es un excelente colector de oro y plata. Su acción es rápida así que no necesita mucho tiempo de acondicionamiento. Se usa debido a su selectividad contra la pirita y otros sulfuros. (Azañero Ortiz, Evaluación de reactivos de flotación, 1999)

### 2.7.4. VARIABLES OPERACIONALES RELEVANTES EN EL PROCESO

Algunas de las variables de operación de mayor importancia para el proceso de flotación son:

**Granulometría:** Adquiere gran importancia dado que la flotación requiere que las especies minerales útiles tengan un grado de liberación adecuado para su concentración. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Tipo de Reactivos:** Los reactivos pueden clasificarse en colectores, espumantes y modificadores. La eficiencia del proceso dependerá de la selección de la mejor fórmula de reactivos. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Dosis de Reactivo:** La cantidad de reactivos requerida en el proceso dependerá de las pruebas metalúrgicas preliminares y del balance económico desprendido de la evaluación de los consumos. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Densidad de Pulpa:** Existe un porcentaje de sólidos óptimo para el proceso que tiene influencia en el tiempo de residencia del mineral en los circuitos, en la recuperación del valioso y en la calidad del concentrado obtenido. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Aireación:** La aireación permitirá aumentar o retardar la flotación en beneficio de la recuperación o de la ley, respectivamente. El aire es uno de los tres elementos imprescindibles en el proceso de flotación, junto con el mineral y el agua. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Regulación del pH:** La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo, ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Tiempo de Residencia:** El tiempo de residencia dependerá de la cinética de flotación de los minerales, de la cinética de acción de reactivos, del volumen de las celdas, del porcentaje de sólidos de las pulpas en las celdas y de las cargas circulantes. (Linares Gutiérrez, 2001)

**Calidad del Agua:** En las Plantas Concentradoras la disponibilidad de agua es un problema latente. De ahí que normalmente se utiliza el agua de recirculación de espesadores que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión, con

las consecuencias respectivas derivadas por este flujo de recirculación. (Linares  
Gutiérrez, 2001)

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

##### 3.1.1. GENERALIDADES

La actividad que desarrolla la **Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C.** en el paraje San Carlos es una explotación minera subterránea polimetálica, también la empresa desarrollara actividades de beneficio de mineral, para ello se instaló una Planta de beneficio Polimetálica, de nombre Planta Concentradora del proyecto San Carlos.

El área de beneficio se encuentra en terreno superficial autorizado (ver Anexo Documentos), en dicha área se instalaron equipos de operación de la planta concentradora, cochas de concentrados, presa relavera y sus componentes etc.

##### 3.1.2. UBICACIÓN Y ACCESO

###### 3.1.2.1. UBICACIÓN POLÍTICA

La Planta Concentradora San Carlos se encuentra ubicado en paraje San Calos del distrito de Paratia, provincia de Lampa, departamento de Puno. Más detalles ver plano de ubicación.

**3.1.2.2. UBICACIÓN GEOLÓGICA:**

La Planta Concentradora San Carlos, se encuentra dentro de la concesión minera metálica ANDEAN 1107, en el cuadrángulo de Ocuwiri (31-u) según carta geológica nacional en la zona 19-L, cuyas coordenadas UTM Psad-56 se presenta en el Tabla N° 6.

**Tabla N° 6: Coordenada de la concesión minera Metálica ANDEAN 1107**

COORDENADAS UTM PSAD 56		
VERTICE	ESTE	NORTE
V-1	324 000.00	8 301 000.00
V-2	324 000.00	8 299 000.00
V-3	322 000.00	8 299 000.00
V-4	322 000.00	8 298 000.00
V-5	319 000.00	8 298 000.00
V-6	319 000.00	8 299 000.00
V-7	320 000.00	8 299 000.00
V-8	320 000.00	8 300 000.00
V-9	321 000.00	8 300 000.00
V-10	321 000.00	8 301 000.00

FUENTE: Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, abril del 2016.

**3.1.2.3. UBICACIÓN DE COMPONENTES DE LA PLANTA CONCENTRADORA:**

En el Tabla N° 7 se indica las coordenadas UTM de componentes de la planta, también se presenta en el plano general de distribuciones de las instalaciones.

**Tabla N° 7: Ubicación de Componentes de la Planta Concentradora**

DETALLE	ESTE
Casa Fuerza	321902.57
Depósito de Combustible	321915.00
Cancha de Volatilización	321921.94
Área Temporal de Residuos Sólidos Industriales	321885.64
Tanque de almacenamiento de Aguas	321958.06
Área para Sección Chancado	321919.90
Sección Molienda y Remolienda	321912.18
Sección Flotación	321909.46
Área para Cochas de Concentrado	321901.80
Área para Secado de Concentrado	321887.46
Área para instalaciones Auxiliares en Planta (Taller de mantenimiento, almacén, laboratorio, sala primeros auxilios, oficinas, entre otros.)	321906.38
Letrinas Sanitarias	321875.00

Fuente: Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, junio del 2017.



### 3.1.2.4. ACCESIBILIDAD

El acceso a la Planta Concentradora del proyecto San Carlos desde ciudad de Puno es aproximadamente 03 Horas con 10 minutos por carretera asfaltada hasta desvío Paratia y trocha carrozable hasta la planta concentradora tal como se detalla en el Tabla N° 8:

**Tabla N° 8:** *Vías de Acceso a la Planta Concentradora*

TRAMOS (Puno – Mina)	DISTANCIA (Km)	ESTADO	TIEMPO (Hrs)
Puno - Juliaca	45	Asfaltada	00h 45 min.
Juliaca – Santa Lucia	50	Asfaltada	00h 50 min.
Santa Lucia -Desvío Paratia	11	Asfaltada	00h 15 min.
Desvío Paratia - Planta Concentradora “San Carlos”	35	Trocha Carrozable	01h 20 min.
<b>TOTAL:</b>	<b>211</b>		<b>03h con 10 min.</b>

**FUENTE:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, junio del 2017.

### 3.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

#### 3.1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE MINERAL A PROCESAR

La mineralización está conformada principalmente por vetas, conteniendo minerales de esfalerita con inclusiones de calcopirita y galena cristalizada, plomo, zinc, cobre con bajo contenido de plata como mena; como minerales de ganga se tiene al cuarzo, pirita, rodonita y otros.

El depósito del mineral de la mina Españolita y mina San Cristóbal es un yacimiento con minerales de sulfuro como:

- **Galena (PbS):** Es mena principal que se encuentra asociado a los minerales sulfuros de cobre, es más blanquecino si contiene plata.

- **Esfalerita (ZnS):** también conocido como blenda, Se encuentra íntimamente ligado a este tipo de yacimientos por lo que viene con los sulfuros de cobre, plomo y plata.
- **Calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>):** Muy escasa, masiva en pequeñas concentraciones.

### 3.1.3.2. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD DE BENEFICIO

La Planta Concentradora San Carlos se localiza a 180 m. de distancia desde la Bocamina la española y 250 m. de distancia de la bocamina San Cristóbal, que, está ubicado en paraje San Carlos, las operaciones de la planta se desarrollarán en la cota de 4770 a 4810 m.s.n.m.

En el desarrollo de actividades de beneficio tiene las siguientes etapas:

- Etapa de Chancado.
- Etapa de Molienda y Clasificación.
- Etapa de Flotación de Minerales.
- Secado de Concentrado.

### 3.1.3.3. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA CONCENTRADORA

La Planta concentradora estará distribuida de la siguiente manera:

- Cancha de mineral y tanque de agua
- En sección chancado está conformado por tolva de grueso, chancadora de quijada, fajas transportadoras y tolva de fino,
- En la sección de molienda está conformado por molino de 4'x4', molino de bolas de 3'x4', fajas alimentadoras de mineral, clasificador helicoidal.

- En la sección de flotación está conformado por celdas unitarias, celdas Denver y cochas de concentrado.
- En sección secado de concentrados que es una plataforma amplia donde se depositaran los concentrados para su secado y filtrado, posteriormente se cargaran a los camiones metaleros.
- Presa relavera.

### 3.1.3.4. REQUERIMIENTO DE ENERGÍA

La energía requerida es para los equipos de operación planta, como en sección chancado, molienda, flotación y otros tal como se indica en el Tabla N° 9, la energía será generada por un grupo electrógeno que funciona a combustible diesel.

Se adquirida un generador eléctrico que se utilizara para alumbrado de las instalaciones de la planta concentradora, esto en caso de que la planta se encuentre paralizada.

**Tabla N° 9:** *Requerimiento de Energía*

LEYENDA			
N°	DESCRIPCION	HP	Kw
1	Tolva de Gruesos: Capacidad 50 TM	-	
2	Parrilla Estática		
3	Chancadora de Quijadas: 9" x 12"	20	
4	Faja Transportadora N° 01	5	
5	Tolva de Finos: Capacidad 50 TM		114
6	Faja Transportadora N° 02:	5	
7	Molino de Bolas Comesa: 4 Ø ' x 4'	60	
8	Clasificador Helicoidal: 1.5' Ø x 16'	5	
9	Molino de Bolas Comesa: 3 Ø' x 4'	60	
10	Banco 06 Celdas Denver 32" x 32"	45	
11	Bomba Horizontal: 2 ½" x 2 " N° 01	10	
12	Acondicionador: 3' Ø x 4'	3	
13	Banco 02 Celdas Denver 32" x 32"	15	
14	01 Celda Circular: 5' Ø x 5' N° 01	10	92
15	01 Celda Circular: 5' Ø x 5' N° 02	10	
16	Bomba Horizontal: 2 ½" x 2 " N° 02	10	
17	Cochas de Concentrados (BOMBA DE AGUA)	15	
18	Acondicionador: 3' Ø x 4' (lechada de cal)	3	

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, abril del 2016.

### 3.1.4. REQUERIMIENTO DE AGUA

#### 3.1.4.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

La fuente de abastecimiento de agua para la planta concentradora será captada en dos puntos; Primero en época de estiaje se utilizar agua subterránea de la bocamina españolita, que tiene un caudal de 0.67 l/s que se encuentra en la parte alta al Nor-este de las operaciones.

Segundo durante la temporada de avenida y/o lluvias es aprovechada del riachuelo huacunto que tiene un caudal de 1.16 l/s.

De estos dos puntos se alimentará al proceso tratamiento de minerales, esto para iniciar las operaciones de la planta, posteriormente el agua de la presa relavera será sedimentada en pozas, de ahí serán bombeadas al tanque de agua para ser reutilizadas nuevamente en el proceso tratamiento de mineral, de esa manera se trabaja recirculando el agua de la presa relavera, pero se aumentará agua fresca cada vez que sea necesario.

#### 3.1.4.2. REQUERIMIENTO DE AGUA PARA PROCESAMIENTO DE MINERAL

Teniendo en cuenta el tonelaje de 50 TMSD de mineral a tratarse diariamente, también se tiene humedad en los concentrados y relaves, todos conteniendo agua de acuerdo con su densidad de pulpa, según el balance metalúrgico proyectado realizado por **La Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C**, se estima un consumo de 436 m<sup>3</sup> de agua por día.

**Tabla N° 10: Requerimiento de Agua**

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTO DE MINERAL (TM/DIA)	CONSUMO AGUA (m <sup>3</sup> /día)	CONSUMO AGUA (m <sup>3</sup> /Mes)
Sección Molienda	50.00	357.08	10712.40
Sección Flotación	50.00	78.91	2367.30
<b>TOTAL, REQUERIMIENTO DE AGUA</b>	<b>2916</b>	<b>436</b>	<b>13079.70</b>

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.

En la tabla N° 11 se realiza el balance de agua de la Planta Concentradora San Carlos, sabiendo que el requerimiento de agua es de 436 m<sup>3</sup>/día.

**Tabla N° 11: Balance de Agua de la Planta Concentradora.**

ESPECIFICACIONES	PORCENTAJE (%)	CANTIDAD (m <sup>3</sup> /día)	CANTIDAD en 25 días (m <sup>3</sup> /Mes)
Evaporación durante el Proceso y/o pérdida	3	13.08	392.40
Humedad permanente en los relaves y concentrados	21	91.56	2746.80
Retorno de agua al proceso de tratamiento de mineral	76	331.36	9940.80
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>436.00</b>	<b>13080.00</b>

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2016.

### 3.1.5. GESTIÓN DE RESIDUOS GENERADOS

La Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, tiene el compromiso de cumplir con el marco legal de la actividad minera y su política de responsabilidad ambiental durante el proceso de ejecución de sus operaciones, tomando en cuenta la adecuada disposición de residuos generados.

Durante las operaciones de procesamiento de minerales se generan los residuos como: relaves o colas, residuos industriales y peligrosos, residuos sólidos domésticos.

#### 3.1.5.1. RELAVES

Los relaves son separados en la etapa flotación, que serán conducidos mediante tuberías a la presa relavera, que estará debidamente construida según los

requerimientos técnicos, se construirá con material de la zona, relaves gruesos, geomembrana y talón enrocamiento como muro de contención. En la parte baja de la presa relavera se implementará con canales de coronación y pozas de sedimentación esto para casos de filtraciones pueda existir, posteriormente esta agua será tratada y reutilizada en las operaciones de planta.

### 3.1.5.2. RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS

Los residuos sólidos industriales están conformados por desechos de madera, pedazos de mangueras, jebes, chatarras, tubos de PVC entre otros; estos residuos serán depositados temporalmente en un área designada, dicha área está debidamente cercada con mallas metálicas.

Los residuos sólidos peligrosos están conformados por envases o materiales que, impregnados con sustancias químicas, combustibles, aceites y grasas. Estos residuos se disponen en recipientes de color rojo, una vez llenado el recipiente se llevará área temporal para residuos peligrosos, que estará ubicada en una parte del área temporal de residuos industriales.



*Figura N° 14: Contenedores para disposición de residuos sólidos.*

### 3.2. CANCHA DE MINERALES

Comúnmente denominado **CANCHA DE GRUESOS** Figura N° 15, en este lugar son almacenados los minerales procedentes de la mina San Carlos, está ubicado en la parte superior oeste de la Planta concentradora, en un área de 1 hectárea. El mineral bruto es almacenado de acuerdo a su composición mineralógica. Se almacena mineral de un tamaño aproximado que varía desde 20 pulgadas hasta 2 o 3 pulgadas: Los más gruesos son triturados manualmente usando combos.

El traslado de mineral a la tolva de gruesos lo realizan los obreros con la ayuda de un **Scoop R 1600 G (CAT)** Figura N° 16, de una capacidad de 2.4 m<sup>3</sup> por pala.



**Figura N° 15:** Se observa la cancha de gruesos, minerales procedentes de la mina San Carlos.



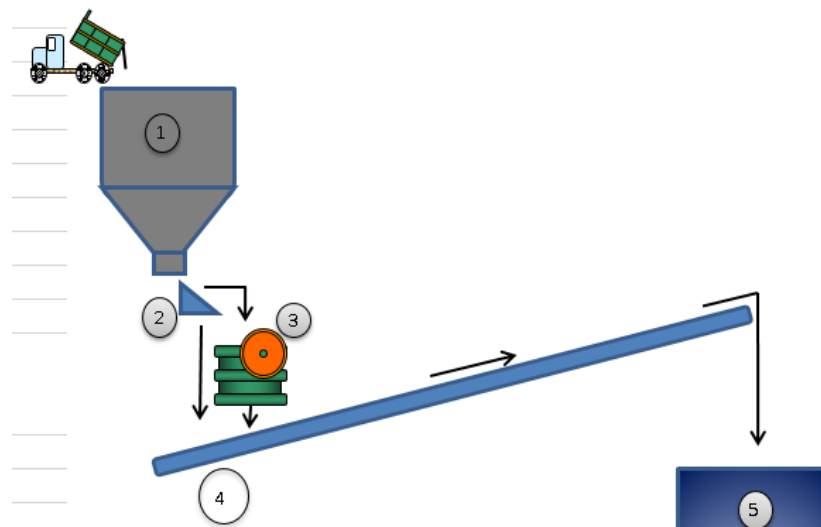


**Figura N° 16:** Se observa la cancha de gruesos, minerales procedentes de la mina San Carlos.

### 3.3. ÁREA DE CHANCADO

Es donde se reduce el tamaño del mineral para su procesamiento de un tamaño promedio de 16" hasta  $\frac{3}{4}$  a  $\frac{1}{2}$ " previamente hecho ya un blending, son descargados directamente a la tolva de gruesos de capacidad de 50 TM, con ayuda de un Scoop R 1600 G (CAT).

La Planta Concentradora San Carlos, comprende de solo una etapa de trituración, que consiste en una Chancadora de Quijadas: 9" x 12", y de una Parrilla Estática de  $\frac{3}{4}$ " de abertura, el UNDER pasa de frente a la faja transportadora N° 1 Figura N° 17.



**Figura N° 17:** Se observa la cancha de gruesos, minerales procedentes de la mina San Carlos.



### 3.3.1. TOLVA DE GRUESOS

Es una caja metálica construido por planchas de acero de  $\frac{1}{4}$ " de espesor, que descansa sobre una base de concreto armado, la Tolva de gruesos sirve como depósito, y alimentador a la Chancadora de Quijadas, donde se da inicio al beneficio del mineral.

Esta Tolva de Gruesos está ubicada en la parte superior de la Planta, a un lado de la Cancha de Gruesos, la alimentación a esta Tolva de Gruesos se realiza por la parte superior de la misma mediante un Scoop R 1600 G (CAT) Figura N° 18.



*Figura N° 18:* Se observa la tolva de gruesos del circuito de Chancado de la Planta San Carlos.

#### 3.3.1.1. CAPACIDAD DE LA TOLVA

Para hallar la capacidad de la tolva se debe tener la gravedad específica del mineral y el volumen de la tolva.

#### 3.3.1.2. DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Para determinar la gravedad específica del mineral, se ha utilizado el método de fiola.

$$G.e. = (M - P) / (W + M - P - S)$$

Para conocer la gravedad específica del mineral de la Planta Concentradora SanCarlos. Se tomó 3 muestras con pesos diferentes; de 50, 75 y 100gr. A malla -10, con una fiola de 500ml.

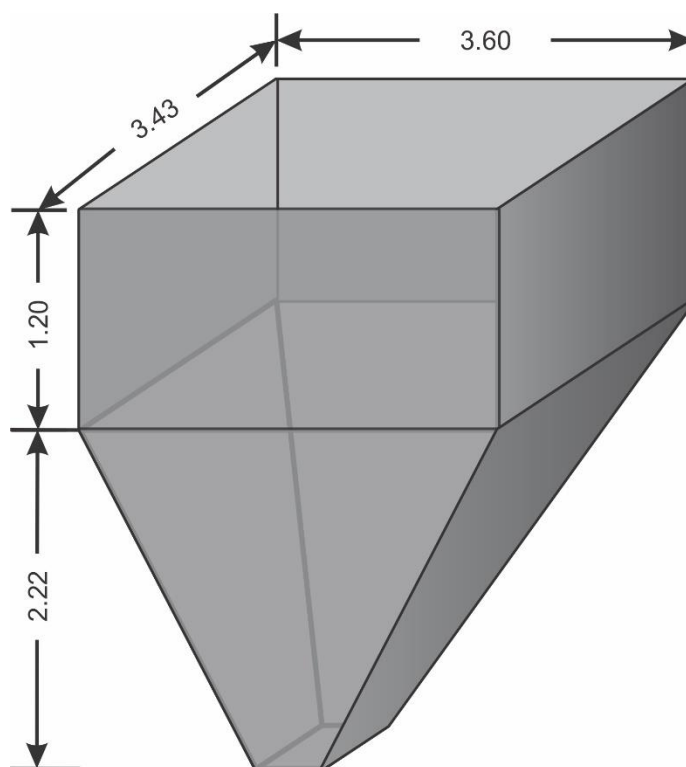
**Tabla N° 12: Pruebas de Determinación de Gravedad Especifica.**

PRUEBA	PESOS	P	M	W	S	G.e
1	50	176,6	226,6	672,9	707,7	3,2895
2	75	176,6	251,6	672,9	726,1	3,4404
3	100	176,6	276,6	672,9	743	3,3445
					<b>G.e</b>	<b>3,3581</b>

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.

**3.3.1.3. VOLUMEN DE LA TOLVA:**

La forma de la tolva de gruesos está formada por tres áreas de distintas formas; la primera es de forma rectangular, la segunda es de forma prismática Figura N° 19.



**Figura N° 19:** Se observa la tolva de gruesos del circuito de Chancado de la Planta San Carlos.

Una vez hallado la gravedad específica del mineral y el volumen de la tolva podemos determinar la capacidad húmeda de tolva y la capacidad húmeda de tolva de gruesos.

$$\text{CAPACIDAD DE TOLVA} = 19.96 * 2.5 = 49.9 \text{ TMH}$$

$$\text{CAPACIDAD DE TOLVA} = 49.9 * 0.94 = 46.906 \text{ TMS}$$

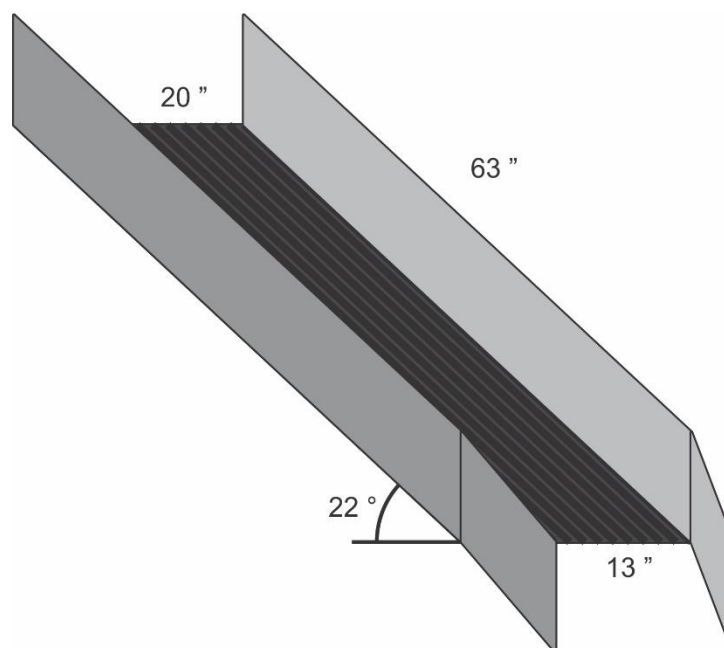
### 3.3.2. PARRILLA ESTÁTICA (Grizzly):

Los minerales provenientes de las minas siempre poseen minerales finos y gruesos, para no causar inconvenientes en el chancado se instala una zaranda estacionaria, esta ayuda a una separación de finos y gruesos; los finos son denominados **UNDER** y los gruesos **OVER**, esta zaranda está ubicada debajo de la boca de la tolva de gruesos y encima de la chancadora Figura N° 20.

**Medidas:** 63'' x 20'' x 13''

**Angulo de inclinación:** 22°

**Abertura de la zaranda:** 8 - 10 mm



**Figura N° 20:** Se observa la parrilla estacionaria del circuito de Chancado de la Planta San Carlos.

**CAPACIDAD DEL GRIZZLY: T = 16.95 TC/H**

**3.3.3. CHANCADORA DE QUIJADAS (9" x 12")**

Está formado por un marco pesado o un sólido bastidor que lleva una quijada fija y otra móvil que esta es pivoteada con un movimiento oscilatorio por medio de juntas abisagradas y brazos movidos por un eje principal y el cuerpo central o pitman sobre el cual gira excéntricamente.

La conminución del mineral es debido al movimiento que posee la quijada móvil que esta se aleja de la quijada fija permitiendo el avance del mineral triturado hacia la parte inferior de la boca (SET), esta acción se repite hasta que el mineral triturado abandone la descarga del chancado, este chancado debe tener una conminución de 1/2'' a 3/4'' de granulometría  
Figura N° 21.



**Figura N° 21:** Se observa la chancadora de quijadas (9" x 12") del circuito de Chancado de Planta San Carlos.

**Tabla N° 13:** Características de la Chancadora de Quijada

Abertura de entrada	9" x 12"
Abertura de salida	3/4" x 16"
Potencia del motor	20Hp
r.p.m.	1765
voltaje	220v/380v/440v
amperaje	52.0A /30.1A /26.0A
cos(φ)	0,85

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.

**CAPACIDAD DE LA CHANCADORA: T = 6.532 TCPH**

### 3.3.4. FAJA TRANSPORTADORA QUE ALIMENTA A LA TOLVA DE FINOS

La faja transportadora N° 1 está ubicada a la salida de la Chancadora y sirve como Alimentador a la Tolva de Finos, esta faja tiene una inclinación lateral para que no haya pérdida de mineral Figura N° 22.



**Figura N° 22:** Se observa la faja transportadora N° 1 del circuito de Chancado de Planta San Carlos.

**Tabla N° 14:** Características de la faja transportadora N° 1

longitud de eje	12,01
diámetro de polea	0,3
ancho de faja	0,453
altura de inclinación	3,3
marca	pirelly vulcanizado
tipo	flexible - 250
tiempo de vuelta	36

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.

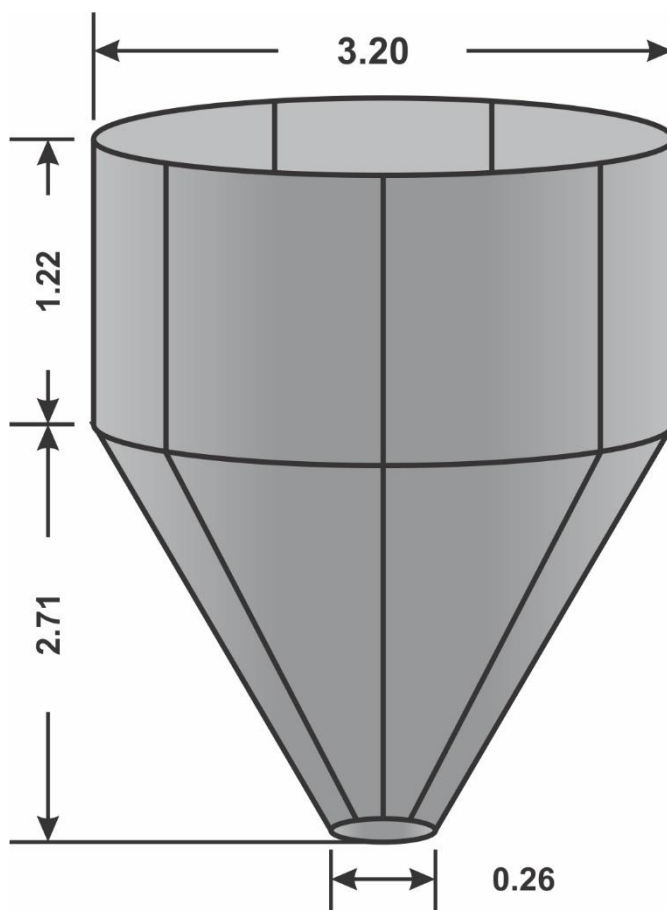
**CAPACIDAD DE LA FAJA:**  $Cap = 5.528 \text{ TMS/hr}$

### 3.3.5. TOLVA DE FINOS

El mineral ya triturado de la chancadora se deposita en una tolva de finos, que sirve de alimentación al molino. La planta metalúrgica cuenta con dos tolvas de finos, para esta

campaña se ha utilizado la tolva de finos de forma cilíndrica en la parte superior y de forma cónica en la parte inferior.

### 3.3.5.1. VOLUMEN DE LA TOLVA



**Figura N° 23:** Se observa la tolva de Finos del circuito de Chancado de Planta San Carlos.

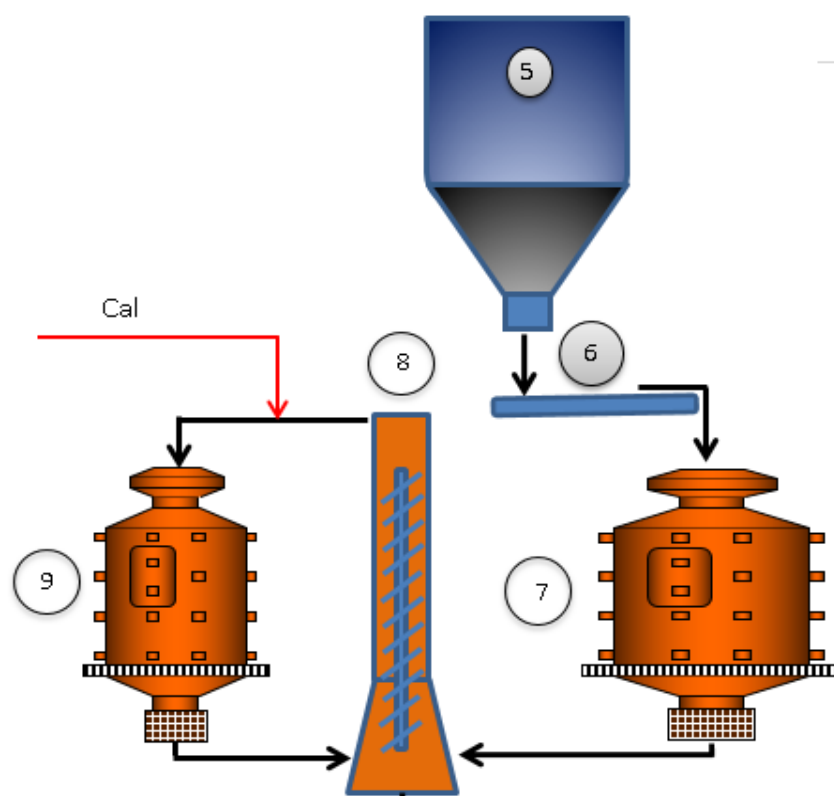
**CAPACIDAD DE LA TOLVA DE FINO:**      **Capacidad Teórica = 55.46TMPD**

Para hallar la capacidad práctica de la tolva consideramos un factor de 0.25 menos de la capacidad teórica debido a los espacios muertos o vacíos entre los minerales y paredes de la tolva.

**Capacidad Práctica = 41.6 TMPD**

### 3.4. ÁREA DE MOLIENDA

Corresponde entre los límites de la Tolva de Finos hasta la salida del **UNDER** del clasificador helicoidal, dentro del área de molienda se realiza el acondicionamiento del mineral, con agua y con algunos reactivos (depresores), la función principal de esta etapa es la buena liberación del mineral para su posterior tratamiento de concentración por flotación se representa de mejor manera en el siguiente diagrama ver la Figura N° 24.



**Figura N° 24:** Se observa el Circuito de Molienda de la Planta San Carlos.

#### 3.4.1. FAJA TRANSPORTADORA DEL MOLINO

Esta faja transportadora alimenta al molino la carga medida y controlada por un operador para ser alimentada al molino respectivamente Figura N° 25, la capacidad que se alimenta al molino es de 1 kg por segundo. Esta faja transportadora enlaza la salida de la tolva de finos y la entrada al molino.



**Tabla N° 15: Características de la faja transportadora N° 2**

<b>longitud de eje</b>	2,41
diámetro de polea	0,43
ancho de faja	0,38
marca	pirelly vulcanizado
tipo	flexible - 150
tiempo de vuelta	60

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.



**Figura N° 25:** Se observa la tolva de finos y la faja N° 2 del Circuito de Molienda de la Planta San Carlos.

**FACTOR DE FAJA:**

$$Factor\ de\ Faja = \frac{x\ kg}{pie} * \frac{3.281\ pie}{1\ m} * \frac{1\ Ton}{1000\ kg} * \frac{680.400\ m}{hr} = 2.232\ Ton/hr$$

**CALCULO DE CAPACIDAD DE FAJA:**

**Cap = 48.211 TNHPD**

**3.4.2. MOLINO DE BOLAS 4 x 4 COMESA**

La molienda constituye el paso final del proceso de reducción de tamaño, por regla general, el problema consiste en reducir el género a un tamaño límite que se encuentra normalmente entre malla 145 y 200; el análisis correspondiente se realiza tomando muestras alternativas de las tres guardias, muestras de la descarga del molino y del clasificador helicoidal la mejor recuperación del mineral se realiza a un 58 % sólidos de



mallas -200, el molino de bolas 4 x4 Comesa realiza el proceso de molienda primaria

Figura N° 26.



**Figura N° 26:** Se observa el Molino COMESA 4' \* 4' Circuito de Molienda de la Planta San Carlos.

**Tabla N° 16:** Características del Molino COMESA 4' x 4'

MOLINO	COMESA
Diámetro, ft	4
Largo, ft	4
Dientes Catalina	144
Dientes Piñón	14
f polea del motor, pulg.	9
f polea del volante, pulg.	49.60
N° de Chaquetas	25
Altura del Lifter, cm	7
22 chaquetas de:	62Kg c/u
3 chaquetas de:	39Kg c/u
D interno lifter-lifter	46pulg.

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.

**CAPACIDAD MÁXIMA DE MOLIENDA:**  $Cap_{max} = 2.86 \text{ TCPH}$

**VELOCIDAD CRÍTICA:**  $Vc = \frac{76.8}{\sqrt{4}}$

$Vc = 38.40 \text{ RPM}$

### 3.4.3. MOLINO DE BOLAS SECUNDARIO 3 X 4 (REMOLIENDA)

Es una molienda adicional, cuya finalidad es también preparar el mineral con las características tales como la liberación de mineral valioso, el producto de la molienda

secundaria pasara por un clasificador, los finos pasaran al circuito de flotación y los gruesos retornaran a la remolienda, de esta manera se trabaja en circuito cerrado.

**Tabla N° 17: Características del Molino de Bolas Secundario COMESA 3' X 4'**

MOLINO	COMESA
Diámetro, ft	3
Largo, ft	4
Dientes Catalina	144
Dientes Piñón	14
f polea del motor, pulg	8,86
f polea del volante, pulg	36,22

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.

**CAPACIDAD MAXIMA DE MOLIENDA:**  $Cap_{max} = 5.98 \text{ TCPH}$

**VELOCIDAD CRÍTICA:**  $V_c = \frac{76.8}{\sqrt{3}}$

$V_c = 344.24 \text{ RPM}$

#### 3.4.4. CLASIFICADOR HELICOIDAL

Su fin es seleccionar las partículas gruesas de las finas teniendo en cuenta un tamaño de corte, las partículas finas van hacia el **OVER** del clasificador Helicoidal y los gruesos van hacia el **UNDER**, debido a una presión se realiza la separación. El mineral grueso es transportado a un molino de 3'' x 4''.



**Figura N° 27:** Se observa el Clasificador Helicoidal 16 \* 15 del Circuito de Molienda de la Planta San Carlos.

**Tabla N° 18:** Características del Clasificador Helicoidal 16' \* 15" Ø

CLASIFICADOR HELICOIDAL 16' * 15"	
Diámetro, ft	15
Largo, ft	16
Angulo de inclinacion	14° - 15°
Motor	Weg 22v
HP	5
RPM	1710

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.

#### 3.4.4.1. CARGA CIRCULANTE

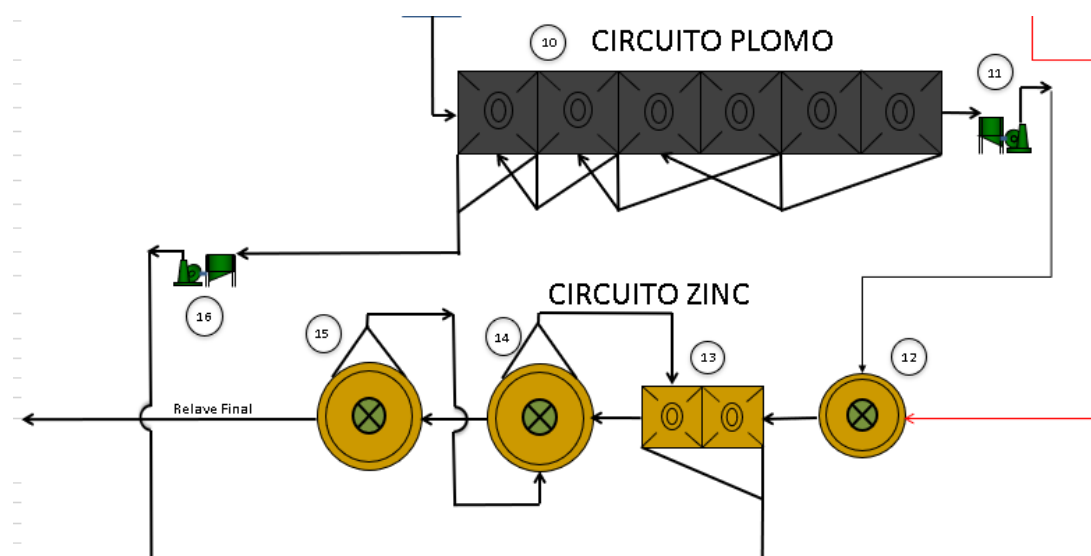
La carga circulante =  $2.49 \times 100 = 249\%$

Entonces el tonelaje de la descarga del molino es:  $2.49 \times 1.8 = 4,482 \text{ TM}$

### 3.5. ÁREA DE FLOTACIÓN

En esta sección recibe la carga del rebose del Clasificador, donde se pone en contacto 4 elementos; mineral, agua, reactivos y aire, que será sometido a un proceso de separación de minerales valiosos de las gangas, que se efectúa desde sus pulpas por medio de burbujas de aire, que selectivamente hace que el grupo de minerales valiosos floten a la superficie, para ello primeramente la carga de pulpa ingresa a la celda unitaria de 5'x5', la totalidad de las colas de la celda unitaria se descargará en la primera celda circular W. Serrano 6' x 7', cuyas espumas pasarán a las cochas de concentrado final y la cola será descargada en la segunda celda circular 6' x 7' (1er rougher), las colas de esta se descarga a la tercera celda circular 6' x 7' (2do rougher) y las espumas descargan a la única celda Denver 32" x 32", de limpieza, cuyas espumas se juntan a las de la segunda celda circular y mediante una bomba Warman 2 1/2" x 2" descargan en las cochas de almacenamiento de concentrados. Las espumas de la tercera celda circular se unen a las espumas de la limpieza y retornan a la segunda celda circular, las colas de la tercera celda circular

descargan al primer banco de 4 celdas horizontales 32" x 32" (1er scavenger) y las espumas de esta descargan a la segunda celda circular mediante una bomba Warman 2 1/2" x 2", las colas del primer scavenger descargan al segundo banco de 04 celdas horizontales (2° scavenger), cuyas espumas retornan al primer banco scavenger, y las colas descargan al cajón de la bomba Comersa S.R.L 4" x 3", para ser trasladados mediante una tubería de 4" a la cancha de relaves.

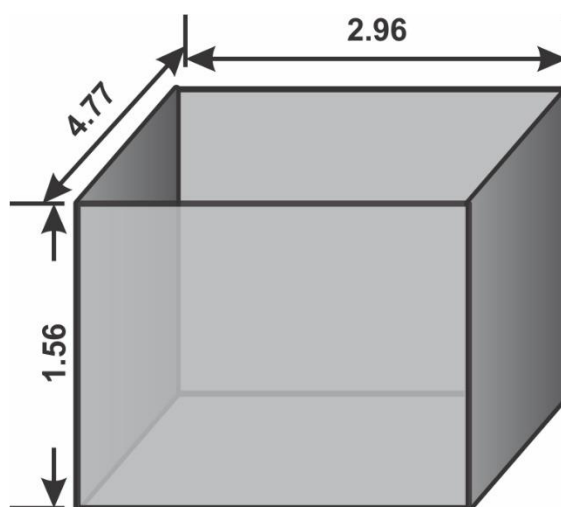


**Figura N° 28:** Se observa el Circuito de Flotación de la Planta Concentradora San Carlos.

### 3.6. COCHAS DE FILTRACIÓN Y COCHAS DE RECUPERACIÓN

Son hechos de material concreto armado, la planta metalúrgica presenta cuatro cochas de filtración o depósitos; dos para el concentrado de plomo, dos para el concentrado de zinc, cuyas dimensiones se presenta a continuación.

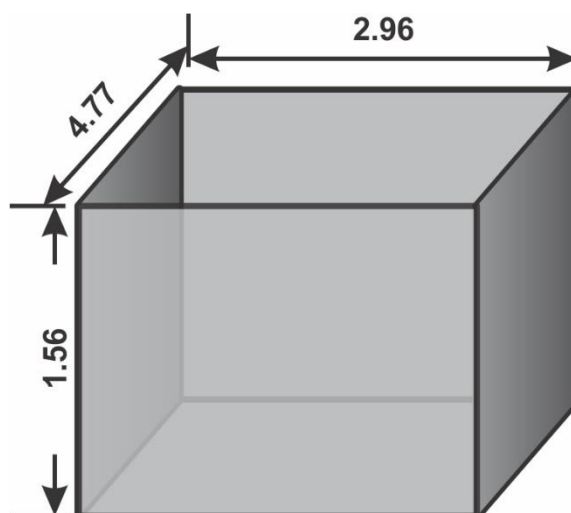
### 3.6.1. COCHA DE CONCENTRADO DE PLOMO



*Figura N° 29:* Se observa la cocha de concentrado de Pb de la Planta San Carlos.

**Capacidad = 63.48 Ton**

### 3.6.2. COCHA DE CONCENTRADO DE ZINC



*Figura N° 30:* Se observa la cocha de concentrado de Zn de la Planta San Carlos.

**Capacidad = 63.48 Ton**

A estos depósitos se alimenta la pulpa concentrada por medio de tuberías, a medida que esta va llenándose

se van colocando maderas con lonas de filtración, estas lonas ayudan a que el concentrado no escape en forma de pulpa, ya que por acción de gravedad las partículas valiosas se sedimentan y el agua es eliminado casi limpia, y si se produce escape de concentrado, cada cocha tiene en la salida un canal que desvía hacia la cocha de recuperación, que cada circuito contiene dos cochas.



**Figura N° 31:** Se observa las cochas de concentrado de la Planta San Carlos.

### **3.7. DEPOSICIÓN DEL RELAVE**

Después de la flotación del concentrado de zinc, su relave es enviado a la relavera como relave general a una distancia aproximada de 5m. El depósito del relave estima en un volumen de  $153\text{m}^3$  de pulpa, que es depositado diariamente; el depósito de relave se localiza al lado este de la planta en la parte baja, se ha adecuado para permitir una sedimentación natural de las partículas sólidas y lograr que el agua clarificada sea expulsada por tuberías a una canaleta, una vez tratada se transporta los desechos de agua a la poza de captación de agua de planta.



Esta relavera esta reforzada por muro de contención, para este muro se ha considerado una longitud de 270m por una altura de 5m, con forma de un trapezoide truncado con un ancho de 2.5m en la base y 1m en la parte superior.

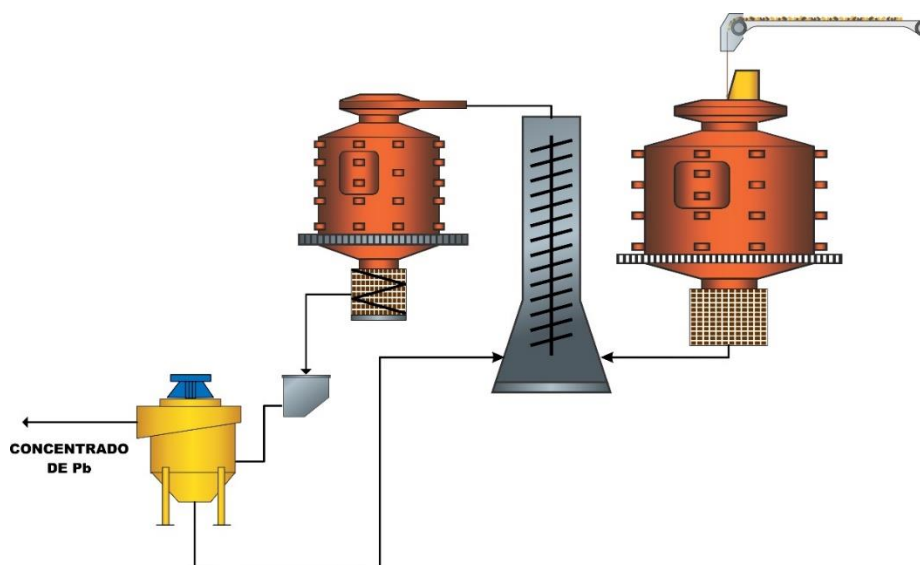


*Figura N° 32:* Se observa la relavera de la Planta San Carlos.

### **3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL A NIVEL LABORATORIO**

#### **3.8.1. PRUEBA DE FLOTACIÓN PRELIMINAR**

Se realizaron pruebas preliminares de flotación a nivel piloto (ver Figura N° 33. Circuito de Flotación, en campo se establecieron valores para las variables de operación (ver Tabla N° 19. Valores de las variables - Prueba preliminar



**Figura N° 33:** Circuito de Flotación Pilotaje - Prueba Preliminar.

Obteniendo un concentrado con recuperación de 65.560 % de Pb, y una ley de Pb de 52.50 % como muestra el balance de la Tabla N° 20.

Al no obtener los resultados deseados, se procedió a realizar las pruebas a nivel laboratorio para incrementar la recuperación de pb.

**Tabla N° 19:** Valores de las variables - Prueba preliminar

Tonelaje TM/h	Reactivos (g/t)			Solidos %	Altura Espuma	Flujo Aire (m3/min)	Ley % Pb	% Recuperación de Pb
	Z-6	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	MIBC					
46	30	15	8	50	18	0.21	52.50	65.560

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.



**Tabla N° 20: Balance Metalúrgico – Preliminar**

PRODUCTOS	PESO		LEYES				CONTENIDO METÁLICO				% DISTRIBUCIÓN				
	TMS	(%)	% Pb	Ag(Oz/tc)	Au(gr/t)	% Zn	Pb (TM)	Ag (Oz)	Au (gr)	Zn (TM)	Pb	Ag	Au	Zn	RADIO
Cabeza Ens.	46.00	100.00	1.30	1.19	1.12	1.10	0.598	60.340	51.520	0.506	100,000	100,000	100,000	100,000	
Conc. Plomo	0.75	1.62	52.50	25.16	25.60	10.40	0.392	20.711	19.117	0.078	65.560	49.480	73.391	15.349	61.599
Conc. Zinc	0.76	1.66	2.50	4.73	3.25	45.60	0.019	3.982	2.482	0.348	3.193	9.513	9.529	68.825	60.232
Relave	44.49	96.72	0.42	0.35	0.10	0.18	0.187	17.164	4.449	0.080	31.247	41.007	17.080	15.826	
Cabeza Calc.	46.00	100.00	1.30	0.98	0.73	1.10	0.598	41.857	26.048	0.506	100,000	100,000	100,000	100,000	

**Fuente:** Empresa Minera Silver Minsperu S.A.C, Abril del 2017.

### 3.9. EQUIPOS Y MATERIAL DE LABORATORIO

#### 3.9.1. CELDA DE FLOTACIÓN DE LABORATORIO

Marca: FIMA-DENVER, Sub-A

Modelo: D-12



*Figura N° 34: Celda de flotación Denver D-12*

#### 3.9.2. PHMETRO DIGITAL

Marca: Hanna Instruments

Modelo: HI98100 – Checker® Plus



*Figura N° 35: pHmetro digital*

### 3.9.3. MATERIALES AUXILIARES

5. 24 bandejas
6. Cronometro
7. Balanza digital
8. Manta para preparación de muestras 2 x 2 m
9. Malla Tyler #40
10. 2 baldes de 20 Litros
11. Bolsas de 14 x 22 cm
12. Jeringas de 5 mL
13. 2 vasos precipitados de 500 mL
14. EPPS: Guantes de nitrilo, Mameluco descartable (Tyvex), respirador de ½ cara con filtros para polvo y gases.

### 3.10. MÉTODOS

#### 3.10.1. PRUEBA ESTANDARD DE FLOTACIÓN

Para realizar las pruebas flotación, se utilizó el “PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE FLOTACIÓN FLASH A NIVEL LABORATORIO” de Outotec, y se estandarizaron las siguientes variables con los valores de la siguiente tabla.

*Tabla N° 21: Condiciones en Pruebas Estándar*

Variables	Unidades	Valores
Passing - 40 Malla Tyler	%	100
Solidos	%	50
Velocidad de agitación	rpm	1800
Volumen de celda	L	2.5
Tiempo de acondicionamiento	segundos	10
Tiempo de flotacion	minutos	2
Remocion de espuma	unidad/minuto	40

Fuente: EMPRESA MINERA SILVER MINSPERU S.A.C., ABRIL DEL 2017.

Las pruebas de flotación se realizarán a 2 minutos, esto según recomendación de Outotec, dado que este sería el tiempo de residencia aproximado para un porcentaje de sólidos de 45% de sólidos en una celda SkimAir® 80.

La Figura N° 36 muestra un cuadro resumen del procedimiento que se realizara.

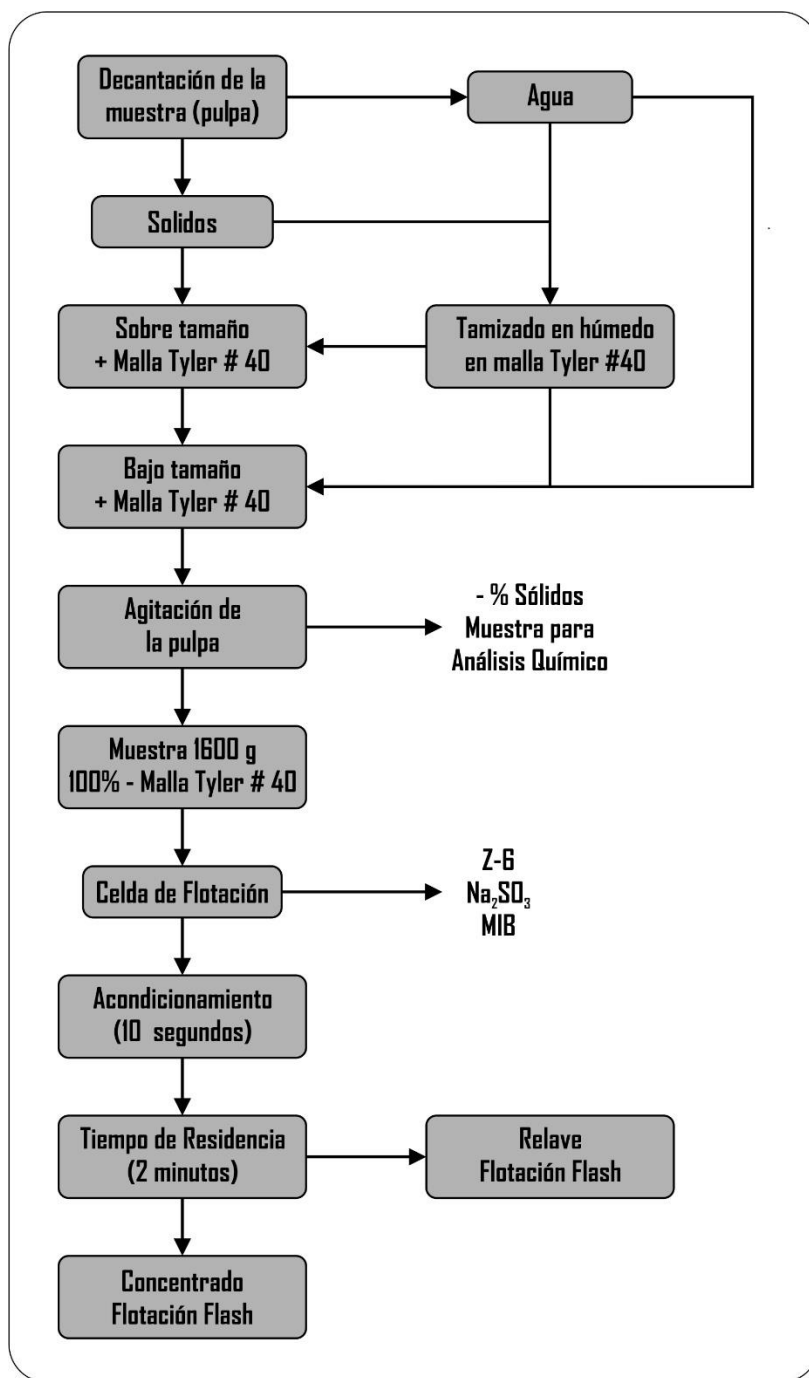


Figura N° 36: Diagrama para las Pruebas Estándar.

### 3.11. VARIABLES

#### a) *Variable dependiente*

- % Recuperación de Plomo

#### b) *Variables independientes*

La elección de las variables se realizó basada en datos necesario de conocer para realizar pruebas a nivel piloto, como son:

- Dosis de Colector (Z-6)
- Dosis de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  (colector secundario)
- Dosis de MIBC (Espumante)

#### 3.11.1. FUNCIÓN OBJETIVO

La función objetivo es determinar el %Recuperación de Plomo modificando las condiciones de dosificación.

$$F = f (Z1, Z2, Z3)$$

Restricción: Ley  $\text{Zn} \geq 37\%$  Donde:

$F = \%$ Recuperación de Plomo

$Z1, Z2, Z3 =$  Variables dependientes (escala natural)

#### 3.11.2. TIPO DE DISEÑO EXPERIMENTAL

Se eligió un diseño factorial  $2^3$ , teniendo 8 experimentos, más 3 réplicas en el punto central para analizar el efecto de curvatura y el error experimental, siendo un total de 11 experimentos contabilizando las 3 réplicas (ver Tabla N° 23).

Los niveles elegidos para las pruebas de flotación se muestran en la Tabla N° 22.

**Tabla N° 22: Niveles de Las variables en unidades convencionales**

Variables	Unidades	Nivel Bajo	Nivel Alto
<b>Z<sub>1</sub></b> : Dosis de Z-6	g/t	30	70
<b>Z<sub>2</sub></b> : Dosis de Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	g/t	10	22
<b>Z<sub>3</sub></b> : Dosis de MIBC	g/t	10	15

**Tabla N° 23: Diseño Experimental 2<sup>3</sup>, con 3 réplicas centrales.**

N° Prueba	Escala Codificada			Escala Natural		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1	30	10	5
2	1	-1	-1	70	10	5
3	-1	1	-1	30	22	5
4	1	1	-1	70	22	5
5	-1	-1	1	30	10	11
6	1	-1	1	70	10	11
7	-1	1	1	30	22	11
8	1	1	1	70	22	11
9	0	0	0	50	16	8
10	0	0	0	50	16	8
11	0	0	0	50	16	8

El análisis de varianza se realizará con la escala codificada (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> y X<sub>3</sub>).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

##### 4.1.1. RESULTADOS DISEÑO EXPERIMENTAL A NIVEL LABORATORIO

Las pruebas de flotación se programaron en base a un diseño factorial con tres variables  $2^3=8$  y 3 pruebas en el centro.

Se realizaron las 11 pruebas de flotación las cuales se encuentran en el **ANEXO C**, siendo los resultados como se muestra en la Tabla N° 24.

**Tabla N° 24: Resultados del Diseño factorial - Pruebas Nivel laboratorio**

N° Prueba	Escala Codificada			Escala Natural			Ley % Pb	% Recuperación de Pb
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>		
1	-1	-1	-1	30	10	5	58.2	72.223
2	1	-1	-1	70	10	5	59.32	66.329
3	-1	1	-1	30	22	5	57.92	70.778
4	1	1	-1	70	22	5	61.34	77.969
5	-1	-1	1	30	10	11	59.56	74.975
6	1	-1	1	70	10	11	60.12	68.548
7	-1	1	1	30	22	11	59.78	75.942
8	1	1	1	70	22	11	62.37	84.062
9	0	0	0	50	16	8	59.68	75.637
10	0	0	0	50	16	8	60.03	76.753
11	0	0	0	50	16	8	60.01	76.613

Para analizar el diseño experimental se utilizará la escala codificada donde:

X<sub>1</sub> = Dosificación de Z-6 g/t (escala dosificada)

X<sub>2</sub> = Dosificación de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> g/t (escala dosificada)

X<sub>3</sub> = Dosificación de MIBC g/t (escala dosificada)

#### 4.1.1.1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

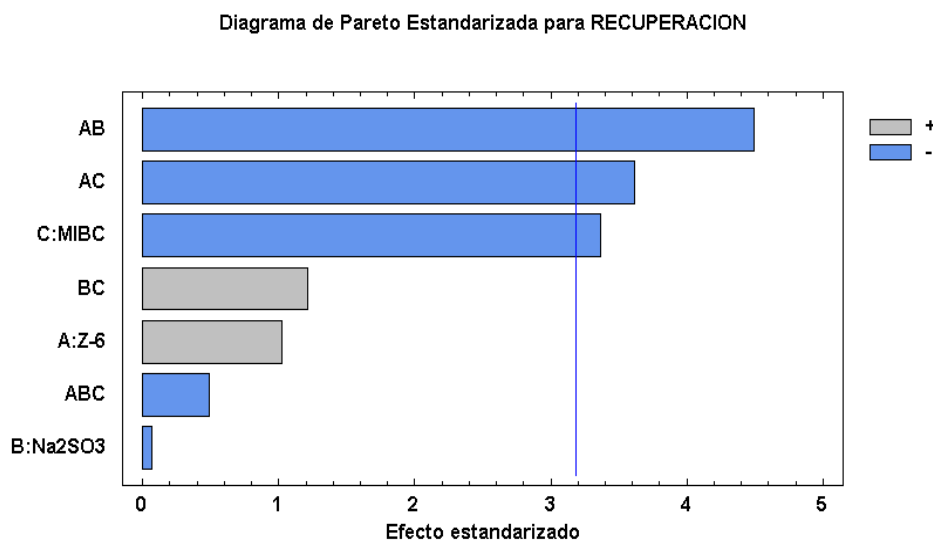
El análisis de varianza se realiza a fin de evaluar la significancia de los factores y sus interacciones (así como de la curvatura) en los resultados experimentales obtenidos.

El análisis de varianza permite identificar los términos más importantes que se deben incluir en el modelo matemático del diseño experimental.

Mediante el software STATGRAPHICS Centurion se logra graficar los efectos significativos (ver Figura N° 37).

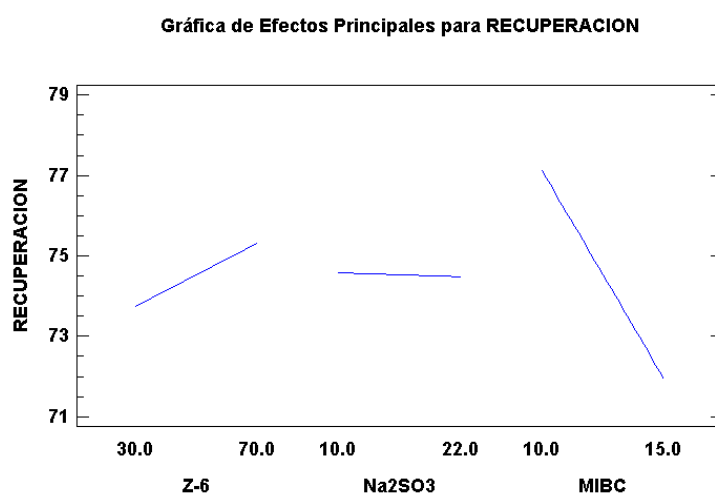
La Figura N° 38 nos muestra que X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> y X<sub>3</sub> tienen un efecto positivo sobre la recuperación de plomo, siendo de mayor significancia el de X<sub>3</sub>, seguido de X<sub>1</sub> y de menor significancia X<sub>2</sub>.





**Fuente:** Elaboración en Programa STATGRAPHICS Plus.

**Figura N° 37:** Diagrama de Pareto.



**Fuente:** Elaboración en Programa STATGRAPHICS Plus.

**Figura N° 38:** Grafica efectos principales para recuperación de Pb.

#### 4.1.2. PRUEBAS DE FLOTACIÓN LABORATORIO FINAL

De acuerdo al resultado de las pruebas preliminares se cambió las dosis de Z-6, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> y MIBC para probar la flotación a nivel laboratorio con la celda de flotación rápida (ver Tabla N° 25. Flotación Piloto con las dosis de Laboratorio.

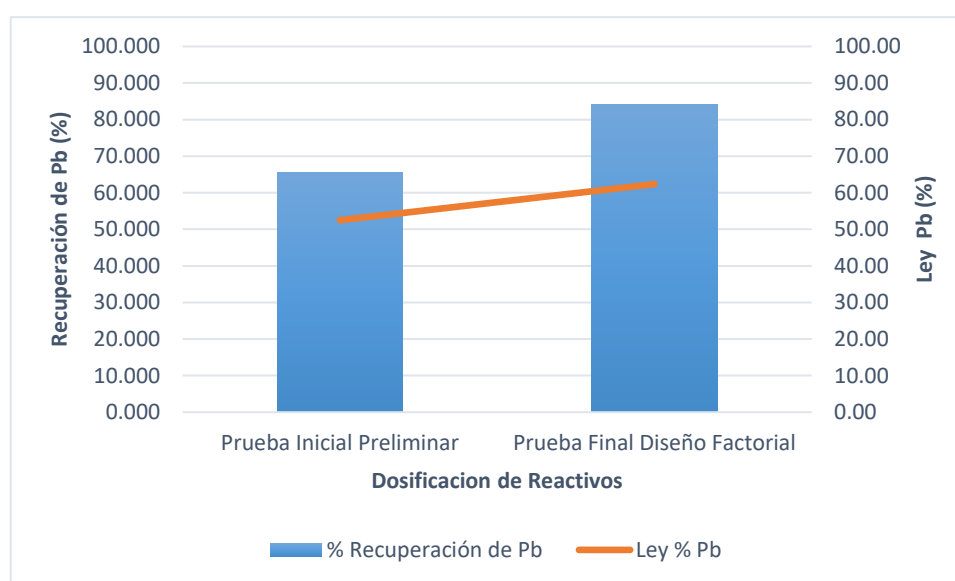
De la prueba se obtuvo 84.062 % de recuperación de Plomo, y una ley de Plomo en el concentrado de 62.37 %.

La Figura N° 39 muestra la comparación de recuperaciones entre las prueba preliminar y Prueba final, donde se observa un incremento de aproximadamente 19% en la recuperación de plomo, así como también la ley en el concentrado.

**Tabla N° 25: Flotación con las dosis de Laboratorio.**

PRUEBA	Reactivos (g/t)			Solidos %	Altura Espuma	Flujo Aire (m3/min)	Ley % Pb	% Recuperación de Pb
	Z-6	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	MIBC					
8	50	22	11	50	18	0.21	62.37	84.062

Fuente: Elaboración Propia (Programa Excel)



Fuente: Elaboración con Programa Excel.

**Figura N° 39:** Comparación de las dosificaciones inicial (Prueba preliminar) y Prueba final (Diseño factorial).

#### 4.2. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARA ESTUDIAR

En la planta concentradora San Carlos de la **EMPRESA MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.**, se han investigado las causas que originan bajas en la Recuperación del Plomo, para el efecto se han tomado muestras del área de **MOLIENDA – CLASIFICACIÓN**, a fin de obtener a través de una Análisis de malla Valorado en todo el Circuito el lugar donde se encuentra el Plomo listo para flotar y evitar su sobremolienda y su desplazamiento a los concentrados de Zinc; así como su pérdida en el Relave.

Para el trabajo de investigación se ha recurrido a otras ramas científicas que ayudaron alcanzar el objetivo, siendo éstas:

#### 4.2.1. LA MINERALOGÍA

Ciencia que ha permitido identificar a los Minerales, debido a que la **EMPRESA MINERA SILVER MINSAPERU S.A.C.** es Polimetálica, a la vez de estudiar la composición química del Mineral.

La Mineralogía de las muestras en estudio del presente trabajo es:

El Tipo de rocas que se procesan está constituido por:

**En Veta:** Carbonatos (Rodocrosita, Calcita y Dolomita, Cuarzo, Sulfuros económicos (el mineral predominante de Zinc, es la Esfalerita Rubia y Rojiza, el de Plomo es la Galena Argentífera con Plata como inclusiones sólidas; el de Cobre es la Chalcopirita), y sulfuros no económicos (Pirita, Siderita).

**En Caja:** Marga Roja y Gris, como rocas sedimentarias.

La Marga Gris presenta alteración Argílica (Arcillas), que es la que mayormente llega con el mineral por dilución.

#### 4.2.2. LA GRANULOMETRÍA

Esta disciplina ha permitido utilizar el, Método de Determinación Granulométrica, que consiste en hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distinto ancho de entramado (modo de coladeras) que actúan como filtros de los granos y que se le conoce comúnmente como COLUMNAS DE TAMICES.

Del área de MOLIENDA – CLASIFICACIÓN, se tomaron muestras a fin de obtener a través de una Análisis de malla Valorado en todo el Circuito el lugar donde se encuentra el Plomo listo para flotar. Este Análisis Valorado será explicado más adelante en el punto 4.3 del presente trabajo de investigación.

#### **4.2.3. ENSAYOS QUÍMICOS**

Este proceso se llevó a cabo mediante pruebas a nivel de Laboratorio Metalúrgico Químico, buscando determinar la complejidad del Mineral PLOMO frente a la Flotación Flash para así obtener el comportamiento Cinético de la Flotación Flash; y a la vez permita la evaluación y posibilidad de aplicación de una CELDA DE FLOTACION FLASH EN EL CIRCUITO DE MOLIENDA – CLASIFICACIÓN.

#### **4.3. PRUEBAS DE LABORATORIO USANDO UNA CELDA DE FLOTACIÓN CONVENCIONAL. (STANDARD)**

##### **4.3.1. PRUEBAS DE FLOTACIÓN EN LABORATORIO STANDARD**

###### **a) Reactivos**

Los Reactivos usados fueron los mismos del área de Flotación de la Planta Concentradora “San Carlos”. Se han agregado tales reactivos de manera separada y tan pronto como sea posible.

El tiempo de acondicionamiento no excedió de 10 segundos en total.

###### **b) Procedimiento de la Prueba**

Se añadió la muestra a la Celda y luego agua hasta que el nivel este aproximadamente 30mm debajo del Labio, cuando el agitador esté en funcionamiento.

Se colectó concentrados a los 30, 60 90 y 120 segundos. La Celda trabajó a unos 1800 rpm, para que las partículas gruesas estén en suspensión. Se añadió agua para mantener el nivel de la pulpa al nivel requerido. Se removió el concentrado de la Celda mediante una paleta con movimientos repetitivos y constantes.

Se envió para análisis químico las muestras de Cabeza. Las varias muestras de concentrado (a diferentes tiempos) y los relaves, y se registró el peso de cada una.

Se ha asumido que la humedad de la muestra es de alrededor de 20 %. Esto dio un aproximado de 45 % de sólidos en la Celda del laboratorio y simuló lo que sucede en la Celda Skim Air.

Tabla N° 26: Balances metalúrgico del proceso con o sin Celda Flash.

**PROCESO METALÚRGICO SIN CELDA FLASH**

PRODUCTOS	PESO		LEYES				CONTENIDO METÁLICO				% DISTRIBUCIÓN				
	TMS	(%)	% Pb	Ag(Oz/tc)	Au(gr/t)	% Zn	Pb (TM)	Ag (Oz)	Au (gr)	Zn (TM)	Pb	Ag	Au	Zn	RADIO
Cabeza Ens.	46.00	100.00	1.30	1.19	1.12	1.10	0.598	60.340	51.520	0.506	100.000	100.000	100.000	100.000	
Conc. Plomo	0.95	2.07	52.50	25.16	25.60	10.40	0.500	26.414	24.382	0.099	83.614	43.775	78.281	19.575	48.299
Conc. Zinc	0.72	1.56	1.30	4.73	3.25	45.60	0.009	3.741	2.332	0.327	1.560	7.916	7.486	64.655	64.116
Relave	44.33	96.37	0.20	0.35	0.10	0.18	0.089	17.103	4.433	0.080	14.826	36.191	14.233	15.770	
Cabeza Calc.	46.00	100.00	1.30	0.98	0.73	1.10	0.598	47.257	31.146	0.506	100.000	100.000	100.000	100.000	

Fuente: Elaboración con Programa Excel.

**PROCESO METALÚRGICO CON CELDA FLASH**

PRODUCTOS	PESO		LEYES				CONTENIDO METÁLICO				% DISTRIBUCIÓN				
	TMS	(%)	% Pb	Ag(Oz/tc)	Au(gr/t)	% Zn	Pb (TM)	Ag (Oz)	Au (gr)	Zn (TM)	Pb	Ag	Au	Zn	RADIO
Cabeza Ens.	46.00	100.00	1.30	1.19	1.12	1.10	0.598	60.340	51.520	0.506	100.000	100.000	100.000	100.000	
Conc. Plomo	0.81	1.75	62.37	26.25	25.48	10.85	0.503	23.322	20.537	0.087	84.062	38.650	65.936	17.283	57.073
Conc. Zinc	0.74	1.61	1.09	4.73	3.25	45.60	0.008	3.871	2.413	0.339	1.353	8.191	7.747	66.905	61.961
Relave	44.45	96.63	0.20	0.35	0.10	0.18	0.087	17.150	4.445	0.080	14.584	36.290	14.272	15.813	
Cabeza Calc.	46.00	100.00	1.30	0.98	0.73	1.10	0.598	44.342	27.395	0.506	100.000	93.831	87.954	100.000	

Fuente: Elaboración con Programa Excel.

4.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CIRCUITO DE MOLIENDA

*Tabla N° 27: Alimento - Molino 4'Ø X 4'.*

MALLAS ASTM	NOMINAL	% PESO	% ACUM. PASANTE	F 80
+1/2"	12700	6.38	93.62	9559.59
1/4"	6350	27.54	66.08	0.00
1/8"	3180	66.08	0.00	0.00
		100.00		

**Fuente:** Elaboración con Programa Excel.

*Tabla N° 28: Producto - Molino 4'Ø X 4'.*

MALLAS ASTM	NOMINAL	% PESO	% ACUM. PASANTE	P 80
10	1651	7.20	92.80	1415.87
20	833	25.20	67.60	0.00
30	600	8.60	59.00	0.00
40	425	7.40	51.60	0.00
50	300	6.00	45.60	0.00
70	212	5.40	40.20	0.00
100	150	4.00	36.20	0.00
140	105	4.20	32.00	0.00
200	75	2.40	29.60	0.00
-200	75	29.60	0.00	0.00
		100.00		

**Fuente:** Elaboración con Programa Excel.

*Tabla N° 29: Alimento - Molino 3'Ø X 4'.*

MALLAS ASTM	NOMINAL	% PESO	% ACUM. PASANTE	F 80
10	1651	12.10	87.90	1762.79
20	833	38.30	49.60	0.00
30	600	11.90	37.70	0.00
40	425	9.70	28.00	0.00
50	300	7.10	20.90	0.00
70	212	4.40	16.50	0.00
100	150	2.60	13.90	0.00
140	105	2.10	11.80	0.00
200	75	1.60	10.20	0.00
-200	75	10.20	0.00	0.00
		100.00		

**Fuente:** Elaboración con Programa Excel.

**Tabla N° 30:** *Producto - Molino 3'Ø X 4'.*

MALLAS ASTM	NOMINAL	% PESO	% ACUM. PASANTE	P 80
10	1651	0.00	100.00	0.00
20	833	7.60	92.40	0.00
30	600	7.10	85.30	510.82
40	425	10.40	74.90	0.00
50	300	11.90	63.00	0.00
70	212	11.30	51.70	0.00
100	150	7.60	44.10	0.00
140	105	7.30	36.80	0.00
200	75	4.80	32.00	0.00
-200	75	32.00	0.00	0.00
		100.00		

**Fuente:** Elaboración con Programa Excel.

**Tabla N° 31:** *Rebose del clasificador.*

MALLAS ASTM	NOMINAL	% PESO	% ACUM. PASANTE	P 80
10	1651	0.00	100.00	0.00
20	833	0.00	100.00	0.00
30	600	6.30	93.70	0.00
40	425	7.70	86.00	346.88
50	300	9.60	76.40	0.00
70	212	9.60	66.80	0.00
100	150	7.80	59.00	0.00
140	105	7.30	51.70	0.00
200	75	5.50	46.20	0.00
-200	75	46.20	0.00	0.00
		100.00		

**Fuente:** Elaboración con Programa Excel.



## CONCLUSIONES

Los resultados de las Pruebas experimentales han establecido Ventajas y Beneficios para la Instalación de una Unidad de Flotación rápida (DENVER de 32 " X 32"), en la Unidad Económica Administrativa "San Carlos", el mismo que lograría Optimizar la Metalurgia del Plomo, para:

- ✓ La recuperación de Plomo se incrementó alrededor de 19% sin requerir sobre molienda.
- ✓ La Humedad en el Concentrado de Plomo se redujo de 11 % a 8 % de Humedad, ya que esta originaba altas pérdidas por Mermas.
- ✓ El consumo de Z-6 se redujo de 8 gr/TMS a 6 gr/TMS, reduciéndose la contaminación que afecta y daña el Medio Ambiente (Ecología).

De acuerdo con los resultados de laboratorio, la variable con mayor influencia sobre la recuperación de Pb es la dosis de Z-6, con un efecto de 6.69, seguido por la dosis de MIBC con un efecto de 4.06. La dosificación de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  tiene un efecto positivo bajo con 0.75, pero en interacción con la dosificación de Z-6 se obtiene un efecto de 6.91.

El Lugar de Instalación más favorable de una Celda de Flotación Flash (DENVER de 32 " X 32"), en la Unidad Económica Administrativa "San Carlos", sería en el "AREA DE MOLIENDA SECUNDARIA DE LA PLANTA CONCENTRADORA" por que le permitiría Captar la descarga del Molino COMESA 3'Øx4', con un cajón distribuidor y alimentar a la celda unitaria tipo DENVER de 32 " X 32", ya que las espumas de ésta celda irán por gravedad directamente al Concentrado Final y el relave también por gravedad se juntara con en el clasificador Mecánico (Helicoidal); Los Finos del Rebose

serán alimento del Circuito de Flotación Diferencial y los Gruesos del alimentan la carga del molino de bolas COMESA 3'Øx4'.

## RECOMENDACIONES:

La Empresa Minera Silver MINSPERU S.A.C., Apruebe el Proyecto para implementar y mejorar la Flotación Convencional de la Unidad Económica Administrativa “San Carlos” (Planta Concentradora), mediante el uso de una unidad de Flotación Rápida.

El Equipamiento que sería seleccionado sería la Unidad de Flotación rápida (CELDA DE TIPO DENVER DE 32 " X 32"), por ser una Nueva Aplicación y Herramienta eficaz, para el proceso de mejora de la Unidad Económica Administrativa “San Carlos” (Planta Concentradora) y ayudaría a proteger el Medio Ambiente.

La Ubicación de la Unidad de Flotación rápida, por los resultados obtenidos en las pruebas experimentales sería en el “ÁREA DE LA MOLIENDA – CLASIFICACIÓN (la descarga del Molino de Bolas secundario COMESA 3'Øx4')” de la Planta Concentradora de la Unidad Económica Administrativa “San Carlos”, por ser el punto más adecuado y estratégico para implementar y mejorar el proceso metalúrgico polimetálico.

Realizar un seguimiento, análisis exhaustivo y control en el área de molienda para que las partículas ya liberadas ingresen a la Unidad de Flotación rápida y tenga la posibilidad de flotar antes de convertirse en lama que posteriormente se convierte en irrecuperable.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Astucuri Tinoco, V. (1994). *Introducción a la Flotación de Minerales*. Lima: Universidad de Lima.
- Ayala Mina, J., & Pardo Mercado, R. (1995). *Optimización por diseños experimentales con aplicación en ingeniería*. Lima: Editorial A&B S.A.
- Ayres Hidalgo, F. A., & Torres Ponce, M. T. (2000). *Diseños Experimentales y su aplicación en Ingeniería de Procesos*. Lima: UNI.
- Azañero Ortiz, A. (1999). *Evaluación de reactivos de flotación* (Vols. Vol II N° 4.). Lima, Perú: Revista del Instituto de Investigación de la F.G.M.M.C.G.–U.N.M.S.M.
- Azañero Ortiz, A. (2015). *Concentración y Flotación de Minerales*. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.
- Bueno Bullón, H. (2003). *Procesamiento de Minerales*. Jauja: Sin Editorial.
- Caiceo, F. (2001). *Diseño experimental con aplicaciones a metalurgia extractiva*. Lima: San Marcos.
- Coleman, R. (2017). *Skim-Air flash flotation laboratory procedure*. Australia: Editorial Outotec.
- Cuentas Chirinos, J., & Soto Alvarez, L. (2009). *Estadística y diseños experimentales*. Arequipa: UNSA.
- Henley, K. (1975). Mineralogía de mineral de oro y su relación con el tratamiento metalúrgico. *Mineral, Science and Engineering*, 7(4), 289-312.
- Kelly G., E., & Spottiswood J., D. (1990). *Introducción al Procesamiento de Minerales*. Mexico: Editorial LIMUSA.
- Linares Gutiérrez, N. (2001). *Procesamiento de Minerales*. Tacna: Sin Editorial.
- Manzaneda Cabala, J. (1990). *Procesamiento de minerales: molienda y clasificación, flotación*. Lima.

- Manzaneda Cabala, J. (2000). *Procesamiento de minerales*. Lima: Sin Editorial.
- Manzaneda Cabala, J. (2004). *Celdas Flash en Flotación de Plomo Atacocha*. Chicrin: Sin Editorial.
- Martínez, F., Rojas, I., & Llantén, E. (2012). *Beneficio de minerales "Flotación Flash"*. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Muñiz Delgado, J. (2010). *Flotación de Minerales*. Arequipa: UNSA.
- Paitan, Á. (2011). *Diseños experimentales aplicado a procesamiento de minerales*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Quiroz Nuñez, I. (1998). *Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales*. Lima: UNI.
- Sutulov, A. (1963). *Flotacion de Minerales*. Chile: Universidad de Concepcion.
- Vargas Gallardo, J. (1990). *Metalurgia del Oro y la Plata*. Lima: San Marcos.
- Velarde Rivera, J. P. (2016). *Modelamiento y simulación de la distribución del tamaño de burbuja y su efecto en la recuperación de cobre*. Arequipa: UNSA.
- Yianatos B., J. (2005). *Flotación de minerales*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

## **ANEXOS**

## **ANEXO A**

## **PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE FLOTACIÓN FLASH A NIVEL LABORATORIO**

El propósito del ensayo de laboratorio usando una celda de laboratorio convencional es obtener datos sobre la idoneidad del material para el proceso de flotación instantánea. Nos brinda información sobre su cinética y efectos de las variables sobre el proceso.

El siguiente procedimiento de laboratorio ha sido establecido por Outotec.

### **PROCEDIMIENTO DE MUESTREO**

Desde el circuito de molienda tomar múltiples muestras del Underflow del hidrociclón, utilizando un cortador de muestras manual de tamaño adecuado, evitando que la muestra se desborde.

Use 2 baldes de 20 litros y llénelos con la muestra del Underflow hasta que esté aproximadamente lleno las  $\frac{3}{4}$  partes del balde. Al mismo tiempo, obtenga cubetas de 2 x 20 litros de agua del circuito del molino para usar durante el proceso de selección y para el agua de reposición durante las pruebas de flotación.

### **TAMIZADO EN HÚMEDO DE LA MUESTRA**

Tamizar en húmedo la muestra del underflow utilizando una malla de 600 micrones o el tamaño más cercano disponible para evitar daños a la celda de flotación. Utilizar un balde con las  $\frac{3}{4}$  partes llenas de agua para realizar el tamizado en húmedo.

La arena gruesa (sobre tamaño) del tamizado colocarlos en bandejas.

### **FILTRADO DE LOS FINOS DEL TAMIZADO**



Filtrar los finos producto del tamizaje en húmedo que se encuentran en el balde, y recoger el agua filtrada para reutilizarla.

La arena gruesa (sobre tamaño) del tamizado que están en bandejas se deben rotular y colocar en el horno para secar. Cuando la muestra está seca, se debe registrar su peso y enviar una muestra para análisis químico.

### **MUESTREO DE LOS FINOS DEL TAMIZADO**

Retirar la torta del filtro y derribar rápidamente en una manta y mezcle la muestra a fondo antes de cortar muestras usando un método de muestreo.

Luego pesar 8 muestras de 1.980 g (húmedo) si usa una celda de flotación de 2.5 litros y seleccione una de las muestras al azar para muestra cabeza. Agregue 500 ml de agua a todas las muestras para mantener los sólidos bajo agua tan pronto como sea posible para evitar la oxidación. Todos los pasos se deben realizar rápidamente para evitar oxidación de la muestra.

### **PRUEBAS DE FLOTACIÓN**

Transferir la muestra del balde a la celda del laboratorio cuidadosamente para asegurar que no se dejen sólidos. Agregue agua de dilución para compensar el volumen de la celda a unos 30 mm de la parte superior del borde de espuma con el agitador en funcionamiento.

Hacer funcionar la máquina de flotación a 1200 rpm para mantener las partículas gruesas en suspensión si la celda está una celda Agitair. Si la celda de laboratorio es una celda auto aspirante Denver, entonces aumente la velocidad a 1800 - 2000 rpm para evitar el arenamiento.

Agregue agua de reposición durante cada prueba de flotación para mantener el nivel de pulpa según sea necesario. Agregue reactivos y comience la flotación inmediatamente sin ningún condicionamiento. Remover continuamente la espuma usando una paleta, de manera consistente y repetitiva. Recolecte muestras de concentrado en 30/60/90 y 120 segundos (tiempo acumulado).

### **ANÁLISIS QUÍMICO**

Analizar la muestra cabeza, concentrado y relave para cada prueba de flotación.

### **DENSIDAD Y PORCENTAJE DE SÓLIDOS**

Para estas pruebas de flotación a nivel laboratorio, agitar la pulpa y mediante sifoneo se llenaron dos probetas para determinar la densidad y con gravedad específica del mineral de 2.7, se determinó el porcentaje de sólidos.

## **ANEXO B**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**

**LABORATORIO DE ESPECTROMETRÍA**

**Solicitado por** : EMPRESA MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.

**Muestra** : Mineral de Plomo

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO**

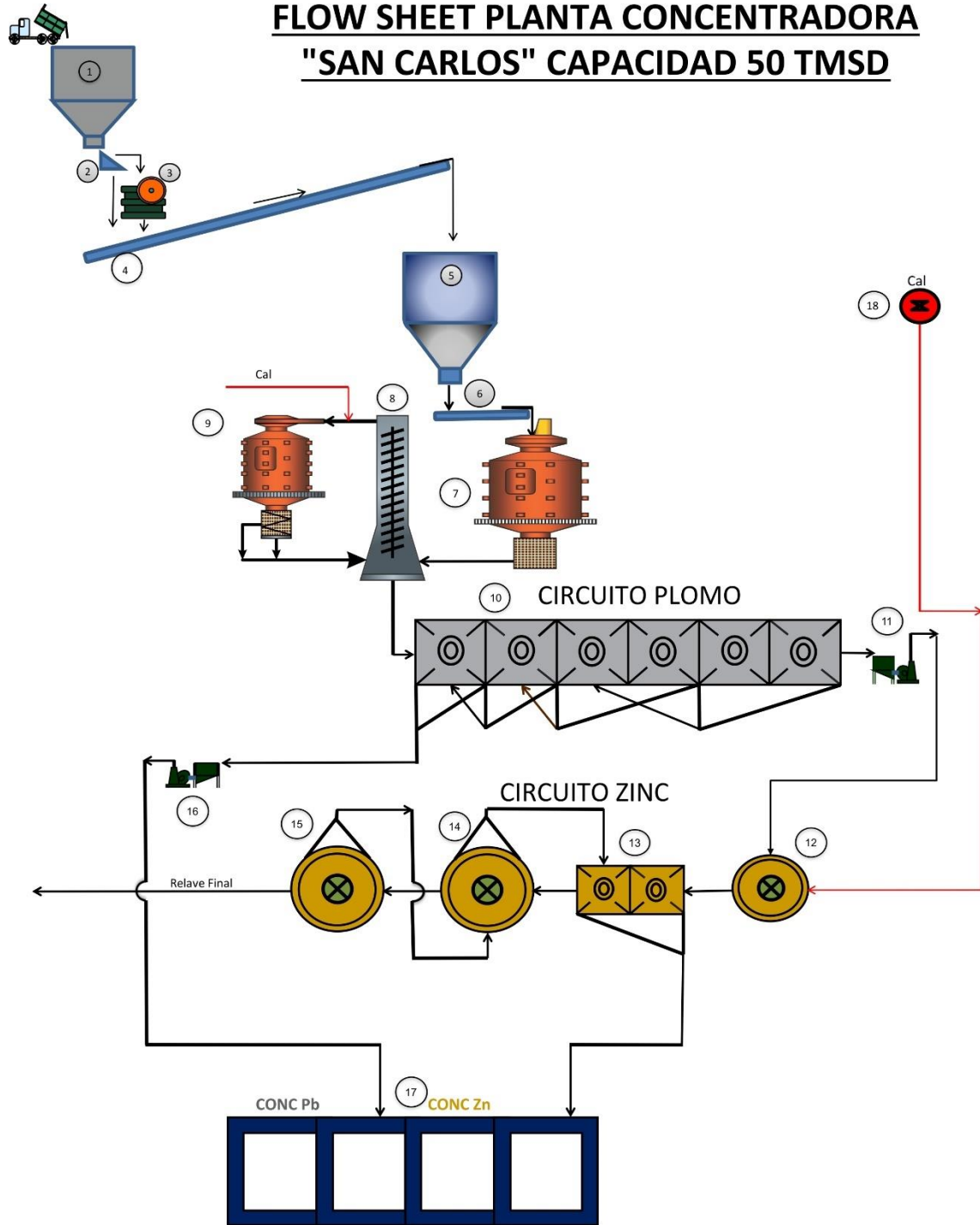
SOLIDOS	LEYES			
	Pb (%)	Ag(Oz/tc)	Au(gr/t)	Zn (%)
Mina	1.3	1.19	1.12	1.1
Conc. Pb - 1	58.2	26.23	26.48	9.8
Relave - 1	0.3557	0.34	0.1	0.13
Conc. Pb - 2	59.32	24.26	25.11	9.84
Relave - 2	0.4322	0.35	0.1	0.18
Conc. Pb - 3	57.92	26.1	25.85	10.61
Relave - 3	0.3738	0.33	0.1	0.15
Conc. Pb - 4	61.34	26	25.33	11
Relave - 4	0.278	0.29	0.11	0.21
Conc. Pb - 5	59.56	26.2	25.45	10.89
Relave - 5	0.3182	0.35	0.1	0.18
Conc. Pb - 6	60.12	26.06	25.38	10.25
Relave - 6	0.4022	0.33	0.11	0.19
Conc. Pb - 7	59.78	26.18	25.33	10.55
Relave - 7	0.3041	0.31	0.12	0.16
Conc. Pb - 8	62.37	26.25	25.48	10.85
Relave - 8	0.1962	0.35	0.1	0.18
Conc. Pb - 9	59.68	26.22	25.33	10.78
Relave - 9	0.3093	0.32	0.14	0.16
Conc. Pb - 10	60.03	26.18	25.33	10.55
Relave - 10	0.295	0.31	0.12	0.16
Conc. Pb - 11	60.01	26.15	25.33	10.49
Relave - 11	0.2967	0.35	0.11	0.15

UNI, 04 de Julio del 2018

Msc. ATILIO MENDOZA A.  
Jefe Lab. Espectrometría

## **ANEXO C**

## FLOW SHEET PLANTA CONCENTRADORA "SAN CARLOS" CAPACIDAD 50 TMSD

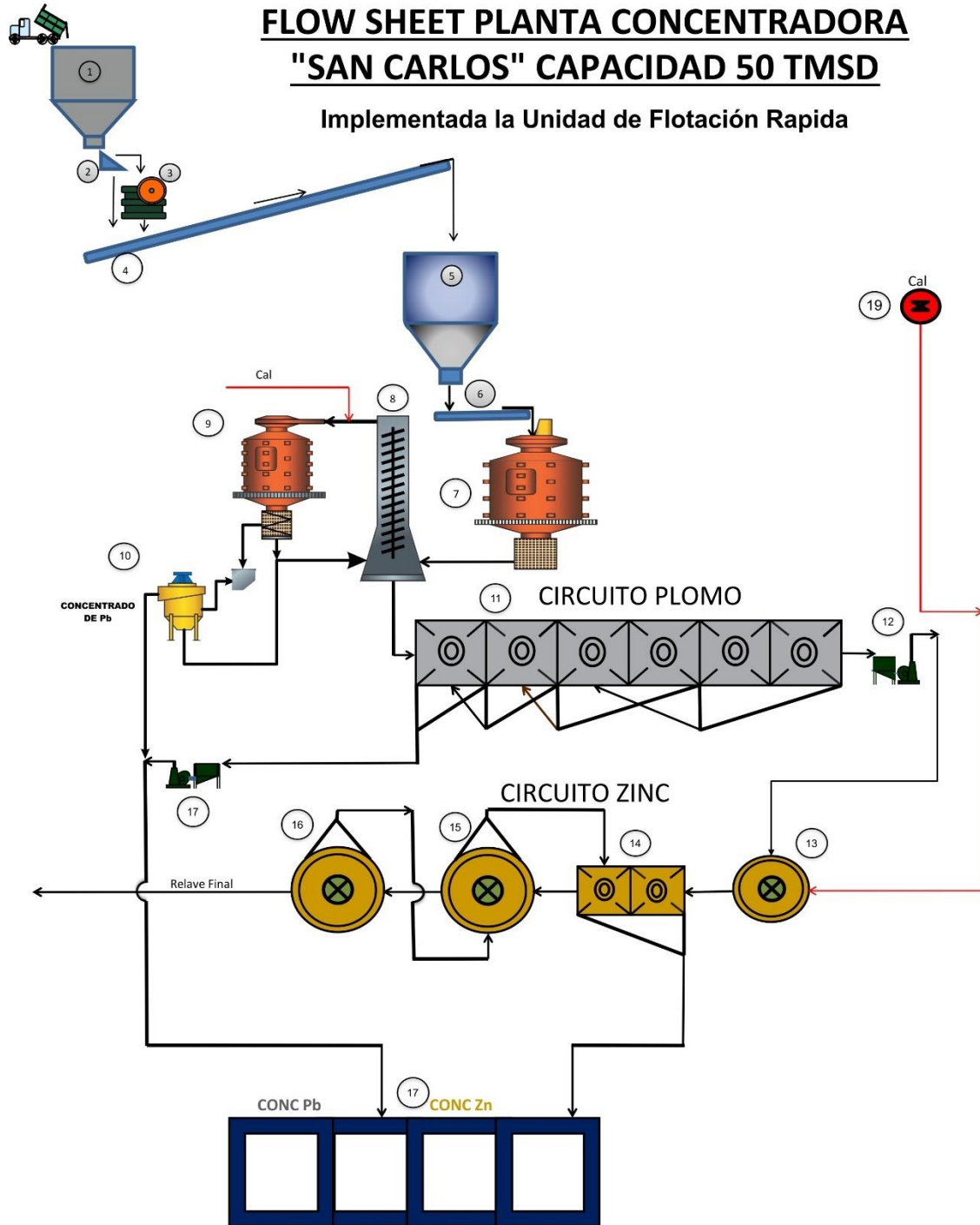


### LEYENDA

N°	DESCRIPCION	HP	Kw	G.E.
1	Tolva de Gruesos: Capacidad 50 TM	-		
2	Parrilla Estatica			Grupo Elect de 220 Kw
3	Chancadora de Quijadas: 9" x 12"	20		
4	Faja Transportadora N° 01	5		
5	Tolva de Finos: Capacidad 50 TM			
6	Faja Transportadora N° 02:	5	114	
7	Molino de Bolas Comesa: 4 Ø' x 4'	60		
8	Clasificador Helicoidal: 1.5' Ø x 16'	5		
9	Molino de Bolas Comesa: 3 Ø' x 4'	60		
10	Banco 06 Celdas Denver 32" x 32"	45		Grupo Elect de 130 Kw
11	Bomba Horizontal: 2 ½" x 2" N° 01	10		
12	Acondicionador: 3' Ø x 4'	3		
13	Banco 02 Celdas Denver 32" x 32"	15		
14	01 Celda Circular: 5' Ø x 5' N° 01	10	92	
15	01 Celda Circular: 5' Ø x 5' N° 02	10		
16	Bomba Horizontal: 2 ½" x 2" N° 02	10		
17	Cochas de Concentrados (BOMBA DE AGUA)	15		
18	Acondicionador: 3' Ø x 4' (lechada de cal)	3		

## FLOW SHEET PLANTA CONCENTRADORA "SAN CARLOS" CAPACIDAD 50 TMSD

Implementada la Unidad de Flotación Rápida

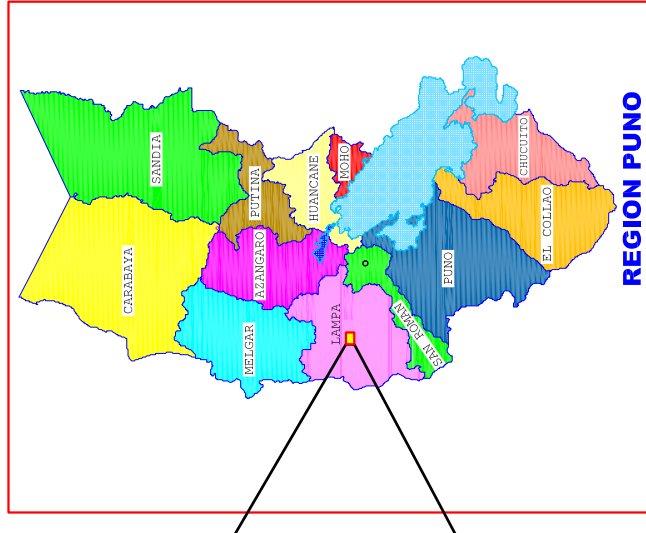
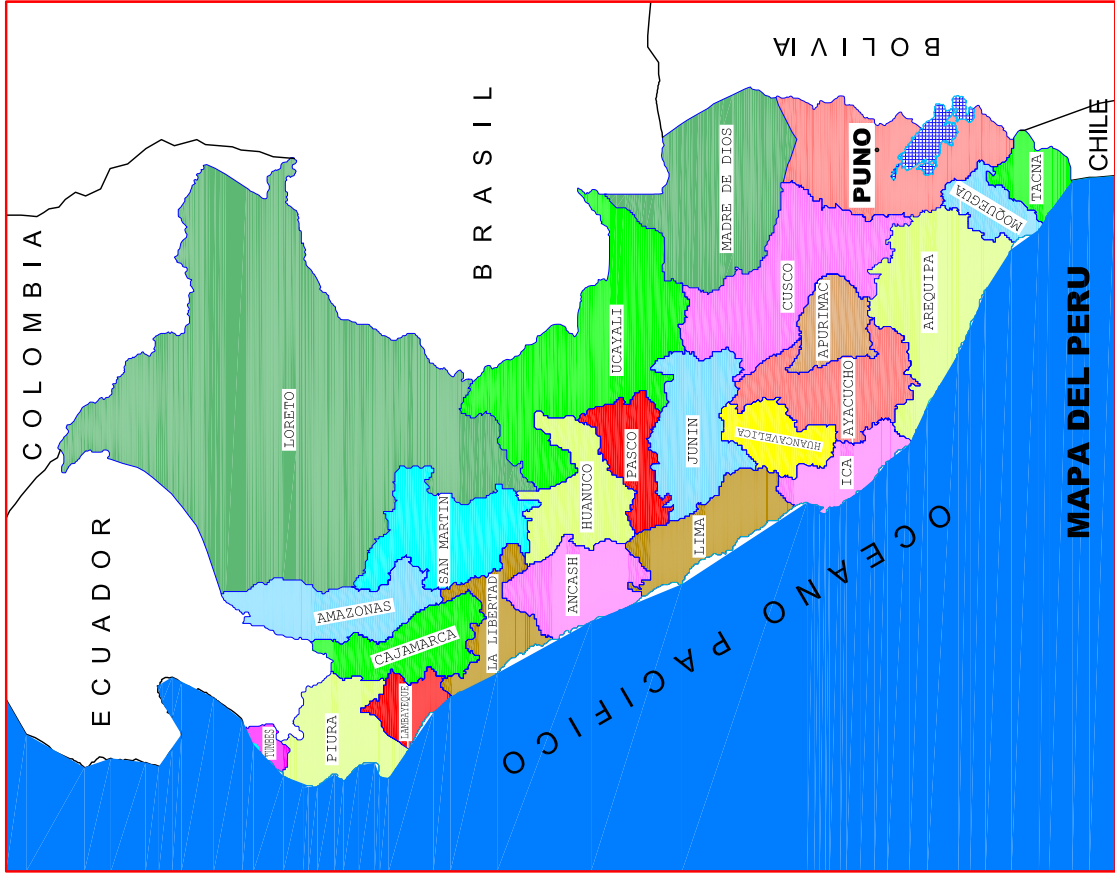
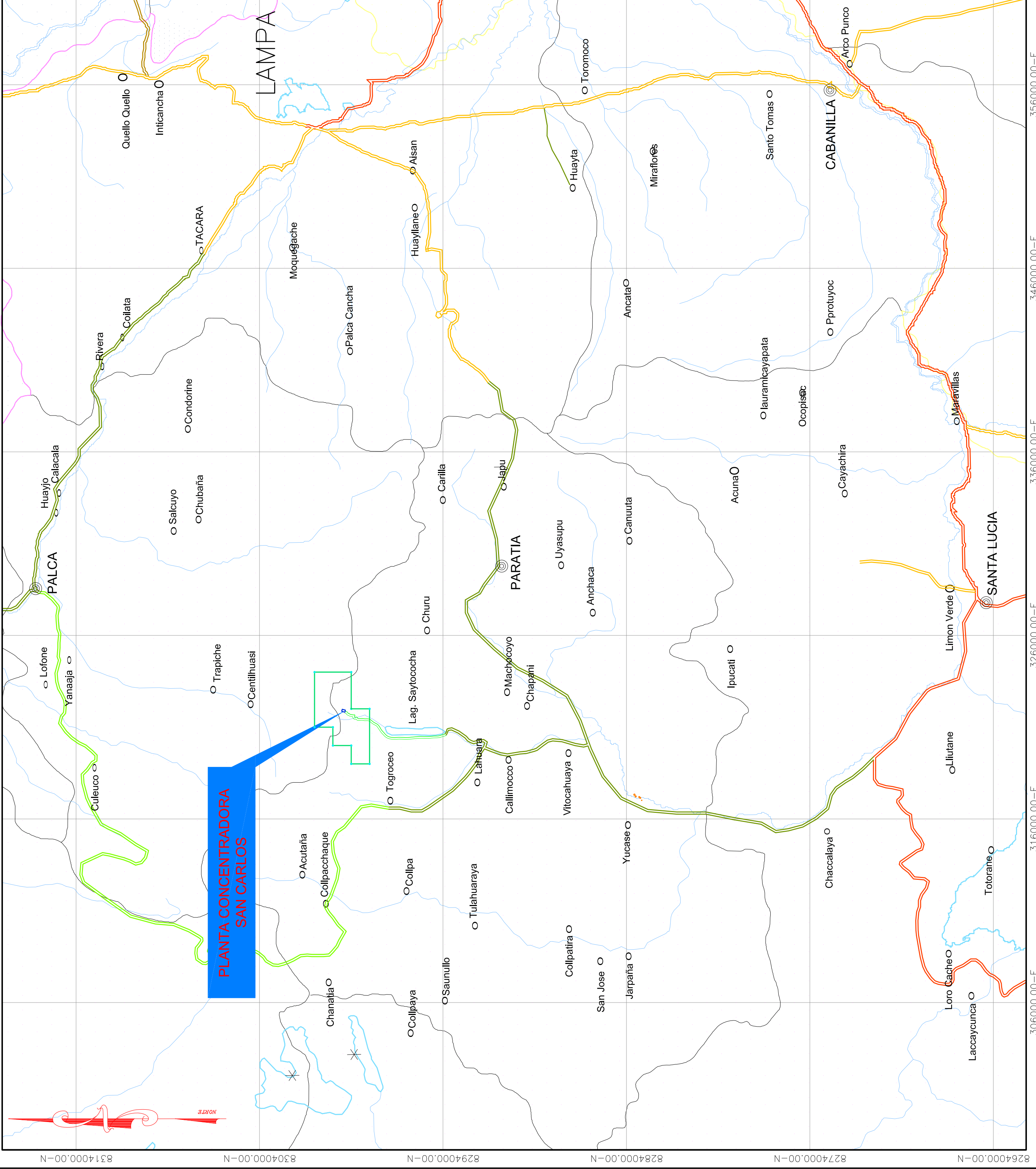


### LEYENDA

N°	DESCRIPCION	HP	Kw	G.E.
1	Tolva de Gruesos: Capacidad 50 TM	-		Grupo Elect de 220 Kw
2	Parrilla Estatica			
3	Chancadora de Quijadas: 9" x 12"	20		
4	Faja Transportadora N° 01	5		
5	Tolva de Finos: Capacidad 50 TM		114	
6	Faja Transportadora N° 02:	5		
7	Molino de Bolas Comesa: 4 Ø' x 4'	60		Grupo Elect de 130 Kw
8	Clasificador Helicoidal: 1.5' Ø x 16'	5		
9	Molino de Bolas Comesa: 3 Ø' x 4'	60		
10	Celda Unitaria 32"x32"	10		
11	Banco 06 Celdas Denver 32" x 32"	45		
12	Bomba Horizontal: 2 1/2" x 2" N° 01	10		
13	Acondicionador: 3' Ø x 4'	3		
14	Banco 02 Celdas Denver 32" x 32"	15		
15	01 Celda Circular: 5' Ø x 5' N° 01	10	92	
16	01 Celda Circular: 5' Ø x 5' N° 02	10		
17	Bomba Horizontal: 2 1/2" x 2" N° 02	10		
18	Cochas de Concentrados (BOMBA DE AGUA)	15		
19	Acondicionador: 3' Ø x 4' (lechada de cal)	3		

## **ANEXO D**





	RED VIAL
	ASFALTADA
	AFIRMADA
	SIN AFIRMAR
	TROCHA CARROZABLE
	ACCESO A LA PLANTA CONCENTRADORA

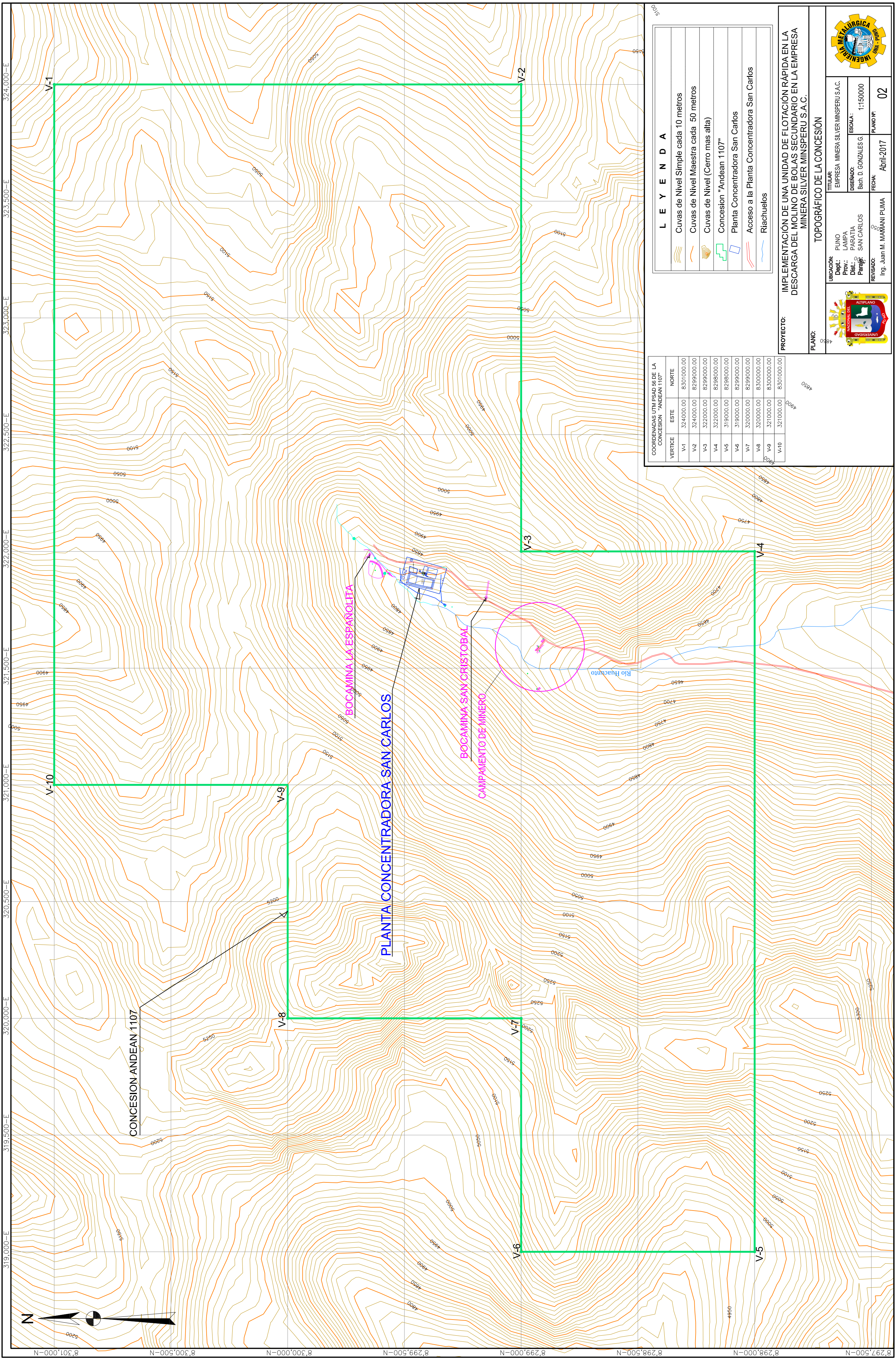
L E Y E N D A	
	CONSESION MINERA
	AREA DE LA PLANTA CONCENTRADORA SAN CARLOS
	RIOS Y RIACHUELOS
	LAGUNAS
	PARAJES Y CENTROS POBLADOS
	DISTRITOS

**PROYECTO:** IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DE FLOTACIÓN RÁPIDA EN LA DESCARGA DEL MOLINO DE BOLAS SECUNDARIO EN LA EMPRESA MINERA SILVER MINSAPERU S.A.C.

**PLANO:** UBICACION Y ACCESO

	<b>UBICACION:</b> PUNO	<b>TITULAR:</b> EMPRESA MINERA SILVER MINSAPERU S.A.C.
	Dept.: LAMPA	
	Prov.: PARATIA	<b>EMPRESA:</b> MINERA SILVER MINSAPERU S.A.C.
	Paraje: SAN CARLOS	<b>DISEÑADO:</b> BACH. D. GONZALES G
		<b>ESCALA:</b> 1:150000
		<b>FECHA:</b> Abril-2017
		<b>PLANO N°:</b> 01





319,000-E 319,500-E 320,000-E 320,500-E 321,000-E 321,500-E 322,000-E 322,500-E 323,000-E 323,500-E 324,000-E

VERTICE	ESTE	NORTE
V-1	324000.00	8301000.00
V-2	324000.00	8299000.00
V-3	322000.00	8299000.00
V-4	322000.00	8298000.00
V-5	319000.00	8298000.00
V-6	319000.00	8299000.00
V-7	320000.00	8299000.00
V-8	320000.00	8300000.00
V-9	321000.00	8300000.00
V-10	321000.00	8301000.00

L E Y E N D A	
	Cuvas de Nivel Simple cada 10 metros
	Cuvas de Nivel Maestra cada 50 metros
	Concesion "Andean 1107"
	Planta Concentradora San Carlos
	Acceso a la Planta Concentradora San Carlos
	Riachuelos

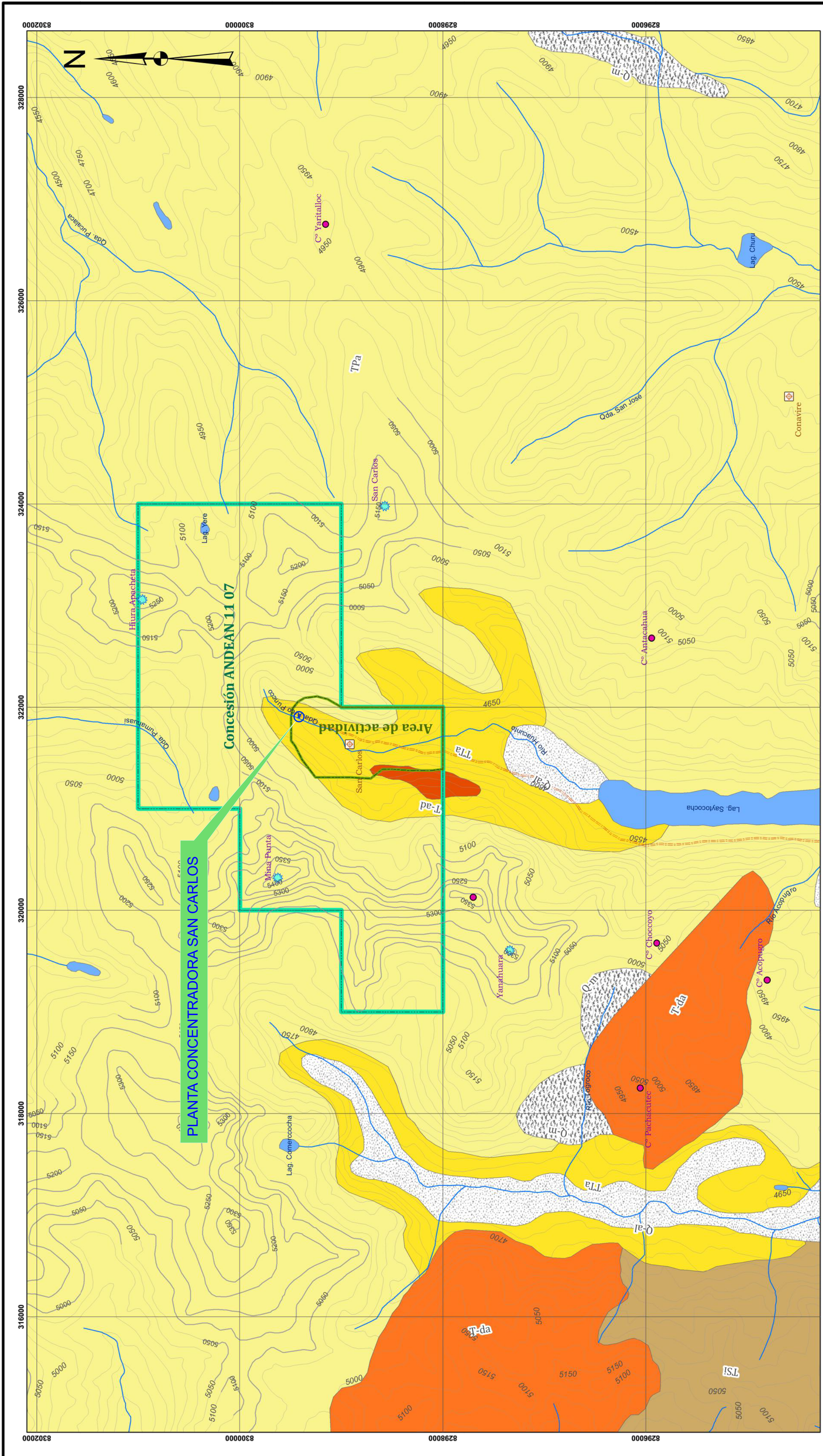
**PROYECTO:** IMPLEMENTACION DE UNA UNIDAD DE FLOTACION RAPIDA EN LA DESCARGA DEL MOLINO DE BOLAS SECUNDARIO EN LA EMPRESA MINERA SILVER MINSERU S.A.C.

**PLANO:** TOPOGRAFICO DE LA CONCESION

<b>UBICACION:</b> Dpto.: PUNO Prov.: LAMPA Dist.: PARATIA Paraje: SAN CARLOS	<b>TITULAR:</b> EMPRESA MINERA SILVER MINSERU S.A.C.
<b>REVISADO:</b> Ing. Juan M. MARIANI PUMA	<b>DISENADO:</b> Bart. D. GONZALES G.
<b>FECHA:</b> Abril-2017	<b>ESCALA:</b> 1:150000
<b>PLANO N°:</b> 02	

**UNIVERSIDAD ALTIPLANO**





COORDENADAS UTM PSAD 56 DE LA CONCESION "ANDEAN 1107"

VERTICE	ESTE	NORTE
V-1	324000.00	8301000.00
V-2	324000.00	8299000.00
V-3	322000.00	8299000.00
V-4	322000.00	8298000.00
V-5	319000.00	8298000.00
V-6	319000.00	8299000.00
V-7	320000.00	8299000.00
V-8	320000.00	8300000.00
V-9	321000.00	8300000.00
V-10	321000.00	8301000.00

**LITOLOGIA**

Q-al	Depositos aluviales-Fluvioglaciares
Q-m	Depositos morrenicos
TSI	Grupo Sillapaca
TPa	Grupo Palca
TTa	Grupo Tacaza
T-ad	Intrusivo Adamelítico
T-da	Intrusivo domo subvolcánico

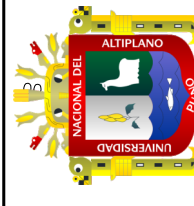
**LEYENDA**

Concesión	Ríos
Área de actividad minera	"Nevado"
C.P.	Cerro
Paraje	Curvas de Nivel
Lagos	Acceso a la Planta

**PROYECTO:** IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DE FLOTACIÓN RÁPIDA EN LA DESCARGA DEL MOLINO DE BOLAS SECUNDARIO EN LA EMPRESA MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.

**PLANO:** GEOLOGICO LOCAL

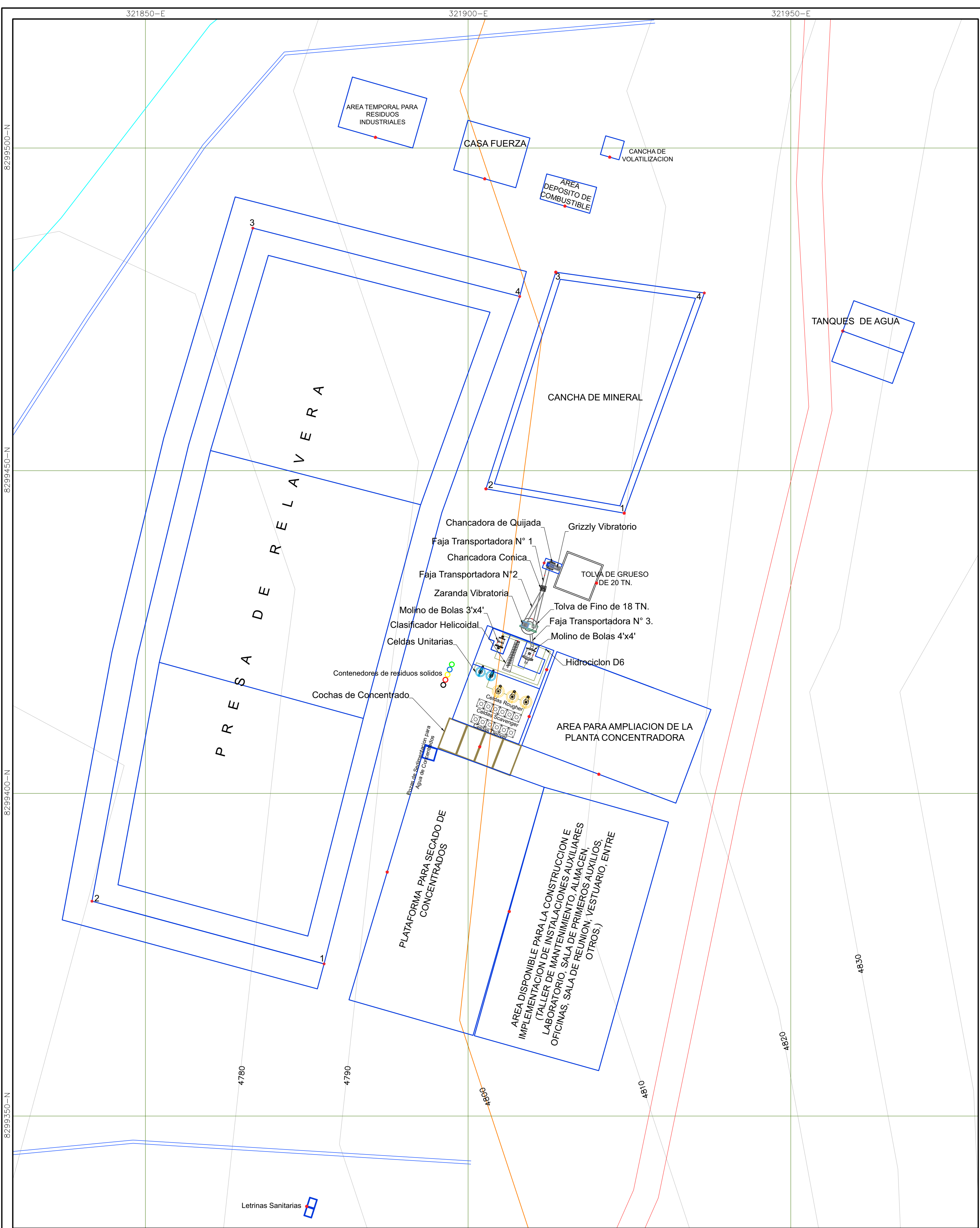
UBICACIÓN:	DEPTO: PUNO	TITULAR:	EMPRESA: MINERA SILVER MINSPERU S.A.C.
	PROV.: PARATIA	DISEÑADO:	Bach. D. GONZALES G
	PARAJE: SAN CARLOS	ESCALA:	1:25000
REVISADO:	Ing. Juan M. MAMANI PUMBA	FECHA:	Abril-2017
		PLANO N°:	03











COORDENADAS UTM PSAD 56 DE DISTRIBUCION DE EQUIPOS DE OPERACION PLANTA		
DETALLES DE COMPON.	ESTE	NORTE
Tolva de Grueso	321919.90	8299432.58
Chancadora de Quijada	321911.78	8299435.70
Faja Transportadora	321911.85	8299433.78
Tolva de Fino	321909.92	8299427.04
Molino de Bolas 4'x4'	321910.07	8299421.43
Molino de Bolas 3'x4'	321904.55	8299423.43
Clasificador Helicoidal	321907.70	8299423.65
Celdas de Flotacion	321909.46	8299411.00

COORDENADAS UTM PSAD 56 DE COMPONENTES DE LA PLANTA CONCENTRADORA		
DETALLES DE COMPON.	ESTE	NORTE
Casa Fuerza	321902.57	8299495.23
Deposito de Combustible	321915.00	8299491.00
Cancha de Volatilizacion	321921.94	8299498.59
Area Temporal de Residuos Solidos Industriales	321885.64	8299501.65
Tanque de Almacenamiento de Agua	321958.06	8299471.64
Cochas de Concentrado	321901.80	8299407.22
Plataforma para Secado de Concentrado	321887.46	8299387.80
Area Para Instalaciones Auxiliares en Planta	321906.38	8299381.70
Letrinas Sanitarias	321875.00	8299336.00

LEYENDA	
	Componentes de la Planta Concentradora
	Cuvas de Nivel
	Acceso a la Planta Concentradora San Carlos
	Puntos de Ubicacion UTM.

**PROYECTO:** IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DE FLOTACIÓN RÁPIDA EN LA DESCARGA DEL MOLINO DE BOLAS SECUNDARIO EN LA EMPRESA MINERA SILVER MINSAPERU S.A.C.

**PLANO:** DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y COMPONENTES

	UBICACIÓN:	PUNO	TITULAR:	EMPRESA MINERA SILVER MINSAPERU S.A.C.
	DEPT.:	LAMPA	DISEÑADO:	Bach. D. GONZALES G.
	PROV.:	PARATIA	ESCALA:	1:400
	DIST.:	SAN CARLOS	FECHA:	Abril-2017
	REVISADO:	Ing. Juan M. MAMANI PUMA	PLANO Nº:	05



