

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**TESIS**

**RECUPERACION DE PARTICULAS GRUESAS DE MINERALES  
SULFURADOS DE COBRE A PARTIR DE LOS RELAVES CON  
HYDROFLOAT EN LA CIA MINERA ANTAPACCAY S.A. ESPINAR-CUSCO**  
**(Investigación Tecnológica)**

**PRESENTADO POR:**

Br. VIDAL MANUTTUPA MANUTTUPA

Br. YAFAM NINA SIKOS

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO METALÚRGICO**

**ASESOR:**

Ing. PORFIRIO CARRASCO TAPIA

**CUSCO-PERU**

**2025**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: .....

RECUPERACION DE PARTICULAS GRUESAS DE MINERALES SULFURADOS  
DE COBRE A PARTIR DE LOS RELAVES CON HYDROFLOT EN LA  
CIA MINERA ANTAPALLAY S.A. ESPINAR - CUSCO

Presentado por: VIDAL MANUTUPA MANUTUPA ..... DNI N° 71516249

presentado por: YAFAM NINA SIKOS ..... DNI N°: 47843926

Para optar el título profesional/grado académico de .....  
INGENIERO METALÚRGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por DOS veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 25 de ABRIL ..... de 2025 .....

  
Firma  
Post firma: Patricia Concha Tapia  
Nro. de DNI: 24002881  
ORCID del Asesor: 0000-0002-4360-9866

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259: 452290568

# MANUTTUPA M. VIDAL Y NINA S. Y

## TESIS Recuperación de partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre a partir de los relaves co

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:452290568

Fecha de entrega

24 abr 2025, 6:32 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

24 abr 2025, 6:45 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS Recuperación de partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre a partir de los relave....pdf

Tamaño de archivo

5.7 MB

192 Páginas

36.099 Palabras

187.510 Caracteres

# 9% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 17 words)

---

## Top Sources

- 9%  Internet sources
- 0%  Publications
- 4%  Submitted works (Student Papers)

---

## Integrity Flags

### 1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**  
386 suspect characters on 6 pages  
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## PRESENTACIÓN

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA:

SEÑORES CATEDRÁTICO MIEMBROS DEL JURADO:

Por nombramiento del Reglamento de Grados y Títulos para Optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, ponemos a vuestra consideración la tesis Colectiva Titulada “RECUPERACION DE PARTICULAS GRUESAS DE MINERALES SULFURADOS DE COBRE APARTIR DE LOS RELAVES CON HYDROFLOAT EN LA CIA MINERA ANTAPACCAY S.A. ESPINAR” (investigación tecnológica).

El presente trabajo de investigación lo realizamos con gran interés por plasmar nuestros conocimientos académicos, científicos y técnicos en el ámbito de procesamiento de minerales la cual se desarrolló a nivel piloto de flotación de partículas gruesas siglas en inglés (CPF) en lecho fluidizado con celda HYDROFLOAI la cual es una tecnología nueva de concentración de minerales para incrementar el porcentaje de recuperación en la planta concentradora TINTAYA de la Compañía Minera Antapaccay S A

Estamos seguros que el presente trabajo de investigación con la aplicación de esta nueva tecnología será considerado como una atribución importante en la flotación de minerales sulfurados de cobre.

Los graduandos

## DEDICATORIA I

Estoy agradecido con Dios por haberme permitido  
lograr uno de mis objetivos, Guiándome por el buen  
camino, fortaleciendo mi inteligencia, haciendo que cada  
día sea una persona responsable comprometida con metas.

A mis padres, Delia y Moises; por haberme apoyado en esta etapa  
importante de mi vida para mi formación profesional, quienes fueron  
uno de los motivos para cumplir y lograr este objetivo y así poder  
desarrollarme profesionalmente.

A mis hermanas Marisabel, Ayde y Rubi  
quienes me apoyaron en esta etapa siendo comprensible,  
pendientes de que esté cumpliendo con mis responsabilidades y  
orientándome siempre a tomar buenas decisiones Y a mis  
docentes de las diferentes áreas y en especial a mi asesor, quienes  
me brindaron conocimientos durante el transcurso de mis estudios  
y de esta forma para lograr cumplir con esta meta muy importante  
para ser un profesional exitoso ante la sociedad.

Yafam Nina Sikos

## DEDICATORIA II

Doy gracias a Dios por guiarme en dirección correcta y lograr mis objetivos propuestos en la vida, por darme la fuerza para seguir a delante. A mis padres, Rosa y Gerardo; por su apoyo incondicional y hacer mis sueños realidad, por su preocupación por mi progreso y desarrollo profesional, A mi hija y esposa por ser motor y motivo para seguir adelante.

A mis hermanas Claudia y Elizabeth quienes me apoyaron siempre durante mi formación universitaria, por su comprensión y consejo para lograr mis metas personales. y profesionales. A mis docentes por conocimiento se transmitido, dedicación y apoyo incondicional para ser un profesional admirable y exitoso en la vida.

Vidal Manuttupa Manuttupa

## **AGRADECIMIENTO**

A gradecemos A nuestra alma mater, la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco.  
A nuestros docentes de la escuela profesional de ingeniería metalúrgica, quienes nos han preparado y guiado en nuestra formación profesional.

A nuestros compañeros de nuestra escuela profesional, egresados, quienes nos han inspirado a continuar nuestra formación profesional para así lograr nuestros objetivos trazados.  
Empresa de Compañía Minera Antapaccay S.A. por permitirnos participar días laborables y la oportunidad de desarrollar trabajos de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	i
DEDICATORIA I.....	ii
DEDICATORIA II.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
INDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
SIMBOLOGIA .....	xvii
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN .....	xx
CAPÍTULO I .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Situación problemática.....	1
1.2. Formulación de problema .....	2
1.2.1. Problema general .....	2
1.2.2. Problemas específicos .....	2
1.3. Justificación .....	2

1.3.1. Justificación tecnológica.....	2
1.3.2. Justificación económica.....	3
1.3.3. Justificación ambiental.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.5. Delimitación de la investigación.....	4
1.5.1. Limitación espacial .....	4
1.5.2. Limitación temporal.....	4
CAPITULO II.....	5
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1. Antecedente de la investigación.....	5
2.1.1. Antecedentes nacionales .....	5
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	5
2.2. Bases teóricas.....	7
2.2.1. Molienda .....	7
2.2.2. Granulometría .....	8
2.2.3. P80 .....	11
2.2.4. Ley de Rittinger .....	11
2.2.5. Ley de Kick.....	12
2.2.6. Ley de Bond.....	12
2.2.7. Equipos de clasificación .....	13
2.3. Flotación por espumas .....	18
2.3.1. Métodos de concentración .....	19

2.3.2.	Definición de flotación de espumas .....	20
2.3.3.	Tipos de Flotación.....	21
2.3.4.	Importancia de la flotación .....	22
2.3.5.	variables del proceso de flotación de espumas .....	23
2.3.6.	Hidratación.....	26
2.3.7.	Termodinámica de la flotación .....	27
2.3.8.	Las fases en la flotación.....	27
2.3.9.	Las interfaces en la flotación .....	29
2.3.10.	Cinética de la flotación .....	32
2.3.11.	Consideraciones de seguridad.....	44
2.3.12.	Inspección de la instalación. ....	47
2.3.13.	Inspección de equipos mecánicos de la planta piloto .....	48
2.3.14.	Inspección de tuberías.....	51
2.3.15.	Instrumentación y control .....	53
2.3.16.	Sistemas de control de la planta piloto .....	56
CAPITULO III.....		66
3.	HIPOTESIS Y VARIABLES .....	66
3.1.	Hipótesis .....	66
3.1.1.	Hipótesis general.....	66
3.1.2.	Hipótesis especifica .....	66
3.2.	Variables .....	66
3.2.1.	Variable dependiente .....	66
3.2.2.	Variables independientes .....	67

3.2.3. Indicadores .....	67
CAPITULO IV .....	68
4. METODOLOGÍA .....	68
4.1. Tipo de investigación .....	68
4.2. Nivel de investigación.....	68
4.3. Método de investigación .....	68
4.4. Diseño de investigación .....	68
4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	69
4.5.1. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	69
4.6. Población y muestra de estudio.....	70
4.7. Materiales e instrumentos de investigación .....	70
4.7.1. Materiales de investigación.....	70
4.7.2. Instrumentos y equipos de investigación .....	70
4.8. Técnicas de investigación .....	70
CAPITULO V .....	73
5. INGENIERÍA DE INVESTIGACIÓN .....	73
5.1. Procedimiento .....	75
5.2. Caracterización mineralógica de relave planta concentradora Tintaya .....	75
5.2.1. Análisis químico de relave tintaya.....	78
5.2.2. Medición de densidad de pulpa y gravedad específica.....	80
5.3. Pruebas de flotación .....	86
5.3.1. Dosificación de reactivos .....	86
5.3.2. Medida de porcentaje malla retenido y pasante .....	89

5.3.3.	Medida de pH de pulpa .....	90
5.3.4.	Corrida de pruebas experimentales .....	90
5.4.	Resumen de pruebas experimentales .....	123
5.4.1.	Grafica de tendencias de las pruebas experimentales a partir de los resultados 126	
5.4.2.	Interpretación de resultados de laboratorio químico.....	130
5.4.3.	Resultados de difracción de rayo X (DRX) .....	131
5.4.4.	Gráfica de p80( $\mu\text{m}$ ) vs recuperación (%).....	134
5.4.5.	Gráfica de Flujo de agua (m <sup>3</sup> /hr) vs recuperación (%).....	135
5.4.6.	Grafica de Flujo de aire (L/min) vs recuperación (%).....	136
5.4.7.	Grafica de Flujo de PAX (gr/ton) vs recuperación (%) .....	137
5.4.8.	Grafica de Flotanól C07 (gr/ton) vs recuperación (%) .....	138
5.4.9.	Grafica %recuperación adicional vs %recuperación planta.....	139
5.4.10.	Gráfica %recuperación planta vs %recuperación global %plant + cpf 140	
CAPITULO VI.....		141
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	141
6.1.	Planificación de análisis estadístico.....	141
6.2.	Resultados de las pruebas experimentales .....	142
6.2.1.	Variables involucradas.....	142
6.2.2.	Hipótesis de interés a verificar.....	143
6.2.3.	Análisis inicial de datos experimentales .....	144
6.2.4.	Estimación de coeficientes de regresión lineal .....	145

6.2.5. Efecto de variables y diagrafe de Pareto .....	146
6.3. Inferencia en la regresión lineal múltiple.....	148
6.3.1. Intervalos de confianza y prueba de hipótesis para el modelo matemático 148	
6.3.2. Medida de coeficiente de determinación de la correlación múltiple .....	151
6.3.3. Pruebas de hipótesis ANOVA .....	152
6.3.4. Optimización del modelo.....	153
6.3.5. Parámetros de optimización de respuesta: Y .....	154
6.3.6. Predicción de respuesta múltiple .....	155
6.3.7. Solución de la optimización: Y.....	155
CONCLUSIONES .....	157
RECOMENDACIONES.....	158
BIBLIOGRAFIA .....	159
ANEXOS .....	160

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Serie de tamices la norma ASTM Y TYLER</i> .....	9
<b>Tabla 2</b> <i>Equipos de la planta Tintaya</i> .....	57
<b>Tabla 3</b> <i>Instrumentos utilizados en planta piloto</i> .....	57
<b>Tabla 4</b> <i>TAGS de los instrumentos</i> .....	58
<b>Tabla 5</b> <i>Serie de tamices utilizados</i> .....	83
<b>Tabla 6</b> <i>Análisis granulométrico Feed Crossfloat</i> .....	84
<b>Tabla 7</b> <i>Resultado preliminar de malla retenido y pasante # 150</i> .....	88
<b>Tabla 8</b> <i>Malla retenido y pasante # 150 de alimento a planta piloto</i> .....	90
<b>Tabla 9</b> <i>Balance metalúrgico Hidrofloat prueba 01</i> .....	92
<b>Tabla 10</b> <i>Balance metalúrgico Hidrofloat prueba 02</i> .....	94
<b>Tabla 11</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 03</i> .....	96
<b>Tabla 12</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 04</i> .....	98
<b>Tabla 13</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 05</i> .....	100
<b>Tabla 14</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 06</i> .....	102
<b>Tabla 15</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 07</i> .....	104
<b>Tabla 16</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 08</i> .....	106
<b>Tabla 17</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 09</i> .....	108
<b>Tabla 18</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 10</i> .....	110
<b>Tabla 19</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 11</i> .....	112
<b>Tabla 20</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 12</i> .....	114
<b>Tabla 21</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 13</i> .....	116
<b>Tabla 22</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 14</i> .....	118

<b>Tabla 23</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 15</i> .....	120
<b>Tabla 24</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 16</i> .....	122
<b>Tabla 25</b> <i>Condición óptima para la recuperación</i> .....	123
<b>Tabla 26</b> <i>Resumen de variación de variables y su efecto en % recuperación</i> .....	123
<b>Tabla 27</b> <i>Resumen de p80, Relave Tintaya, alimento Cross Flow, Hydrofloat</i> .....	125
<b>Tabla 28</b> <i>Resultado de análisis químico</i> .....	130
<b>Tabla 29</b> <i>Resultados calculados de acuerdo al reporte de laboratorio</i> .....	134
<b>Tabla 30</b> <i>Resumen de pruebas experimentales y laboratorio</i> .....	142
<b>Tabla 31</b> <i>Coefficientes y error típico de regresión obtenido</i> .....	145
<b>Tabla 32</b> <i>Estimación de efecto de coeficientes</i> .....	146
<b>Tabla 33</b> <i>Intervalos de confianza y prueba de hipótesis</i> .....	149
<b>Tabla 34</b> <i>Medida de ajustes el modelo(R2)</i> .....	151
<b>Tabla 35</b> <i>Resultados de pruebas de hipótesis ANOVA</i> .....	152
<b>Tabla 36</b> <i>Parámetros de optimización</i> .....	154
<b>Tabla 37</b> <i>Resultados de predicción múltiple</i> .....	155
<b>Tabla 38</b> <i>Solución de optimización</i> .....	155

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Serie de tamiz</i> .....	10
<b>Figura 2</b> <i>hidrociclón y sus partes</i> .....	14
<b>Figura 3</b> <i>Tipos de descarga de hidrociclones</i> .....	15
<b>Figura 4</b> <i>Circuito Cross Flow</i> .....	16
<b>Figura 5</b> <i>Clasificador Cross Flow</i> .....	17
<b>Figura 6</b> <i>La flotación como un proceso Mineralógico-Químico-Cinético</i> .....	21
<b>Figura 7</b> <i>Origen de la tensión superficial</i> .....	30
<b>Figura 8</b> <i>Adsorción de espumante</i> .....	41
<b>Figura 9</b> <i>Modulo 01 planta piloto</i> .....	45
<b>Figura 10</b> <i>Instalación del módulo 02-A</i> .....	46
<b>Figura 11</b> <i>Modulo02-B de planta piloto según plano</i> .....	46
<b>Figura 12</b> <i>Estructura metálica de planta piloto</i> .....	47
<b>Figura 13</b> <i>Planta piloto de flotación de partículas gruesas (CPF)</i> .....	48
<b>Figura 14</b> <i>Equipos mecánicos que componen la planta piloto</i> .....	49
<b>Figura 15</b> <i>Circuito de tuberías de la planta piloto</i> .....	51
<b>Figura 16</b> <i>Línea de ingreso de pulpa al Cross Flow</i> .....	52
<b>Figura 17</b> <i>Línea de descarga de bomba de relave</i> .....	52
<b>Figura 18</b> <i>Línea de agua ingreso al tanque de agua</i> .....	53
<b>Figura 19</b> <i>Suministro de reactivos</i> .....	61
<b>Figura 20</b> <i>Flowsheet - planta piloto de flotación de Partículas gruesas</i> .....	65
<b>Figura 21</b> <i>Flowsheet - planta concentradora Tintaya</i> .....	73
<b>Figura 22</b> <i>Muestreo relave Tintaya</i> .....	75

<b>Figura 23</b> <i>Caracterización mineralógica relave tintaya</i> .....	76
<b>Figura 24</b> <i>Grado de liberación de especies de cobre</i> .....	77
<b>Figura 25</b> <i>Microfotografías de especies mineralógicas presentes en el relave</i> .....	77
<b>Figura 26</b> <i>% distribución de minerales por tamaño - Relave</i> .....	78
<b>Figura 27</b> <i>Malla valorada relave</i> .....	78
<b>Figura 28</b> <i>Distribución metálica e insolubles de relave</i> .....	79
<b>Figura 29</b> <i>Medida de densidad de relave Scavenger</i> .....	80
<b>Figura 30</b> <i>Homogenizado y cuarteado</i> .....	81
<b>Figura 31</b> <i>Determinación de Gravedad Especifica</i> .....	81
<b>Figura 32</b> <i>Deslamado de muestras</i> .....	82
<b>Figura 33</b> <i>Tamiz armado para procesar muestras</i> .....	83
<b>Figura 34</b> <i>Pesado de muestras después de tamizar</i> .....	84
<b>Figura 35</b> <i>Gráfica de perfil granulométrico</i> .....	85
<b>Figura 36</b> <i>Zona de dosificación de reactivos</i> .....	87
<b>Figura 37</b> <i>Muestras tomadas para análisis granulométrico y laboratorio</i> .....	89
<b>Figura 38</b> <i>Media den pH de las muestras relave</i> .....	90
<b>Figura 39</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 01</i> .....	91
<b>Figura 40</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 02</i> .....	93
<b>Figura 41</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 03</i> .....	95
<b>Figura 42</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 04</i> .....	97
<b>Figura 43</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 05</i> .....	99
<b>Figura 44</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 06</i> .....	101
<b>Figura 45</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 07</i> .....	103

<b>Figura 46</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 08</i> .....	105
<b>Figura 47</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 09</i> .....	107
<b>Figura 48</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 10</i> .....	109
<b>Figura 49</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 11</i> .....	111
<b>Figura 50</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 12</i> .....	113
<b>Figura 51</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 13</i> .....	115
<b>Figura 52</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 14</i> .....	117
<b>Figura 53</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 15</i> .....	119
<b>Figura 54</b> <i>Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 16</i> .....	121
<b>Figura 55</b> <i>Diagrama de flujo de planta piloto</i> .....	124
<b>Figura 56</b> <i>Variación de p80 relave Tintaya</i> .....	126
<b>Figura 57</b> <i>Variación de p80 alimentación Cross Flow</i> .....	127
<b>Figura 58</b> <i>Variación de p80 alimentación a Hydrofloat</i> .....	128
<b>Figura 59</b> <i>Variación de p80 relave Tintaya, alimento Cross Flow, Hydrofloat</i> .....	128
<b>Figura 60</b> <i>Variación de flujo de agua</i> .....	129
<b>Figura 61</b> <i>Variación de aire</i> .....	130
<b>Figura 62</b> <i>Micro fotografía de concentrado Hydrofloat</i> .....	131
<b>Figura 63</b> <i>Micro fotografía de relave Hydrofloat</i> .....	132
<b>Figura 64</b> <i>% Recuperación vs p80</i> .....	134
<b>Figura 65</b> <i>Tendencia de % recuperación vs flujo de agua</i> .....	135
<b>Figura 66</b> <i>Tendencia de % recuperación vs flujo de aire</i> .....	136
<b>Figura 67</b> <i>Tendencia de % recuperación vs Z-6</i> .....	137
<b>Figura 68</b> <i>Tendencia de %recuperación vs espumante (Flotanól -07)</i> .....	138

<b>Figura 69</b> <i>% recuperación adicional vs %recuperación planta</i> .....	139
<b>Figura 70</b> <i>Recuperación planta vs recu global plant + cpf</i> .....	140
<b>Figura 71</b> <i>Tendencia de % recuperación durante las pruebas experimentales</i> .....	144
<b>Figura 72</b> <i>Efecto de variables independientes al % recuperación</i> .....	147
<b>Figura 73</b> <i>Diagrama de Pareto de efectos estandarizados</i> .....	148
<b>Figura 74</b> <i>% recuperación vs p80 y espumante</i> .....	153
<b>Figura 75</b> <i>Grafica de contorno % Recuperación vs espumante</i> .....	154
<b>Figura 76</b> <i>Grafica de optimización</i> .....	156

## SIMBOLOGIA

ASTM:	American society for testing and materials
ANOVA:	Análisis de varianza
CPF:	Coarse particule flotation
Cu:	Cobre
CIA:	Compañía
Conc/HF:	Concentrado Hydrofloat
Cm:	Centímetro
DRX:	Difracción de rayos x
E:	Este
g:	gramo
h:	hora
Ho:	Hipótesis nula
HA:	Hipótesis alternativa
Kg:	kilogramo
L:	litro
m:	metro
mm:	milímetro
m.s.n.m:	Metros sobre el nivel del mar
min:	minuto
$\mu$ :	micrones
ml:	mililitro
N:	norte
U/f:	Underflow
O/f:	Overflow
pH:	Potencial de hidrogeno
P80:	Es el tamaño correspondiente al 80% del pasante acumulado
$r^2$ :	Coefficiente de determinación
S:	Sur
S.A.:	Sociedad anónima
$\sigma$ :	Desviación estándar
TMS:	Toneladas métricas secas
%Cu:	Porcentaje de recuperación de cobre
Z- 6:	xantato amflico de potasio
ASTM:	American society for testing and materials
ANOVA:	Análisis de varianza
CPF:	Coarse particule flotation
Cu:	Cobre

## RESUMEN

Se realizaron diversos estudios para mejorar la recuperación en la flotación de minerales debido a pérdidas de minerales valiosos ya sea en partículas gruesas y finas los jales de las colas con tecnologías innovadoras, la investigación se desarrolló debido a las pérdidas de mineral valioso en las partículas gruesas mayores a 150 micrones la cual representa más del 60% de perdidas, se tiene como objetivo, recuperar partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre a partir de relaves de flotación con la celda Hydrofloat de la Cia. minera Antapaccay S.A. - planta concentradora Tintaya. Cuyo desarrollo de la investigación es tecnológico, cuantitativo con diseño factorial con regresión y correlación lineal múltiple, la cual nos dio a conocer como variables con mayor efecto son: espumante seguido por interacción agua-p80. Población relave Tintaya, muestra 3.24ton/día fue tomado de relave de la planta concentradora Tintaya. Para poder desarrollar las pruebas experimentales a nivel piloto se considera cinco variables independientes. Aire, agua, p80, F-07 y Z-6. Con las se formula con Minitap un diseño experimental fraccionado con 16 pruebas a nivel piloto, la experimentación se realiza con la variación de las cinco variables que afectan directamente al % de recuperación. De las pruebas experimentales llegamos a las siguientes conclusiones: el % recuperación obtenida entre  $(82 \leq \% \text{recu} \leq 88.1)$  según los resultados de laboratorio de análisis químico. con p80 entre  $489.5 \leq p80 \leq 540.9$   $\mu\text{m}$  para  $p80 < 489.5 \mu\text{m}$  el % de recuperación es  $< 82\%$ . el resultado de difracción de rayos X (DRX) del concentrado obtenido nos muestran el concentrado Hydrofloat las partículas con mineral valioso que encuentran entre  $(266.72- 778.5)$   $\mu\text{m}$ , asociados con minerales valioso que se encuentra entre  $(55.44-273.61)$   $\mu\text{m}$ , las cuales están asociados como: calcopirita- cuarzo, calcopirita-cuarzo-bornita y presencia de calcopirita-cuarzo-plagioclasa. Cuyo P80 se encuentra entre  $(246.5-386.8)$   $\mu\text{m}$ .

*Palabra clave:* flotación de gruesos, Hydrofloat, P80, % Recuperación

## ABSTRACT

Various studies were carried out to improve recovery in mineral flotation due to losses of valuable minerals in either coarse or fine particles, tailings with innovative technologies, the research was developed due to the losses of valuable minerals in coarse particles greater than 150 microns, which represents more than 60% of losses, the objective is to recover coarse particles of copper sulfide minerals from flotation tailings with the Hydrofloat cell of the Antapaccay mining company S.A. - Tintaya concentrator plant. Whose research development is technological, quantitative with factorial design with regression and multiple linear correlation, which allowed us to know how variables with the greatest effect are: foaming agent followed by water-p80 interaction. Tintaya tailings population, a sample of 3.24 tons / day was taken from tailings at the Tintaya concentrator plant. In order to develop the experimental tests at a pilot level, five independent variables are considered. Air, water, p80, F-07 and Z-6. A fractional experimental design with 16 pilot-level tests is formulated using Minitap. The experimentation is carried out with the variation of the five variables that directly affect the % recovery. From the experimental tests we reach the following conclusions: the % recovery obtained between  $(82 \leq \% \text{recu} \leq 88.1)$  according to the results of the chemical analysis laboratory. with p80 between  $489.5 \leq \text{p80} \leq 540.9$   $\mu\text{m}$  for  $\text{p80} < 489.5$   $\mu\text{m}$  the % recovery is  $< 82\%$ . The X-ray diffraction (XRD) result of the obtained concentrate shows the Hydrofloat concentrate particles with valuable minerals found between  $(266.72-778.5)$   $\mu\text{m}$ , associated with valuable minerals found between  $(55.44-273.61)$   $\mu\text{m}$ , which are associated as: chalcopirite-quartz, chalcopirite-quartz-bornite and the presence of chalcopirite-quartz-plagioclase. Whose P80 is between  $(246.5-386.8)$   $\mu\text{m}$ .

Keyword: coarse flotation, Hydrofloat, P80, % Recovery

## INTRODUCCIÓN

La flotación de minerales es uno de los métodos más empleados en la concentración de minerales valiosos sulfurados de cobre. Por ello se realizan permanentes estudios para optimizar el proceso. El problema que encontramos en la planta concentradora TINTAYA es la pérdida de especies minerales valiosos de cobre en los jales de las colas en partículas mayores a 150 micrones las cuales no pueden ser recuperadas por las celdas convencionales que se cuenta debido a falta de liberación. En el presente trabajo se busca recuperar las partículas valiosas de minerales de cobre cuyas especies mineralógicas principales son. Calcopirita ( $\text{Cu}_2\text{FeS}_3$ ), calcosita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), covelina ( $\text{CuS}$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), como ganga son silicatos, carbonatos, cuarzo, etc. con la utilización de una nueva tecnología Hydrofloat de flotación de partículas gruesas, debido que en actualidad está teniendo aplicación en las diferentes unidades mineras como QUELLAVECO para procesamiento de relaves para incrementar la recuperación, esta tecnología va tomando mayor importancia gracias a la innovación y usos sostenible recursos como agua y energía en su proceso para reducir costos y obtención de mejor calidad de concentrado de acuerdo a las exigencias demandadas. La investigación tiene como objetivo recuperar especies valiosos de relave con tamaño de partículas mayores a 150 micrones donde las pérdidas de especies valiosos representan más del 60% según los análisis químicos realizados. Estudios realizados con la aplicación de Hydrofloat como; M.Sc José Concha cuya investigación titulada "Flotación de partículas gruesas aplicada a minerales sulfurados de cobre" ha sido posible obtener recuperar hasta 93% Cu y 89% Mo cuando se ha flotado un mineral en el rango de  $600\ \mu\text{m} \times 150\ \mu\text{m}$ , L. Vollert, "aplicación de Eriez Hydrofloat en la industria de NEWCREST" En la cual se llegó hasta una recuperación del 94% con una liberación mayor al 50% en partículas mayores a 150 micrones. y Mankosa "recuperación de valores de un corriente de relaves de cobre porfídico" donde los datos obtenidos usando este

novedoso dispositivo de flotación en ensayos a escala piloto y de laboratorio mostraron que la buena recuperación de los valores de sulfuro perdidos previamente hasta 850 $\mu$ m diámetro podría lograrse los datos recopilados en este estudio sugieren que se pueden obtener 2100 kilogramos de cobre adicionales por día. Con la presente investigación se busca mejorar el proceso de flotación con nueva tecnología más sustentable con el uso de recursos como agua y amigable con el medio ambiente. La investigación es experimental que tiene la finalidad determinar la influencia del p80 en el incremento de la recuperación de minerales de cobre, con ello la productividad de concentrados, el estudio se realizara a nivel piloto para, el método utilizado es científico cuantitativo – correlacional donde. El desarrollo de investigación está conformado por 6 capítulos. Capítulo I planteamiento del problema, II marco teórico, III Hipótesis y variables, IV metodología, V resultados experimentales y VI discusión de resultados donde se culmina con conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos. La investigación empieza con el muestreo de relave de la planta concentradora TINTAYA, alimento a CrossFlow, Underflow de CrossFlow en paralelo los tres puntos con la finalidad de ver la varianza en cada punto, para un análisis granulométrico y malla valorada. Para análisis químico toman muestras de cinco puntos las cuales son. relave Hydrofloat, Overflow de CrossFlow, alimento CrossFlow, Underflow de CrossFlow y concentrado de Hydrofloat en paralelo con la finalidad de hacer un balance metalúrgico. Para el análisis mineralógico se toman muestras de concentrado y relave de Hydrofloat Todo esto tomando en cuenta las variables como. Espumante, flujo de agua, flujo de aire y su influencia en la recuperación de minerales de cobre.

## CAPÍTULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Situación problemática

El proceso de flotación es uno de los métodos más usados para la obtención de concentrado de cobre a partir de minerales sulfurados, en los últimos años se fueron desarrollando nuevas tecnologías innovadoras debido a la exigencia hacia la nueva era de flotación puesto que las leyes de cabeza de los últimos yacimientos mineros son bajas y existen pérdidas en la recuperación de minerales valiosos en las plantas concentradoras en los gruesos y finos.

Esto sucede en la planta concentradora TINTAYA cuya recuperación tiene un promedio de 83%, donde el 17% de mineral valioso se va al relave en los finos y gruesos, donde según análisis de malla valorada se dio a conocer que el 60% de mineral valioso en el relave se encuentra en partículas mayores a 150 micrones, que se encuentra en las mallas de 28,35 y 48, según los reportes mineralógicos estas pérdidas están relacionadas a la falta de liberación, deficiencia de operación en circuito molienda y clasificación que genera la pérdida de minerales valiosos. Esto nos conlleva a realizar la presente investigación con el objetivo de recuperar minerales sulfurados gruesos valiosos a partir de los relaves para incrementar la recuperación, con el uso de una innovadora celda de flotación de partículas gruesas de lecho fluidizado Hydrofloat donde tendremos como variables independientes. Flujo de aire, flujo de agua, espumante y p80. Como variable dependiente la recuperación de cobre. Esta investigación tiene sustento con las investigaciones preliminares realizados a nivel laboratorio en donde se pudo flotar partículas con poca liberación logrando incrementar la recuperación conllevando a aumentar la rentabilidad aplicando las celdas de flotación Hydrofloat, teniendo logros importantes en la industria minera metalúrgica de cobre.

## **1.2. Formulación de problema**

### ***1.2.1. Problema general***

¿Será posible recuperar partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre de los relaves de flotación con la celda Hydrofloat de la cia minera Antapaccay S.A.-planta concentradora Tintaya?

### ***1.2.2. Problemas específicos***

¿Serán adecuadas los minerales valiosos procedentes de los relaves de flotación tanto mineralógicamente como en composición química en los relaves de la planta concentradora de Tintaya?

¿Cómo es la influencia del P80 de relave final de la planta concentradora Tintaya, en alimento y underflow de Cross Flow de la planta piloto (CPF)?

¿Cuáles son los parámetros óptimos operativas de la celda Hydrofloat que permite una buena recuperación de las partículas gruesas de los minerales sulfatados de cobre a partir de relave final del proceso de flotación?

## **1.3. Justificación**

### ***1.3.1. Justificación tecnológica***

El uso de tecnologías innovadoras en el proceso de flotación en la industria minera metalúrgica, como la implementación de la celda de flotación Hydrofloat, puede aumentar significativamente la eficiencia en la recuperación de cobre en minerales de partículas gruesas. Esto se convierte en una estrategia operativa a considerar por parte de los nuevos proyectos mineros para mejorar el rendimiento de sus plantas de procesamiento

### ***1.3.2. Justificación económica***

Incremento significativo en los ingresos económicos por comercialización de concentrado de cobre, puesto que con las celdas de concentración Hydrofloat la planta concertadora podría procesar mayor tonelaje dando como resultado mayor optación de concentrado de cobre; según ERIEZ FLOTATION esta tecnología podría reducir hasta en 10% en OPEX de toda la planta concertadora.

### ***1.3.3. Justificación ambiental***

El uso eficiente y control adecuado de los materiales e insumos para la aplicación de la celda Hydrofloat como son los reactivos de flotación (Pax, Flotanol), hace más fácil la descontaminación de agua recuperada de las relaveras haciendo el uso eficiente de agua fresca, las otras ventajas como disposición segura de relaves gruesos y en seco, no genera problemas ambientales.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Recuperar partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre de los relaves de flotación con la celda Hydrofloat de la cia minera Antapaccay S.A. - planta concentradora Tintaya

#### **1.4.1.1. Objetivos específicos**

- Identificar las especies mineralógicas con DRX y composición química con absorción atómica, de los minerales valiosos en los relaves de flotación de la planta concentradora Tintaya.
- Calcular el P80 de relave final de la planta concentradora Tintaya, alimento y Underflow de CrossFlow de la planta piloto (CPF) influye en el porcentaje de recuperación de cobre.

- Optimizar las variables operativas de la celda Hydrofloat que permita una buena recuperación de las partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre en los relaves finales del proceso de flotación.

## **1.5. Delimitación de la investigación**

### ***1.5.1. Limitación espacial***

El estudio se llevará a cabo en la planta piloto (CPF) de la empresa minera Antapaccay S.A., utilizando relaves finales procedentes de la planta concentradora Tintaya, ubicada en la provincia de Espinar, en el departamento de Cusco.

### ***1.5.2. Limitación temporal***

Este estudio de investigación tecnológica se centrará en tres secciones principales; el tiempo de desarrollo del presente trabajo será de tres meses, siempre en cuando no se presente problemas de carácter social, económico etc. que puede alterar el tiempo programado.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. Antecedente de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

Concha et al, (2016), Eriez Flotación, tema de investigación “*flotación de partículas gruesas aplicada a minerales sulfurados de cobre*”, (artículo científico). Eriez Flotación. Sur del. Perú. El objetivo del estudio fue analizar la flotación de partículas gruesas en minerales sulfurados de cobre, utilizando un enfoque de investigación cuantitativo y un diseño experimental. Se llegó a la conclusión de que, en la planta estudiada, es factible recuperar el 33% del cobre que se pierde actualmente en el relave rougher mediante la aplicación de un proceso de recuperación de relaves. Después de la clasificación del relave, la fracción gruesa (>150  $\mu\text{m}$ ) presentó un contenido de cobre del 0.162%, y a partir de esta fracción se obtuvo un concentrado con un contenido de cobre del 0.532%. Se estima que mediante la implementación de la tecnología Hydrofloat, se logró aumentar la recuperación total de cobre en más de 3 puntos porcentuales. El uso de Hydrofloat está condicionado por el nivel de liberación de cada tipo de mineral, siendo necesario que al menos el 10% de la superficie de la partícula sea hidrofóbica para que pueda ser recuperada por este proceso.

##### 2.1.2. Antecedentes internacionales

Vollert Et al, (2019), *aplicación de Eriez Hyddrofloat en la industria de NEWCREST tecnología para la recuperación de cobre de relaves en valle de Cadia operaciones*. (artículo científico). Pensilvania, EE. UU. El objetivo fue instalación de Hydrofloat para recuperar compuestos valiosos que se pierden en los relaves de flotación convencionales, sin la necesidad de una entrada de energía adicional para la reducción del tamaño de las partículas a fide la liberación

de minerales. El método utilizado en la investigación fue de naturaleza cuantitativa, con un diseño experimental a nivel laboratorio y a nivel industrial. Llegando a la conclusión Con la introducción de la flotación de partículas gruesas utilizando el Hydrofloat tecnología, la recuperación no solo aumenta para un tamaño de molienda dado, sino que también se mantiene en tamaños de molienda más gruesos. En los concentradores de cobre tradicionales, siempre existe una compensación entre la recuperación y el tamaño de la molienda. Por ende, se reduce el tamaño de la molienda primaria, se consume más energía por tonelada de mineral, lo que da como resultado una tasa de producción más baja para una potencia instalada determinada. Se ha demostrado que la aplicación de tecnología de flotación gruesa como el Hydrofloat tiene la capacidad de cambiar el tamaño de molienda óptimo económico y aumentar el flujo de efectivo.

Mankosa Et al, (2016), *Recuperación de valores de una corriente de relaves de cobre porfídico*. (artículo científico). Virginia EE.UU. El objetivo de la investigación fue demostrar a nivel laboratorio que el equipo sugerido pudiera lograr los resultados deseados y proporcionar una estimación aproximada de la capacidad de la unidad. Cuya metodología de investigación fue cuantitativa y el diseño de investigación fue experimental Llegando a la conclusión de Los datos recopilados en este estudio sugieren que se pueden obtener 2100 kilogramos de cobre adicionales por día. Recuperado de un concentrador de 100,000 tpd utilizando el diagrama de flujo de alimentación dividida propuesto. Al precio actual del cobre de USD \$4,40/kg, esto representa USD \$200.000/día (USD \$70 MM/año) de ingresos adicionales. Esto no incluye el beneficio de la recuperación adicional de molibdeno u otros metales de pago asociados. Además del aumento del valor de los metales, el diagrama de flujo de alimentación dividida ofrece varias ventajas de ahorro de costos. La más significativa es que el material grueso existente se puede procesar y los valores de metal se pueden recuperar sin necesidad de trituración adicional. Como se presentó

anteriormente, 23% de la corriente de relaves fue más gruesa que 125µmetro. El enfoque clásico para el procesamiento de sulfuros requiere que este material sea molido para facilitar el procesamiento con celdas de flotación convencionales. Este método tradicional también requeriría un desembolso significativo para equipos de capital para el circuito de trituración, así como costos operativos continuos para consumibles (medios, revestimientos y energía) y mantenimiento.

La alternativa de procesamiento grueso propuesta utilizando el Hydrofloat ofrece la ventaja de reducir los costos de molienda asociados en casi un orden de magnitud.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Molienda**

Se describe como una etapa clave en la operación metalúrgica donde se lleva a cabo la última reducción de tamaño de las partículas de mena hasta alcanzar un nivel óptimo de liberación del mineral de la ganga, considerando aspectos técnicos y económicos. (Linares, 2014).

La etapa de molienda puede realizarse utilizando medios metálicos, como molinos de barras o de bolas, o usando medios no metálicos, como pebbles o incluso el propio mineral. Durante esta etapa, se llevan a cabo tres mecanismos fundamentales: compresión, abrasión y desgaste entre partículas, así como el impacto generado por la caída de las partículas (Ballester, Verteja, &, Sancho).

#### **2.2.1.1. Etapas de Molienda**

En general encontramos las siguientes etapas de molienda húmeda.

- Molienda primaria. Molinos de barras, bolas, autógenos o semi- autógeno.
- Molienda secundaria. Molino de bolas.
- Remolienda. Molino de bolas, molinos verticales, etc. (Linares, 2014).
- Circuitos de Molienda

- Circuito abierto.

El mineral atraviesa los molinos sin una etapa de clasificación previa, típicamente en molinos de barras, donde el material descargado se utiliza como alimentación para el circuito de molienda secundaria. Este circuito también se denomina molienda primaria. (Linares, 2014)

- Circuito cerrado.

El molino trabaja con un clasificador cuyo producto grueso retorna nuevamente al molino y el fino pasa a la etapa de la flotación a esta etapa se le conoce también como molienda secundaria. (Linares, 2014).

### **2.2.2. Granulometría**

El mineral para su proceso de flotación se reduce de tamaño hasta que cada partícula represente una sola especie mineralógico o se encuentre liberado y las partículas deben ser apropiados para las burbujas de aire para ser llevadas hasta la superficie el límite de tamaño de las partículas se encuentra entre mínimo 18 micrones y máximo 300 micrones. (Azanero, 2015)

#### **2.2.2.1. Análisis granulométrico**

El análisis granulométrico implica pasar una cantidad específica de una muestra representativa a través de una serie de tamices ordenados de mayor a menor abertura, durante un período fijo de tiempo. El peso del mineral retenido en cada tamiz se utiliza para calcular el porcentaje en peso de cada fracción de tamaño. (Linares, 2014).

El análisis granulométrico se emplea para clasificar las partículas según sus tamaños y determinar el peso total de cada fracción. Este proceso se realiza utilizando tamices de distintas aberturas, donde los pesos retenidos en cada tamiz se expresan como porcentajes respecto a la muestra inicial. La tabla indica la correspondencia de los tamices según las normas ASTM y TYLER.

**Tabla 1***Serie de tamices la norma ASTM Y TYLER*

ABERTURA	SERIE ASTM N° DE TAMIZ	SERIE TYLER N° DE TAMIZ
107.6mm	4.24"	-
101.6 mm	4.00"	-
90.5 mm	3 1/2"	-
76.1 mm	3"	-
64.0 mm	2 1/2"	-
53.8 mm	2.12"	-
50.8 mm	2"	-
45.3 mm	1 3/4"	-
38.1mm	1 1/2"	-
32.0 mm	1 1/4"	-
26.9mm	1.06"	-
25.4 mm	1"	-
22.6 mm	7/8"	0.883"
19.0 mm	3/4"	0.742"
16.0 mm	5/8"	0.624"
13.5 mm	0.530"	0.525"
12.7 mm	1/2"	-
11.2 mm	7/16"	0.441"
22.6 mm	7/8"	0.883"
19.0 mm	3/4"	0.742"
9.51 mm	3/8"	0.371"
8.0 mm	5/16"	2.172"
6.73 mm	0.265"	3
6.35 mm	1/4"	-
5.55 mm	31/2	31/2
4760 µm	4	4
4000 µm	5	5
3360 µm	6	6
2830 µm	7	7
2380 µm	8	8
2000 µm	10	9
1680 µm	12	10
1410 µm	14	12
1190 µm	16	14
1000 µm	18	16
841 µm	20	20
707 µm	25	24
595 µm	30	28
500 µm	35	32
420 µm	40	35
354 µm	45	42

297 $\mu\text{m}$	50	48
250 $\mu\text{m}$	60	60
210 $\mu\text{m}$	70	65
177 $\mu\text{m}$	80	80
149 $\mu\text{m}$	100	100
125 $\mu\text{m}$	120	115
105 $\mu\text{m}$	140	150
88 $\mu\text{m}$	170	170
74 $\mu\text{m}$	200	200
63 $\mu\text{m}$	230	250
37 $\mu\text{m}$	400	400

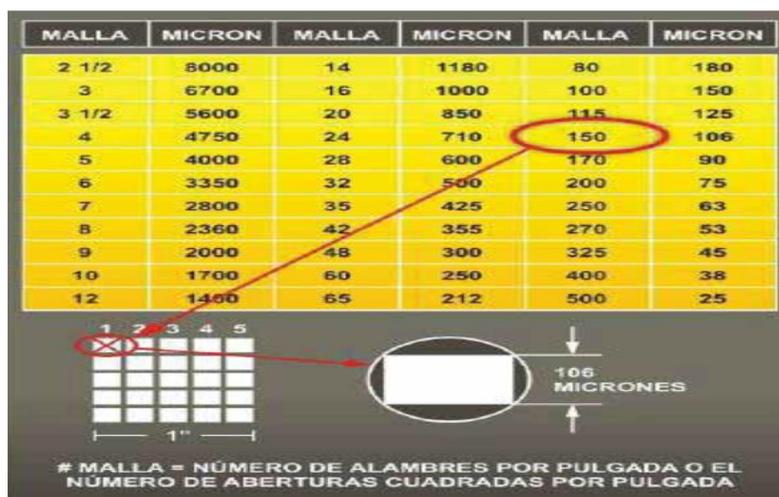
*Nota.* Norma ASTM y TYLER.

Para la determinación de rango de tamaños de partículas es de la siguiente manera:

- ✓ -150: Este valor de malla significa que el mineral pasará a través de un tamiz con 150 aberturas por cada pulgada lineal, lo que implica que el porcentaje de material que pasa a través de este tamiz tendrá un tamaño inferior a 106 micras, que es la longitud de la abertura de la malla.
- ✓ +150: La cantidad de malla mencionada indica que el mineral se retiene en un tamiz con 150 aberturas por pulgada lineal. Por lo tanto, el tamaño de las partículas será mayor a 106 micras, que corresponde a la longitud de la abertura de la malla. Esto se ilustra en la figura adjunta.

### Figura 1

*Serie de tamiz*



*Nota.* Adaptado de Manual de operaciones, Antapaccay (2019)

### 2.2.3. P80

El P80 representa el tamaño en micrones en el que se encuentra el 80% del material que ha pasado en la etapa de finos del último ciclo. Por otro lado, el F80 indica el tamaño en micrones en el que se encuentra el 80% del material que ha pasado en la alimentación original. (Álvarez, 2012).

Existe una relación entre P80 y F80 denominada la razón de reducción resultado de la conminación la cual está representado por la siguiente ecuación

$$R80 = \frac{\text{tamaño de alimento}}{\text{tamaño de producto}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

### 2.2.4. Ley de Rittinger

En 1867, Rittinger propuso que la energía utilizada durante la reducción de tamaño es directamente proporcional a la nueva superficie generada, donde el área superficial de una cantidad específica de partículas con diámetro uniforme es inversamente proporcional al diámetro.

Este postulado se centra únicamente en la energía requerida para la ruptura de cuerpos sólidos ideales cuando el material ha alcanzado su deformación crítica o punto de ruptura. Esto se expresa mediante la ecuación indicada.

$$E_R = K_R \left[ \left( \frac{1}{P_{80}} \right) - \left( \frac{1}{F_{80}} \right) \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$E_R$  = Energía específica de conminación(kWh/ton)

$K_R$  = Constante de Rittinger

$P_{80}$  = Tamaño de 80% acumulado pasante en el producto

$F_{80}$  = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación

La teoría propuesta por Rittinger carece de respaldo experimental suficiente, ya que en la práctica se ha demostrado que esta teoría es más precisa para la trituración de partículas gruesas en lugar de las partículas finas. (Zumaran, 2017).

**2.2.5. Ley de Kick**

En 1885 se planteó que la energía requerida para reducir el tamaño de un material es proporcional a la relación de reducción, lo que implica que cantidades iguales de energía llevarán a cambios geométricos proporcionales en el tamaño de un sólido. Esta idea se expresa a través de la ecuación como se muestra.

$E_R = K_R \log \left( \frac{F_{80}}{P_{80}} \right)$  ..... Ecuación 3

Donde:

$E_R$  = Energía específica de conminución (kWh/ton)

$K_R$  = Constante de Kick

$P_{80}$  = Tamaño de 80% acumulado pasante en el producto

$F_{80}$  = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación

Esta ley tiene respaldo experimental y en la práctica funciona mejor en la molienda de partículas finas. (zumaran, 2017).

**2.2.6. Ley de Bond**

En 1952, Bond estableció que la energía utilizada para reducir el tamaño del 80% de un material es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño correspondiente al 80%, el cual equivale a la abertura en micrones de un tamiz que deja pasar el 80% en peso de las partículas. Este concepto se formula de manera concisa en la ecuación presentada.

$E_B = K_B \left[ \left( \frac{1}{P_{80}} \right) - \left( \frac{1}{F_{80}} \right) \right]$  .....Ecuación 4

En la ecuación, se observa que  $K_B$  está relacionado con el Work Index (WI), que indica la cantidad de energía (en kWh/tonelada corta) necesaria para reducir una tonelada de mineral de un tamaño inicial teóricamente infinito hasta que el 80% del material sea menor a 100 micras (aproximadamente 67%-200 mallas). Este WI representa el índice de trabajo en el contexto de la ecuación mencionada.

$$W_i = K_B \left[ \left( \frac{1}{100^{1/2}} \right) - \left( \frac{1}{\alpha^{1/2}} \right) \right] = \frac{K_B}{10} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$$K_B = 10W_i$$

Finalmente reemplazando se obtiene la siguiente ecuación

$$E_B = W = 10W_i \left[ \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} \right) - \left( \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \right] \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$E_B = W =$  Energía específica de conminución (kWh/ton)

$W_i =$  Índice de trabajo del material (kWh/ton corta)

$P_{80} =$  Tamaño de 80% acumulado pasante en el producto,  $\mu\text{m}$

$F_{80} =$  Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación,  $\mu\text{m}$

El índice de trabajo de Bond  $W_i$  depende del material y como del equipo de conminución utilizado dando como resultado que esta teoría funciona para chancado como para la molienda con un error promedio del  $\pm 20\%$  para la mayoría de los casos estudiados.

### 2.2.7. *Equipos de clasificación*

En procesamiento de minerales, las operaciones se realizan en diferentes tipos de equipos denominados clasificadores los cuales se clasifican en.

- ✓ Clasificadores mecánicos, tal como el clasificador de rastrillo, el clasificador helicoidal, clasificador de faja o esperanza, etc

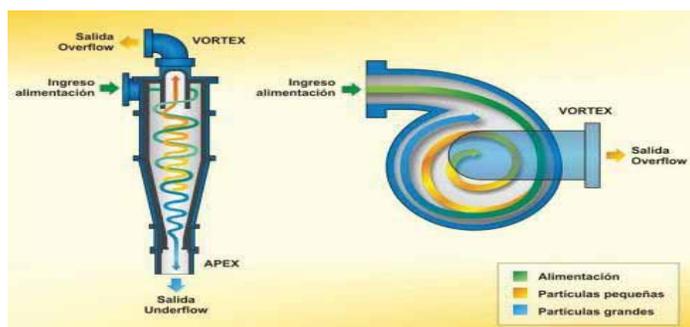
- ✓ Clasificadores centrífugos, tal como el clasificador hidrociclón
- ✓ Clasificadores hidráulicos, tal como el clasificador de cono, (Linares, 2014).

### 2.2.7.1. Hidrociclón

El hidrociclón es un clasificador centrífugo que opera de forma continua, utilizando la fuerza centrífuga para aumentar la velocidad de sedimentación de las partículas. El diseño característico de un hidrociclón se puede observar en la figura adjunta. El hidrociclón consta de una sección superior cilíndrica con una entrada tangencial para la alimentación, conectada a una sección cónica que culmina en el ápice o descarga. En la parte superior cilíndrica, se coloca una placa con un tubo de rebose axial que se extiende hacia el interior del cuerpo del hidrociclón a través de una sección corta conocida como buscador de torbellino o vortex finder. Este diseño evita que la alimentación fluya directamente hacia el rebose. El principio de funcionamiento del hidrociclón se basa en estos componentes para lograr la separación de partículas según su tamaño y densidad. En relación a la alimentación, la pulpa se introduce a presión a través de la entrada tangencial, lo que genera un movimiento de remolino en el eje vertical. La presión es baja en esta zona debido a la presencia de aire disuelto en la pulpa. (Linares, 2014). como se muestra en la figura 2.

#### Figura 2

*hidrociclón y sus partes*



*Nota.* Adaptado de Manual de operaciones, Antapaccay (2019)

## Descarga de hidrociclones

- a) Descarga normal
- b) Descarga abierta o de paraguas

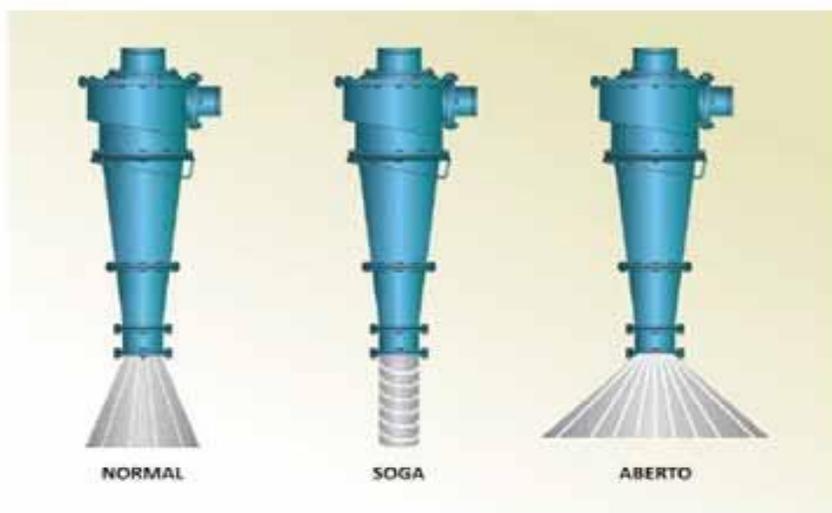
Esta forma de descarga ocurre cuando la disminución del flujo de alimentación, la presión y la densidad de la pulpa que entra en el hidrociclón resulta en una disminución de la fuerza descendente en comparación con las fuerzas centrífugas presentes en el hidrociclón. Esto conduce a un rebalse fino, especialmente cuando el ángulo de la campana aumenta.

- c) Descarga tipo sogueado

En esta modalidad de descarga, el buscador de torbellino ya no está presente debido a una sobrecarga en el hidrociclón, lo que provoca que la clasificación de la alimentación ya no sea eficaz. En este punto, el ángulo de descarga refleja un flujo de caudal descontrolado. Estas tres variaciones de descarga se ilustran en la figura 3 adjunta. (Condori, 2022).

### Figura 3

*Tipos de descarga de hidrociclones*



*Nota.* Adaptado de Manual de operaciones, Antapaccay (2019)

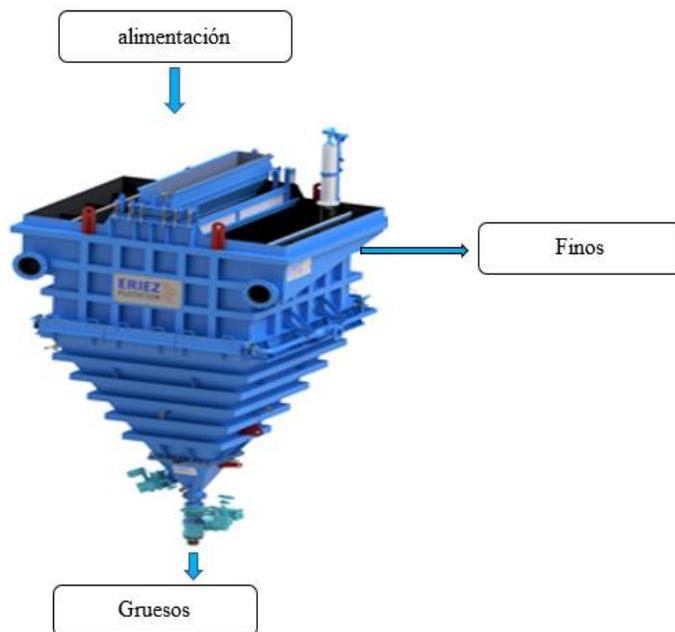
### 2.2.7.2. Cross Flow (clasificador de flujo cruzado)

El separador CrossFlow es un clasificador hidráulico de alta eficiencia para separar los materiales según el tamaño, la forma y/o la densidad las partículas. Esta tecnología también se puede utilizar para lavado a contracorriente y neutralización acida de minerales. Este equipo de clasificador separa las partículas basándose en principios de sedimentación obstaculizada, lo que proporciona un eficiente para clasificar materiales como minerales, arenas de sílice.

Los minerales que contienen una mezcla de componentes de alta y baja densidad también se pueden mejorar en función a su diferencia de gravedad específica como mineral de hierro y minerales pesados con contaminación por sílice y carbón usado que contiene diversos componentes formadores de ceniza, como roca y pirita. En la imagen se observa este equipo de clasificación. (ERIEZ Flotación, 2004).

#### Figura 4

##### *Circuito Cross Flow*



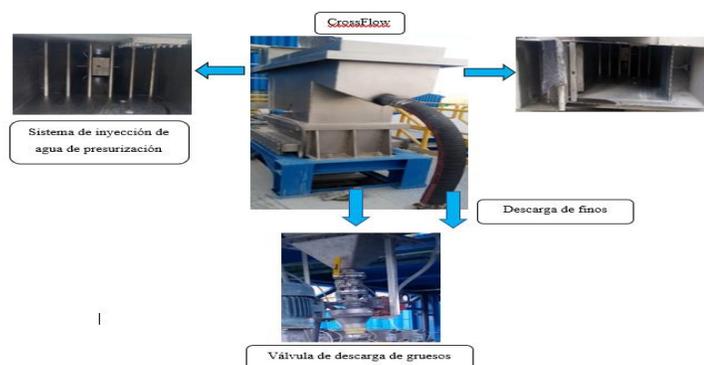
*Nota.* Adaptado Eriez Flotación

### 2.2.7.2.1. Principio de funcionamiento

La diferencia con la tecnología tradicional de balancín, CrossFlow utiliza un sistema de alimentación tangencial en la parte superior de la cámara de separación. Este novedoso enfoque puede proporcionar capacidades unitarias hasta tres veces mayores que las de un clasificador convencional y elimina la mala colocación de partículas causado por un volumen de alimentación excesivo y las fluctuaciones de la planta. En el CrossFlow, las partículas de alimentación descienden contra un flujo ascendente de agua oscilante establecido por un sistema uniforme de tuberías de inyección de agua ubicadas en la base de la carcasa del separador principal. Según las características de sedimentación del mineral y la tasa de adición de agua, se establece un lecho fluidizado de sólidos en el separador. Las partículas con una velocidad de sedimentación baja (finas/baja densidad) que no pueden penetrar el lecho oscilante se transportan sobre la parte superior del separador con la mayor parte del medio fluidizante. Las partículas con una alta tasa de sedimentación (gruesas/alta densidad) se depositan a través del lecho fluidizado y finalmente se descargan con un alto contenido de sólidos a través de la válvula de control de flujo inferior. en la figura 5 se muestra lo mencionado.

#### Figura 5

##### *Clasificador Cross Flow*



*Nota.* Adaptado propia

#### **2.2.7.2.2. Características de clasificador Cross Flow de flujo cruzado**

- Alta capacidad
  - Clasificación precisa y eficiente
  - Eficiencia mejorada con flujos de alimentación fluctuantes y/o diluidos
  - Control sencillo del punto de corte en línea mediante medición de densidad real
  - Sistema de control de descarga totalmente automatizado.
  - Cono de deshidratación para características consistentes de descarga por debajo del flujo.
- (ERIEZ Flotación, 2004).

### **2.3. Flotación por espumas**

La flotación por espumas es un proceso físicoquímico que implica el tratamiento de una suspensión mineral con el fin de crear condiciones favorables para que ciertas partículas minerales se adhieran a las burbujas de aire. El propósito de este método es separar las diferentes especies minerales presentes en una mezcla acuosa, aprovechando sus afinidades (hidrofílicas) o repulsiones (hidrofóbicas) hacia el agua. Las especies valiosas constituyen una fracción minoritaria de la mezcla mineral, mientras que las especies no valiosas predominan en cantidad.

La naturaleza hidrofílica de las partículas minerales hace que se humedezcan, permanezcan en suspensión en la pulpa y, finalmente, se sedimenten. Por otro lado, el carácter hidrofóbico impide la humectación de las partículas minerales, lo que permite que se adhieran a las burbujas de aire y asciendan en el proceso de flotación. Estas propiedades son inherentes a algunos minerales, pero también pueden ser modificadas o realzadas mediante el uso de reactivos de flotación. (Linares, 2014)

### **2.3.1. Métodos de concentración**

La Mineralurgia o Procesamiento de Minerales se compone esencialmente de dos etapas principales:

- I. Liberación de los minerales valiosos de la ganga (Chancado y Molienda): En esta fase, se busca separar los minerales valiosos de la ganga a través de procesos como chancado y molienda, logrando la fragmentación de la mena.
- II. Separación de minerales valiosos de la ganga (Concentración): Después de liberar los minerales valiosos, se somete la mena a un proceso de concentración. Este proceso separa los minerales en dos o más productos, aprovechando diferencias específicas en sus propiedades físicas o químicas.

En el ámbito de la mineralurgia, los métodos físicos de concentración incluyen:

- Concentración basada en propiedades ópticas, radiactivas, etc.: También conocida como pallaqueo o selección manual, este método se basa en características visuales como color, brillo o fluorescencia.
- Concentración gravimétrica: Dependiendo de las diferencias en la gravedad específica de los minerales, este método utiliza el movimiento diferencial de los minerales en corrientes hidráulicas.
- Flotación de espumas: Este método utiliza las propiedades superficiales de los minerales. La pulpa se trata con reactivos químicos, haciendo que los minerales valiosos se vuelvan ávidos de aire (hidrofóbicos o aerofílicos), permitiendo su adhesión a burbujas de aire y su separación selectiva.
- Concentración magnética: Basada en las propiedades magnéticas de los minerales, este método separa los minerales valiosos de la ganga.

- Concentración electrostática: Dependiendo de las propiedades de conductividad eléctrica, este método separa los minerales a través de procesos electrostáticos.

Estos métodos permiten obtener concentrados con minerales valiosos, separándolos eficientemente de la ganga en la mena.

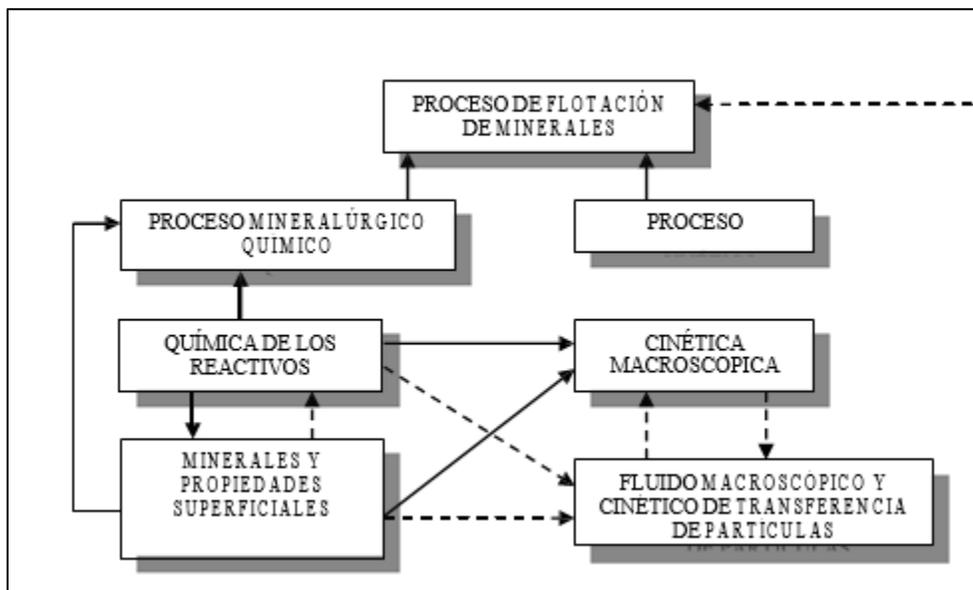
### ***2.3.2. Definición de flotación de espumas***

El proceso de flotación por espumas se puede explicar como un método extractivo hidrometalúrgico basado en las propiedades físico-químicas de las superficies de los minerales sólidos. Este proceso se vale de las propiedades hidrofóbicas de diferentes tipos de minerales, incluyendo sulfuros, no sulfuros y minerales no metálicos, entre otros. Durante esta operación, la mena es finamente molido para lograr una óptima liberación de las partículas de minerales valiosos en una suspensión acuosa (pulpa de agua y mineral), y se trata con reactivos como colectores, espumantes, modificadores, entre otros. Estos reactivos favorecen la hidrofobización y promueven el contacto entre las partículas minerales y las burbujas de aire (gas) en el proceso de flotación.

La separación entre el mineral valioso y la ganga tiene lugar en la espuma producida en una máquina específica denominada Celda de Flotación. En resumen, la flotación por espumas se puede considerar como un proceso mineralógico-químico-cinético. Este procedimiento se ilustra de forma esquemática en la figura 6, mostrando la interacción de los factores químicos y cinéticos implicados en la separación de los minerales valiosos de la ganga. (Antapaccay, 2019)

**Figura 6**

*La flotación como un proceso Mineralógico-Químico-Cinético*



*Nota:* Elaboración propia.

### 2.3.3. Tipos de Flotación

Existen varios tipos de flotación, siendo los más destacados:

- ✓ Flotación de espumas: En este método, se aprovechan las propiedades hidrofóbicas de los minerales para separarlos en una espuma generada en una Celda de Flotación.
- ✓ Flotación por películas: Este tipo de flotación implica la formación de películas en la interfaz entre el mineral y el agua para facilitar la separación.
- ✓ Flotación por aceites: En este proceso, se utiliza la afinidad de ciertos minerales por los aceites para lograr la separación.

En el ámbito de la mineralurgia o procesamiento de minerales, la flotación de espumas es ampliamente aplicada en la actualidad. Esta se clasifica en:

- ✓ Flotación directa: En la espuma se concentra el mineral valioso, mientras que en la pulpa queda la ganga como relave.

- ✓ Flotación reversa o inversa: En este caso, la espuma captura la ganga, dejando el mineral de valor en la pulpa como relave, el cual se recupera posteriormente.

Además, la flotación de espumas se puede clasificar en:

- ✓ Flotación bulk o colectiva: Se obtiene un concentrado que contiene todos los minerales valiosos presentes en la mena, mientras que el relave consiste en el material sin valor o ganga.
- ✓ Flotación selectiva o diferencial: Gracias a la acción selectiva de los reactivos, se logra obtener un concentrado con un solo mineral valioso, es decir, en mayor concentración. La selectividad se refiere a la preferencia del colector o reactivo heteropolar en la superficie de un mineral específico. (Antapaccay, 2019)

#### **2.3.4. *Importancia de la flotación***

La incorporación de la técnica de flotación por espumas a comienzos del siglo XX supuso una revolución en la industria minera. Gracias a su flexibilidad, se ha logrado usar en el tratamiento de grandes volúmenes de minerales de baja ley, siendo esencial en el procesamiento de menas complejas con leyes muy bajas. Gracias a esta innovación, se han podido abordar menas que de otra manera se considerarían económicamente no viables.

En la actualidad, la flotación de espumas se utiliza extensamente para concentrar minerales complejos, como sulfuros de Cu-Mo, Cu-Pb-Zn, Pb-Zn, Pb-Zn-Fe, entre otros. También se aplica en minerales oxidados de Cu, Pb, Zn, Fe, W, Sn, minerales sulfuros con contenido de oro, minerales de plata, y minerales industriales no metálicos como azufre, talco y carbón mineral. Este aspecto resalta la relevancia tecnológico-científica del proceso.

En el ámbito económico, la flotación de espumas permite a los estados obtener importantes divisas que pueden destinarse al desarrollo de sectores sociales como educación, salud y defensa,

contribuyendo al progreso del país. Desde una perspectiva social, este proceso genera numerosos empleos a nivel profesional, técnico y operativo, mejorando la calidad de vida en las comunidades cercanas a las áreas mineras.

En términos industriales, la flotación de espumas impulsa el desarrollo de diversas industrias, desde la metal-mecánica hasta la textil y alimentaria, así como empresas financieras, de seguros y servicios. Desde un punto de vista tecnológico, se reconoce que la flotación de minerales difícilmente será reemplazada en el tiempo, ya que su importancia en el procesamiento de minerales es fundamental. Su impacto en la metalurgia extractiva es significativo, ya que sin este proceso, no hubieran sido posibles desarrollos posteriores como la tostación, la conversión, la fusión y la refinación. (Sutulov, 1963)

### ***2.3.5. variables del proceso de flotación de espumas***

El proceso de flotación de espumas involucra una complejidad considerable, y diversos metalurgistas han identificado más de 32 variables que impactan en su eficacia. Southerland y Wark han clasificado estas variables en tres grupos principales:

Grupo 1 - Variables químicas:

- Dosificación y potencia de los reactivos.
- Colectores.
- Espumantes.
- Modificadores:
- Activadores.
- Depresores.
- Modificadores de pH (Eh).
- pH (Eh) de mejor selectividad.

Este grupo aborda todos los aspectos relacionados con el comportamiento físico-químico destinados a lograr la hidrofobización del mineral valioso en el entorno de la celda de flotación.

Grupo 2 - Variables de equipamiento:

- Diseño de la celda (convencional o columna).
- Agitación de la pulpa (RPM).
- Configuración del banco de celdas.
- Remoción de la espuma.

Estas variables se centran en el comportamiento hidrodinámico, considerando el movimiento de partículas, burbujas y fluido dentro del entorno de la celda de flotación.

Grupo 3 - Variables de operación:

- Velocidad de alimentación (m<sup>3</sup>/h) o (GPM).
- Mineralogía de la mena.
- Tamaño de partículas (densidad y forma).
- Grado de liberación (grado de diseminación).
- Grado de oxidación (degradación).
- pH natural del mineral.
- Densidad de pulpa (% de sólidos).
- Temperatura.
- Flujo de aire (PSI, Pa).
- Remoción de la espuma (natural o mecánica).
- Ley del mineral de cabeza.

Este grupo aborda las variables relacionadas con la operación del proceso, considerando factores como la composición de la mena, las condiciones de alimentación y las propiedades físicas y químicas de los minerales.

El entendimiento y control de estas variables son cruciales para optimizar el rendimiento del proceso de flotación de espumas en la recuperación eficiente de minerales valiosos.

principios de la flotación de espumas

En el ámbito del Procesamiento de Minerales, la flotación por espumas es, sin duda, la técnica más importante para la separación de minerales valiosos de los no valiosos, constituyendo uno de los retos más importantes en la aplicación de la química de superficies.

El proceso de flotación está influenciado por la termodinámica, cinética e hidrodinámica del sistema. Involucra aspectos fundamentales, como:

1. Creación de una superficie hidrofóbica: Esto es una condición termodinámica, donde se busca generar una superficie que repele el agua en una especie mineral específica.
2. Previsión de tiempo para la adhesión: Esto es una condición cinética, donde se garantiza el tiempo suficiente para que las partículas hidrofóbicas se adhieran a las burbujas de aire.
3. Estabilización de los agregados partícula-burbuja: Esto es una condición hidrodinámica, donde se asegura la estabilidad de los agregados bajo el flujo de pulpa predominante.

La unión de estos fundamentos convierte a la flotación por espumas en un método selectivo empleado para realizar separaciones particulares en menas complejas como Cu-Pb-Zn, Pb-Zn, Cu-Zn, menas menos complejas de Cu, Cu-Mo, Pb(Ag), Fe(Au), minerales óxidos y no metálicos como carbón fino, azufre y talco.

Para entender, analizar y valorar los procedimientos metalúrgicos en la concentración de minerales, es esencial investigar las propiedades físicas y químicas clave de las superficies

minerales, como los sulfuros, óxidos, carbonatos, silicatos, sales solubles, entre otros. Esto implica estudiar la química superficial, así como las fases e interfaces, y comprender las intrincadas interacciones entre las fases sólidas, líquidas y gaseosas y las interfaces que se forman entre ellas.

La teoría de la flotación por espumas es un tema complejo y continuamente en evolución, pero se han logrado avances significativos en la comprensión de este proceso vital. En este análisis, se examinarán dos aspectos cruciales: la química de superficies asociada con la interfaz mineral-agua (doble capa eléctrica) y la termodinámica de superficies, vinculada al ángulo de contacto (mojabilidad de las superficies minerales).

### **2.3.6. *Hidratación***

Durante el proceso de conminución, cuando una partícula mineral con enlaces iónicos se rompe, su superficie adquiere una carga eléctrica, especialmente en las zonas donde se ha producido la fractura. Al ser sumergida en agua, esta partícula experimenta hidratación, un proceso que está influenciado por las propiedades eléctricas de su superficie, lo que resulta en la formación de un lecho hidratado con características diferentes al agua, como ha sido descrito por Derjagin.

Según la propuesta de Frumkin, hay una relación inversa entre el espesor del lecho hidratado y las propiedades de repelencia al agua de la superficie mineral, estableciendo una correlación entre el ángulo de contacto y el grosor de este lecho hidratado. En resumen, a medida que el lecho hidratado se reduce en espesor, el ángulo de contacto aumenta, lo que sugiere una mayor repelencia al agua en la superficie mineral.

Durante este proceso, la creación de la capa o película hidratada libera calor de forma exotérmica, que refleja la energía requerida para la mojabilidad de la superficie y la intensidad de la unión del agua al mineral. Este principio se extiende al ion mineral, donde la energía necesaria

para la mojabilidad es inversamente proporcional al tamaño del catión. Por lo tanto, cuanto mayor sea la carga del ion y menor su diámetro, mayor será su nivel de hidratación.

Durante el proceso de mojadura, se produce una cierta disolución del mineral, lo que conlleva a la presencia de iones en la pulpa. Estos iones, denominados "iones inevitables", son complejos y tienen una composición diversa. Surgen debido a que el agua penetra tanto en las partículas minerales como en las estructuras cristalinas, formando iones hidratados que luego se disuelven en la solución, ya sea de forma molecular o iónica. Estos iones inevitables ejercen una influencia significativa en el proceso de flotación de minerales valiosos.

Cuando un mineral se disuelve en agua, se produce la absorción de la energía de la red cristalina del mineral, mientras que se libera energía de hidratación iónica. La diferencia entre estas dos energías es el calor de disolución del mineral en el agua. Por lo tanto, un mineral se disolverá en agua si la energía de hidratación (H) supera a la energía de la red cristalina (I).

### ***2.3.7. Termodinámica de la flotación***

La flotación de minerales se basa en la interacción íntima entre tres fases: sólida, líquida y gaseosa. Normalmente, el agua representa la fase líquida y el aire la fase gaseosa, mientras que el componente sólido consiste en minerales. Sin embargo, en investigaciones más recientes se ha considerado el uso de SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) e incluso esferas de poliestireno como agentes para la transferencia de partículas minerales a separar, en lugar del aire convencional. (Linares, 2014)

### ***2.3.8. Las fases en la flotación***

#### **2.3.8.1. Fase Sólida**

En el proceso de flotación, la fase sólida está constituida por el mineral, un sólido cristalino en su mayoría de naturaleza iónica. Las estructuras cristalinas son de suma importancia, ya que definen el tipo de superficie que se formará al romperse el mineral durante la conminución. La

base de la flotación radica en el estudio del comportamiento de estas superficies, particularmente en su interacción con el agua.

### **2.3.8.2. Fase Líquida**

En el proceso de flotación, la fase líquida está conformada por el agua, siendo fundamental comprender la estructura y las propiedades del agua, en particular los eventos que tienen lugar al disolverse sustancias y al ingreso de iones en la solución.

El agua es un líquido con propiedades singulares que provienen de su estructura basada en puentes de hidrógeno. Rasgos como su elevado punto de ebullición, su notable capacidad calorífica, su expansión al congelarse y su máxima densidad a 4°C son consecuencias directas de esta configuración molecular.

El agua en estado líquido exhibe una constante dieléctrica significativamente elevada (78 a 25°C) en comparación con la mayoría de los líquidos, lo que influye directamente en la solubilidad de iones en agua. Su calor específico es alto (1 cal/g), y la conductividad del agua muy pura es de aproximadamente  $4 \times 10^{-8}$  mho/m, debido a la disociación en iones H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>. El producto iónico es  $H^+ OH^- = 1 \times 10^{-14}$  a 25°C.

Los iones H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> tienen una gran movilidad en el agua. La movilidad estimada para el ion H<sup>+</sup> es de  $36.2 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/vol-seg y para el OH<sup>-</sup> es de  $19.8 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/vol-seg, en comparación con  $5.3 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/vol-seg para el Na<sup>+</sup> y  $7.9 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/vol-seg para el Cl<sup>-</sup>. Esta alta movilidad permite que las reacciones con transferencia de protones ocurran rápidamente en soluciones acuosas.

### **2.3.8.3. Fase Gaseosa**

En el proceso de flotación, la fase gaseosa se representa con el oxígeno del aire. El rol del oxígeno en la adsorción del xantato ha sido motivo de debate durante muchos años. Algunos investigadores han sostenido que la presencia de oxígeno es indispensable para la adsorción del xantato en los sulfuros, mientras que otros han observado que pequeñas cantidades de oxígeno, en forma de una película tipo monocapa, pueden ser perjudiciales para esta adsorción.

Cantidades reducidas de oxígeno no impactan la adsorción del xantato. No obstante, cuando la concentración de oxígeno alcanza un nivel suficientemente alto para formar una película monocapa, como en el caso de 0.31 ppm, se inhibe la adsorción del xantato. De manera interesante, con concentraciones superiores de oxígeno, la adsorción del xantato aumenta.

La necesidad de añadir colectores, como los de tipo sulfhidrilo de cadena corta, es común al flotar la mayoría de los sulfuros metálicos en presencia de aire. La capacidad de emplear colectores con cadenas de hidrocarburos tan cortas, incluso de dos átomos de carbono, se debe a la presencia de varios fenómenos interrelacionados en el proceso. (Antapaccay, 2019)

### **2.3.9. *Las interfaces en la flotación***

En el proceso de flotación, intervienen tres fases: sólida, líquida y gaseosa. No obstante, en lugar de centrarse en las propiedades de estas fases en sí, el enfoque principal recae en las propiedades de las zonas cercanas a los límites entre ellas. Estas zonas son conocidas como regiones interfaciales o interfaces.

Las interfases más importantes son:

- La interfase líquido-gas.
- La interfase sólido-líquido.

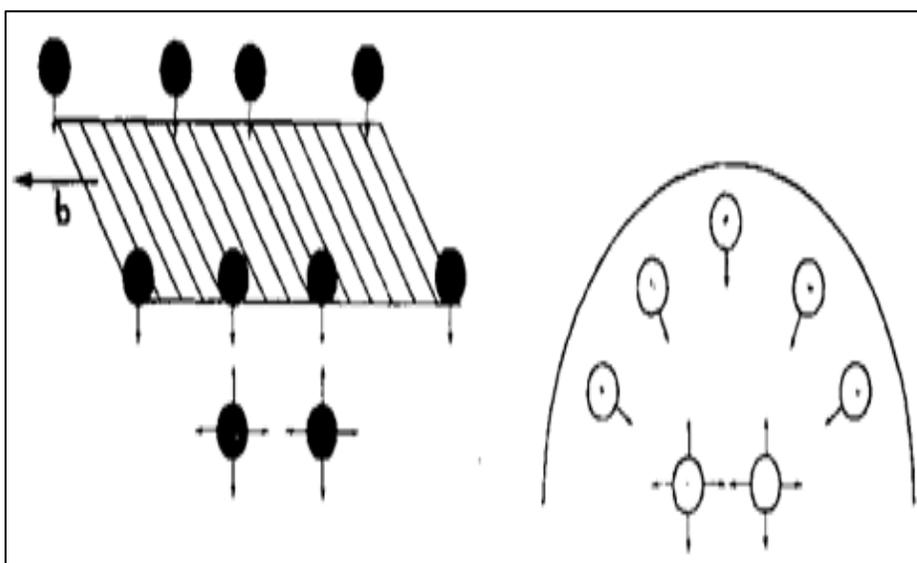
Es crucial examinar inicialmente la tensión superficial, que representa la propiedad entre dos fluidos, y posteriormente, al tener en cuenta que la flotación depende de las propiedades superficiales de los minerales tras su exposición al agua, donde experimentan hidratación, lo que resulta en la generación de una carga superficial fundamental para la interacción con los reactivos.

La interfase no debe ser vista únicamente como un límite geométrico entre las fases, sino como una zona de cierto espesor con propiedades distintivas y únicas en comparación con las fases que conecta.

Mediante una observación sencilla, se puede deducir que las superficies de líquidos, como los líquidos en sí, actúan como si tuvieran una membrana tensa que impide su expansión. Las gotas de líquido, en ausencia de la gravedad, adquieren una forma esférica, lo que sugiere la presencia de una fuerza que mantiene la superficie en un estado mínimo. Esto puede ser visualizado en la Figura 7.

### Figura 7

*Origen de la tensión superficial*



*Fuente:* Elaboración propia.

La presencia de tensión superficial en líquidos se puede explicar por la cohesión de la materia. A nivel molecular, los líquidos son isotrópicos en un sentido estadístico, lo que significa que cada átomo, molécula o ion en el interior de una fase presenta similitud en sus enlaces con sus vecinos. No obstante, en la superficie, aproximadamente la mitad de estos enlaces faltan, generando una fuerza hacia el interior del líquido.

En los sólidos cristalinos, se origina una polarización y deformación de los iones en la superficie a causa de la configuración asimétrica entre aniones y cationes en las proximidades de dicha superficie. Esta situación posibilita la aparición de procesos como adsorción, mojamiento y nucleación.

La adsorción implica la acumulación de materia en una interfase, dando lugar a una concentración superior o inferior a la de las fases que conforman dicha interfase. Cuando la concentración es mayor, la adsorción se considera positiva, mientras que se denomina negativa si es menor.

Es crucial destacar que no hay fuerzas de adsorción específicas, ya que este fenómeno es el resultado de las mismas fuerzas que generan los enlaces entre átomos para formar moléculas, y entre moléculas para formar cristales o agregados moleculares. Estas fuerzas incluyen interacciones químicas, coulómbicas causadas por polarización permanente y fuerzas de Van der Waals.

La adsorción puede clasificarse en quimisorción (adsorción química), adsorción por intercambio iónico y adsorción física, con la energía involucrada decreciendo en ese orden.

#### Termodinámica de la interfase

La termodinámica de la interfase es crucial para explicar los mecanismos detrás de fenómenos como la adsorción y proporciona información sobre las fuerzas fundamentales, como

la tensión superficial. Entender la termodinámica de la interfase permite explicar cómo interactúan las moléculas en la superficie de los líquidos, sólidos o gases.

Sin embargo, simplemente conocer el origen de estos fenómenos no es suficiente para comprender completamente la flotación. Se requiere establecer un sistema en el que estos fenómenos y fuerzas estén definidos de manera precisa y cuantitativa. Esto implica no solo comprender las bases teóricas, sino también desarrollar modelos matemáticos y experimentos que permitan cuantificar y predecir el comportamiento de los sistemas en condiciones específicas.

### ***2.3.10. Cinética de la flotación***

La cinética de la flotación es un área fundamental en el procesamiento de minerales y se concentra en analizar cómo cambia la cantidad de espuma generada en el rebalse durante el período de flotación. Es crucial identificar de manera cuantitativa las variables que influyen en la velocidad de flotación para comprender y mejorar estos procesos.

De acuerdo con Blazy, la cinética de la flotación se puede definir por cómo cambia con el tiempo la cantidad de mineral transportado por las espumas. La relación entre el tiempo de flotación y la cantidad de mineral flotado puede ser descrita a través de ecuaciones que se derivan de teorías, principios establecidos por la investigación del mecanismo de la flotación, o bien mediante observaciones empíricas.

Los primeros estudios en este campo buscaban reducir el fenómeno de la flotación a ecuaciones que involucraran variables individuales. Sin embargo, en la actualidad, el objetivo va más allá de eso, y el estudio de la cinética interesa tanto a los fabricantes de celdas que buscan mejorar sus productos como a los metalurgistas que desean escalar los resultados de laboratorio o de plantas piloto a la escala industrial.

Diversas variables, tanto de índole química como mecánica, pueden influir en la velocidad de flotación. Aunque las variables físicas son motivo de discusión, son los principios químicos y termodinámicos los que determinan la hidrofobicidad de las partículas, un factor crucial para que la flotación sea exitosa. En su conjunto, comprender la cinética de la flotación es fundamental para optimizar los procesos metalúrgicos y aumentar la eficiencia en la recuperación de minerales valiosos.

El proceso de flotación de minerales, aunque complejo, puede conceptualizarse en términos de un conjunto de subprocesos que se llevan a cabo en una celda de flotación. Estos subprocesos incluyen:

1. Entrada de la Pulpa:
  - En este paso, la pulpa, una mezcla de mineral molido y agua, se introduce en la celda de flotación. La pulpa contiene partículas de minerales valiosos y ganga.
2. Adhesión de las Partículas a las Burbujas:
  - Las partículas de minerales valiosos, que son hidrofóbicas, se adhieren a las burbujas de aire en la pulpa. Esto se logra mediante la adición de reactivos químicos llamados colectores que modifican las propiedades de la superficie de los minerales.
3. Transporte entre la Pulpa y la Espuma:
  - Las burbujas cargadas con partículas de minerales valiosos ascienden a la superficie formando una espuma, separando así los minerales de la ganga. Este transporte se produce a medida que las burbujas se mueven a través de la pulpa.
4. Remoción del Producto de la Flotación y los Relaves:

- La espuma que se forma en la parte superior de la celda de flotación contiene los minerales valiosos flotados. Esta espuma se retira como producto de flotación. Por otro lado, las partículas que no flotan y se quedan en la pulpa constituyen los relaves y se eliminan de la celda.

Estos subprocesos son esenciales para el éxito del proceso de flotación. La eficiencia de cada etapa influye en la recuperación de minerales valiosos y en la calidad del concentrado final. La comprensión detallada de la cinética y los mecanismos detrás de cada subproceso es crucial para optimizar la operación de la flotación y mejorar la eficiencia del procesamiento de minerales.

El ascenso de las burbujas a través de la pulpa durante el proceso de flotación es crucial para la separación de minerales valiosos. A continuación, se describen algunos aspectos clave de este proceso:

1. Encuentro con Partículas:

- Cuando una burbuja asciende a través de la pulpa, se encuentra con partículas de minerales valiosos o ganga. La interacción entre las burbujas y las partículas es fundamental para el éxito de la flotación.

2. Coalescencia:

- Si las partículas de minerales valiosos son hidrofóbicas (repelen el agua) y están lo suficientemente cerca de la burbuja, puede ocurrir la coalescencia. Esto significa que las partículas se adhieren a la burbuja, formando agregados que ascienden hacia la superficie.

3. Adhesión y Ascenso:

- Si la adhesión entre las partículas y la burbuja es lo suficientemente fuerte, la burbuja, junto con las partículas adheridas, ascenderá hacia la interfaz pulpa-espuma. Esta adhesión y ascenso son controlantes en la velocidad de flotación.

4. Zona de Espuma:

- A medida que las burbujas ascendidas llegan a la interfaz pulpa-espuma, los residuos, incluida la ganga, quedan atrapados debajo de la espuma. La capa líquida separa las burbujas en la espuma y los residuos en la pulpa, drenando hacia abajo lentamente.

5. Intercambio de Burbujas:

- Nuevas burbujas que llegan después empujan a las primeras hacia la zona de espuma para cargarse con más mineral. Este intercambio de burbujas es esencial para mantener el proceso de flotación.

6. Limpieza de la Espuma:

- Se realizan pruebas para limpiar la ganga de la espuma mediante lavado o irrigación. La espuma en la parte superior de la celda se limpia con su carga de partículas, asegurando un concentrado final de mayor calidad.

La fase espumosa desempeña un papel crítico en la eficiencia de la flotación y en la calidad del producto final. Comprender los fenómenos en la interfaz pulpa-espuma y la interacción entre burbujas y partículas es esencial para optimizar el rendimiento del proceso de flotación.

La teoría actual de la cinética de flotación de minerales puede expresarse en la siguiente forma:

$$\frac{dC_p}{dt} = k \cdot C_p^n \cdot C_b^m \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$C_p$  = Concentración de las partículas

$C_b$  = Concentración de las burbujas  $t$  = Tiempo de flotación

$k$  = Constante de la razón de flotación

$n$  y  $m$  = Orden de la ecuación

Si el suministro de aire es constante, cualquier tendencia de cambio en la concentración de la burbuja es pequeña, luego  $C_b =$  pequeño, En tal situación la ecuación de velocidad se convierte a:

$$\frac{dC_p}{dt} = kC_p^n$$

Si  $n = 1$ : .....Ecuación 8

Usando las condiciones límite:  $C = C_0$  cuando  $t = 0$

$C = C_t$  cuando  $t = 1$

Se obtiene:

$$\ln(C_1/C_0) = -k_t \quad , \quad C_1 = C_0 \exp(-k_t) \quad \text{.....Ecuación 9}$$

El proceso de flotación implica varias etapas, y la última fase es crucial para la separación efectiva de las partículas de mineral. Esta etapa se centra en la captura de partículas de mineral hidrofóbicas por burbujas en la pulpa y su transferencia a la fase de espumación. A lo largo del desarrollo de la flotación, ha habido controversias sobre los mecanismos de fijación de las partículas de mineral a las burbujas.

En el proceso de flotación, se llevan a cabo múltiples etapas y la fase final es vital para lograr la separación efectiva de las partículas de mineral. Esta etapa se concentra en la adherencia de las partículas de mineral hidrofóbicas a las burbujas en la pulpa y su posterior transporte hacia la fase de espuma.

A lo largo del avance en la técnica de flotación, ha existido controversia en torno a los mecanismos que rigen la unión de las partículas de mineral a las burbujas. La velocidad de remoción de las partículas desde la pulpa, es decir, la velocidad de flotación, se ve afectada por varios factores:

1. Colisión entre burbujas y partículas: La interacción entre las burbujas y las partículas es crucial. La colisión entre ellas es necesaria para que se produzca la adhesión.

2. Adhesión de partículas a burbujas: Después de la colisión, las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas. La fuerza y naturaleza de esta adhesión influyen en la eficacia de la flotación.

3. Desprendimiento u otros mecanismos: Una vez que las partículas están unidas a las burbujas, deben separarse de la pulpa y ascender hacia la fase de espumación. El desprendimiento de las partículas de las burbujas o cualquier otro mecanismo que facilite su transferencia es esencial.

En resumen, la eficacia de la flotación depende de la interacción dinámica entre las burbujas y las partículas en la pulpa, y entender estos procesos a nivel microscópico es esencial para optimizar el rendimiento del proceso de flotación.

Poniendo lo anterior en forma diferente se tendrá:

$$\begin{aligned}
 & \text{Probabilidad de Recuperación (R)} \\
 & = \text{Probabilidad de colisión (Pc)} \\
 & \quad \times \text{Probabilidad adhesión (Pa)} \\
 & \quad \times \text{Probabilidad desprendimiento (Pd)} \\
 \mathbf{R = P_c \times P_a \times P_d} & \dots\dots\dots\text{Ecuación 10}
 \end{aligned}$$

La teoría de la cinética de flotación propone que las etapas 1 y 3 pueden considerarse como microprocesos en la fase de la pulpa y sirven como la base para un modelo probabilístico que determina la velocidad de flotación. Este enfoque conceptualiza la recuperación como la probabilidad (P) de una secuencia de eventos que ocurren en la celda de flotación. (Linares, 2014)

### **2.3.10.1. Reactivos de flotación**

La flotación de minerales implica la manipulación de las propiedades superficiales de las partículas minerales para lograr la separación selectiva. Para ello, se utilizan diversos reactivos, y a continuación, se describen algunas de las sustancias químicas claves involucradas en el proceso de flotación:

1. **Colectores:** Estos reactivos se utilizan para hacer que las superficies de las partículas minerales sean hidrofóbicas. Los colectores se adsorben selectivamente en la superficie de las especies minerales deseadas, permitiendo que estas repelan el agua y se adhieran a las burbujas de aire durante el proceso de flotación.

2. **Activadores:** Los activadores son reactivos que aumentan la selectividad del colector, mejorando su adsorción en las partículas minerales deseadas. Esta adición específica mejora la eficiencia del proceso de flotación.

3. **Depresantes:** son reactivos que previenen o retardan la adsorción del colector en ciertas especies minerales. Se utilizan para controlar la selectividad y evitar la flotación no deseada de algunas partículas minerales.

4. **Dispersantes:** Los dispersantes se utilizan para evitar la formación de lamas o partículas finas que podrían recubrir las superficies minerales. Mantener las partículas libres y accesibles mejora la eficacia del proceso de flotación.

5. **Espumantes:** Los espumantes tienen dos funciones principales. Primero, facilitan la dispersión de pequeñas burbujas de aire en la pulpa, lo que es esencial para la formación de espuma. Segundo, controlan las características de la espuma, asegurando su estabilidad y capacidad de transportar las partículas minerales seleccionadas hacia la superficie.

6. Reguladores de pH: Controlar el pH de la solución acuosa es fundamental. Puede ayudar a optimizar la forma del colector en solución y afectar las propiedades de superficie de las partículas minerales. La regulación del pH es una herramienta clave para ajustar las condiciones del proceso de flotación.

Estos reactivos son cuidadosamente seleccionados y dosificados para adaptarse a la composición mineralógica específica de la mena y lograr la separación eficiente de los minerales deseados. La manipulación precisa de estas sustancias químicas es esencial para optimizar la eficacia del proceso de flotación

#### ***2.3.10.1.1. Colectores***

Los colectores son, como mencionaste, sustancias cruciales en el proceso de flotación. Tienen la capacidad de modificar la superficie de los minerales, haciéndolos repelentes al agua. Este fenómeno es esencial para la formación de un perímetro de contacto de tres fases, permitiendo que las partículas minerales se adhieran a las burbujas durante el proceso de flotación.

La mayoría de los colectores son compuestos moleculares complejos de naturaleza orgánica. Estas moléculas suelen ser asimétricas en su estructura, compuestas por una parte polar y otra no polar, cada una con propiedades diferentes. Durante el proceso de adsorción de estos colectores en la superficie del mineral, la parte no polar tiende a situarse en la fase acuosa, mientras que la parte polar se orienta hacia la fase mineral. Esta disposición específica es esencial para conferir a la superficie mineral propiedades hidrófobas.

En resumen, los colectores desempeñan un papel clave al modificar las propiedades superficiales de los minerales, facilitando así su separación durante el proceso de flotación.

✓ **Aero 3894 prometer**

El isopropil etil tionocarbamato es un reactivo químico estable en condiciones ácidas y alcalinas típicas de los procesos de flotación. No obstante, en medios altamente ácidos, como el ácido sulfúrico concentrado, puede descomponerse y generar gases inflamables y tóxicos. Además, presenta reacciones con agentes oxidantes potentes, y en caso de combustión, produce dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno.

El isopropil etil tionocarbamato se utiliza comúnmente como AERO 3894 Promotor en la flotación, funcionando como un colector potente y más selectivo que los xantatos. Se emplea ampliamente en la flotación de minerales sulfurados de cobre, sobre todo la calcopirita, en procesos con pH alcalino. Su alta selectividad lo hace adecuado para la flotación de sulfuros de cobre en presencia de pirita a un pH superior a 10.

Se puede agregar el isopropil etil tionocarbamato en su forma original, aunque en ocasiones se prefiere mezclarlo con alcoholes superiores para mejorar su dispersión en la pulpa mineral. También es factible combinarlo con hidrocarburos como keroseno o diesel para facilitar la flotación de molibdenita. Las dosis habituales del AERO 3894 Promotor oscilan entre 10 y 40 g/t, dependiendo del contenido de finos en el mineral de alimentación y del uso de otros colectores en la mezcla colectora. Es esencial destacar que este reactivo necesita un tiempo de acondicionamiento, por lo que se aconseja su dosificación durante la etapa de molienda si no se cuenta con un acondicionador previo a la flotación.

**2.3.10.1.2. Espumantes**

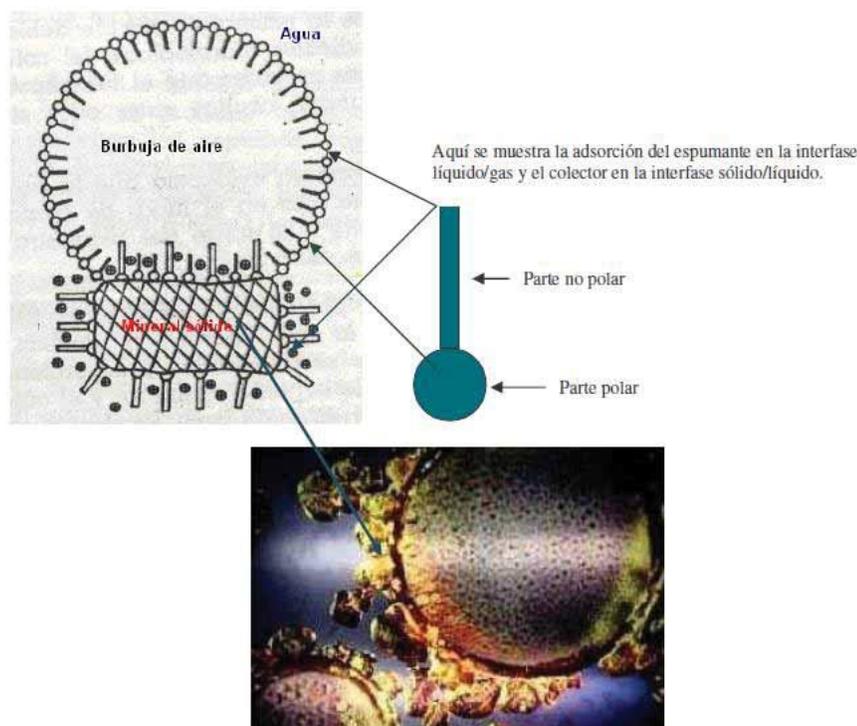
Son compuestos tensoactivos heteropolares que tienen la capacidad de adherirse a la interfaz entre el agua y el aire. El propósito de los agentes espumantes es conferir estabilidad a las burbujas de aire, impidiendo su fusión entre sí y evitando su ruptura al emerger en la superficie.

La porción polar del agente espumante se une a la interfaz agua/aire, mientras que la porción no polar se orienta hacia el aire. (Linares, 2014). En la figura 8 se muestra el esquema de adsorción de un espumante.

La efectividad de los agentes espumantes está condicionada por el pH de la pulpa, siendo su capacidad máxima de formación de espuma cuando el reactivo está en su forma molecular.

## Figura 8

### *Adsorción de espumante*



*Nota:* Adaptado de *Mineralurgia II* (p.51), por Linares, N. (2014).

### **Acción del espumante**

Una vez que la superficie de una partícula mineral se ha vuelto repelente al agua debido a la acción de un colector, la estabilidad de la unión de la partícula a la burbuja depende de la eficacia del espumante. Los espumantes son sustancias orgánicas heteropares que son activas en la interfaz aire-agua y pueden ser adsorbidas en ella.

Los espumantes más comunes contienen el grupo OH, como los aceites de pino  $C_{10}H_{17}OH$ , cresoles  $CH_3C_6H_4OH$  y alcoholes como el  $C_5H_{11}OH$ . El grupo OH posee propiedades hidrofílicas fuertes y rara vez se adsorbe en los minerales, lo que minimiza su efecto de recolección en ellos.

La función principal de un espumante es generar una espuma estable que permitirá posteriormente la extracción del concentrado; sin embargo, los espumantes también tienen efectos valiosos en un circuito de flotación, como:

- Origina la formación de burbujas más finas, es decir mejorar la dispersión del aire en la celda de flotación.
- Previene la coalescencia, fusión o unión de las burbujas de aire separadas.
- Decrece la velocidad a la cual las burbujas suben hacia la superficie de la pulpa.
- Afectan la acción del colector.
- Incrementan la resistencia de la película de la burbuja y la estabilidad de la espuma formada, cuando las burbujas mineralizadas emergen a la superficie.

#### ***2.3.10.1.3. Modificadores o reguladores***

Los modificadores son reactivos utilizados en el proceso de flotación para regular la acción de un colector en los minerales, con el fin de aumentar o disminuir su capacidad repelente al agua en las superficies minerales. Los reguladores hacen que la acción de recolección sea más selectiva entre los minerales, garantizando una separación adecuada entre ellos.

Cuando se añade un regulador o modificador a la pulpa, el colector puede convertir selectivamente ciertos minerales en repelentes al agua sin afectar significativamente a los otros minerales. La función del modificador implica tanto reacciones con el mineral como con los iones presentes en la pulpa, siendo en muchos casos de naturaleza química.

La lista de modificadores o agentes reguladores utilizados en la flotación es variada, y en general, el término regulador se aplica a todos aquellos reactivos que no tienen funciones específicas de recolección o espumación. Estos se clasifican de la siguiente manera:

#### **2.3.10.1.4. Depresores**

Es un reactivo que inhibe o evita la adsorción de un colector por un mineral; y por tanto previene su flotación.

#### **2.3.10.1.5. Activadores**

Es un reactivo que mejora o ayuda a la adsorción de un colector.

#### **2.3.10.1.6. Modificador de pH**

La eficacia de los reactivos químicos en procesos de flotación está vinculada a la alcalinidad o acidez de la pulpa. El pH, una variable de fácil medición, desempeña un papel crucial en estos procesos. (Linares, 2014)

En su mayoría, las plantas concentradoras de sulfuros operan con una pulpa alcalina, logrando resultados metalúrgicos óptimos y proporcionando protección contra la corrosión de los equipos metálicos utilizados en el proceso. Entre los reguladores de alcalinidad más comunes en la flotación se encuentran la cal (CaO) y el hidróxido de sodio (NaOH), siendo la cal la opción preferida debido a su costo más accesible. Sin embargo, cuando el ion calcio genera complicaciones, se recurre al hidróxido de sodio. (Linares, 2014)

Manteniendo un pH adecuado, la flotación se lleva a cabo de manera eficiente y regular. Además, se emplean diversos reactivos como depresores, activadores, dispersores, entre otros. (Andrade, 1995)

## La cal

La cal, en forma de cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), destaca como el regulador de pH y alcalinidad más utilizado en la actualidad, especialmente en operaciones de flotación. Su aplicación en la flotación se realiza mediante la introducción de cal hidratada. La cantidad requerida de cal varía según el pH deseado para la operación, las características de las espumas de flotación, la presencia de óxidos, entre otros factores (Antapaccay, 2019). Cuando se diluye en agua, la cal experimenta la siguiente reacción:



Este proceso genera lo que se conoce como "lechada de cal", desempeñando dos funciones fundamentales:

Depresión de la ganga: Reduce la posibilidad de que los minerales acompañantes floten, especialmente aquellos con pirita, ya que estos generan una acidez significativa durante la molienda.

Mantenimiento de la alcalinidad óptima: Neutraliza la acidez en la pulpa, precipitando las sales presentes en el agua y asegurando condiciones alcalinas ideales para la flotación de cobre.

Descripción de la planta pilote de flotación de partículas gruesas – CPF

### ***2.3.11. Consideraciones de seguridad***

La Planta Piloto CPF Hydrofloat está diseñada para un funcionamiento seguro y confiable a largo plazo. La Planta Piloto CPF Hydrofloat incluye dispositivos que tienen presión, piezas giratorias y componentes eléctricos, que pueden implicar peligros y riesgos. Se recomienda que la operación de la Planta Piloto sólo debe ser realizada por personal calificado que reconozca.

Los posibles peligros que pueden ser encontradas para cada componente. Cualquier daño o destrucción de los componentes de la Planta Piloto CPF y/o accidentes personales incluyendo

posible pérdida de una extremidad o de la vida, puede ser el resultado de no seguir las precauciones descritas abajo. Antes de la instalación u operación de la Planta Piloto CPF, se deberá revisar y asegurar los

siguientes puntos como mínimo:

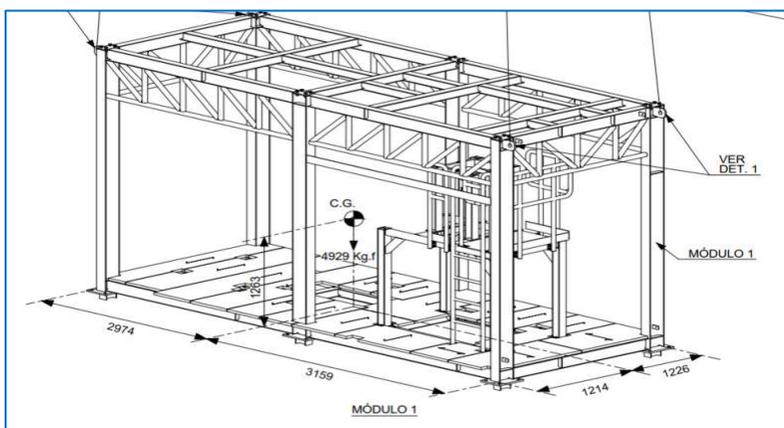
- ✓ Siempre realice un bloqueo y etiquetado de la alimentación antes de quitar las guardas de protección de la transmisión, o antes de cualquier actividad de instalación, intervención al equipo.
- ✓ Nunca opere las bombas o el impulsor del acondicionador sin las guardas de protección de motores o los dispositivos de seguridad instalado correctamente.
- ✓ Nunca opere las bombas con la válvula de succión o descarga cerrada.
- ✓ Revise todas las precauciones de seguridad para los componentes auxiliares en los manuales complementarios adjuntos como anexo a este documento.

Descripción de la planta pilote de flotación de partículas gruesas – CPF

Instalación de Módulo 01 de la Planta Piloto según el plano esto se observa en la figura 9.

### Figura 9

*Modulo 01 planta piloto*

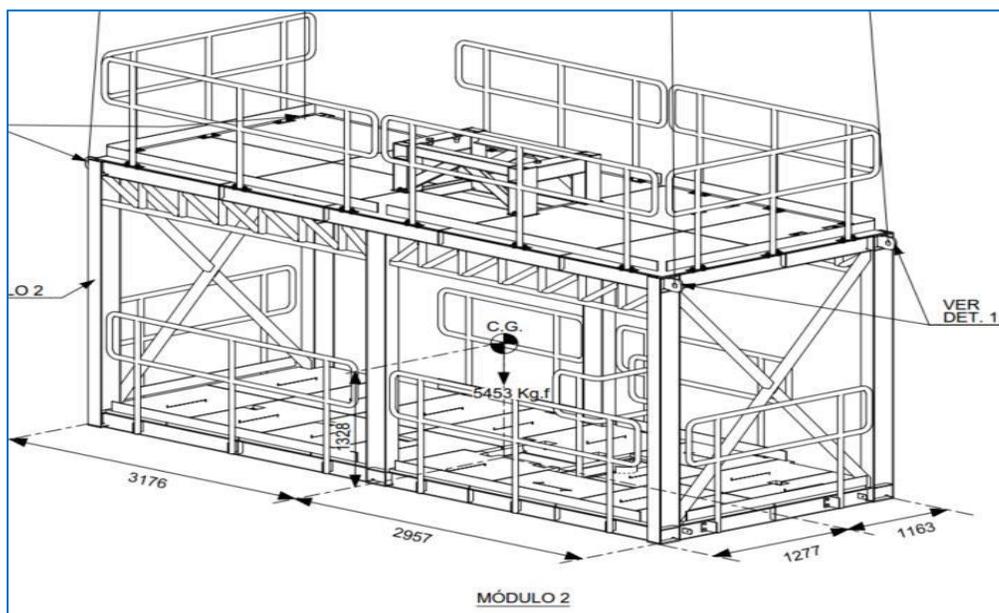


*Nota: Adaptado Eriez Flotación*

Instalación del módulo 02-A según el plano esto se observa en la figura 10.

**Figura 10**

*Instalación del módulo 02-A*

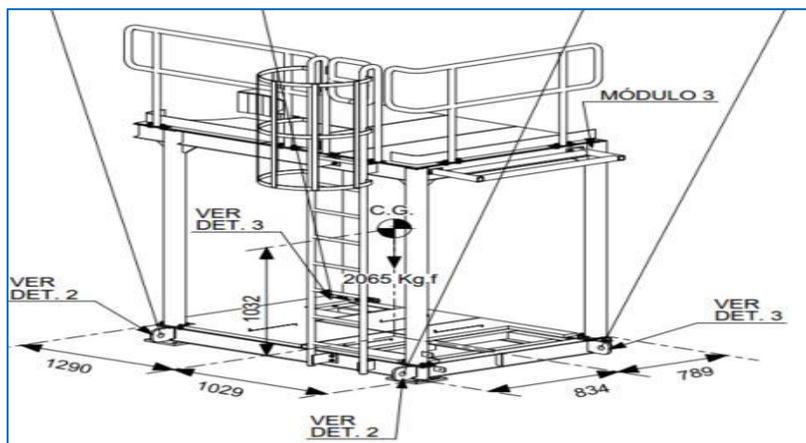


*Nota:* Adaptado Eriez Flotación

Instalación del módulo 02-B según el plano esto se observa en la figura 11.

**Figura 11**

*Modulo02-B de planta piloto según plano*

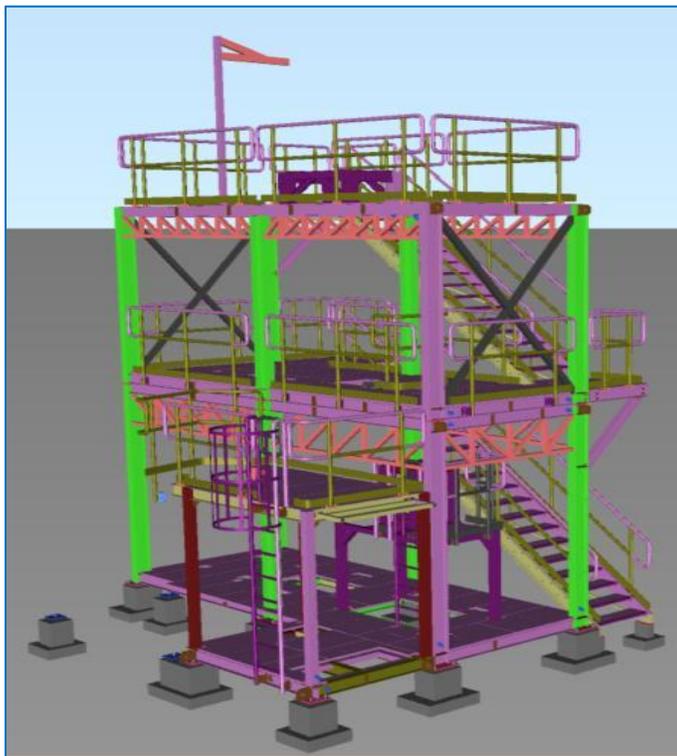


*Nota:* Adaptado Eriez Flotación

Estructura metálica instalada de la Planta Piloto. esto se observa en la figura 12

### **Figura 12**

*Estructura metálica de planta piloto*



*Nota:* Adaptado Eriez Flotación

#### **2.3.12. Inspección de la instalación.**

En esta sección indicaremos los puntos principales que se inspeccionarán en la supervisión de Eriez de la instalación de las estructuras metálicas. Líneas abajo indicamos la información que solicitaremos a la contratista encargada de la instalación, además, de algunas actividades que el supervisor de Eriez realizará.

Nivelación. Solicitaremos los protocolos de nivelación de la estructura metálica. Además, se verificará en campo la nivelación en distintos puntos de la estructura. Nota: Se debe asegurar que toda la estructura se encuentre correctamente nivelada, si ello no se cumple, no se puede garantizar una correcta operación de nuestros equipos.

Torque. Solicitaremos los protocolos de torqueo de las conexiones estructurales. Además, se verificará en sitio el torque de distintas uniones emperradas. El torque que se debe aplicar se indica en el plano. Se deberá verificar que las parrillas y barandas estén firmemente aseguradas en la figura se muestra la planta instalada. En la figura 13 se observa la instalación terminada de planta piloto de flotación de partículas gruesas (CPF)

### **Figura 13**

*Planta piloto de flotación de partículas gruesas (CPF)*



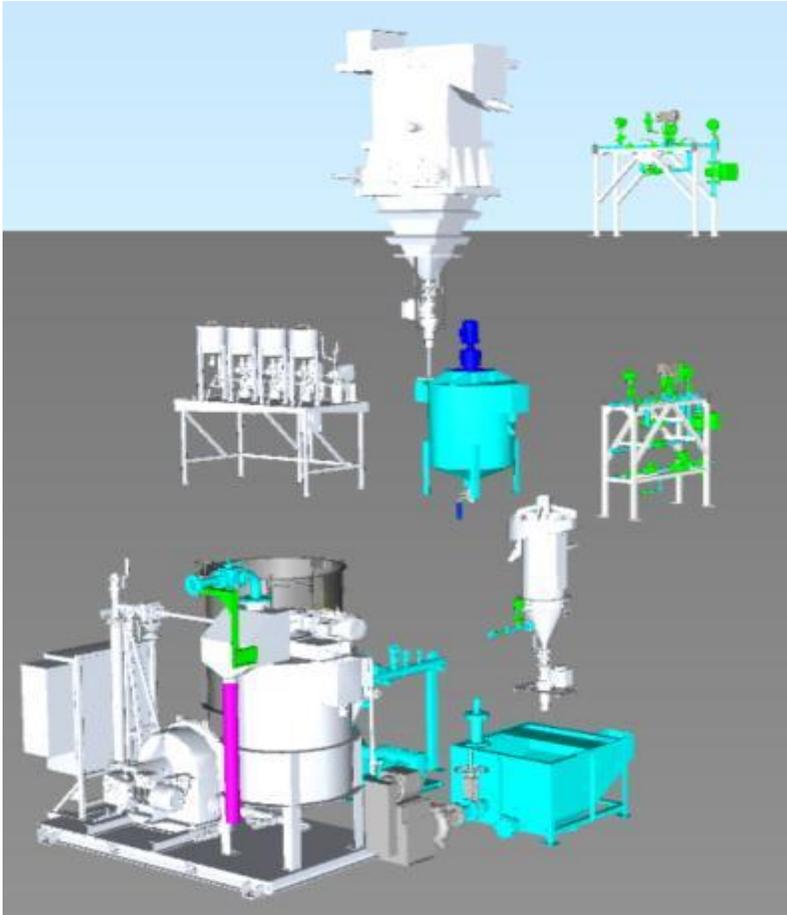
*Nota:* Adaptación propia

#### ***2.3.13. Inspección de equipos mecánicos de la planta piloto***

La planta de flotación de partículas gruesas cuenta con una serie de equipos mecánicos como se muestra en la figura 14. En esta sección indicaremos los puntos principales que se inspeccionarán.

**Figura 14**

*Equipos mecánicos que componen la planta piloto*



*Nota:* Adaptado Eriez Flotación

a) Bombas

- ✓ Se verificará que las fajas estén correctamente colocadas
- ✓ Revisaremos que la guarda se encuentre instalada y asegurada.
- ✓ Se verificará que el sistema de lubricación se encuentre instalado.

b) Agitadores

- ✓ Se verificará que los agitadores (2) se encuentren instalados y lineados.
- ✓ Verificar la lubricación de los reductores.

- ✓ Verificación de pernos ajustados y verticalidad del eje.

c) Tanques

- ✓ Se verificará que todas las pernerías de anclaje de los equipos se encuentren correctamente ajustados.
- ✓ Se revisará que esté correctamente instalados todas sus conexiones (descarga, rebose, succión de bomba, drenaje y otros).
- ✓ Se verificará que los equipos se encuentren nivelados.

d) Hydrofloat y CrossFlow

Se verificará que todas las pernerías de anclaje de los equipos se encuentren correctamente ajustados.

Se revisará que esté correctamente instalados todas sus conexiones (descarga, rebose, succión de bomba, drenaje y otros).

Se verificará la nivelación del Hydrofloat y/o CrossFlow, esto es muy importante para la correcta operación del equipo.

e) Estaciones de Control de Agua y Aire

Se debe verificar que los instrumentos se encuentren en su posición y sentido de flujo correcto.

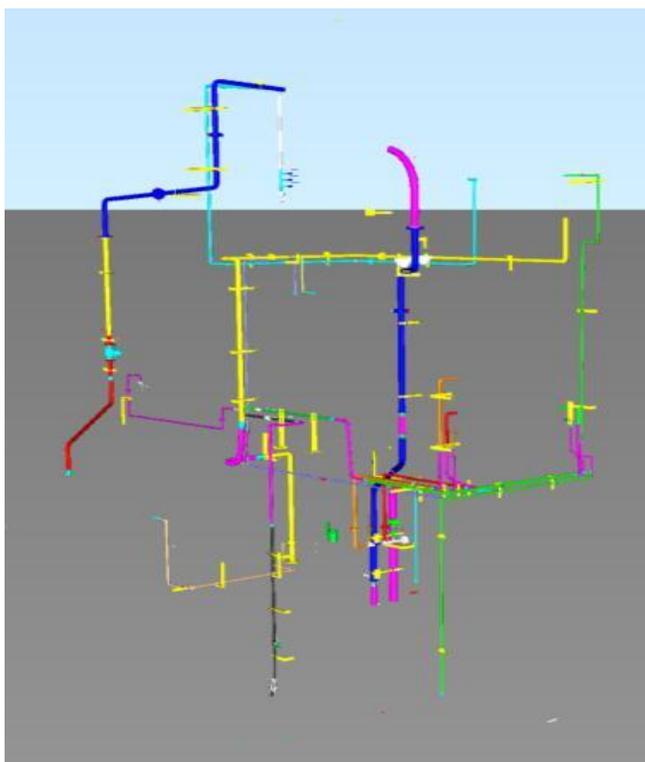
Se debe revisar que los instrumentos se encuentren en vertical, sobre todas las válvulas de control, ya que ellas no deben trabajar en una posición inclinada. Debido al transporte estos instrumentos pueden inclinarse ligeramente, por ello esto se debe corregir.

### 2.3.14. Inspección de tuberías

El objetivo de esta sección es revisar la correcta instalación de todas las tuberías de la planta piloto. En esta sección indicaremos los puntos principales que se inspeccionarán en la supervisión de Eriez. En la figura 15. se observa todo el circuito de tuberías de la planta piloto.

#### Figura 15

*Circuito de tuberías de la planta piloto*



*Nota:* Adaptado Eriez Flotación

Se revisará que todas las uniones bridadas sean instaladas adecuadamente.

Se verificará la conexión de las mangueras que se utilizan para unir las líneas

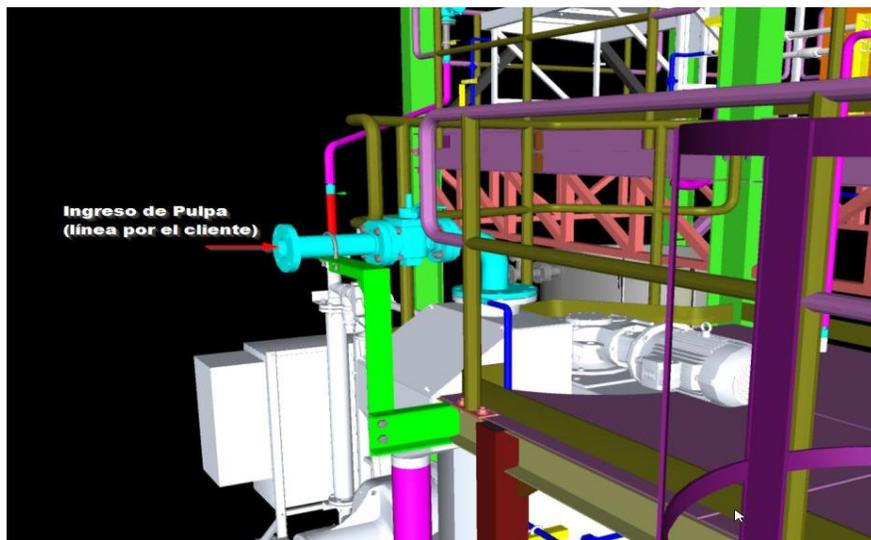
d) Se verificará que la línea de ingreso de pulpa al CrossFlow feed sea instalado. Esta línea deberá ser suministrada e instalada por el cliente esto se muestra Figura 18.

Se verificará que la línea de la descarga de la bomba de relave sea instalada. Esta línea deberá ser suministrada e instalada por el cliente esto se muestra en la Figura 19.

Se verificará que la línea de agua se ha instalado al ingreso del tanque de agua. Esta línea deberá ser suministrada e instalada por el cliente. Esta línea se muestra en la Figura 16.

### Figura 16

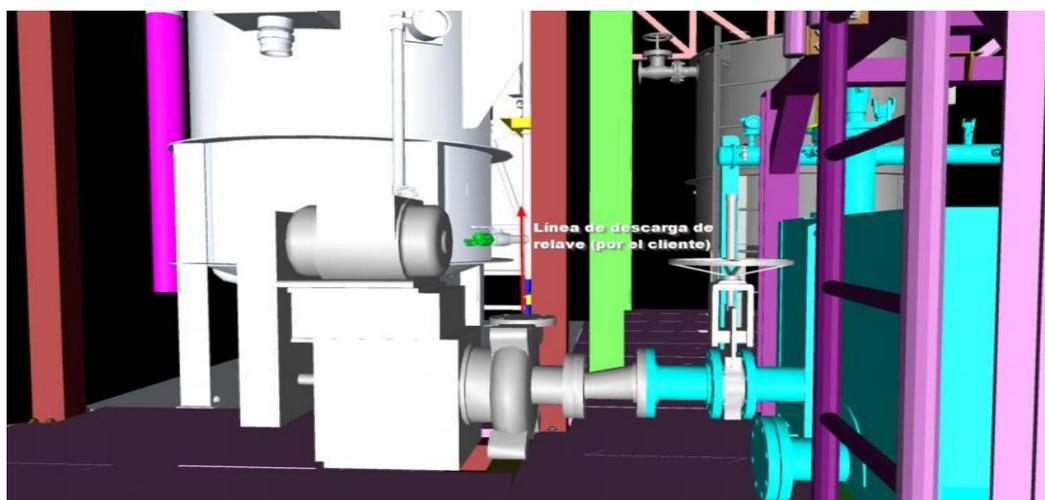
*Línea de ingreso de pulpa al Cross Flow*



*Nota:* Adaptado Eriez Flotación

### Figura 17

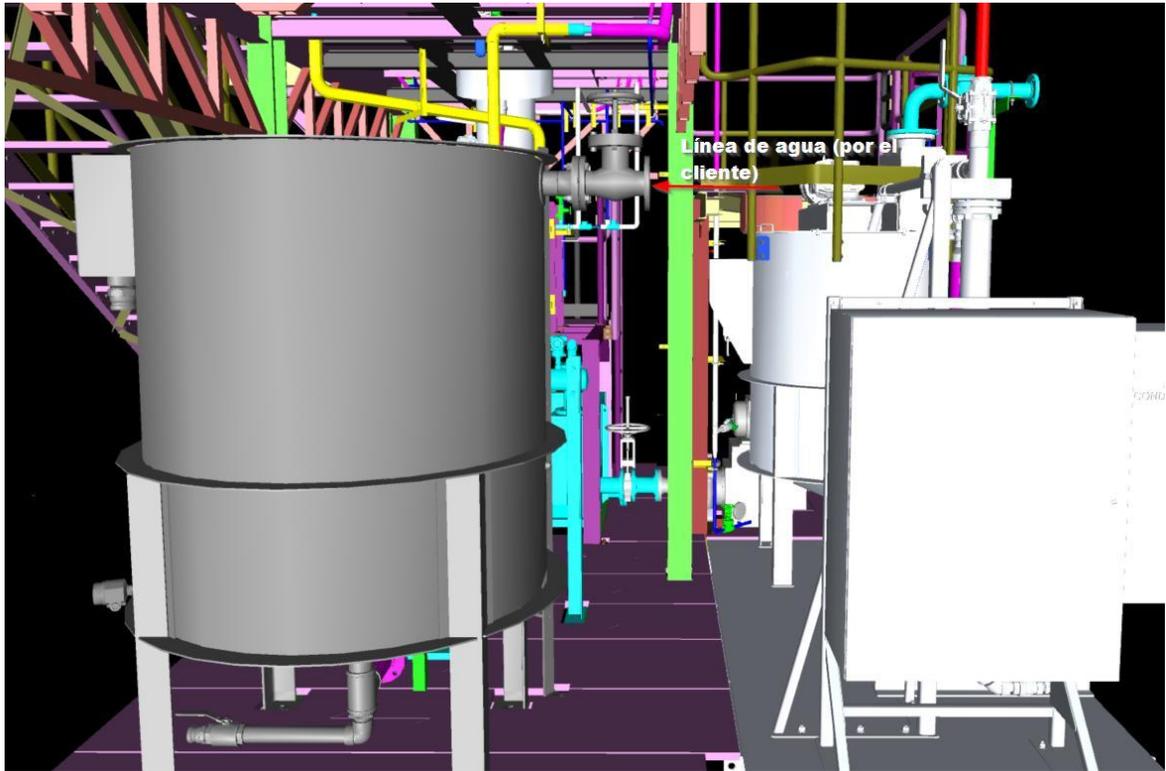
*Línea de descarga de bomba de relave*



*Nota:* Adaptado Eriez Flotación

**Figura 18**

*Línea de agua ingreso al tanque de agua*



*Nota:* Adaptado Eriez Flotación

### **2.3.15. Instrumentación y control**

- ✓ Se realiza la prueba en vacío, concernientes a la disciplina Instrumentación y Control.
- ✓ prueba de lazo de señales de instrumentos de control de procesos
- ✓ Inspección visual: mecánica y eléctrica
- ✓ Verificar que el Instrumento sea Analógico / Digital / Discreto.
- ✓ Verificar que la señal sea la adecuada para el proceso que se requiere, según la ingeniería de detalle desarrollada (hoja de datos).

Se debe verificar que la ubicación del Instrumento esté de acuerdo con lo especificado en los planos de ingeniería de detalle (P&ID y ubicación de instrumentos).

Verificar que la tubería de proceso donde se instaló el Instrumento se encuentre sin proceso y las válvulas de aislamiento al segmento deben estar bloqueadas.

Comprobar que las conexiones mecánicas del Instrumento estén completas y sean correctas: boquillas, válvulas de bloqueo y purga, uniones, soportes y accesorios de montaje.

Comprobar que las instalaciones eléctricas del Instrumento estén completas y correctas: cableado y conexionado de la alimentación eléctrica, cableado y conexionado de la señal de medición del Instrumento (en 4-20 mA/HART, Profibus PA) y aterramiento del cableado adecuado. Además, se debe verificar que este cableado este entubado, sellado y bien soportado.

Verificar que las pruebas de laboratorio y de continuidad de los cables esté disponible y sea coherente.

Registrar toda la información de esta verificación y todos los datos requeridos en el Protocolo de Inspección Visual.

#### Válvula de control analógica digital

Se probará que la alimentación eléctrica a la válvula corresponde con la indicada en la hoja de datos y con el equipo físico.

Antes de activar la válvula verificar que todas las señales medición de posición y de control (en 4-20mA, Profibus PA o bus de campo) estén conectadas adecuadamente.

Si la válvula tuviera un control local, se probará en modo manual, a través del panel de control de campo, el comando para apertura y cierre proporcional de la válvula, midiéndose el porcentaje de apertura de la válvula. Además, se medirá la posición de la Válvula (apertura en %:

0, 25, 50, 75 y 100 y cierre en %: 100, 75, 50,25 y 0). Anotar los tiempos de apertura y cierre de la Válvula (0-100%; 100-0%).

En modo automático, se probará desde el HMI, el comando de apertura y cierre proporcional de la válvula, midiéndose el porcentaje de apertura y cierre proporcional de la válvula. Además, se medirá la posición de la válvula (en porcentaje) y se visualizará la posición en el HMI. Anotar los tiempos de apertura y cierre de la Válvula.

Se probará y verificará la posición en porcentaje de falla de la Válvula.

Registrar los datos de las pruebas hechas a la Válvula de Control Proporcional / Digital en el Protocolo de Pruebas

Válvula de control on off

Se probará que la alimentación eléctrica a la válvula corresponde con la indicada en la hoja de datos y con el equipo físico.

Antes de activar la válvula verificar que todas las señales de control estén conectadas adecuadamente

Si la válvula tuviera un control local, se probará en modo manual, a través del panel de control de campo, el comando para apertura y cierre de la válvula, midiéndose la apertura y cierre de la válvula. Además, se medirá la posición de la Válvula (abierta o cerrada). Anotar los tiempos de apertura y cierre de la Válvula.

En modo automático, se probará desde el HMI, el comando de apertura y cierre de la válvula, midiéndose la apertura y cierre de la válvula. Además, se medirá la posición de la válvula (abierta o cerrada) y se visualizará la posición en el HMI. Anotar los tiempos de apertura y cierre de la Válvula.

Se probará y verificará la posición de falla de la Válvula.

Repetir la prueba funcional de la Válvula para confirmar la activación de los límites de carrera. Regular la posición de estos límites de carrera si fuera necesario.

Registrar los datos de las pruebas hechas a la válvula de control On/Off en el Protocolo de Pruebas.

### ***2.3.16. Sistemas de control de la planta piloto***

Los Sistemas de Control de Eriez Flotación División están diseñados para mantener la flotación de manera eficiente en condiciones cambiantes, manteniendo las variables de operación en valores estables para el desarrollo del proceso. Todos los equipos Eriez, tanto las celdas Hydrofloat como las celdas CrossFlow e Hydrofloat trabajan mejor cuando los flujos son constantes; por lo tanto, la operación debe ser lo más cercana posible a una condición estable. Un buen sistema de control limita los efectos negativos de variaciones en el proceso. Se requiere experimentar durante la operación para encontrar valores óptimos, los cuales podrían cambiar debido a variaciones en el caudal de alimentación, distribución de tamaño de partícula, porcentaje de sólidos y gravedad específica. los equipos suministrados para el proyecto planta piloto cpf se indican en la tabla 2: Lista de Equipos de la Planta CPF Tintaya.

**Tabla 2***Equipos de la planta Tintaya*

ítem	descripción
1	Tablero general de fuerza
2	Bomba peristáltica de alimentación
3	trash screen
4	tanque de alimentación de relave
5	bomba de colas
6	Hydrofloat
7	cajón colector
8	bomba de aguas
9	tanque de agua
10	tanque acondicionador
11	mesa de bombas dosificadores
12	separador CrossFlow
13	estación de control de agua y aire
14	estación de control de agua y aire

*Nota:* Adaptado de Eriez Flotación

Los instrumentos que se utilizarán en la Planta Piloto CPF se indican en la Tabla 3

**Tabla 3***Instrumentos utilizados en planta piloto*

ítem	cantidad	descripción
1	6	trasmisores de presión
2	4	flujómetros
3	5	válvulas de control automáticas
4	2	sensores de nivel ultrasónico
5	5	variadores de frecuencia

*Nota:* Adaptado de Eriez Flotación

### 2.3.16.1. Lazo de Control de la Planta Piloto CPF

Vea la Tabla 4 para los TAGS de los instrumentos de cada lazo de control.

**Tabla 4**

*TAGS de los instrumentos*

Sistema	Lazo de control	Equipo	Tag
Sistema de presurización de agua	presión en el manifold de agua	TT-001	PE-101/PIT-101
		TT-001	LSL-103
	Flujo de dilución	PP-001	VFD-PP-001
		MT-001	FE-103/FIT-103
CrossFlow feed	Flujo de pulpa de alimento CrossFlow	MT-001	FE-106/FIT-106
		TT-001	LSL-105
	Flujo de agua de fluidización	TT-001	LSH-105
		PP-002	VFD-PP-001
CrossFlow	presión hidrostática al interior de CrossFlow	XF-001	VFD-PP-001
		XF-001	FE-108/FIT-108
	Presión de aire de flotación	XF-001	FV-108
		XF-001	PE-110/PIT-110
Hydrofloat	Flujo de aire de flotación	HF-001	PRV-114
		HF-001	FE-115/FIT-115
	Flujo de aire de fluidización	HF-001	FV-115
		HF-001	FE-116/FIT-116
	presión hidrostática al interior de Hydrofloat	HF-001	FV-116
		HF-001	PE-118A/PIT-118A
		HF-001	PE-118B/PIT-118B
		HF-001	LV-118

*Nota:* Adaptado de Eriez Flotación

### 2.3.16.2. Operación de la planta piloto cpf

Sistema de presurización de agua de procesos

Un flujo de agua de procesos de 15.86 m<sup>3</sup>/h (max.) se suministra al tanque (TT-001) a partir del cual se bombea agua hacia un manifold para distribuir agua de procesos hacia los

diferentes Skids de la planta piloto, tales como sistema de agua de dilución para alimento al CrossFlow, agua de fluidización para el CrossFlow, agua de fluidización para el Hydrofloat.

El sistema de presurización contempla un lazo de control cerrado para mantener la presión constante a un valor objetivo en el manifold de agua, incluye un transmisor de presión (PE-101/PIT-101) y un variador de frecuencia para la bomba de 10 HP de potencia (PP-001).

### **2.3.16.3. Sistema de alimentación al CrossFlow**

El sistema de alimentación ha sido diseñado para suministrar un flujo nominal de 5.40 m<sup>3</sup>/h de pulpa a un porcentaje de sólidos de 40% en peso. Sin embargo, podría alcanzar valores máximos de 9.64 m<sup>3</sup>/h de pulpa para un porcentaje de sólidos de 35% en peso. Esta pulpa primero pasa a través de un Trash Screen, donde se remueve las partículas de sobre tamaño a 10mm (pajillas y basurillas). El oversize será enviado hacia una línea de drenaje, mientras que el under size alimentará por gravedad al tanque de agitación MT-001. La operación del Trash Screen es a modo de un cedazo estático.

El tanque de agitación de la pulpa de alimentación posee un sistema de agitación de velocidad variable. La pulpa de alimento al CrossFlow® es bombeada desde el tanque MT-001 mediante la bomba peristáltica modelo LPP-T65 (PP-002), la cual opera mediante un lazo cerrado con el flujómetro magnético FE – 106 para regular las revoluciones por minuto de la bomba PP-002 mediante un variador de frecuencia hasta obtener el flujo de descarga deseado. El sistema de alimentación cuenta un sistema de dosificación de agua de dilución que incluye una válvula de control tipo globo FV-103 y un flujómetro magnético FE-103. La línea de descarga de la bomba cuenta con un amortiguador de pulsaciones el cual sirve para reducir las pulsaciones de la operación de bombeo y, de este modo, asegurar un flujo y presión estable.

#### **2.3.16.4. Clasificación en Crossflow**

El flujo de pulpa ingresa el CrossFlow por la parte superior a través de un cajón distribuidor de pulpa, el cual desciende a través del CrossFlow y se encuentra con un flujo en contracorriente de agua de fluidización el cual lava y arrastra las partículas finas contenidas en la pulpa de alimento para ser evacuados por la parte superior del CrossFlow (overflow). Las partículas gruesas debido a su mayor masa se sedimentan al interior del tanque e incrementan su porcentaje de sólidos en la sección cónica para ser descargados por la parte inferior del equipo (underflow) hacia un tanque de acondicionamiento (CT-001). El flujo del underflow del CrossFlow es controlado mediante una válvula de control tipo bola (LV-110). La válvula de control establece un lazo cerrado con los transmisores de presión (PE-110/PIT-110) ubicados en la pared del CrossFlow® para controlar la presión lazo hidrostática del lecho fluidizado al interior del equipo.

El flujo de agua de fluidización se adiciona de manera automática, el cual es regulado mediante una válvula de control tipo Bola (FV-108) que opera en cerrado con un flujómetro magnético (FE-108).

#### **2.3.16.5. Dosificación de reactivos**

La planta piloto contempla 04 tanques de reactivo de flotación con 04 bombas dosificadoras (CP-001, CP-002, CP-003, CP-004) para el suministro de reactivos tales como PAX, espumante Flotanól C07 y aglomerante Diesel. Estos reactivos serán bombeados en la dosificación deseada hacia el tanque de acondicionamiento (CT-001), con excepción del espumante que se bombea hacia la línea de suministro de aire/agua de fluidización, antes del mezclador estático. A partir del tanque de acondicionamiento (CT-001) se suministra por gravedad la pulpa acondicionada hacia el Hydrofloat.

El tanque de acondicionamiento (CT-001) cuenta con un agitador de velocidad variable. Puntos adicionales de dosificación Existen 03 líneas disponibles para la dosificación de reactivos en la línea de suministro de agua de fluidización hacia el CrossFlow, la otra alternativa de operación es el suministro de los reactivos al tanque de acondicionamiento (CT—001), esto se muestra en la Figura 19.

### Figura 19

#### *Suministro de reactivos*



*Nota:* Adaptación propia

Los reactivos que se dosificaron fueron PAX, Diesel y Flotanól C-07

#### **2.3.16.6. Flotación de gruesos – Hydrofloat**

El flujo de pulpa ingresa al Hydrofloat por la parte superior e ingresa al lecho fluidizado

que se genera gracias a un flujo en contracorriente de agua de fluidización el cual reduce la velocidad de sedimentación de las partículas gruesas e incrementa el tiempo de residencia de las partículas dentro de la celda, permitiendo su colección por finas burbujas de aire, introducidas a la celda a través del mezclador estático y estabilizadas por la adición de espumante en la línea de ingreso de aire/agua de fluidización. De esta forma, los agregados partícula-burbuja ascienden y son evacuados por la parte superior del Hydrofloat® (overflow). Las partículas gruesas que no contienen especies valiosas (ganga) y partículas mineralizadas con muy bajo grado de liberación (<1%) que no logran ser recuperadas, continúan su sedimentación en el interior de la celda e

incrementan su porcentaje de sólidos en la sección cónica para ser descargados por la parte inferior de la celda (underflow). El nivel del lecho fluidizado es regulado mediante un lazo cerrado que contempla una válvula de control tipo bola (LV-118) y transmisores de presión (PE-118A/PIT-118A, PE-118B/PIT-118B) ubicados en la pared del Hydrofloat.

El flujo de agua de fluidización se adiciona de manera automática, el cual es regulado mediante una válvula de control tipo Bola (FV-116) que opera en lazo cerrado con un flujómetro magnético (FE-116). El flujo de aire de flotación se adiciona de manera automática mediante una válvula de control tipo Bola (FV-115) que opera en lazo cerrado con un flujómetro másico (FE-115). La presión de ingreso de aire también se controla automáticamente mediante una válvula reguladora de presión (PRV-114).

#### **2.3.16.7. Secuencia de arranque de la planta piloto con agua y aire**

Para arrancar la Planta Piloto CPF, seguir la secuencia:

1. Encender el sistema de presurización de agua TT-001 y bombear agua hacia el feed tank MT-002 de la planta piloto hasta llenarlo por completo.
2. Verificar algún tipo de fuga en los sistemas y subsistemas. De existir alguna fuga, detener la operación, realizar las correcciones y retornar al Item 1.
3. Presurizar con aire de instrumentación los sistemas neumáticos estación de control de aire de flotación del Hydrofloat (HF-001), tablero de control del Hydrofloat HF-001 y del CrossFlow XF-001.
4. Llenar el cajón de bomba de drenaje de la planta piloto (PB-001) con agua a partir de la válvula manual ubicada en el tanque de agua TT-001.
5. Llenar la celda Hydrofloat HF-001 con agua, abriendo la válvula de control de flujo de agua FV-116 y cerrando la válvula LV-118. Verificar la correcta operación de la válvula de control mediante suministro de aire de instrumentación. Se deberá verificar los valores mínimos y máximos de flujo de agua y la estabilidad otorgada por la válvula de control.
6. Llenar el separador CrossFlow XF-001 con agua, abriendo la válvula de control de flujo FV-106 y cerrando la válvula LV-110. Verificar la correcta operación de la válvula de control mediante suministro de aire de instrumentación. Se deberá verificar los valores mínimos y máximos de flujo de agua y la estabilidad otorgada por la válvula de control. El encargado deberá verificar el llenado de los equipos evitando derrames fuera de la planta piloto.
7. Llenar el tanque acondicionador CT-001 con agua abriendo la válvula de descargar del CrossFlow LV-110. Arrancar los motores de agitación del tanque acondicionador. Se deberá verificar la temperatura y vibración de motores.
8. Accionar la bomba de alimento PP-002 ubicada en el Feed Tank MT-002 para suministrar de agua hacia el CrossFlow.

9. Arrancar la bomba de relaves para evacuar el agua que ingresa, con la finalidad de mantener la Planta Piloto operando en continuo.

10. Suministrar aire de flotación a la celda Hydrofloat. Se deberá verificar los valores mínimos y máximos de flujo de aire y la estabilidad otorgada por la válvula de control.

11. De no haber observaciones en las instalaciones, equipos o instrumentos, se deberá mantener el sistema operando de manera continua por una duración no menor a 02 horas.

#### **2.3.16.8. Secuencia de arranque de planta piloto con pulpa**

Para arrancar la Planta Piloto CPF con pulpa, seguir la secuencia:

1. Llenar los equipos Feed Tank (MT-002), CrossFlow® (XF-001), Acondicionador (CT-001), HydroFloat® (HF-001), Cajón de Drenaje (PB-001) con agua a partir del Tanque de Agua (TT-001) siguiendo los pasos del 1 al 9 de la SECUENCIA DE ARRANQUE DE LA PLANTA CON AGUA

2. Suministrar pulpa hacia el Feed Tank y agua de procesos hasta obtener la densidad deseada en el alimento al CrossFlow (XF-001). El flujo de alimentación de pulpa inicialmente será a un 25% del flujo nominal, el cual se irá incrementando gradualmente hasta alcanzar el flujo de pulpa nominal y posteriormente el flujo máximo, esto aplica tanto para el CrossFlow como para el Hydrofloat.

3. Regular el Set Point de nivel del lecho fluidizado del CrossFlow, así como el flujo de agua de fluidización del CrossFlow al valor deseado.

4. Regular el Set Point de nivel del lecho fluidizado del Hydrofloat, flujos de agua de fluidización y aire de flotación del Hydrofloat al valor deseado.

5. Una vez se haya alcanzado los flujos de operación nominales, se procederá a realizar un muestreo para verificar los puntos de muestreo:



## CAPITULO III

### 3. HIPOTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. *Hipótesis general*

Es viable recuperar partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre de los relaves de flotación con la celda Hydrofloat de la Cia minera Antapaccay S.A. - planta concentradora Tintaya

##### 3.1.2. *Hipótesis específica*

- La identificación de especies mineralógicas y composición química de los minerales valiosos en los relaves de flotación de la planta concentradora Tintaya, son eficientes para la flotación con Hydrofloat.

- El P80 de relave final de la planta concentradora Tintaya, el alimento y Under flow de Cross Flow de la planta piloto (CPF) influye significativamente en el porcentaje de recuperación de cobre.

- Optimizar las variables en la celda Hydrofloat permite garantizar buena recuperación de las partículas gruesas de los minerales sulfurados de cobre a partir de relave final del proceso de flotación.

#### 3.2. Variables

##### 3.2.1. *Variable dependiente*

% de recuperación de cobre

### 3.2.2. *Variables independientes*

- ✓ Flujo de aire
- ✓ Flujo de agua
- ✓ Tamaño de partícula P80
- ✓ Reactivo Espumante Flotanól 07
- ✓ Reactivo colector Z-6

### 3.2.3. *Indicadores*

- ✓ Caudal (l/min)
- ✓ Caudal (m<sup>3</sup>/hr)
- ✓ P80 ( $\mu\text{m}$ )
- ✓ Dosificación F 07(gr/TM)
- ✓ Dosificación Z - 6(gr/TM)

## CAPITULO IV

### 4. METODOLOGÍA

#### 4.1. Tipo de investigación

El presente estudio es tecnológico y cuantitativo ya que permite medir datos cuantitativos con el uso de la tecnología de Hydrofloat dando un análisis estadístico, observación y análisis crítico para convertir en conocimientos prácticos.

#### 4.2. Nivel de investigación

Este estudio se ubica en el nivel descriptivo de investigación, ya que se enfocará en describir la situación problemática actual y la correspondiente solución, relacionando conceptos y variables. Asimismo, presenta un nivel correlacional, ya que se analizará la relación entre las variables dependientes e independientes para abordar el problema de investigación.

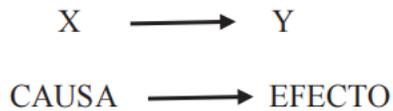
#### 4.3. Método de investigación

En este estudio, se utilizará el enfoque deductivo, ya que las conclusiones de la investigación se derivarán de los resultados obtenidos mediante el análisis de la relación de causa y efecto de la variable dependiente. La variable dependiente en nuestra investigación es el porcentaje de recuperación de cobre, cuyos resultados válidos y verídicos influirán en las conclusiones del trabajo.

#### 4.4. Diseño de investigación

Este estudio de investigación se caracteriza por contar con un diseño experimental que implica la manipulación de múltiples variables independientes y la evaluación de su impacto en la variable dependiente. En este caso, se plantean hipótesis que establecen relaciones causales entre las variables. En este estudio, las variables causales incluyen P80, caudal de agua, caudal de aire

y espumante, mientras que el efecto se manifiesta en el porcentaje de recuperación de cobre como resultado de la influencia de estas variables manipuladas.



Donde:

X: Es la variable independiente, que es manipulada (causa).

Y: Es la variable dependiente, que es el efecto.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

A continuación, se mencionan las técnicas e instrumento de datos:

- ✓ Observación
- ✓ Software Minitab 19 para organizar los datos.
- ✓ Exel para análisis de datos

##### **4.5.1. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para procesar y analizar los datos de nuestro trabajo de investigación se realiza los siguientes análisis:

**Análisis descriptivo:** Nos ayudara a describir el comportamiento de las muestras en estudio con la ayuda de tablas, gráficos, etc.

**Análisis Explorativo:** Permite para la interpretación de los datos para llegar a una ecuación y grafica final del comportamiento de las variables.

**Diseño Experimental:** Se realiza análisis de regresión y correlación lineal múltiple mediante el software de programación Exel, Minitap 19.

#### **4.6. Población y muestra de estudio**

- ✓ Población: 2021 m<sup>3</sup>/h
- ✓ Muestra: 5.4 m<sup>3</sup>/h

#### **4.7. Materiales e instrumentos de investigación**

##### ***4.7.1. Materiales de investigación***

- Bibliografía
- Software Minitap 19
- Exel

##### ***4.7.2. Instrumentos y equipos de investigación***

- Balanza Marcy
- Cortadores de muestra manual
- Clasificador CrossFlow
- Celda de flotación Hydrofloat
- Horno de secado
- Tamices
- Analizador de leyes
- Pulverizador
- Cuarteador de pulpa

#### **4.8. Técnicas de investigación**

Muestreo de pulpa de relave de Scavenger. el muestreo se realiza de manera diaria en la planta concentradora TINTAYA, la cual consiste en tomar muestras de relave que viene de las celdas de flotación Scavenger con el apoyo de muestreadores manuales y envases se toman las

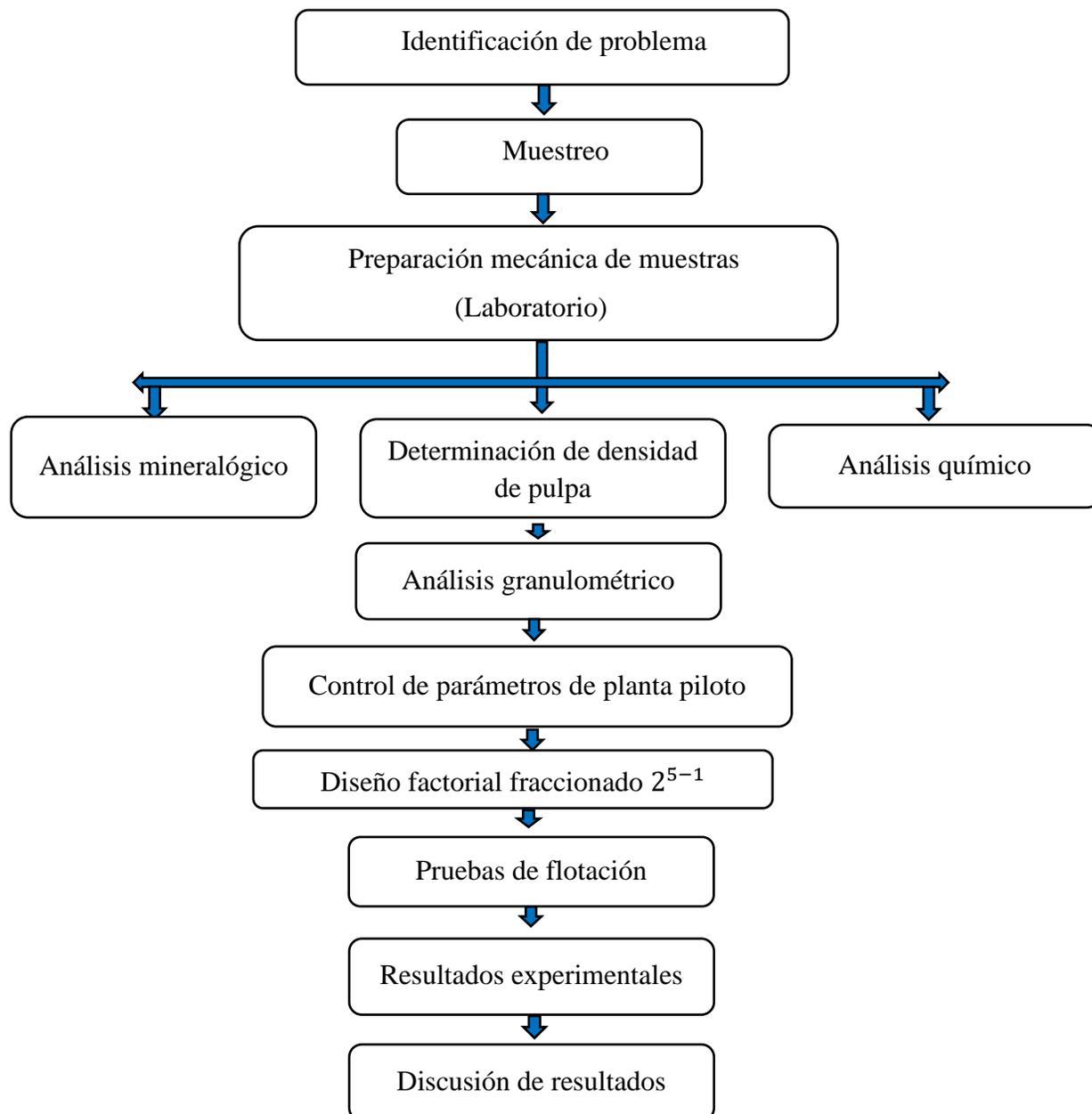
muestras varios cortes en determinados tiempos y se colecta un solo envase formando un solo composito la cual es una muestra representativa

Mediciones porcentaje de sólidos y densidad de relave. Estas operaciones se realizan en paralelo con el muestreo de relave, la medición de porcentaje de solidos (malla rápida) se realiza se la siguiente manera primero se toma una muestra de un litro para medir su densidad en la balanza Marcy en seguida la muestra se lava en la malla 150 luego la muestra lavada retenida +150 se vuelve a medir su densidad y con una fórmula matemática se calcula el porcentaje de solidos

Cálculo de P80. Esta operación se realiza de la siguiente manera se toma la muestra representativa luego se lleva cuarteador de pulpa si es necesario luego es secado en un horno posteriormente se lleva a un a tamizar durante un periodo de tiempo para luego obtener los pesos retenidos en cada tamiz con los cuales se calcula con el uso de fórmulas matemáticas del P80

Muestreo de pulpa alimento CrossFlow Overflow y Underflow y concentrado y relave de Hydrofloat se realizará de la misma manera en los cinco puntos mencionados.

Las muestras colectadas de los cinco puntos se mandarían a laboratorio químico para obtener las leyes en caso de concentrado y relave de la celda de flotación mandara para un análisis mineralógico DRX para identificar las mineralogía y tamaño de partículas, seto se muestra en la figura 9.

**ESQUEMA DE PRUEBA EXPERIMENTAL**

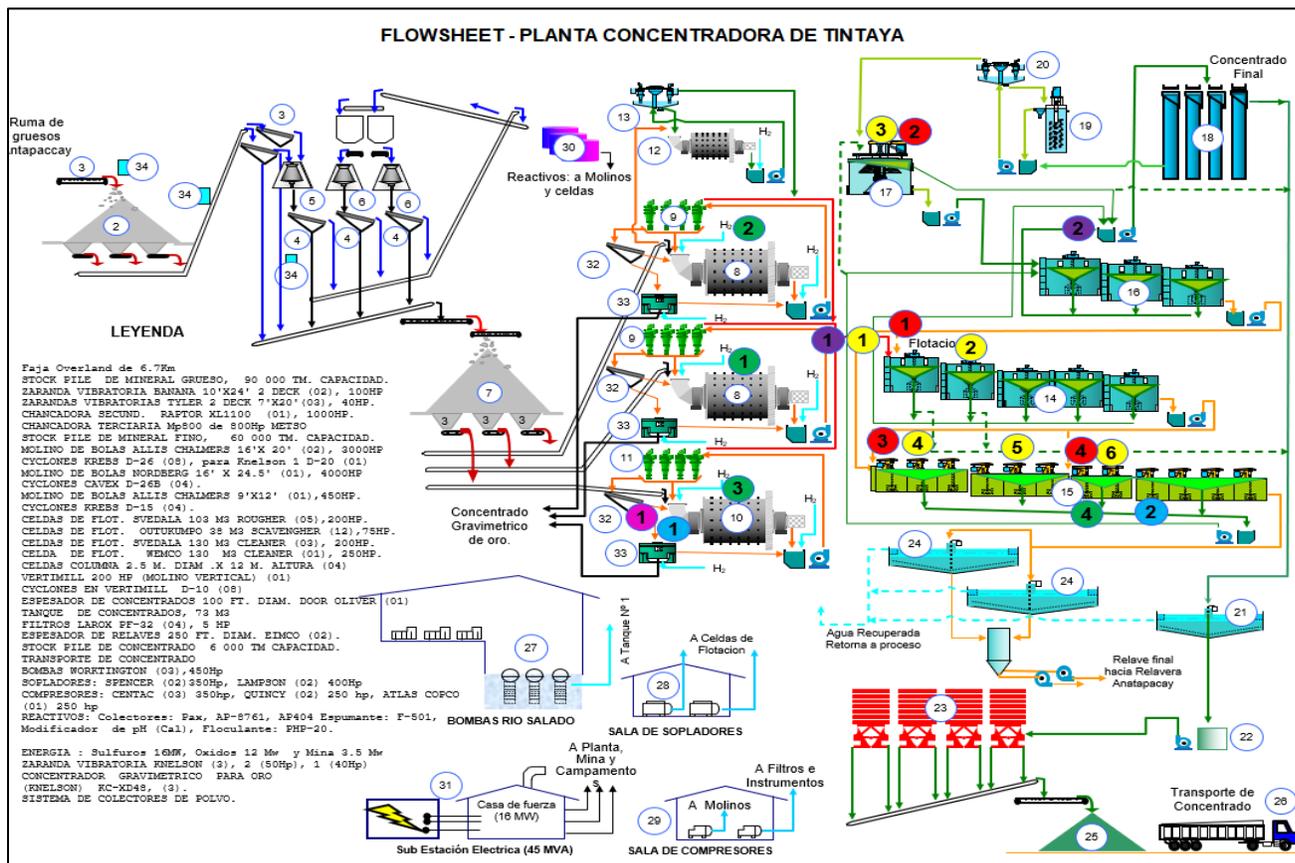
Nota. Adaptación propia

## CAPITULO V

## 5. INGENIERÍA DE INVESTIGACIÓN

Figura 21

Flowsheet - planta concentradora Tintaya



*Nota:* Flow sheet planta tintaya- Antapaccay

Para ver la incidencia de P80 en la recuperación de cobre por flotación proseguiremos realizar un trabajo experimental, se inició a tomar las muestras de pulpa de relave TINTAYA, alimento y Underflow de CrossFlow en paralelo los tres puntos en paralelo se realiza la medición, de porcentaje de solidos en malla 150 posteriormente se con las muestras se procede a preparar para calcular el P80 en cada intervalo de tiempo acorde con el porcentaje de recuperación de cobre,

teniendo en consideración las de más variables flujo de agua, aire y espumante Flotanól C

10. en la figura se muestra la planta concertadora TintConsumo de reactivos durante las pruebas experimentales

- **Muestreo de pulpa del relave Scavenger**

El muestreo se realiza con un muestreador de corte en el punto de muestreo que se encuentra al final de la línea de las celdas de flotación Scavenger donde se evacua el relave. Como se muestra en la figura 22.

- ✓ Herramientas y materiales
- ✓ Muestreador
- ✓ Envase de colección de muestra

1. Procedimiento

- ✓ Rotulado de envase y limpieza de muestreador
- ✓ Muestreo dos cortes en un determinado tiempo
- ✓ Se guarda la muestra
- ✓ preparación de muestra para análisis granulométrico
- ✓ Muestreador de corte

2. Herramientas y materiales

- ✓ Envases de colección
- ✓ Tamiz
- ✓ Rotap
- ✓ Deslamador
- ✓ Cuarteador de pulpa
- ✓ Horno de sacado

## Figura 22

### *Muestreo relave Tintaya*



*Nota.* Adaptación propia

### **5.1. Procedimiento**

En esta operación primero se realiza la toma de muestras en paralelo de los tres puntos de muestreo estos puntos son:

- ✓ Relave TINTAYA
- ✓ Alimento a CrossFlow
- ✓ Underflow de Cross Flow (Alimento Hydrofloat)

### **5.2. Caracterización mineralógica de relave planta concentradora Tintaya**

En la muestra de relave, sobre la malla #100 ( $>150\ \mu\text{m}$ ), se encuentra alrededor de 68.16% del cobre total presente (22.34 pts más que el mes de febrero 2023). Es importante mencionar que un relave aceptable contiene el 40% de cobre total en partículas gruesas. El P80 es  $305.8\ \mu\text{m}$ .

La principal especie de cobre identificada es calcopirita (2.8%), la presencia de bornita es mínima 0.7%. También se tiene 0.2% de cobre nativo y 0.3% de plata nativa.

El grado de liberación global de la calcopirita alcanza a 61.1% G.L; es decir es relativamente bajo.

Las partículas mixtas observadas en tamaños gruesos están distribuidas de la siguiente forma: lateral 64%, ocluida 10%, diseminada 20%, corona 0% y vetillas 6%. (36% de especies de cobre que se encuentran mixtos son difíciles de recuperar).

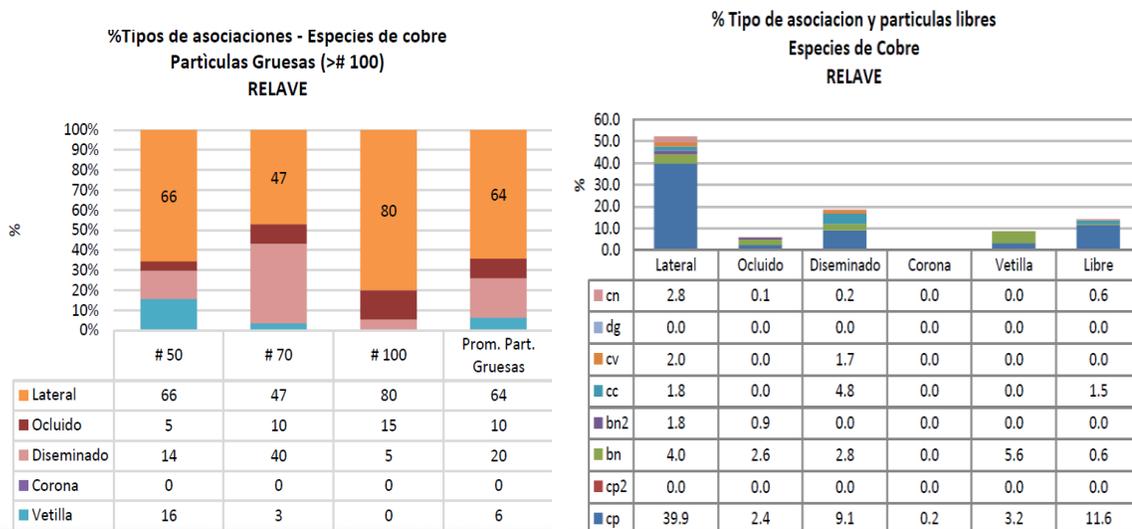
Se pudo apreciar partículas libres de calcopirita a partir de los 212 um (malla #70) y las pérdidas de esta especie es principalmente como partícula mixta 2.3% y como partícula libre 0.5%.

#### - Resumen De Caracterización Mineralógica relave tintaya Composito marzo 2023

En la Figura 23 las asociaciones de especies de cobre en las partículas gruesas, asociación de partículas libres de especies de cobre en el relave.

#### Figura 23

##### Caracterización mineralógica relave tintaya

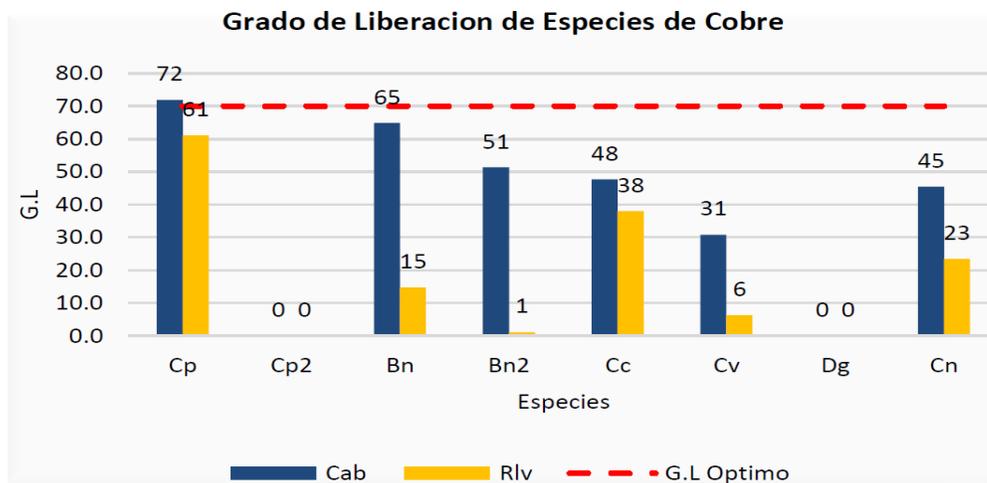


*Adaptado de:* Laboratorio metalúrgico Antapaccay

Los resultados de laboratorio de nos muestran el grado de liberación de especies de cobre esto se muestra en la figura 24.

**Figura 24**

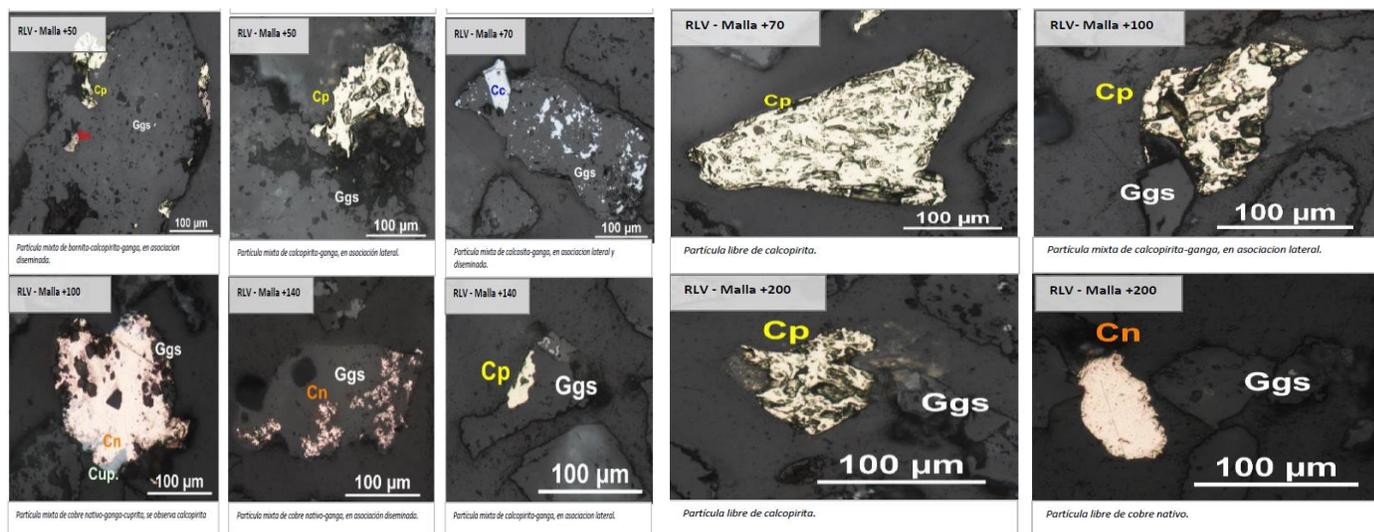
*Grado de liberación de especies de cobre*



Se muestra las micro fotografías de especies mineralógicas en diferentes tamaños esto se muestra en la figura.

**Figura 25**

*Microfotografías de especies mineralógicas presentes en el relave*



*Nota:* Laboratorio metalúrgico Antapaccay

### 5.2.1. Análisis químico de relave tintaya

El reporte de laboratorio nos muestra a continuación la distribución de minerales por tamaño en el relave como se muestra en la figura 26.

**Figura 26**

*% distribución de minerales por tamaño - Relave*

% Distribucion de Minerales por tamaño - RELAVE								
Mineral /Especie	Rlv +50	Rlv +70	Rlv +100	Rlv +140	Rlv +200	Rlv +270	Rlv +400	Total
Cobre total	50.02	33.55	7.04	4.04	1.76	1.92	1.67	100
Fierro	37.69	10.40	14.33	10.82	9.20	9.56	7.99	100
Plata nativa	0.00	0.00	43.12	20.59	18.08	18.21	0.00	100
Oro nativo								
Molibdenita								
Zinc	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100
Plomo								
Gangas	30.90	16.72	14.03	12.69	10.41	8.00	7.24	100

*Nota:* Laboratorio metalúrgico Antapaccay

Para complementar con la caracterización mineralógica se muestra la malla valorada del relave la cual se muestra en la figura 27.

**Figura 27**

*Malla valorada relave*

RELAVE				Leyes				Distribución			
# Malla	Abertura (um)	%Peso	%Ac(+)	Cu	Fe	Ag	Ins	Cu	Fe	Ag	Ins
50	300	21.0	21.0	0.20	2.09	0.65	88.36	42.18	13.47	30.05	22.82
70	212	11.3	32.3	0.15	2.36	0.50	86.35	17.02	8.15	12.40	11.96
100	150	9.1	41.4	0.10	2.53	0.43	86.37	8.96	7.06	8.62	9.68
140	106	8.1	49.5	0.07	2.83	0.38	83.80	5.78	7.01	6.76	8.32
200	75	6.6	56.1	0.05	3.13	0.38	85.36	3.34	6.33	5.52	6.92
270	53	5.2	61.3	0.04	3.59	0.38	82.36	2.10	5.68	4.32	5.23
400	38	4.6	65.9	0.04	4.39	0.38	78.85	1.65	6.23	3.86	4.48
-400	<38	34.1		0.06	4.41	0.38	73.03	18.96	46.06	28.48	30.58
TOTAL		100.0	Ley Calculada	0.10	3.26	0.45	81.41	100.0	100.0	100.0	100.0
P80		305.8 um	Ley ensayada	0.09	3.03	0.42	81.73				

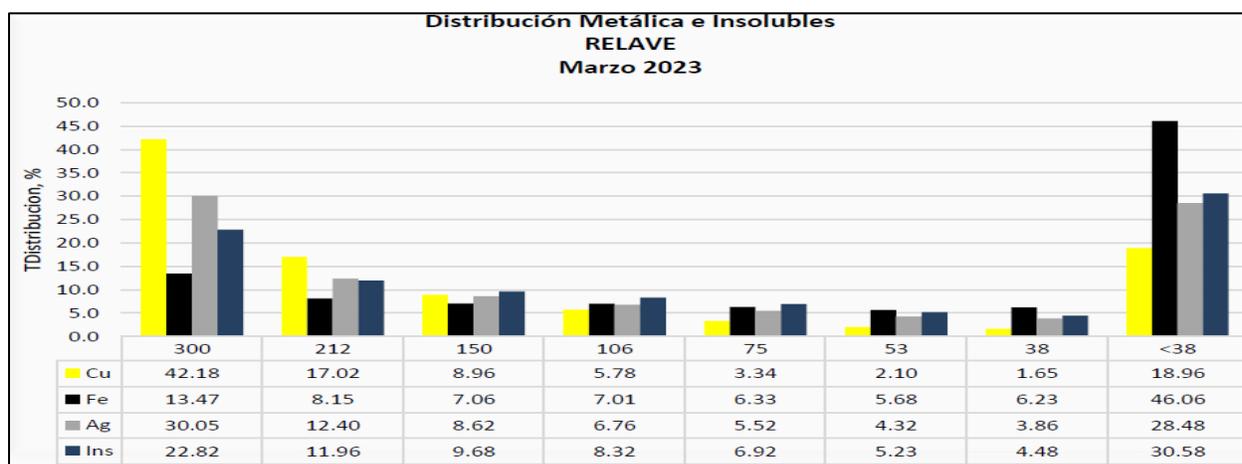
*Nota:* Laboratorio metalúrgico Antapaccay

La principal especie de cobre identificada es calcopirita (2.8%), la presencia de bornita es mínima 0.7%. También se tiene 0.2% de cobre nativo y 0.3% de plata nativa. El grado de liberación global de la calcopirita alcanza a 61.1% G.L; es decir es relativamente bajo. Las partículas mixtas observadas en tamaños gruesos están distribuidas de la siguiente forma: lateral 64%, ocluida 10%, diseminada 20%, corona 0% y vetillas 6%. (36% de especies de cobre que se encuentran mixtos son difíciles de recuperar). \*Se pudo apreciar partículas libres de calcopirita a partir de los 212  $\mu\text{m}$  (malla #70) y las pérdidas de esta especie es principalmente como partícula mixta 2.3% y como partícula libre 0.5%.

El 68.16 % del cobre en el relave, tiene tamaños mayores a 150  $\mu\text{m}$  (22.34 pts más que el mes anterior). Así mismo en partículas finas (<38  $\mu\text{m}$ ) se tiene 18.96% de cobre total (1.38pts más que el mes de febrero 2023). En la siguiente grafica se muestra distribución metálica e insolubles esto se muestra en la figura 28 para mejor entendimiento.

## Figura 28

### *Distribución metálica e insolubles de relave*



*Adaptado de:* Laboratorio metalúrgico Antapaccay

### 5.2.2. *Medición de densidad de pulpa y gravedad específica*

La medida de densidad se realiza en una balanza Marcy en el punto de evacuación de relave de las celdas de flotación Scavenger.

#### a) **Herramientas y materiales**

- ✓ Balanza Marcy
- ✓ Envase de medición
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Fiola de vidrio 200ml
- ✓ Pulverizador
- ✓ Espátula
- ✓ probeta

#### 5.2.2.1. **Procedimiento**

Calibración de la balanza Marcy con agua en envase de un litro de capacidad Colectar la muestra de un litro medir la densidad de la pulpa de muestra como se muestra en la figura 29.

#### **Figura 29**

*Medida de densidad de relave Scavenger*



Nota. Adaptación propia

### 5.2.2.2. Gravedad específica

Luego se toma una muestra representativa para realizar la prueba de gravedad específica, la muestra se procede a homogenizado y cuarteado para luego pulverizar como se muestra en la figura 30.

#### Figura 30

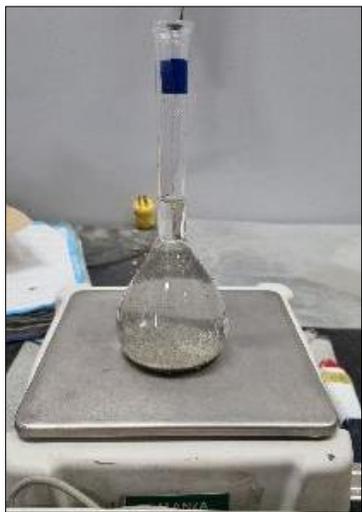
*Homogenizado y cuarteado*



*Nota:* Elaboración propia

Posteriormente se realiza la prueba de gravedad específica con 20gr de mineral con la siguiente fórmula matemática como se muestra en la figura 32.

#### Figura 31



*Nota:* Elaboración propia

		<b>DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA - CIRCUITO DE FLOTACION</b> METODO DE LA FIOLA		
<b>Muestra: 01</b>	<b>Conc. CPF</b>	<b>Relave TINTAYA</b>		
<b>Turno:</b>	Dia	$WM + W(F+H) - W(F+H+M)$		
<b>Fecha :</b>		<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>Promedio</b>
		6/10/2019	6/10/2019	
Peso del mineral	WM	20.0		
Peso de la fiola + mineral + agua	W(F+H+M)	357.8		
Peso de la fiola + agua	W(F+H)	345.3		
Gravedad especifica	G.E.	<b>2.66</b>		

*Nota:* Elaboración propia

- ✓ Determinación de análisis granulométrico de puntos de muestreo
- ✓ Preparación de muestras en esta operación realizamos los siguientes trabajos
- ✓ Deslamado y cuarteado de ser necesario como se muestra en la figura 32.

### Figura 32

*Deslamado de muestras*



*Nota.* Adaptación propia

Sacado y tamizado de muestras, en esta operación se realiza en laboratorio geo metalúrgico con la ayuda de equipos como. rotap, horno, bandejas. Esto se muestra en la figura, el número de tamiz que se utilizaron fueron las que se muestran en la siguiente tabla 6.

**Tabla 5**

*Serie de tamices utilizados*

Malla N°	Abertura Micras
28	600
35	435
48	300
65	212
100	150
150	106
200	75
270	53
400	38
- 400	0

Nota. Adaptación propia

Se arma el set de mallas para tamizar realizando la inspección de cada uno como se muestra en la figura 33.

**Figura 33**

*Tamiz armado para procesar muestras*



Nota. Adaptación propia

tomar apunte de pesos obtenidos en cada malla después de tamizado esta operación se muestra en la figura 34.

### Figura 34

*Pesado de muestras después de tamizar*



*Nota.* Adaptación propia

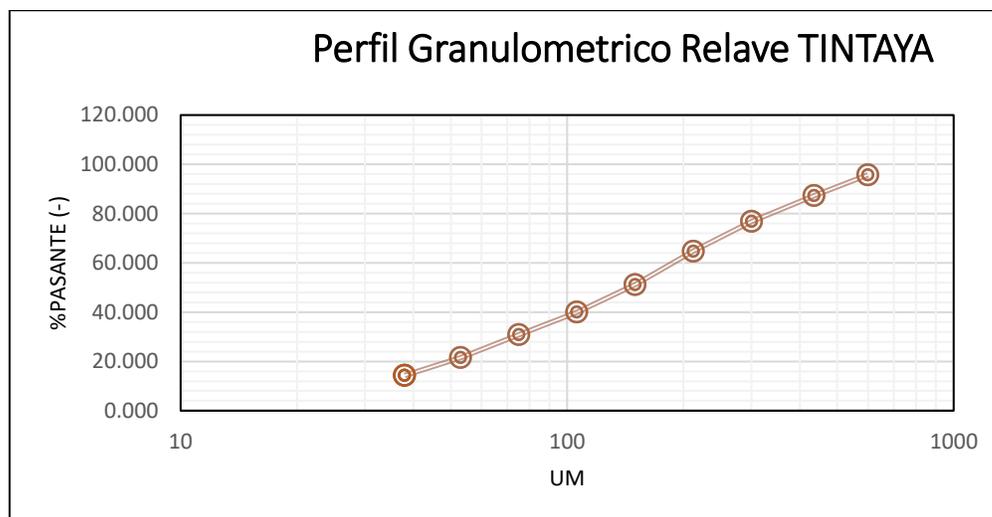
Posteriormente los datos se registran para su cálculo correspondiente como se muestra:

**Tabla 6**

*Análisis granulométrico Feed Crossfloat*

Feed Crossfloat					15:00:00	
Malla	Abertura	Peso	Peso	Acum Ret	Acum Pas	P80
N°	Micras	gr.	%	%	%	μm
28	600	16.100	4.268	4.268	95.732	0.0
35	435	31.900	8.457	12.725	87.275	337.8
48	300	39.500	10.472	23.197	76.803	0.0
65	212	45.600	12.089	35.286	64.714	0.0
100	150	51.100	13.547	48.834	51.166	0.0
150	106	42.100	11.161	59.995	40.005	0.0
200	75	34.600	9.173	69.168	30.832	0.0
270	53	35.000	9.279	78.446	21.554	0.0
400	38	27.300	7.238	85.684	14.316	0.0
- 400	0	54.000	14.316	100.000	0.000	0.0
		377	100.0		100	337.8

*Nota:* Elaboración Propia

**Figura 35***Gráfica de perfil granulométrico**Nota. Adaptación propia*

Control de parámetros de la planta piloto de flotación de partículas gruesas son los siguientes fueron controlados y registrados para las pruebas de flotación

- ✓ Clasificador CrossFlow
- ✓ Presión de adaptador de aire (Bar)
- ✓ Flujo de Agua Digital (m3/h)
- ✓ Densidad de pulpa B. Marcy (g/l)
- ✓ + Malla 150 Deslamador (%)
- ✓ Flujo de pulpa Alimentación (m3/h)
- ✓ Hydrofloat
- ✓ Flujo de Agua Digital (m3/h)
- ✓ Presión de Agua (psi)
- ✓ Presión de aire (psi)
- ✓ Presión de Activador (psi)

- ✓ Aire a celda Hydrofloat (psi)
- ✓ Flujo de aire (L/min)
- ✓ Parámetros de operación
- ✓ Apertura de válvula (%)
- ✓ Presión de Agua + Aire
- ✓ Presión de Agua - General
- ✓ Presión de Agua (psi)
- ✓ Nivel de Tanque de Agua- Panel (%)
- ✓ Nivel de tanque de Pulpa Panel A (%)
- ✓ Nivel de tanque de Pulpa Panel B (%)
- ✓ Nivel de Cajón de Relave Panel (%)
- ✓ Flujo de Agua para lavado y dilución (m<sup>3</sup>/h)
- ✓ Bomba de Relave (rpm)
- ✓ Acondicionador Hydrofloat (rpm)
- ✓ Potencia de Bomba de Agua a Hydrofloat (rpm)
- ✓ Potencia de Bomba Peristáltica Panel (kW)
- ✓ Acondicionador de Relave

### **5.3. Pruebas de flotación**

#### **5.3.1. Dosificación de reactivos**

Los reactivos se dosifican de acuerdo de material procesado en las pruebas, tomando el flujo en ml por cada minuto como se muestra en la descripción

Primero se realiza el flojeo correspondiente durante un minuto en una probeta de 500ml

Luego se realiza la conversión de mil a gramos por ton como se muestra en el siguiente calculo, la concentración de PAX(z-6) fue al 7.5% y de FLOTANOL fue al 100%

$$\text{PAX } gr/ton = \frac{19.3ml * 0.075 * 60seg}{1min * 2.88ton} = 30gr/ton$$

$$\text{FLOTANOL } gr/ton = \frac{0.58ml * 60seg}{1min * 2.88ton} = 12gr/ton$$

Los cálculos se realizaron de la misma manera para todas las pruebas de flotación en la figura 36 se muestra la zona de dosificación de reactivos

### Figura 36

*Zona de dosificación de reactivos*



*Nota:* Elaboración Propia

#### - Medida de porcentaje malla retenido y pasante

para esta operación se necesita la densidad inicial y la densidad final esto se realiza en malla número 150 esto se muestra en la tabla 6. para la cual usamos la siguiente ecuación.

$$\%S = \frac{\rho_f - 1000}{\rho_i - 1000} \times 100$$

Donde:

%S = porcentaje de solidos retenidos

$\rho_f$  = densidad final (lavado)

$\rho_i$  = densidad inicial

Densidades obtenidas en la investigación

$$\rho_i = 1300$$

$$\rho_f = 1110$$

$$\% \text{retenido} = \frac{1110 - 1000}{1300 - 1000} \times 100 = 36\%$$

$$\% \text{pasante} = 100 - 36 = 64\%$$

Registro de datos

**Tabla 7**

*Resultado preliminar de malla retenido y pasante # 150*

Malla	$\mu\text{m}$	%Retenido	%Pasante	Total
150	105	36	64	100

*Nota:* Adaptación propia

Muestreo de pulpa de alimentación al clasificador CrossFlow el muestreo se realiza en el clasificador CrossFlow

- Herramientas y materiales:
  - ✓ Balanza Marcy
  - ✓ Envase de medición
- Procedimiento

- ✓ Rotulado de envase y limpieza de muestreador
- ✓ Muestreo dos cortes en un determinado tiempo
- ✓ Se guarda la muestra
- ✓ El punto de muestreo se muestra en la siguiente figura 37.

**Figura 37**

*Muestras tomadas para análisis granulométrico y laboratorio*



*Nota.* Adaptación propia

### 5.3.2. Medida de porcentaje malla retenido y pasante

Para esta operación se miden la densidad inicial y final

$$\rho_i = 1320$$

$$\rho_f = 1130$$

$$\% \text{retenido} = \frac{1130 - 1000}{1320 - 1000} \times 100 = 40.63\%$$

$$\% \text{pasante} = 100 - 40.63 = 59.37\%$$

Registro de datos

**Tabla 8**

*Malla retenido y pasante # 150 de alimento a planta piloto*

Malla	$\mu\text{m}$	%Retenido	%Pasante	Total
150	105	40.63	59.37	100

*Nota: Elaboración propia*

### 5.3.3. Medida de pH de pulpa

- Herramientas y materiales
  - ✓ pH metro
  - ✓ muestra
- Procedimiento

se toma la muestra del punto de alimentación del clasificador CrossFlow medición de pH, lo mencionada se puede ver en la figura 38.

**Figura 38**

*Medida de pH de las muestras relave*



*Nota. Adaptación propia*

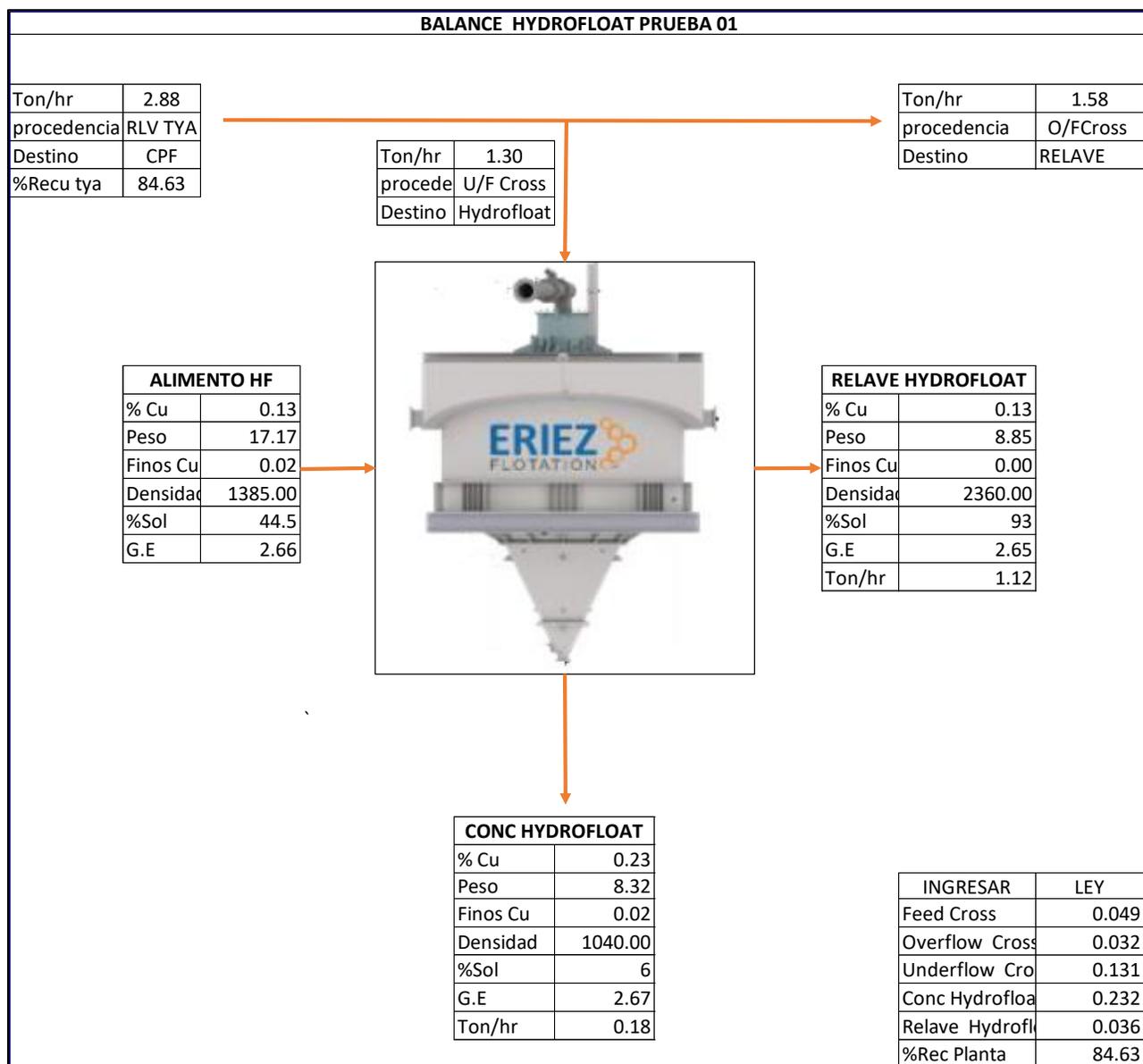
análisis de datos obtenidos después de tamizado para la cual usamos Excel

### 5.3.4. Corrida de pruebas experimentales

Prueba 01, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 39 se muestra los resultados

Figura 39

Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 01



Nota. Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 10 se muestra los resultados obtenidos

**Tabla 9**

*Balance metalúrgico Hidrofloat prueba 01*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	495.20	-	-	-	-	85.8
PAX	-	30.00	-	-	-	
F-C07	-	-	30.00	--	-	
Agua	-	-	-	4.00	-	
Aire	-	-	-	-	5.20	

<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.05	100.00	0.05	100.00	100.00
Underflow CF	0.13	45.91	0.02	17.17	17.17
Overflow CF	0.03	54.09	0.03	82.83	82.83

<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.13	100.00	0.022	17.17	17.17
Concentrado CPF	0.23	<b>85.84</b>	0.019	8.32	8.32
Relave HF	0.04	14.16	0.003	8.85	51.53

<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.03	82.83	0.027
Relave HF	0.04	8.85	0.003
Relave Final CPF	0.03	91.68	0.030

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.05	100.00	0.05	100.00
Conc HF	0.23	8.32	0.02	<b>39.41</b>
Relave Final CPF	0.03	91.68	0.03	60.59

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>5.29</b>

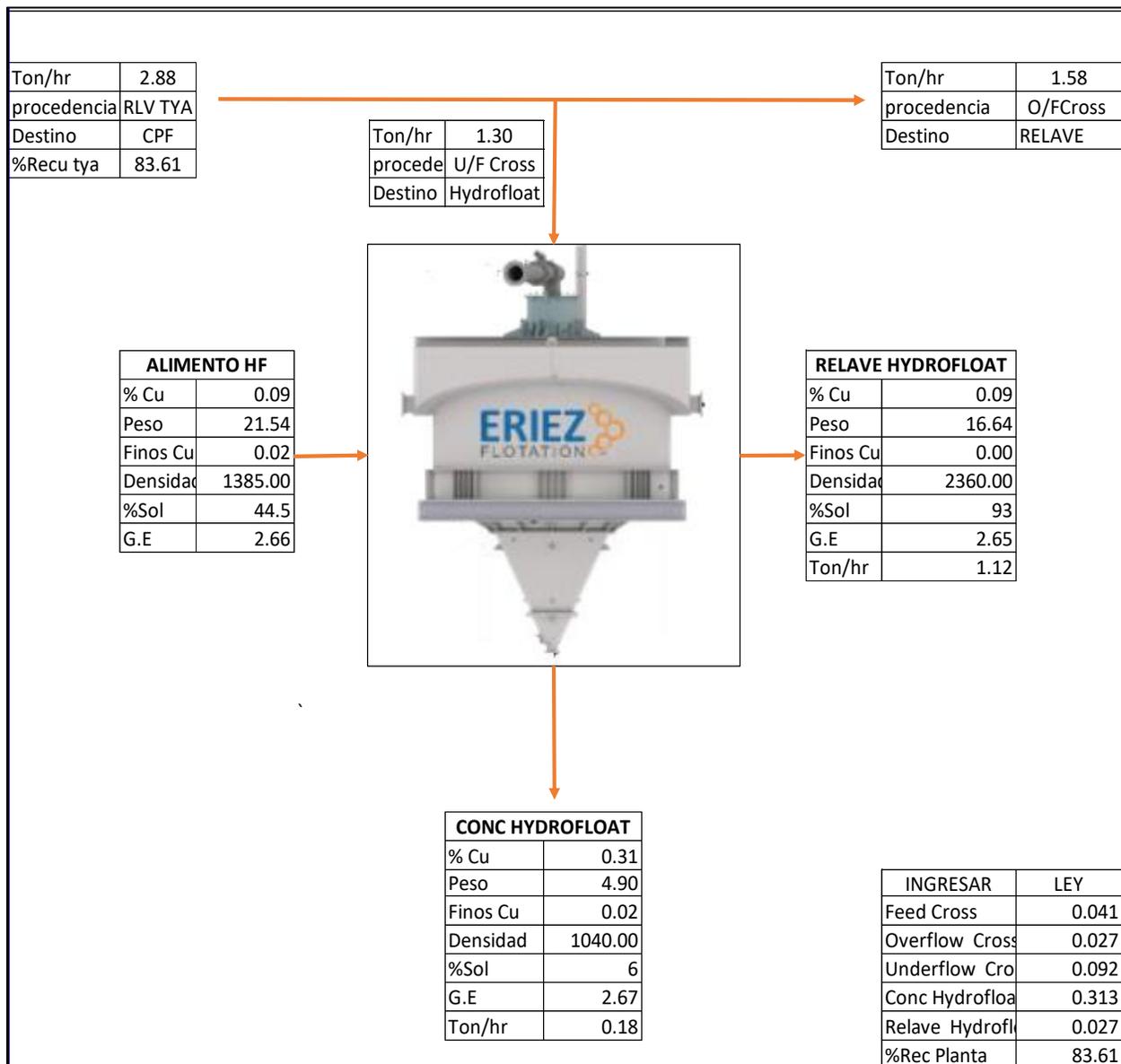
%Rec Global Final	89.92
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 02, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 40 se muestra los resultados

**Figura 40**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 02*



*Nota. Elaboración propia*

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 11 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 10**

*Balance metalúrgico Hidrofloat prueba 02*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-CO7 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	437.20	-	-	-	-	
PAX	-	12.00	-	-	-	
F-CO7	-	-	10.00	-	-	77.3
Agua	-	-	-	2.51	-	
Aire	-	-	-	-	3.50	

<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.05	100.00	0.05	100.00	100.00
Underflow CF	0.13	45.91	0.02	17.17	17.17
Overflow CF	0.03	54.09	0.03	82.83	82.83

<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.13	100.00	0.022	17.17	17.17
Concentrado CPF	0.23	<b>85.84</b>	0.019	8.32	8.32
Relave HF	0.04	14.16	0.003	8.85	51.53

<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.03	82.83	0.027
Relave HF	0.04	8.85	0.003
Relave Final CPF	0.03	91.68	0.030

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.05	100.00	0.05	100.00
Conc HF	0.23	8.32	0.02	<b>39.41</b>
Relave Final CPF	0.03	91.68	0.03	60.59

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>5.29</b>

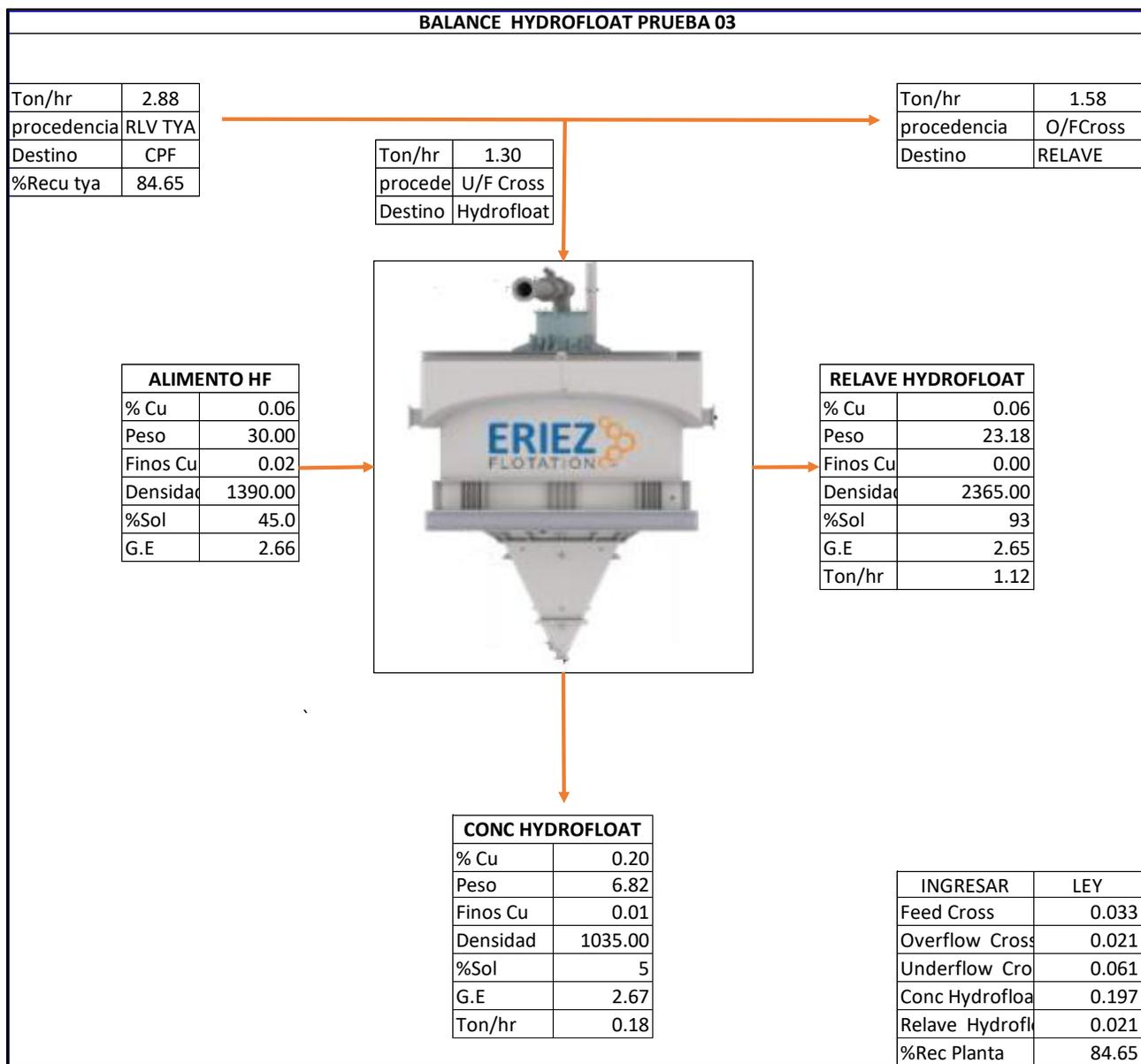
%Rec Global Final	89.92
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 03, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 41 se muestra los resultados

**Figura 41**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 03*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 12 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 11**

Balance *metalúrgico Hydrofloat* prueba 03

VARIABLES INDEPENDIENTES						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	437.20	-	-	-	-	
PAX	-	12.00	-	-	-	
F-C07	-	-	10.00	-	-	73.40
Agua	-	-	-	3.52	-	
Aire	-	-	-	-	4.00	

BALANCE CROSSFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.03	100.00	0.03	100.00	100.00
Underflow CF	0.06	55.45	0.02	30.00	30.00
Overflow CF	0.02	44.55	0.01	70.00	70.00

BALANCE HYDROFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.06	100.00	0.018	30.00	30.00
Concentrado CPF	0.20	<b>73.40</b>	0.013	6.82	6.82
Relave HF	0.02	26.60	0.005	23.18	77.27

CÁLCULO RELAVE FINAL CPF			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.02	70.00	0.015
Relave HF	0.02	23.18	0.005
Relave Final CPF	0.02	93.18	0.020

CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.03	100.00	0.03	100.00
Conc HF	0.20	6.82	0.01	<b>40.70</b>
Relave Final CPF	0.02	93.18	0.02	59.30

CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>5.45</b>

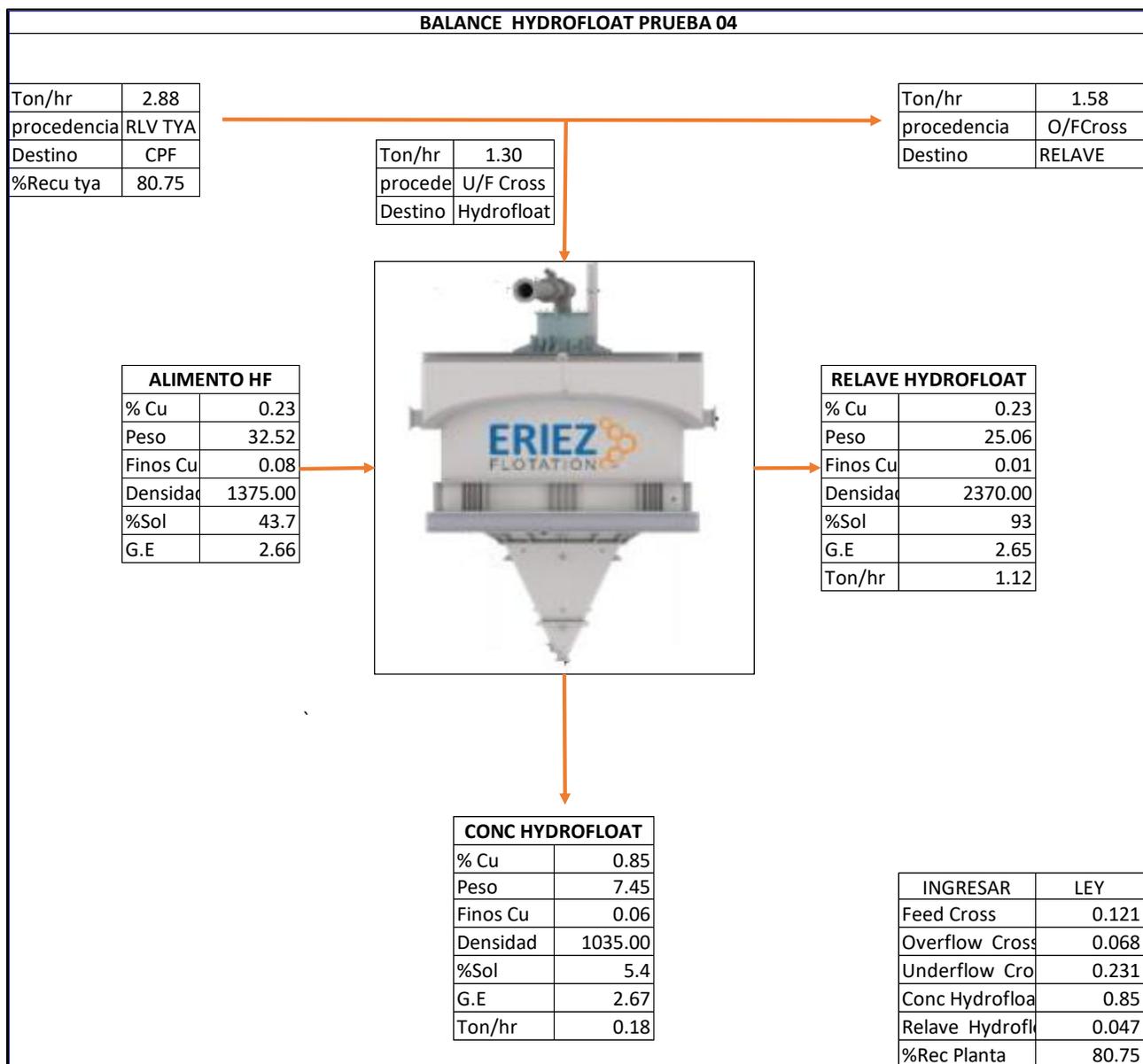
%Rec Global Final	90.10
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 04, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 42 se muestra los resultados

**Figura 42**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 04*



*Nota. Elaboración propia*

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 13 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 12**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 04*

VARIABLES INDEPENDIENTES						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-CO7 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	540.90	-	-	-	-	
PAX	-	12.00	-	-	-	
F-CO7	-	-	10.00	-	-	84.32
Agua	-	-	-	3.50	-	
Aire	-	-	-	-	4.00	

BALANCE CROSSFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.12	100.00	0.12	100.00	100.00
Underflow CF	0.23	62.07	0.08	32.52	32.52
Overflow CF	0.07	37.93	0.05	67.48	67.48

BALANCE HYDROFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.23	100.00	0.075	32.52	32.52
Concentrado CPF	0.85	<b>84.32</b>	0.063	7.45	7.45
Relave HF	0.05	15.68	0.012	25.06	77.09

CÁLCULO RELAVE FINAL CPF			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.07	67.48	0.046
Relave HF	0.05	25.06	0.012
Relave Final CPF	0.06	92.55	0.058

CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.12	100.00	0.12	100.00
Conc HF	0.85	7.45	0.06	<b>52.34</b>
Relave Final CPF	0.06	92.55	0.06	47.66

CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>8.80</b>

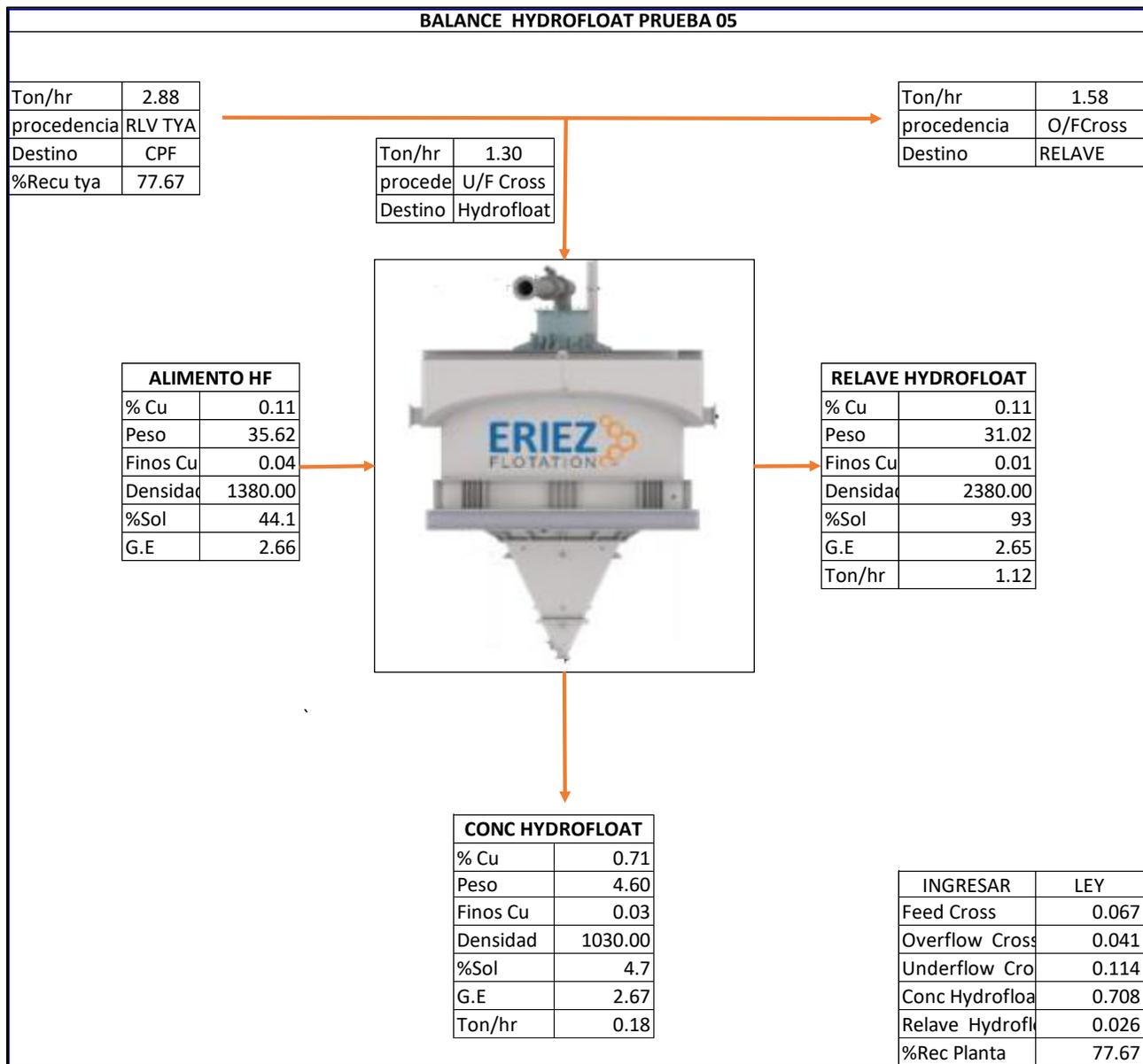
%Rec Global Final	89.55
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 05, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 43 se muestra los resultados

**Figura 43**

Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 05



Nota. Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 14 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 13**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 05*

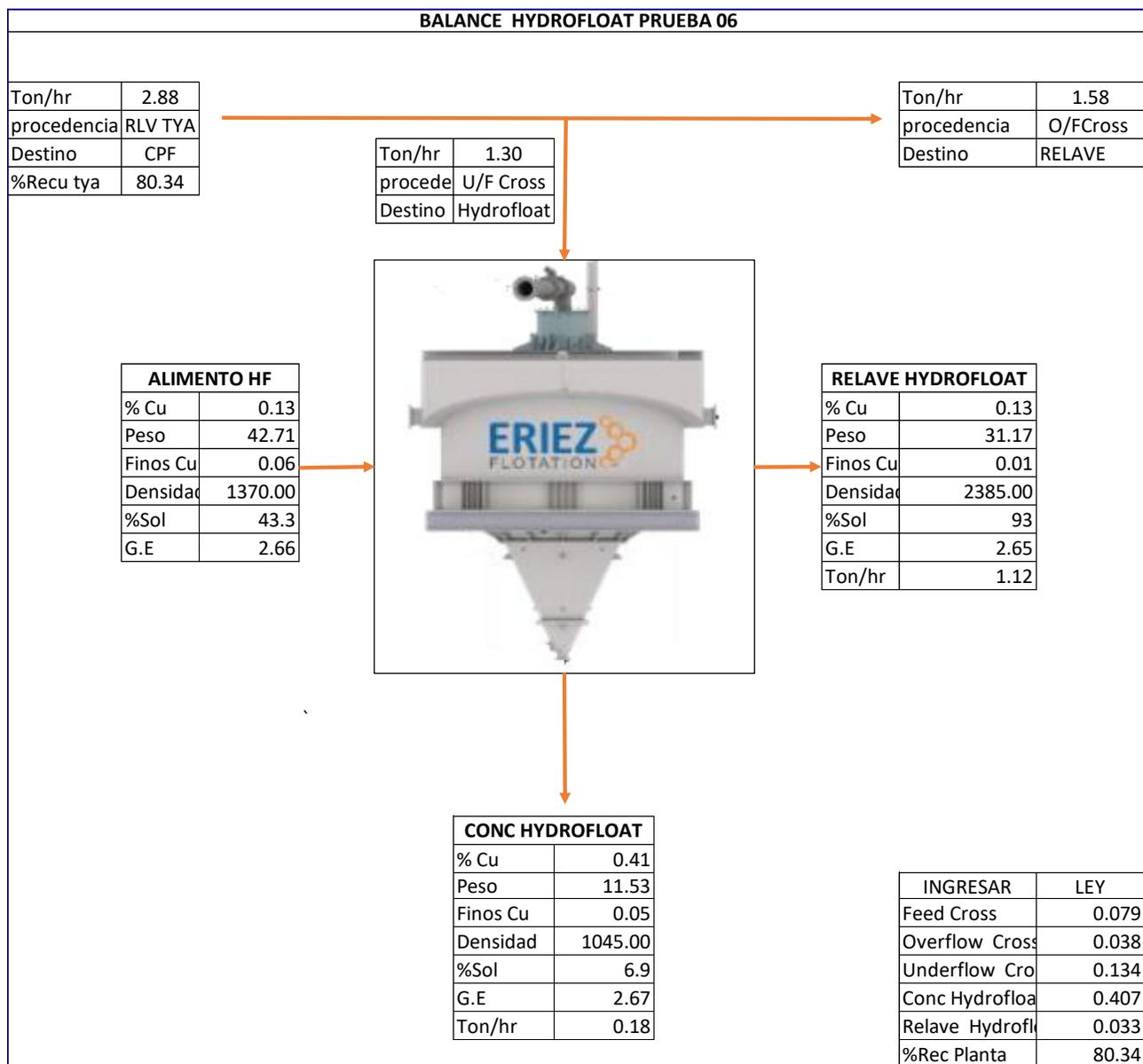
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	472.60	-	-	-	-	80.14
PAX	-	12.00	-	-	-	
F-C07	-	-	12.00	-	-	
Agua	-	-	-	3.23	-	
Aire	-	-	-	-	7.60	
<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>						
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso	
Alimento (Rlv Tya)	0.07	100.00	0.07	100.00	100.00	
Underflow CF	0.11	60.60	0.04	35.62	35.62	
Overflow CF	0.04	39.40	0.03	64.38	64.38	
<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>						
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso	
Alimento (Underflow C	0.11	100.00	0.041	35.62	35.62	
Concentrado CPF	0.71	<b>80.14</b>	0.033	4.60	4.60	
Relave HF	0.03	19.86	0.008	31.02	87.10	
<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>						
	% Cu	Peso	Finos			
Overflow CF	0.04	64.38	0.026			
Relave HF	0.03	31.02	0.008			
Relave Final CPF	0.04	95.40	0.034			
<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>						
	%Cu	Peso	Finos	%Rec		
Alimento CF	0.07	100.00	0.07	100.00		
Conc HF	0.71	4.60	0.03	<b>48.56</b>		
Relave Final CPF	0.04	95.40	0.03	51.44		
<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>						
% Rec Ro	90.00					
% Rec Cln	97.00					
% Rec Adicional	<b>9.47</b>					
<b>%Rec Global Final</b>		87.14				

*Nota.* Elaboración propia

Prueba 06, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 44 se muestra los resultados

**Figura 44**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 06*



Nota. Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 15 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 14**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 06*

VARIABLES INDEPENDIENTES						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	490.50	-	-	-	-	
PAX	-	12.00	-	-	-	
F-C07	-	-	12.00	-	-	82.02
Agua	-	-	-	3.54	-	
Aire	-	-	-	-	7.80	

BALANCE CROSSFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.08	100.00	0.08	100.00	100.00
Underflow CF	0.13	72.44	0.06	42.71	42.71
Overflow CF	0.04	27.56	0.02	57.29	57.29

BALANCE HYDROFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.13	100.00	0.057	42.71	42.71
Concentrado CPF	0.41	<b>82.02</b>	0.047	11.53	11.53
Relave HF	0.03	17.98	0.010	31.17	72.99

CÁLCULO RELAVE FINAL CPF			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.04	57.29	0.022
Relave HF	0.03	31.17	0.010
Relave Final CPF	0.04	88.47	0.032

CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.08	100.00	0.08	100.00
Conc HF	0.41	11.53	0.05	<b>59.42</b>
Relave Final CPF	0.04	88.47	0.03	40.58

CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>10.20</b>

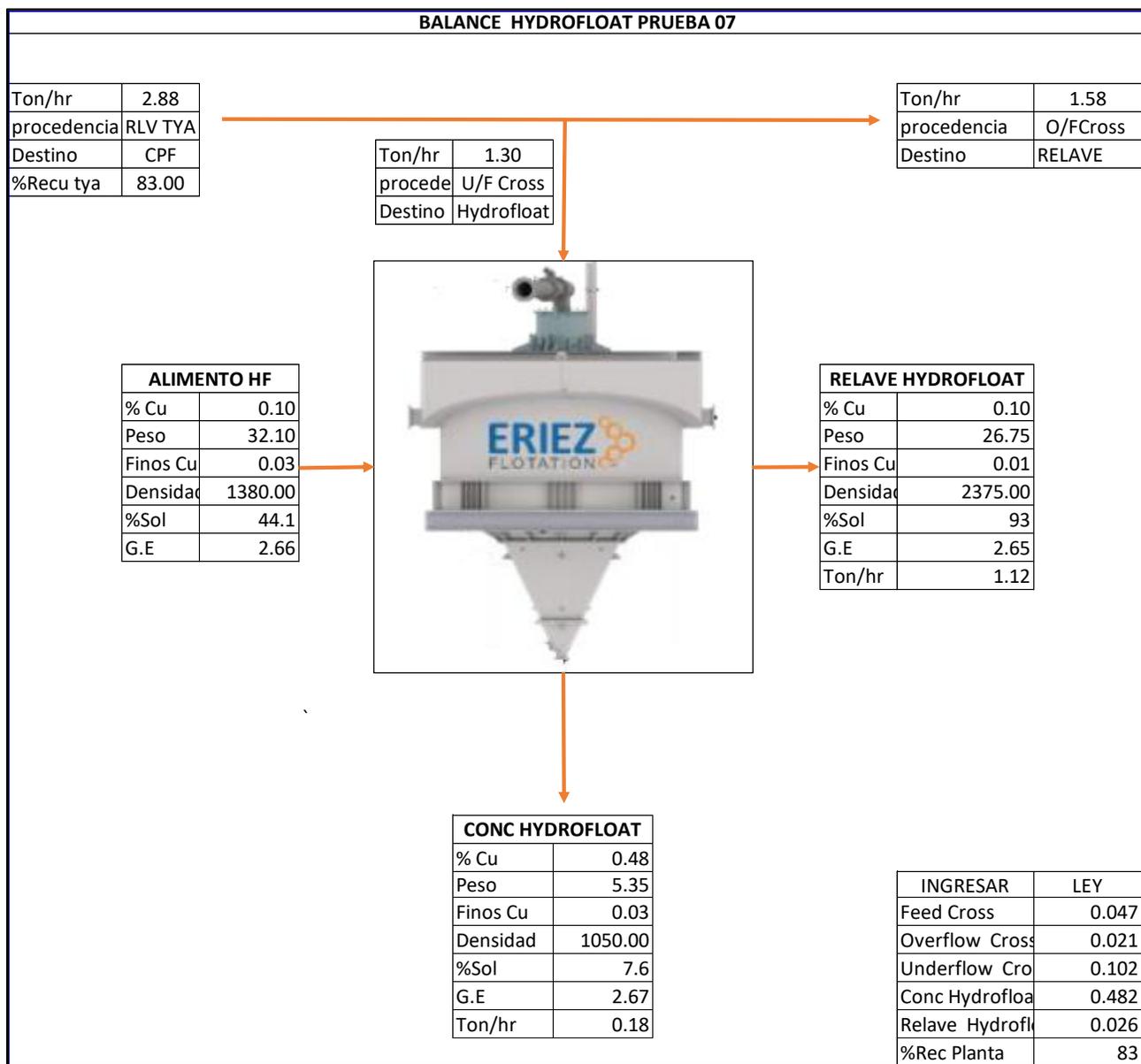
%Rec Global Final	90.54
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 07, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 45 se muestra los resultados

**Figura 45**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 07*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 16 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 15**

Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 07

VARIABLES INDEPENDIENTES						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	525.50	-	-	-	-	
PAX	-	12.00	-	-	-	
F-C07	-	-	12.00	-	-	78.76
Agua	-	-	-	3.02	-	
Aire	-	-	-	-	7.80	

BALANCE CROSSFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.05	100.00	0.05	100.00	100.00
Underflow CF	0.10	69.66	0.03	32.10	32.10
Overflow CF	0.02	30.34	0.01	67.90	67.90

BALANCE HYDROFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.10	100.00	0.033	32.10	32.10
Concentrado CPF	0.48	<b>78.76</b>	0.026	5.35	5.35
Relave HF	0.03	21.24	0.007	26.75	83.33

CÁLCULO RELAVE FINAL CPF			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.02	67.90	0.014
Relave HF	0.03	26.75	0.007
Relave Final CPF	0.02	94.65	0.021

CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.05	100.00	0.05	100.00
Conc HF	0.48	5.35	0.03	<b>54.86</b>
Relave Final CPF	0.02	94.65	0.02	45.14

CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>8.14</b>

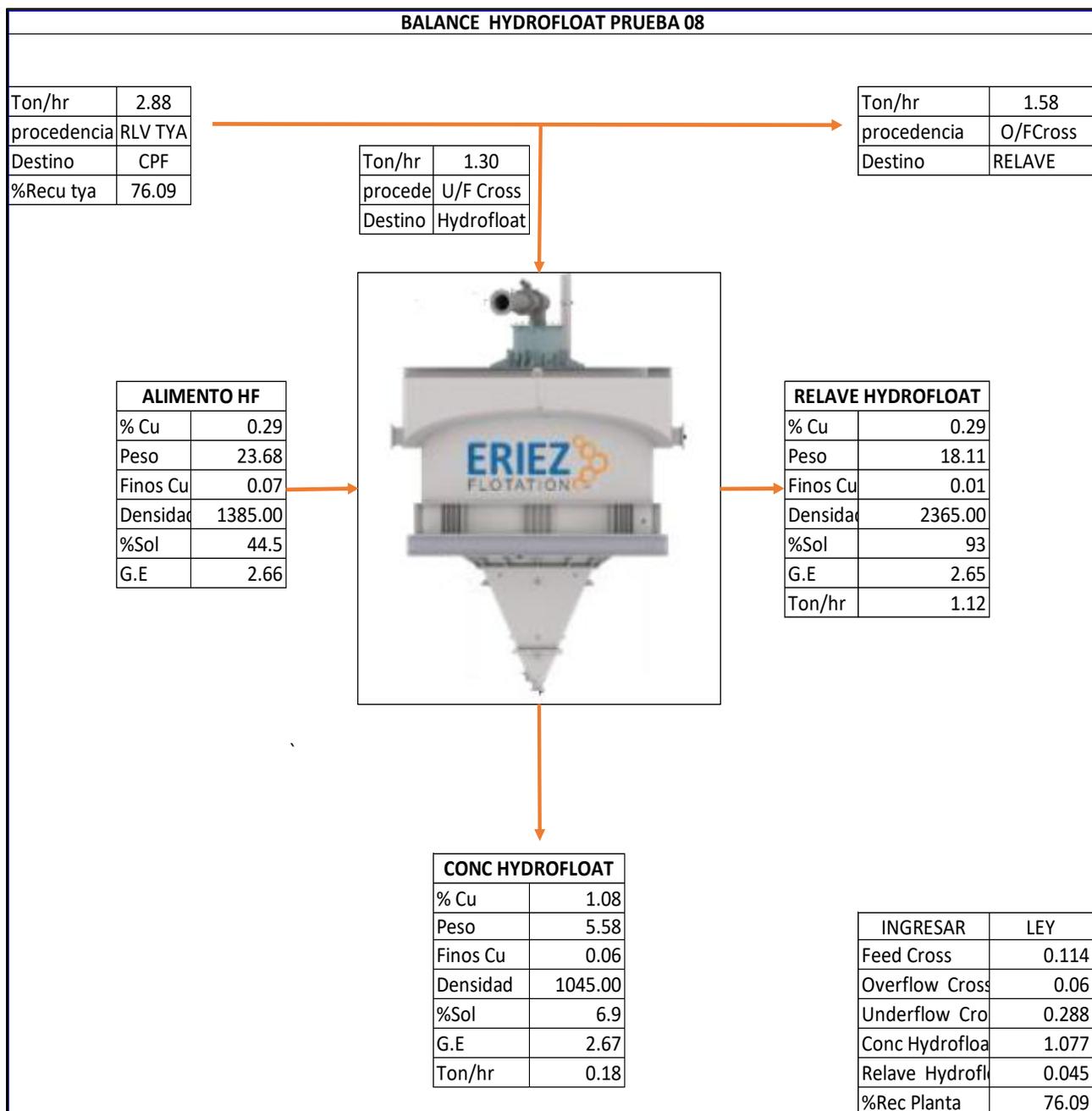
%Rec Global Final	91.14
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 08, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 46 se muestra los resultados

**Figura 46**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 08*



*Nota. Elaboración propia*

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 17 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 16**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 08*

VARIABLES INDEPENDIENTES						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	489.50	-	-	-	-	
PAX	-	12.00	-	-	-	
F-C07	-	-	12.00	-	-	88.05
Agua	-	-	-	3.60	-	
Aire	-	-	-	-	7.80	

BALANCE CROSSFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.11	100.00	0.11	100.00	100.00
Underflow CF	0.29	59.83	0.07	23.68	23.68
Overflow CF	0.06	40.17	0.05	76.32	76.32

BALANCE HYDROFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.29	100.00	0.068	23.68	23.68
Concentrado CPF	1.08	<b>88.05</b>	0.060	5.58	5.58
Relave HF	0.05	11.95	0.008	18.11	76.45

CÁLCULO RELAVE FINAL CPF			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.06	76.32	0.046
Relave HF	0.05	18.11	0.008
Relave Final CPF	0.06	94.42	0.054

CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.11	100.00	0.11	100.00
Conc HF	1.08	5.58	0.06	<b>52.69</b>
Relave Final CPF	0.06	94.42	0.05	47.31

CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>11.00</b>

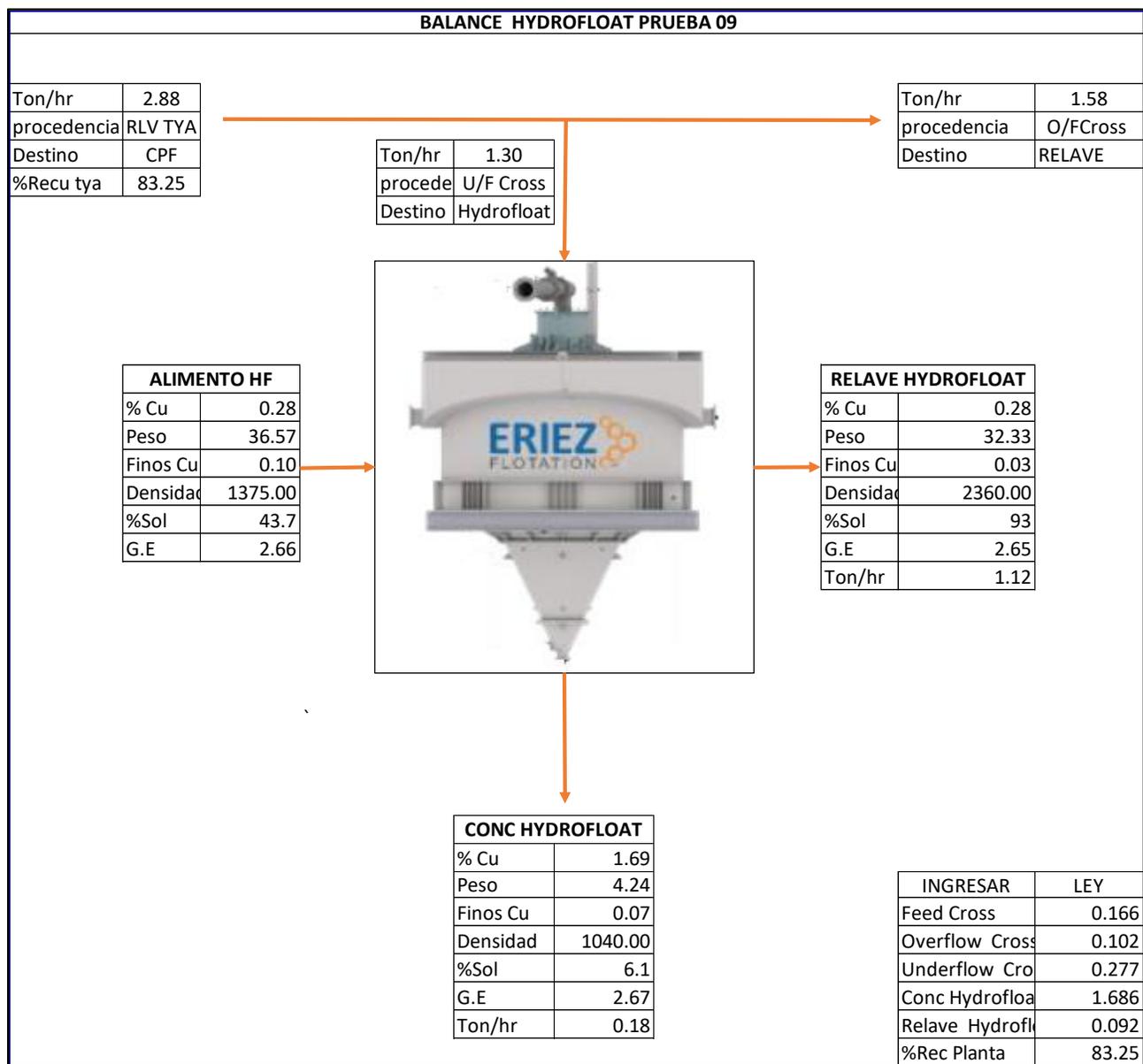
%Rec Global Final	87.09
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 09, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 47 se muestra los resultados

**Figura 47**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 09*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 18 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 17**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 09*

VARIABLES INDEPENDIENTES						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	486.00	-	-	-	-	
PAX	-	24.00	-	-	-	
F-C07	-	-	3.00	-	-	70.64
Agua	-	-	-	3.70	-	
Aire	-	-	-	-	7.60	

BALANCE CROSSFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.17	100.00	0.17	100.00	100.00
Underflow CF	0.28	61.03	0.10	36.57	36.57
Overflow CF	0.10	38.97	0.06	63.43	63.43

BALANCE HYDROFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.28	100.00	0.101	36.57	36.57
Concentrado CPF	1.69	<b>70.64</b>	0.072	4.24	4.24
Relave HF	0.09	29.36	0.030	32.33	88.39

CÁLCULO RELAVE FINAL CPF			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.10	63.43	0.065
Relave HF	0.09	32.33	0.030
Relave Final CPF	0.10	95.76	0.094

CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.17	100.00	0.17	100.00
Conc HF	1.69	4.24	0.07	<b>43.11</b>
Relave Final CPF	0.10	95.76	0.09	56.89

CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION	
% Rec Ro	90.00
% Rec CIn	97.00
% Rec Adicional	<b>6.30</b>

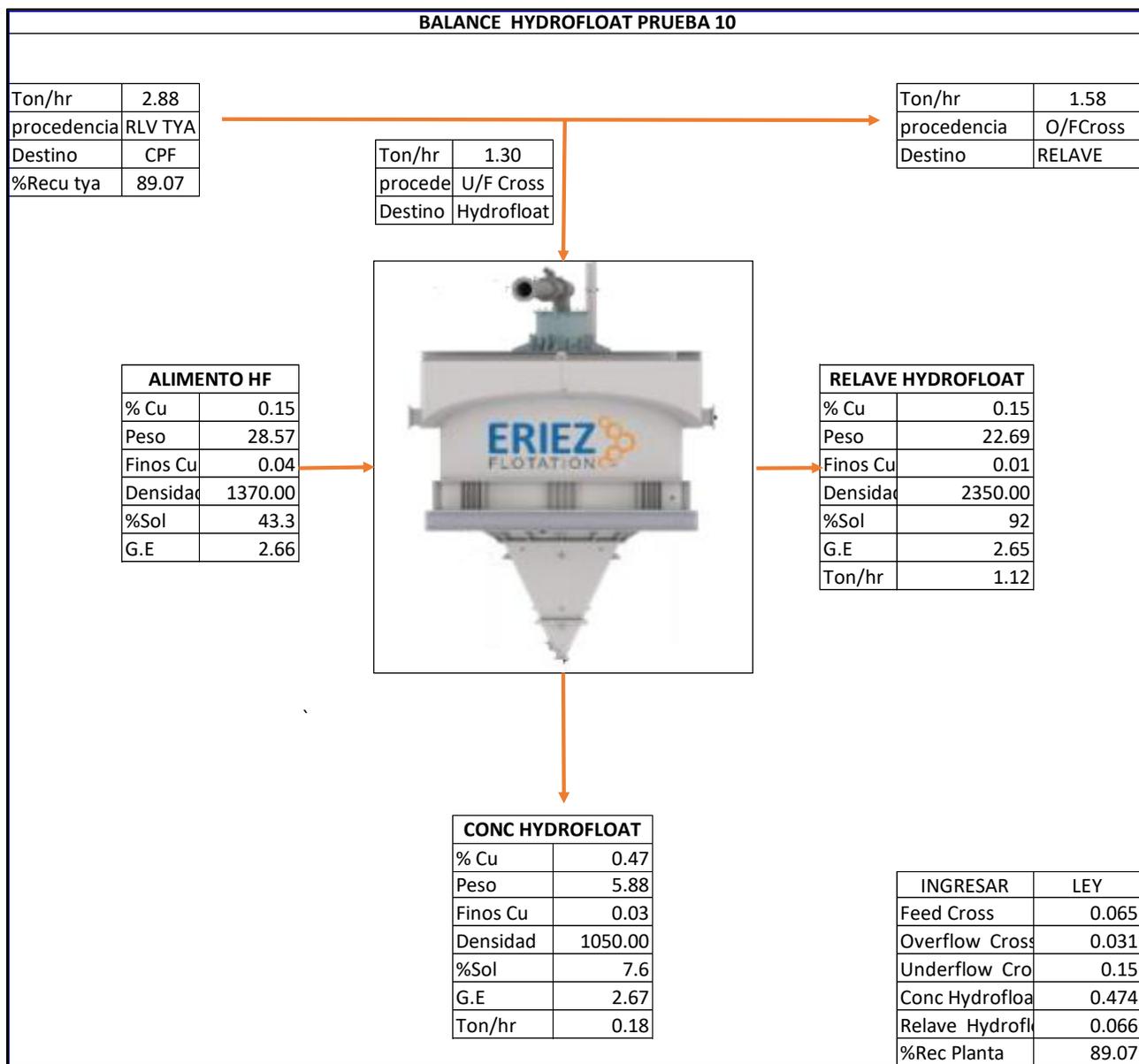
%Rec Global Final	89.55
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 10, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 48 se muestra los resultados

**Figura 48**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 10*



*Nota. Elaboración propia*

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 19 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 18**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 10*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	436.40	-	-	-	-	65.06
PAX	-	24.00	-	-	-	
F-C07	-	-	12.00	-	-	
Agua	-	-	-	3.70	-	
Aire	-	-	-	-	7.80	

<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.07	100.00	0.07	100.00	100.00
Underflow CF	0.15	65.93	0.04	28.57	28.57
Overflow CF	0.03	34.07	0.02	71.43	71.43

<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.15	100.00	0.043	28.57	28.57
Concentrado CPF	0.47	<b>65.06</b>	0.028	5.88	5.88
Relave HF	0.07	34.94	0.015	22.69	79.41

<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.03	71.43	0.022
Relave HF	0.07	22.69	0.015
Relave Final CPF	0.04	94.12	0.037

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.07	100.00	0.07	100.00
Conc HF	0.47	5.88	0.03	<b>42.90</b>
Relave Final CPF	0.04	94.12	0.04	57.10

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>4.09</b>

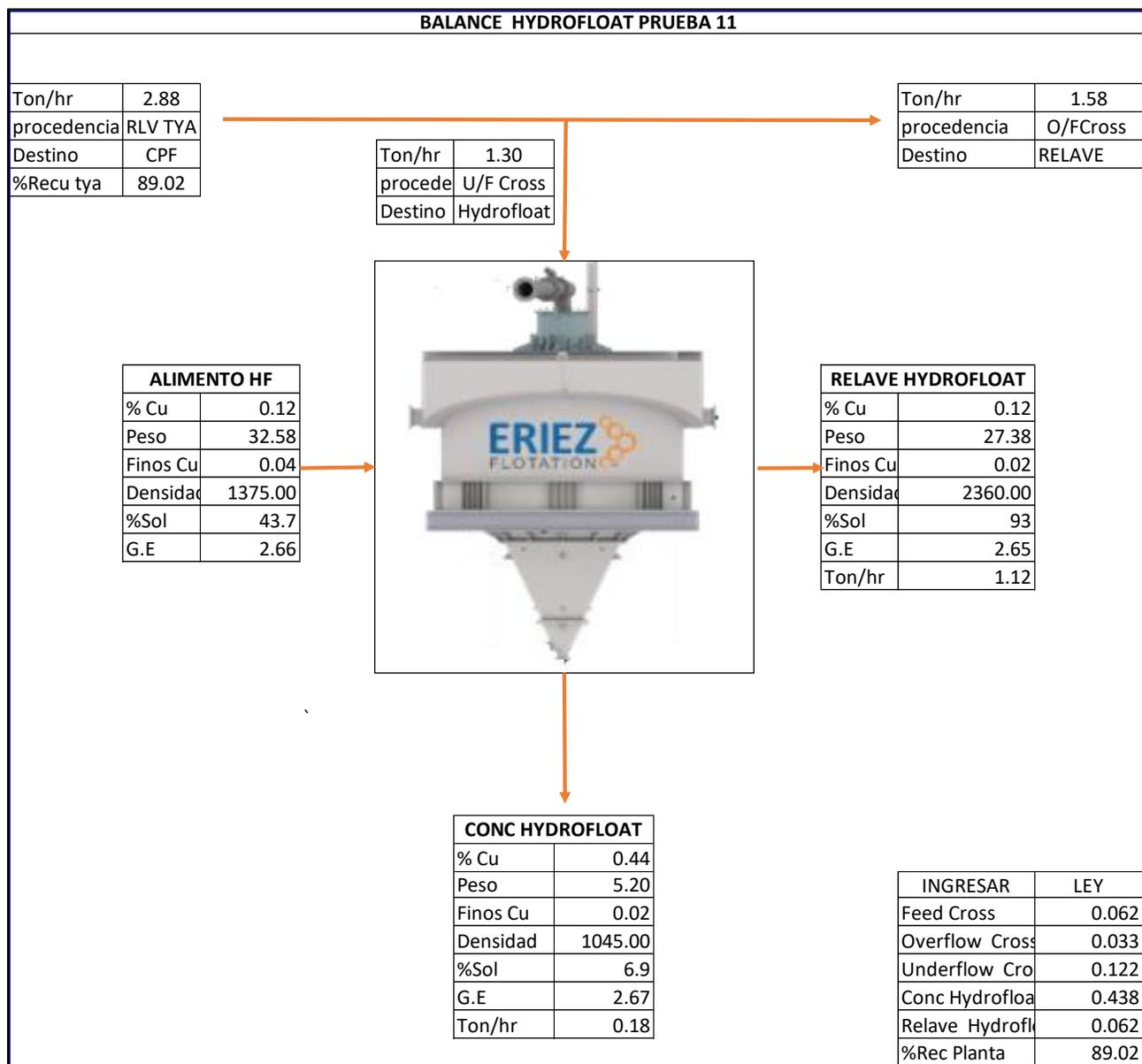
%Rec Global Final	93.16
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 11, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 49 se muestra los resultados

**Figura 49**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 11*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 20 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 19**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 11*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-CO7 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	436.40	-	-	-	-	
PAX	-	24.00	-	-	-	
F-CO7	-	-	12.00	-	-	57.29
Agua	-	-	-	3.70	-	
Aire	-	-	-	-	7.80	

<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.06	100.00	0.06	100.00	100.00
Underflow CF	0.12	64.12	0.04	32.58	32.58
Overflow CF	0.03	35.88	0.02	67.42	67.42

<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.12	100.00	0.040	32.58	32.58
Concentrado CPF	0.44	<b>57.29</b>	0.023	5.20	5.20
Relave HF	0.06	42.71	0.017	27.38	84.04

<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.03	67.42	0.022
Relave HF	0.06	27.38	0.017
Relave Final CPF	0.04	94.80	0.039

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.06	100.00	0.06	100.00
Conc HF	0.44	5.20	0.02	<b>36.73</b>
Relave Final CPF	0.04	94.80	0.04	63.27

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>3.52</b>

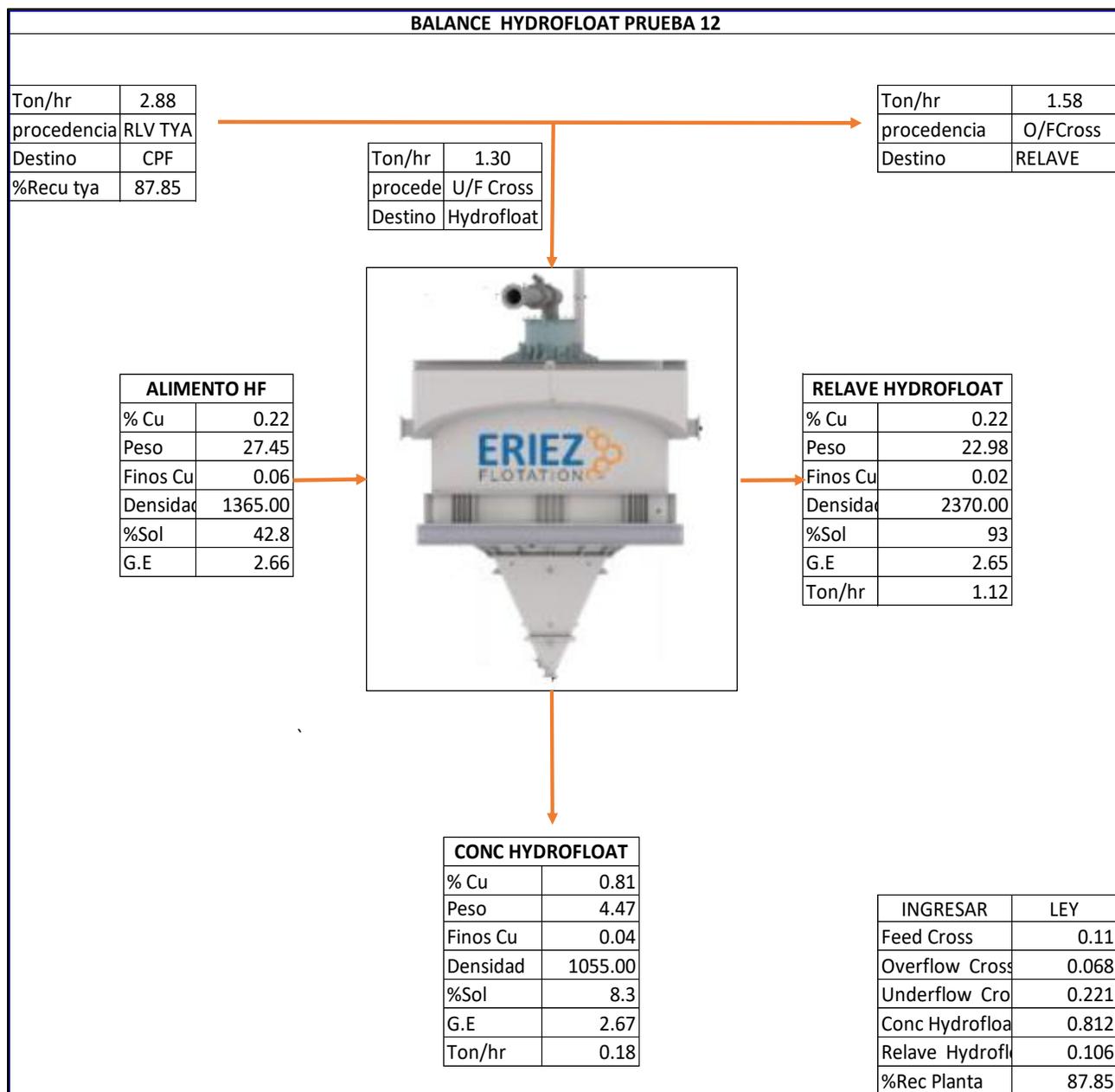
%Rec Global Final	92.54
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 12, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 50 se muestra los resultados

**Figura 50**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 12*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 21 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 20**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 12*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	450.10	-	-	-	-	
PAX	-	24.00	-	-	-	
F-CO7	-	-	12.00	-	-	59.85
Agua	-	-	-	3.60	-	
Aire	-	-	-	-	7.80	

<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.11	100.00	0.11	100.00	100.00
Underflow CF	0.22	55.15	0.06	27.45	27.45
Overflow CF	0.07	44.85	0.05	72.55	72.55

<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.22	100.00	0.061	27.45	27.45
Concentrado CPF	0.81	<b>59.85</b>	0.036	4.47	4.47
Relave HF	0.11	40.15	0.024	22.98	83.71

<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.07	72.55	0.049
Relave HF	0.11	22.98	0.024
Relave Final CPF	0.08	95.53	0.074

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.11	100.00	0.11	100.00
Conc HF	0.81	4.47	0.04	<b>33.01</b>
Relave Final CPF	0.08	95.53	0.07	66.99

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>3.50</b>

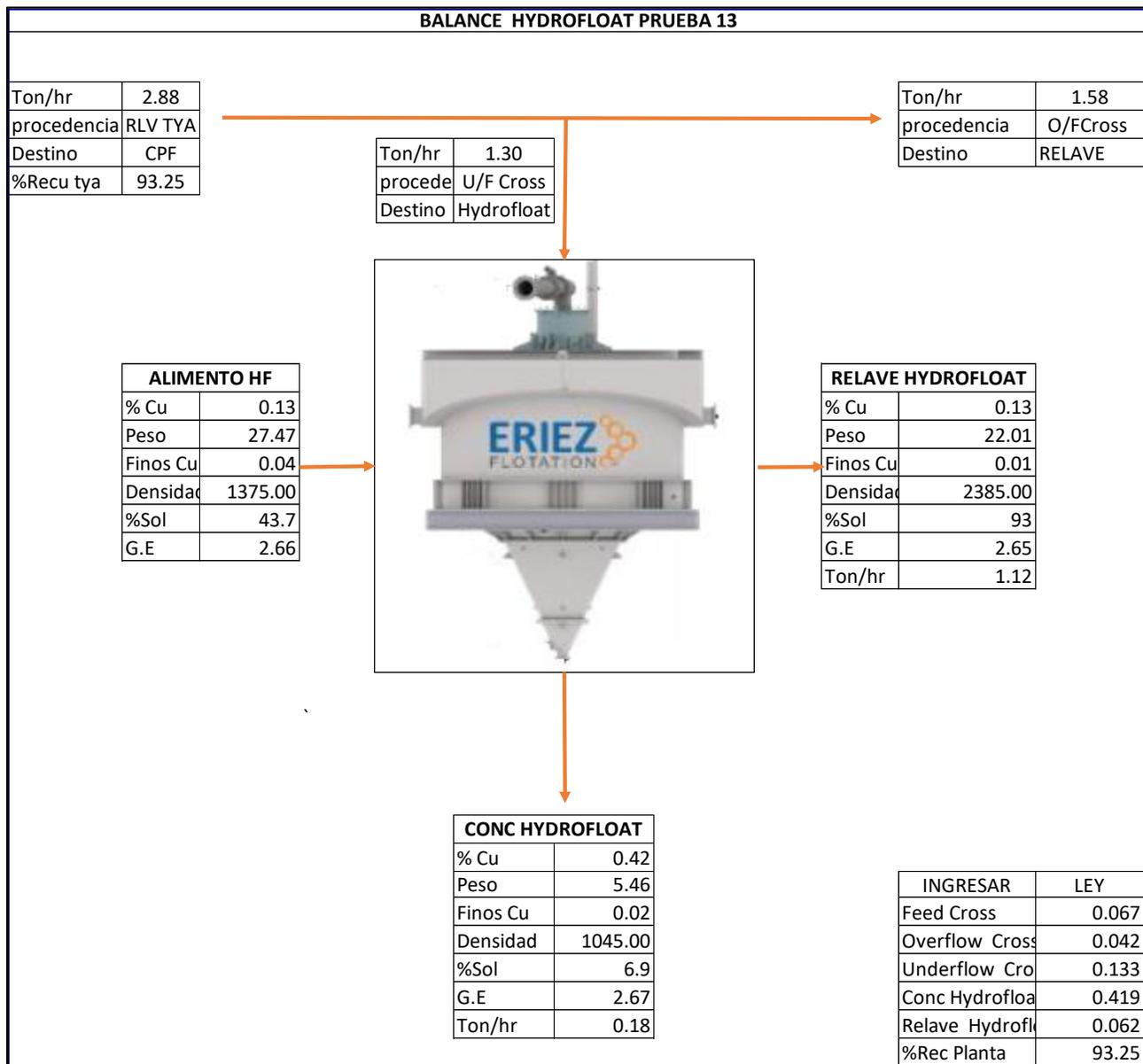
%Rec Global Final	91.35
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 13, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 51 se muestra los resultados

**Figura 51**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 13*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 22 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 21**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 13*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	429.20	-	-	-	-	62.65
PAX	-	24.00	-	-	-	
F-C07	-	-	12.00	-	-	
Agua	-	-	-	3.60	-	
Aire	-	-	-	-	7.80	

<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.07	100.00	0.07	100.00	100.00
Underflow CF	0.13	54.54	0.04	27.47	27.47
Overflow CF	0.04	45.46	0.03	72.53	72.53

<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.13	100.00	0.037	27.47	27.47
Concentrado CPF	0.42	<b>62.65</b>	0.023	5.46	5.46
Relave HF	0.06	37.35	0.014	22.01	80.11

<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.04	72.53	0.030
Relave HF	0.06	22.01	0.014
Relave Final CPF	0.05	94.54	0.044

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.07	100.00	0.07	100.00
Conc HF	0.42	5.46	0.02	<b>34.17</b>
Relave Final CPF	0.05	94.54	0.04	65.83

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>2.01</b>

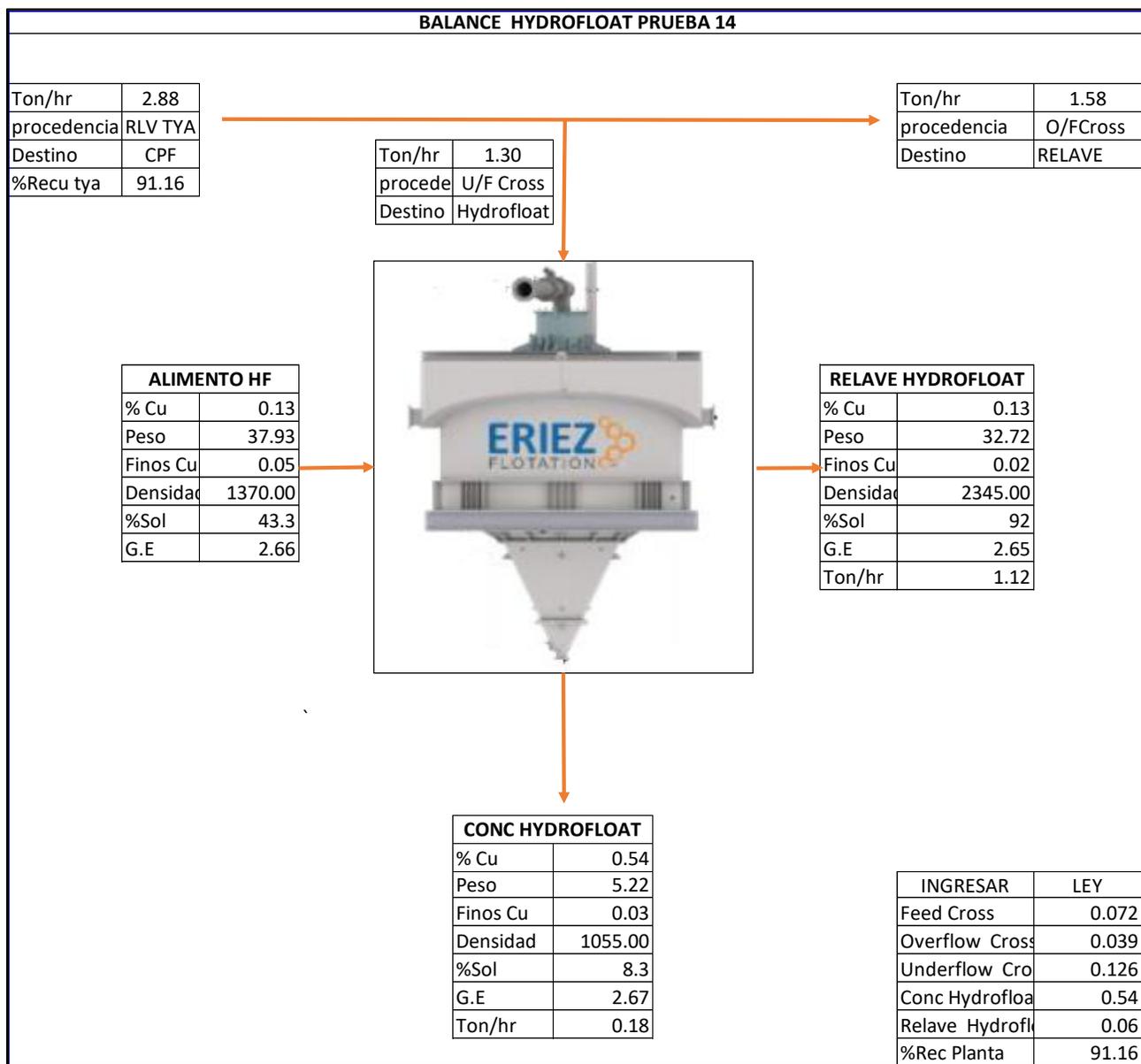
%Rec Global Final	95.26
-------------------	-------

*Nota.* Elaboración propia

Prueba 14, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 52 se muestra los resultados

**Figura 52**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 14*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 23 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 22**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 14*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	429.20	-	-	-	-	
PAX	-	24.00	-	-	-	
F-C07	-	-	12.00	-	-	58.93
Agua	-	-	-	3.69	-	
Aire	-	-	-	-	7.60	

<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.07	100.00	0.07	100.00	100.00
Underflow CF	0.13	66.38	0.05	37.93	37.93
Overflow CF	0.04	33.62	0.02	62.07	62.07

<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.13	100.00	0.048	37.93	37.93
Concentrado CPF	0.54	<b>58.93</b>	0.028	5.22	5.22
Relave HF	0.06	41.07	0.020	32.72	86.25

<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.04	62.07	0.024
Relave HF	0.06	32.72	0.020
Relave Final CPF	0.05	94.78	0.044

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.07	100.00	0.07	100.00
Conc HF	0.54	5.22	0.03	<b>39.12</b>
Relave Final CPF	0.05	94.78	0.04	60.88

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>3.02</b>

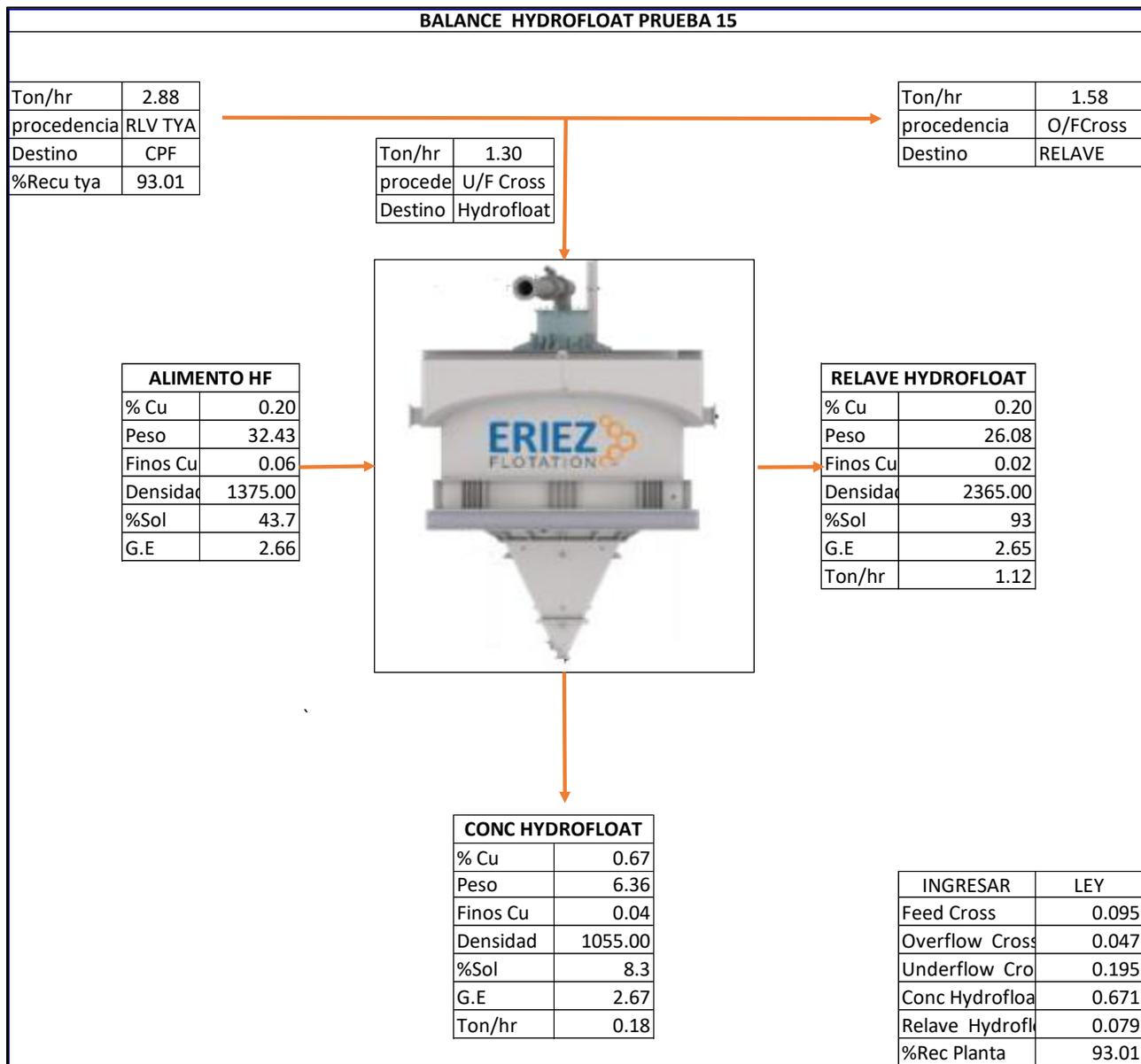
%Rec Global Final	94.18
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 15, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 53 se muestra los resultados

**Figura 53**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 15*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 24 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 23**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 15*

<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>						
Componentes	P80	PAX gr/ton	F-CO7 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	463.10	-	-	-	-	
PAX	-	24.00	-	-	-	
F-CO7	-	-	12.00	-	-	67.43
Agua	-	-	-	3.61	-	
Aire	-	-	-	-	7.60	

<b>BALANCE CROSSFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.10	100.00	0.10	100.00	100.00
Underflow CF	0.20	66.57	0.06	32.43	32.43
Overflow CF	0.05	33.43	0.03	67.57	67.57

<b>BALANCE HYDROFLOAT</b>					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.20	100.00	0.063	32.43	32.43
Concentrado CPF	0.67	<b>67.43</b>	0.043	6.36	6.36
Relave HF	0.08	32.57	0.021	26.08	80.41

<b>CÁLCULO RELAVE FINAL CPF</b>			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.05	67.57	0.032
Relave HF	0.08	26.08	0.021
Relave Final CPF	0.06	93.64	0.052

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF</b>				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.10	100.00	0.10	100.00
Conc HF	0.67	6.36	0.04	<b>44.89</b>
Relave Final CPF	0.06	93.64	0.05	55.11

<b>CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION</b>	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>2.74</b>

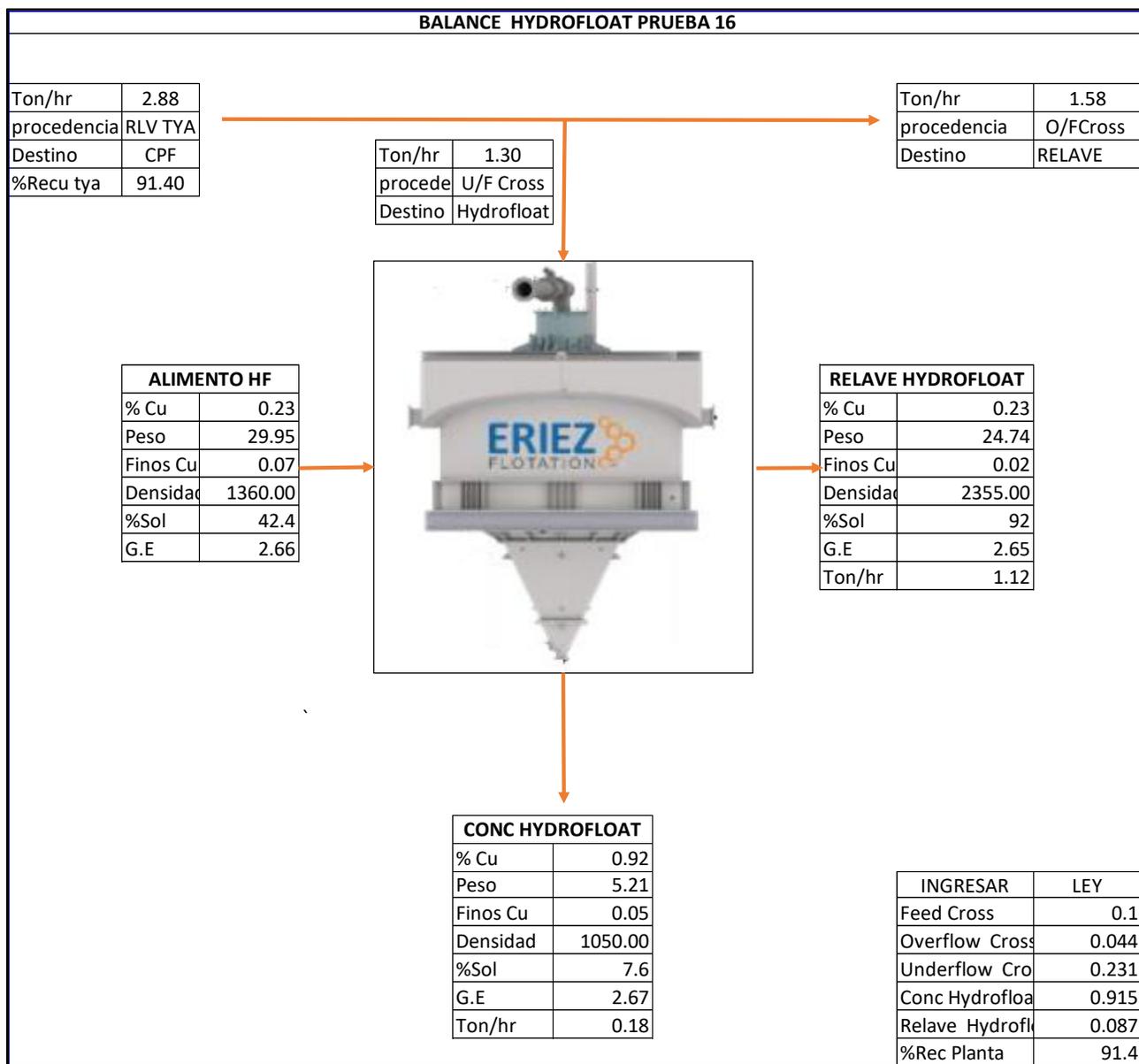
%Rec Global Final	95.75
-------------------	-------

Nota. Elaboración propia

Prueba 16, muestra tratada 1.3ton/hr, en la figura 54 se muestra los resultados

**Figura 54**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 16*



*Nota.* Elaboración propia

Muestra tratada 1.3ton/hr, en la tabla 25 se muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 24**

*Balance metalúrgico Hydrofloat prueba 16*

Componentes	P80	PAX gr/ton	F-C07 gr/ton	Agua m3/hr	Aire Lt/min	%Recu
P80	463.10	-	-	-	-	
PAX	-	24.00	-	-	-	
F-C07	-	-	12.00	-	-	68.89
Agua	-	-	-	3.61	-	
Aire	-	-	-	-	7.60	

BALANCE CROSSFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.10	100.00	0.10	100.00	100.00
Underflow CF	0.23	69.18	0.07	29.95	29.95
Overflow CF	0.04	30.82	0.03	70.05	70.05

BALANCE HYDROFLOAT					
DESCRIPCIÓN	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow C	0.23	100.00	0.069	29.95	29.95
Concentrado CPF	0.92	<b>68.89</b>	0.048	5.21	5.21
Relave HF	0.09	31.11	0.022	24.74	82.61

CÁLCULO RELAVE FINAL CPF			
	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.04	70.05	0.031
Relave HF	0.09	24.74	0.022
Relave Final CPF	0.06	94.79	0.052

CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF				
	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.10	100.00	0.10	100.00
Conc HF	0.92	5.21	0.05	<b>47.65</b>
Relave Final CPF	0.06	94.79	0.05	52.35

CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICION	
% Rec Ro	90.00
% Rec Cln	97.00
% Rec Adicional	<b>3.58</b>

%Rec Global Final	94.98
-------------------	-------

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 25***Condición óptima para la recuperación*

Componentes	Tamaño de	gr/ton	gr/ton	m3/hr	Lt/min	%Recu
	Partícula( $\mu$ m)					
P80	463.1	-	-	-	-	
PAX	-	24	-	-	-	
F-CO7	-	-	12	-	-	68.9
Agua	-	-	-	3.61	-	
Aire	-	-	-	-	7.6	

*Nota.* Elaboración propia**5.4. Resumen de pruebas experimentales**

Se muestra en la siguiente tabla 27 para su análisis de data

**Tabla 26***Resumen de variación de variables y su efecto en % recuperación*

Nro prueba	Agua (m3/hr)	Aire (Lt/min)	P80( $\mu$ m)	Pax(gr/ton)	Flotanol(gr/ton)	%Recu
1	4.0	5.2	495.2	30	30	85.8
2	2.5	3.5	437.2	12	10	77.3
3	3.5	4	437.2	12	10	73.4
4	3.5	4	540.9	12	10	84.3
5	3.2	7.6	472.6	12	12	80.1
6	3.5	7.8	490.5	12	12	82.0
7	3.0	7.8	525.5	12	12	78.8
8	3.6	7.8	489.5	12	12	88.1
9	3.7	7.6	486.0	24	3	70.6
10	3.7	7.8	436.4	24	12	65.1
11	3.7	7.8	436.4	24	12	57.3
12	3.6	7.8	450.1	24	12	59.8
13	3.6	7.8	429.2	24	12	62.7
14	3.7	7.6	429.2	24	12	58.9

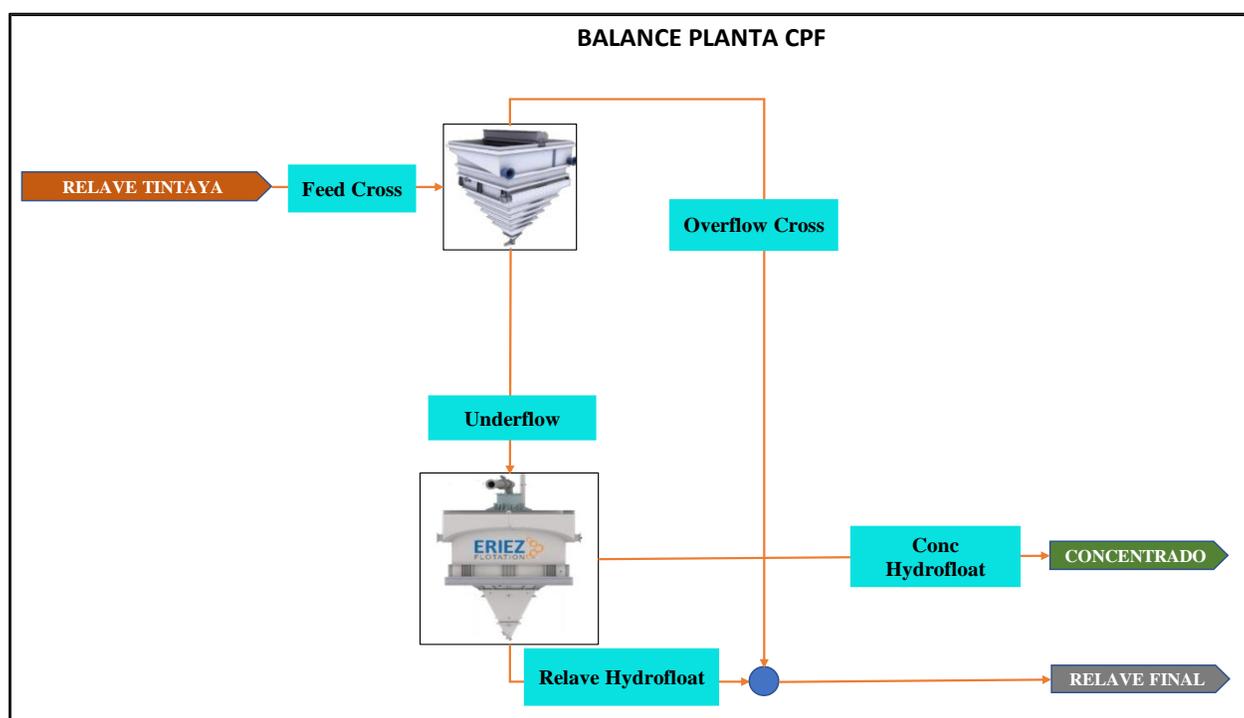
15	3.6	7.6	463.1	24	12	67.4
16	3.6	7.6	463.1	24	12	68.9
MEDIA	3.5	6.8	467.6	19.1	12.2	72.5

*Nota.* Elaboración propia

Puntos de muestreo para análisis granulométrico(p80) y análisis químico se muestra en el siguiente diagrama de flujo se muestra en la figura 55.

### Figura 55

*Diagrama de flujo de planta piloto*



*Nota.* Elaboración propia

Se realizó análisis granulométrico de los siguientes puntos para su análisis de datos

- Relave Tintaya
- Alimento Crossflow
- Underflow Crossflow

Los resultados del análisis granulométrico se muestran en la siguiente tabla 28

**Tabla 27**

*Resumen de p80, Relave Tintaya, alimento Cross Flow, Hydrofloat*

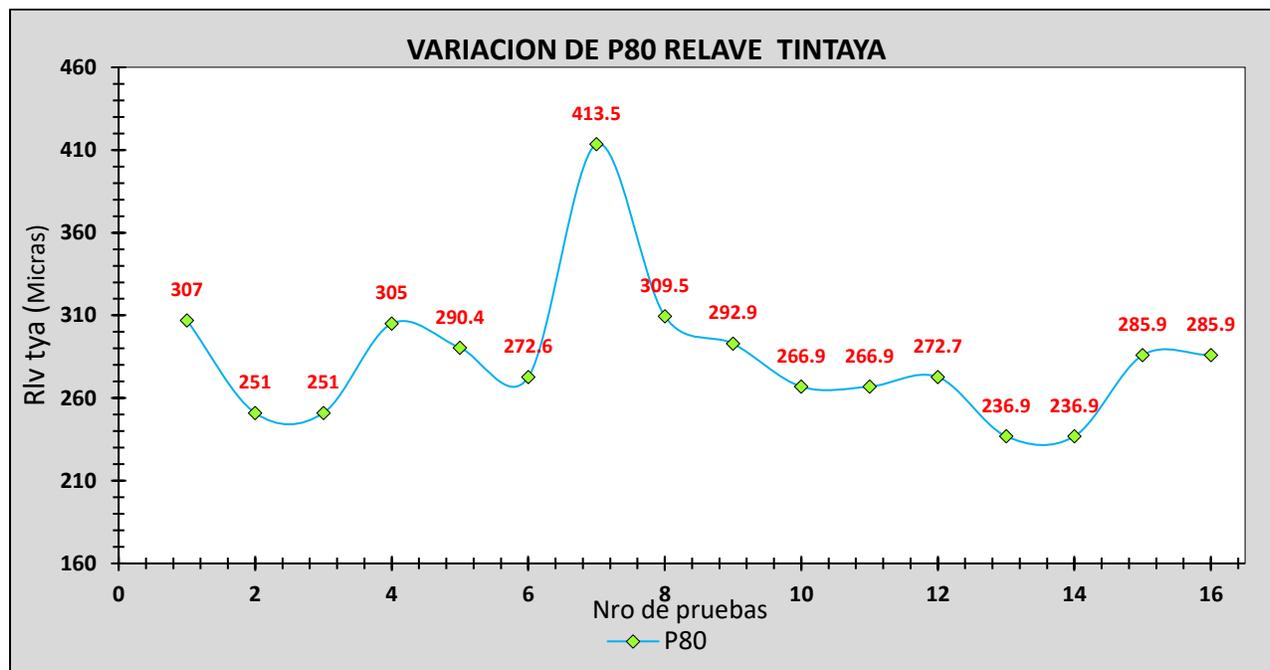
Relave Tintaya	Alimento crossflow	Alimento Hydrofloat
307	223	495.2
251	259.3	437.2
251	259.3	437.2
305	295.3	540.9
290.4	258.5	472.6
272.6	263.4	490.5
413.5	310.9	525.5
309.5	260.5	489.5
292.9	262.6	486
266.9	246.8	436.4
266.9	246.8	436.4
272.7	238.8	450.1
236.9	237.8	429.2
236.9	237.8	429.2
285.9	249.5	463.1
285.9	249.5	463.1

*Nota.* Elaboración propia

### 5.4.1. Grafica de tendencias de las pruebas experimentales a partir de los resultados

**Figura 56**

Variación de p80 relave Tintaya



Nota. Adaptación propia

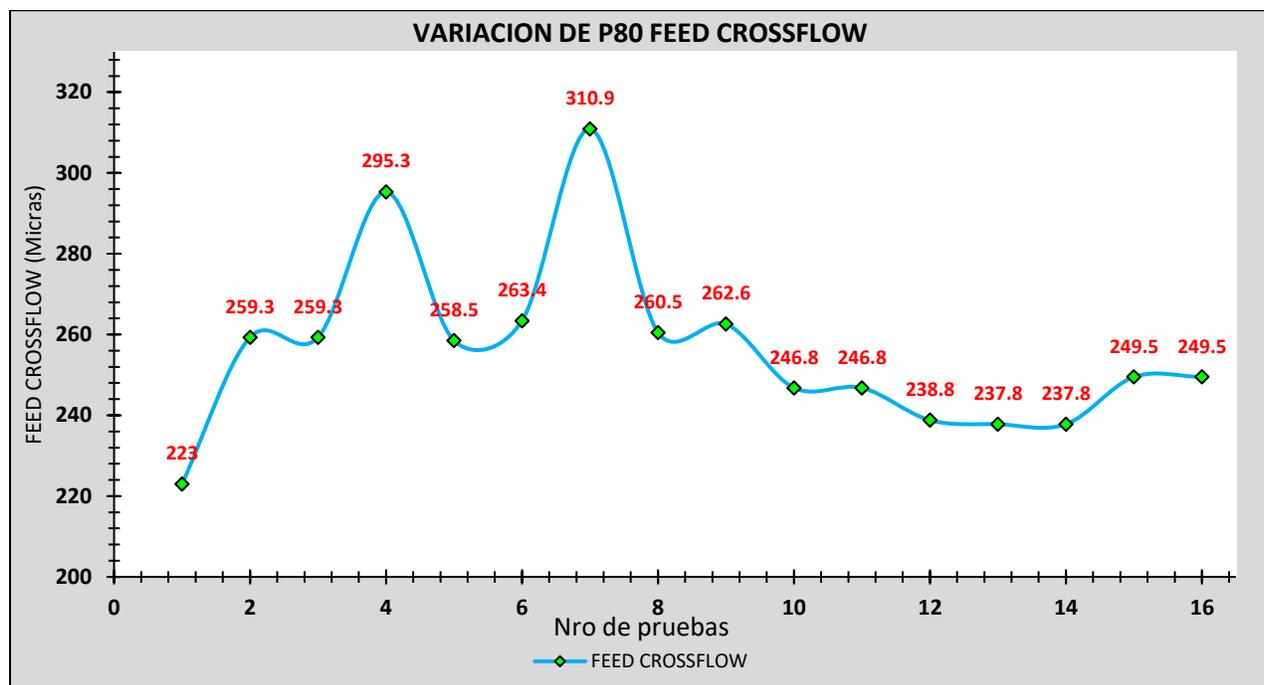
De la tabla se realiza la tendencia del comportamiento de p80 en la planta Tintaya. Esto se muestra en la figura 56.

En la gráfica se muestra el comportamiento de p80 en el relave de la planta concentradora Tintaya durante las pruebas experimentales del trabajo de investigación, el p80 fue  $236.9\mu\text{m} \geq$  y  $309.5\mu\text{m} \leq$ , esta variación de P80 fue por variación del tonelaje pasante de la planta en este caso particular se redujo el tonelaje de 20500ton/día hasta 20000ton/día esto para p80 menor y ver el comportamiento de la flotación con Hydrofloat para su evolución de los parámetros.

La variación del tonelaje tratado en la planta tiene su impacto en la variación de p80 alimentación de Cross Flow donde el p80 fue  $223\mu\text{m} \geq$  y  $413.55\mu\text{m} \leq$ , esto se muestra en la figura 57 de tendencia.

**Figura 57**

*Variación de p80 alimentación Cross Flow*

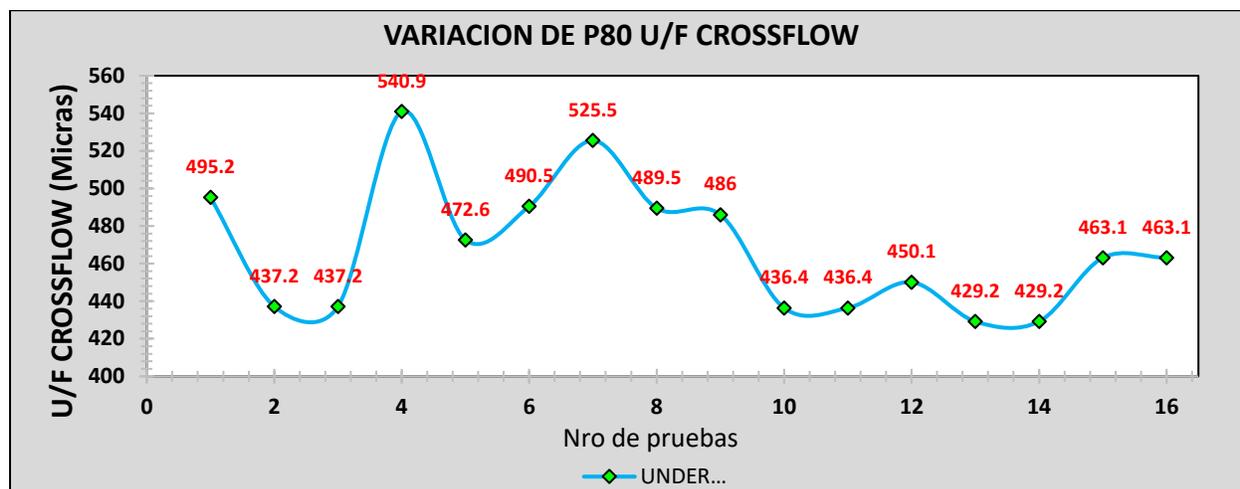


*Nota.* Adaptación propia

De la misma manera la variación de p80 en la alimentación Cross Flow tiene efecto en Under Flow de Cross Flow donde el p80 fue  $429.2\mu\text{m} \geq$  y  $540.9\mu\text{m} \leq$ , esto se muestra en la gráfica, esta variación tiene su efecto en la % recuperación, En la flotación la cual se muestras en la figura 58.

Figura 58

Variación de p80 alimentación a Hydrofloat

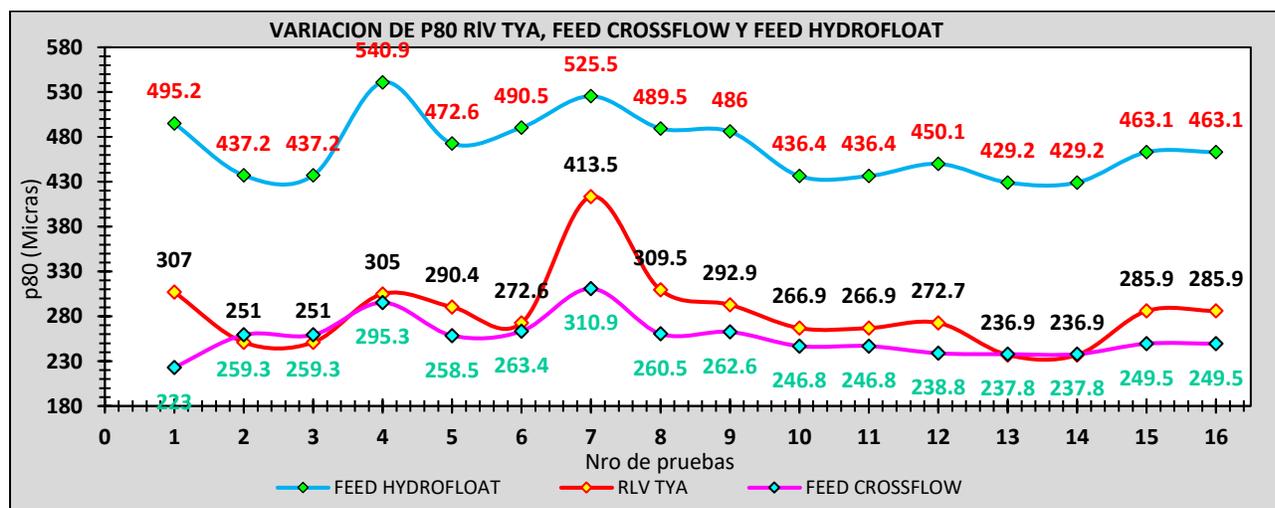


Nota. Adaptación propia

La Variación de p80 de relave tintaya fue  $236.9\mu\text{m} \geq$ ,  $309.5\mu\text{m} \leq$ , feed CrossFlow  $223\mu\text{m} \geq$ ,  $413.5\mu\text{m} \leq$ , y Under Flow de Cross Flow (feed Hydrofloat)  $429.2\mu\text{m} \geq$  y  $540.9\mu\text{m} \leq$ . el resumen de variación de p80 de los 3 putos de muestreo se muestran en la siguiente gráfica 59.

Figura 59

Variación de p80 relave Tintaya, alimento Cross Flow, Hydrofloat

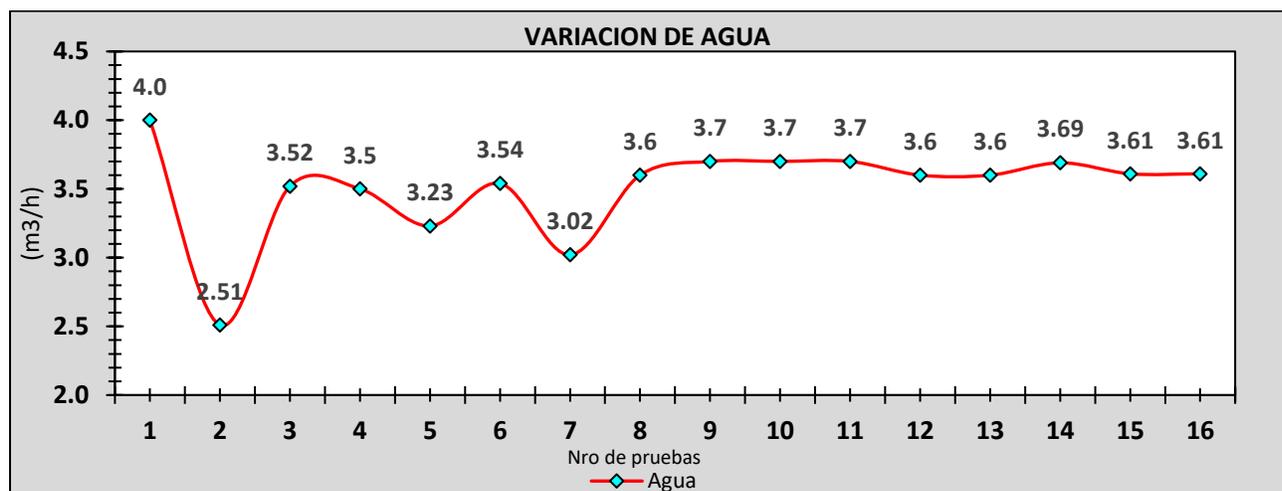


Nota. Adaptación propia

De la tabla de resumen de datos experimentales se realiza el grafico de tendencia de flujo de agua durante la flotación en Hydrofloat fue  $2.51\text{m}^3/\text{hr} \geq$  y  $4\text{m}^3/\text{hr} \leq$ . La variación de aflujo de tiene efecto en la recuperación puesto que el que forma lecho fluidizado con aire dentro de la celda Hydrofloat. En la figura 60 se muestra dicha variación durante las pruebas experimentales.

**Figura 60**

*Variación de flujo de agua*

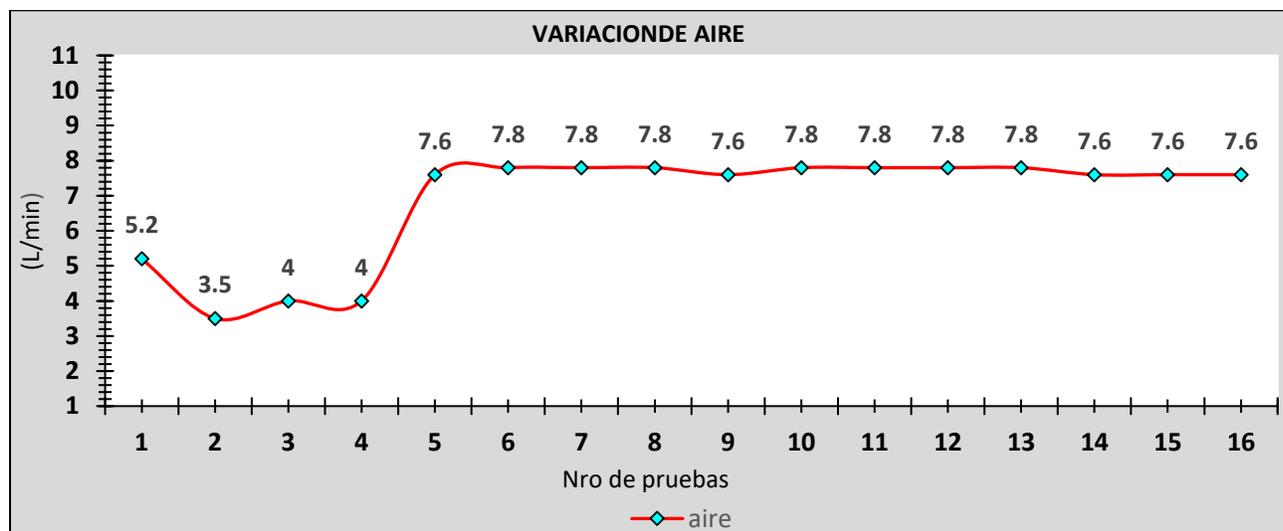


*Nota.* Adaptación propia

De la tabla podemos realizar la siguiente grafica de tendencia de flujo de aire en la celda Hydrofloat durante las pruebas experimentales rango fue,  $4\text{L}/\text{min} \geq$ ,  $7.8\text{L}/\text{min} \leq$ , esto se muestra en la figura 46. esta variación fue para ver el efecto en la %recuperación.

Figura 61

Variación de aire



Nota. Adaptación propia

#### 5.4.2. Interpretación de resultados de laboratorio químico

Los resultados de análisis químicos según laboratorio químico de Antapaccay se muestran en la tabla.

Tabla 28

Resultado de análisis químico

ANTAPACCAY		FORMULARIO			CODIGO
		INFORME DE ENSAYOS METALURGIA			REVISION
EMPRESA MINERA ANTAPACCAY S.A.		Telefono: +51 84 301150 Anexos 2435 - 2438			
LABORATORIO QUIMICO					
ODIGO - JOB	PIANT-1817				
FECHA Y HORA DE RECEPCION	4/13/2023 3:56:04 PM				
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA: Muestra Pulverizada		FECHA Y HORA DEL REPORTE			14/04/2023
		AA_L1_2	VOL_CU		
		Cu	Fe	Cu	
90026	CB028478	PA 25,RLV-H/F,ERIEZ, 12/04/23,2:45PM	0.033	2.58	
90027	CB028479	PA 26,RLV-H/F,ERIEZ, 12/04/23,6:15PM	0.071	2.20	
90028	CB028480	PA 25,O/F-crossflow,ERIEZ,12/04/23,2:45PM	0.038	3.19	
90029	CB028481	PA 26,O/F-crossflow,ERIEZ, 12/04/23,6:15PM	0.035	3.05	
90030	CB028482	PA 25,alimento-crossflow,ERIEZ, 12/04/23,2:45PM	0.079	2.90	
90031	CB028483	PA 26,alimento-crossflow,ERIEZ, 12/04/23,6:15PM	0.068	2.67	
90032	CB028484	PA 25,U/F-crossflow,ERIEZ, 12/04/23,2:45PM	0.134	2.49	
90033	CB028485	PA 26,U/F-crossflow,ERIEZ, 12/04/23,6:15PM	0.124	2.21	
90034	CB028486	PA 25,conc-H/F,ERIEZ, 12/04/23,2:45PM	0.407	2.71	
90035	CB028487	PA 26,conc-H/F,ERIEZ, 12/04/23,6:15PM	0.487	2.91	

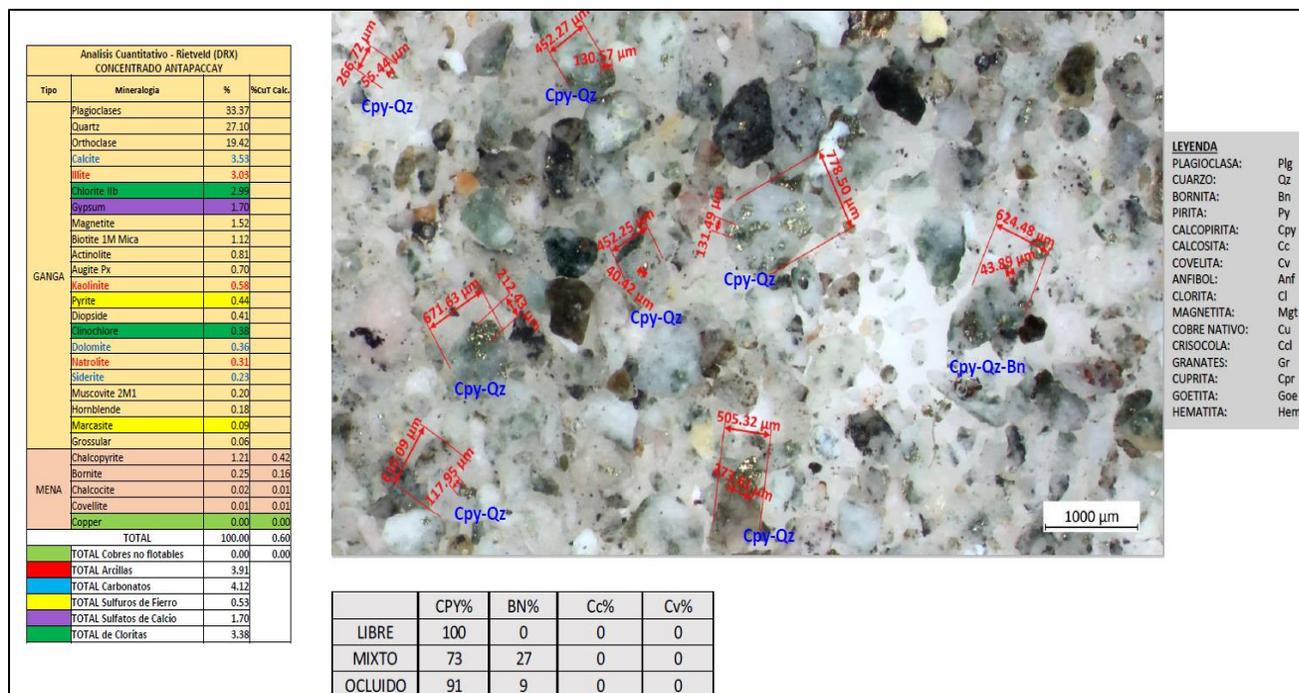
Nota. Laboratorio Antapaccay

### 5.4.3. Resultados de difracción de rayo X (DRX)

Se realiza prueba de DRX al concentrado Hydrofloat, los resultados se muestran en las siguientes tabla y microfotografía como se muestra en la figura 62.

**Figura 62**

*Micro fotografía de concentrado Hydrofloat*

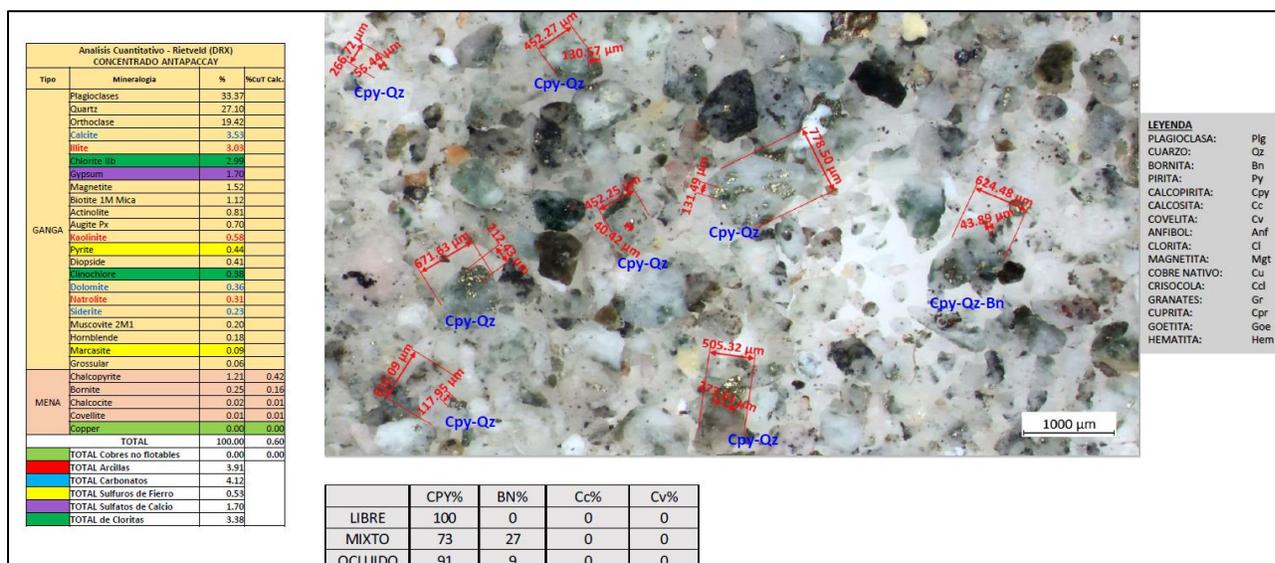


*Nota.* Laboratorio Antapacca

Se realiza prueba de DRX al Relave Hydrofloat, los resultados se muestran en las siguientes tablas y microfotografía, en la figura 63.

Figura 63

Micro fotografía de relave Hydrofloat



Nota. Laboratorio Antapaccay

Base de datos según los resultados de análisis químicos reportados por laboratorio químico de Antapaccay se realiza el cálculo de % de recuperación con la siguiente ecuación.

$$\%RE = \frac{c(f - t)}{f(c - t)}$$

Donde:

C: ley de cobre en el concentrado

f: ley de cobre en la alimentación

t: ley de cobre en el relave

seguidamente se toman los resultados de análisis químico para poder calcular la recuperación

C: 0.23

f: 0.13

t: 0.04

$$\%RE = \frac{0.23(0.13 - 0.04)}{0.13(0.23 - 0.04)}$$

$$\%RE = 85.84$$

De la misma manera se realiza los cálculos para las de más pruebas para obtener la recuperación adicional se hace uso de la siguiente ecuación

$$\%Rec\ Adicional = (100 - \%Rec\ Planta\ Tya) * \%Rec\ CPF * \%Rec\ Ro * \%Rec\ Cln$$

Donde se considera como:

$$\%Rec\ Ro = 90\%$$

$$\%Rec\ Cln = 97\%$$

$$\%RE\ CPF = \frac{\frac{\%Cu\ conc\ Hf * \%cu\ conc\ Hf\ en\ peso}{\%Cu\ feed(-150) * 100}}{100}$$

Los resultados de *%Rec Adicional* se muestran en la siguiente tabla para el cálculo de MASS PULL se utiliza la siguiente ecuación

$$\%RE = \frac{\%cu\ feed\ Hf - \%cu\ Relave\ Hf}{\%cu\ conc\ Hf - \%cu\ Relave\ Hf} * 100$$

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 29**

*Resultados calculados de acuerdo al reporte de laboratorio*

Nro de pruebas	FRACCION FINA -150µm				FRACCION GRUESA+150µm				HydroFloat®											
	GRADO ALIMENT O Cu (%)	GRADO DE CONC Cu (%)	PESO(%) Conc	GRADO DE RELAVE Cu (%)	PESO (%) Rlv	Mass Pull (%)	Upgrade Ratio Cu	RECUPE RACION Cu (%)	RECUPE RACION AL CPF Cu (%)	RECUPE RACION GLOBAL PLANT + CPF	NUEVA RECUPE RACION FINAL	GRADO		GRADO		GRADO		GRADO		
												Rec Plant	O%CuT	ALIMENT	PESO(%)	Grade Cu (%)	Distr. Cu (%)	PESO(%)	GRADOC u (%)	Distr. Cu (%)
1	84.63	0.05	82.83	0.03	54.09	17.17	0.13	45.91	0.13	0.23	8.32	0.04	8.85	48.47	1.77	85.84	39.41	5.29	89.92	0.03
2	83.61	0.04	78.46	0.03	51.67	21.54	0.09	48.33	0.09	0.31	4.90	0.03	16.64	22.73	3.40	77.32	37.37	5.35	88.96	0.03
3	84.65	0.03	70.00	0.02	44.55	30.00	0.06	55.45	0.06	0.20	6.82	0.02	23.18	22.73	3.23	73.40	40.70	5.45	90.10	0.02
4	80.75	0.12	67.48	0.07	37.93	32.52	0.23	62.07	0.23	0.85	7.45	0.05	25.06	22.91	3.68	84.32	52.34	8.80	89.55	0.06
5	77.67	0.07	64.38	0.04	39.40	35.62	0.11	60.60	0.11	0.71	4.60	0.03	31.02	12.90	6.21	80.14	48.56	9.47	87.14	0.04
6	80.34	0.08	57.29	0.04	27.56	42.71	0.13	72.44	0.13	0.41	11.53	0.03	31.17	27.01	3.04	82.02	59.42	10.20	90.54	0.04
7	83.00	0.05	67.90	0.02	30.34	32.10	0.10	69.66	0.10	0.48	5.35	0.03	26.75	16.67	4.73	78.76	54.86	8.14	91.14	0.02
8	76.09	0.11	76.32	0.06	40.17	23.68	0.29	59.83	0.29	1.08	5.58	0.05	18.11	23.55	3.74	88.05	52.69	11.00	87.09	0.06
9	83.25	0.17	63.43	0.10	38.97	36.57	0.28	61.03	0.28	1.69	4.24	0.09	32.33	11.61	6.09	70.64	43.11	6.30	89.55	0.10
10	89.07	0.07	71.43	0.03	34.07	28.57	0.15	65.93	0.15	0.47	5.88	0.07	22.69	20.59	3.16	65.06	42.90	4.09	93.16	0.04
11	89.02	0.06	67.42	0.03	35.88	32.58	0.12	64.12	0.12	0.44	5.20	0.06	27.38	15.96	3.59	57.29	36.73	3.52	92.54	0.04
12	87.85	0.11	72.55	0.07	44.85	27.45	0.22	55.15	0.22	0.81	4.47	0.11	22.98	16.29	3.67	59.85	33.01	3.50	91.35	0.08
13	93.25	0.07	72.53	0.04	45.46	27.47	0.13	54.54	0.13	0.42	5.46	0.06	22.01	19.89	3.15	62.65	34.17	2.01	95.26	0.05
14	91.16	0.07	62.07	0.04	33.62	37.93	0.13	66.38	0.13	0.54	5.22	0.06	32.72	13.75	4.29	58.93	39.12	3.02	94.18	0.05
15	93.01	0.10	67.57	0.05	33.43	32.43	0.20	66.57	0.20	0.67	6.36	0.08	26.08	19.59	3.44	67.43	44.89	2.74	95.75	0.06
16	91.40	0.10	70.05	0.04	30.82	29.95	0.23	69.18	0.23	0.92	5.21	0.09	24.74	17.39	3.96	68.89	47.65	3.58	94.98	0.06

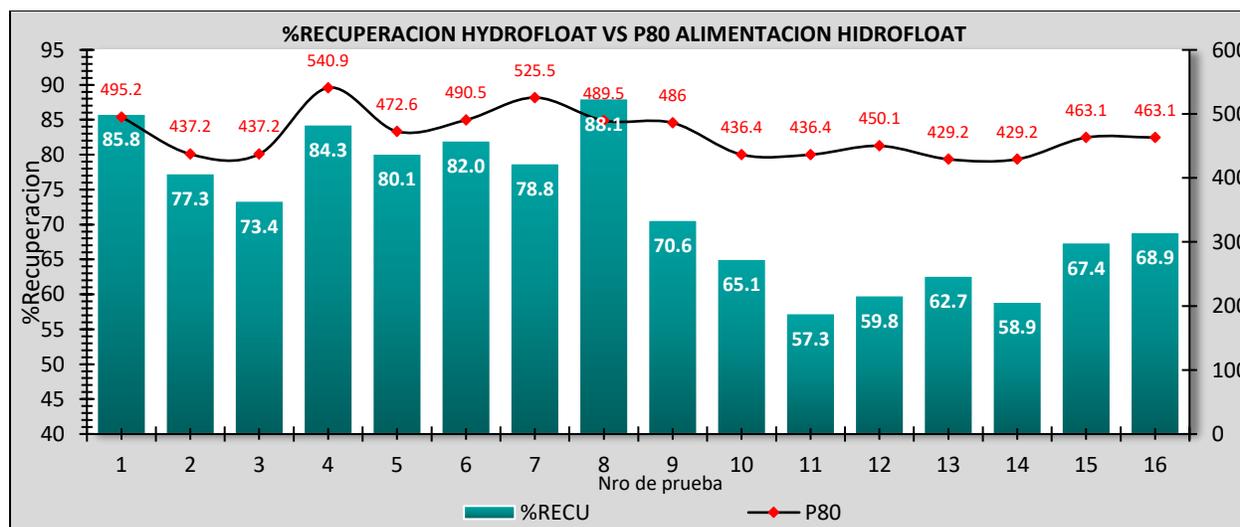
Nota. Laboratorio Antapaccay

**5.4.4. Gráfica de p80(µm) vs recuperación (%)**

En la figura 64 se muestra la tendencia de % de recuperacion con la interacción de p80

**Figura 64**

*% Recuperación vs p80*



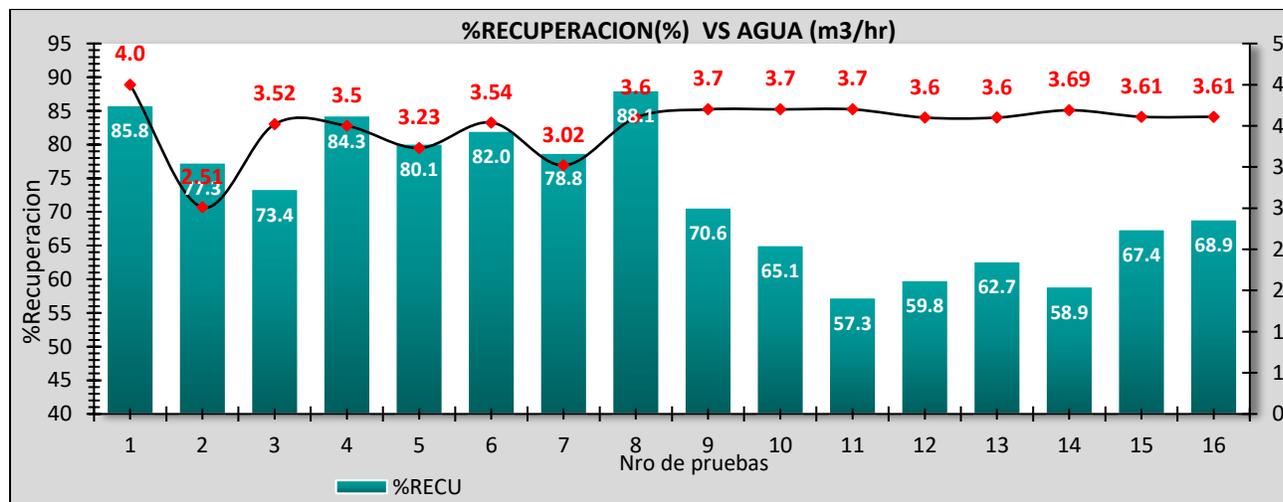
Nota. Adaptación propia

de la tabla de base de datos se realizó la gráfica de tendencia de recuperación utilizando la celda Hydrofloat y su impacto en la recuperación donde en un rango de p80 (472.6-540)  $\mu\text{m}$  se obtuvo recuperaciones mal altas entre (80.1-88.1)%, para p80 (463.1 $\mu\text{m} \leq$ ), se obtuvieron recuperaciones (77.3% $\leq$ ), los resultados experimentales nos da conocer sensibilidad de variación de p80 para flotación de partículas gruesas con la celda Hydrofloat, esta se explica que las partículas gruesas tienen más probabilidades de ser recuperadas por tener mayor superficie donde adhiere las burbujas finas cambiando su peso específico en lecho fluidizado, en cambio los finos por tener superficie menor su recuperación es poco probable ya que las burbujas finas adheridas en la superficie no serán los suficientes para cambiar su peso específico.

#### 5.4.5. Gráfica de Flujo de agua (m<sup>3</sup>/hr) vs recuperación (%)

**Figura 65**

*Tendencia de % recuperación vs flujo de agua*



*Nota.* Adaptación propia

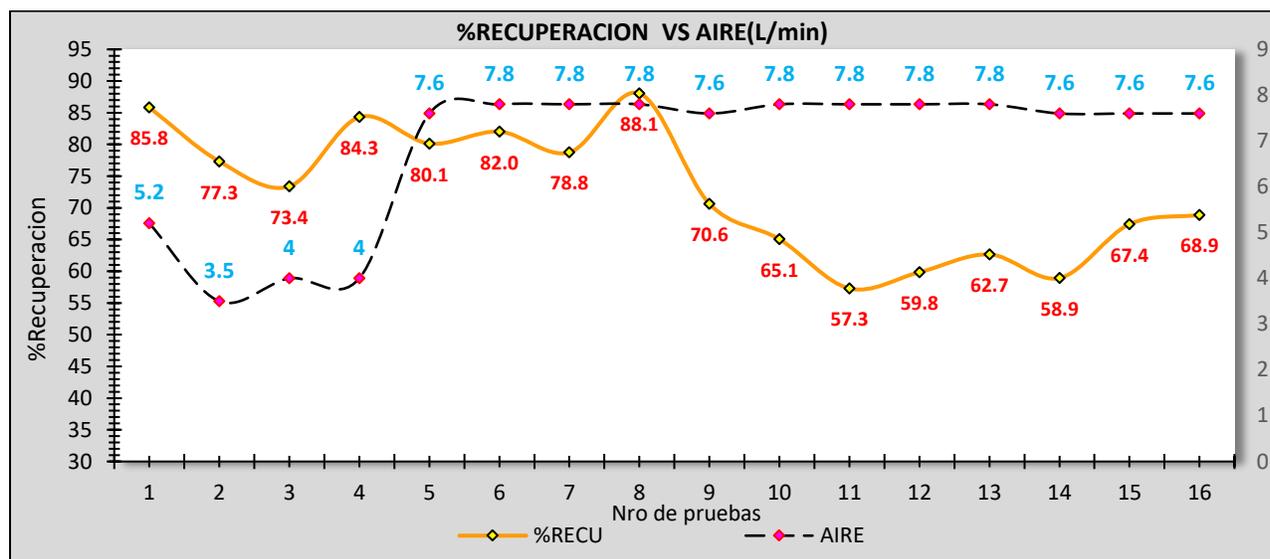
El flujo de agua dentro de la celda de Hydrofloat es una de las variables de importancia ya que es el encargado de dispersar y diluir la pulpa uniformemente dentro de la celda para que las partículas tengan mayor contacto con las burbujas finas dentro del lecho fluidizado para ser

recuperados. Los resultados obtenidos fueron; las recuperaciones más elevadas 88.1% obtuvo con flujo de agua 3.6m<sup>3</sup>/hr y una recuperacion de 85.8% con flujo de agua 4m<sup>3</sup>/hr. la recuperacion tiende a defender en un rango de flujo de agua (3.61-3.7) m<sup>3</sup>/hr. Esto se muestra figura 66

#### 5.4.6. Grafica de Flujo de aire (L/min) vs recuperación (%)

**Figura 66**

*Tendencia de % recuperación vs flujo de aire*



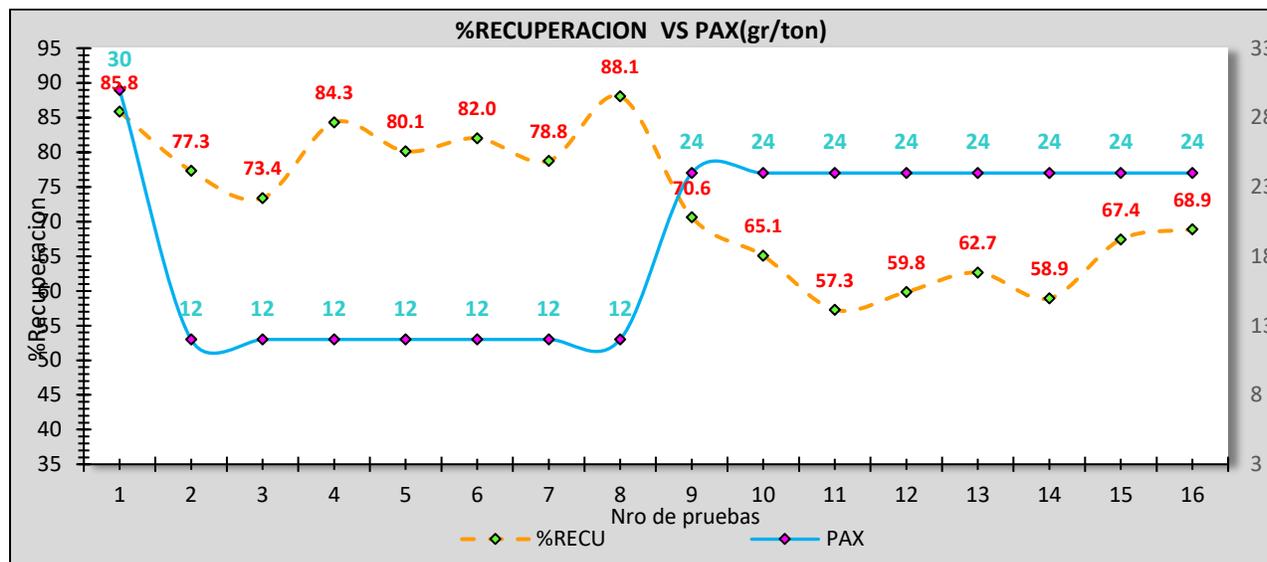
*Nota.* Adaptación propia

El flujo de aire es uno de las variables importantes en la flotación de gruesos los resultados experimentales nos muestran que el % de recuperación más elevado obtuvo con flujo de aire 7.8L/min con pH 8.1 la cual se mantiene constante, p80 fue 489.5  $\mu$ m y con flujo de agua 3.6m<sup>3</sup>/hr. Cuando la dosificación desciende bajo 7.6L/min la recuperación desciende relativamente debido a que no se genera la cantidad necesaria de burbujas finas para poder recuperar las partículas gruesas.

### 5.4.7. Grafica de Flujo de PAX (gr/ton) vs recuperación (%)

**Figura 67**

Tendencia de % recuperación vs Z-6



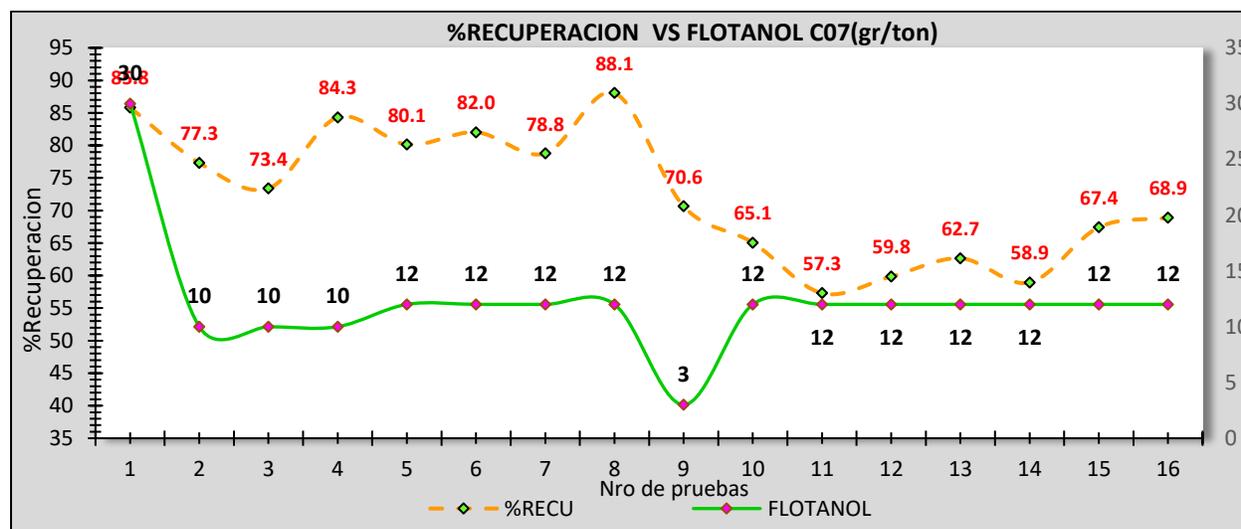
Nota. Adaptación propia

En la figura 67 se muestra que la % de recuperación más elevado (88.1%) se obtuvo con dosificación de PAX 12gr/ton, dosificación de PAX mayores 12gr/ton, puesto que el reactivo cumple la función de colector primario por ende las partículas finas tienen mayor consumo durante la clasificación en Cross Flow cabe recalcar que las demás variables también tienen incidencia en consumos de los reactivos durante las pruebas experimentales.

### 5.4.8. Grafica de Flotanol C07 (gr/ton) vs recuperación (%)

**Figura 68**

Tendencia de %recuperación vs espumante (Flotanol -07)



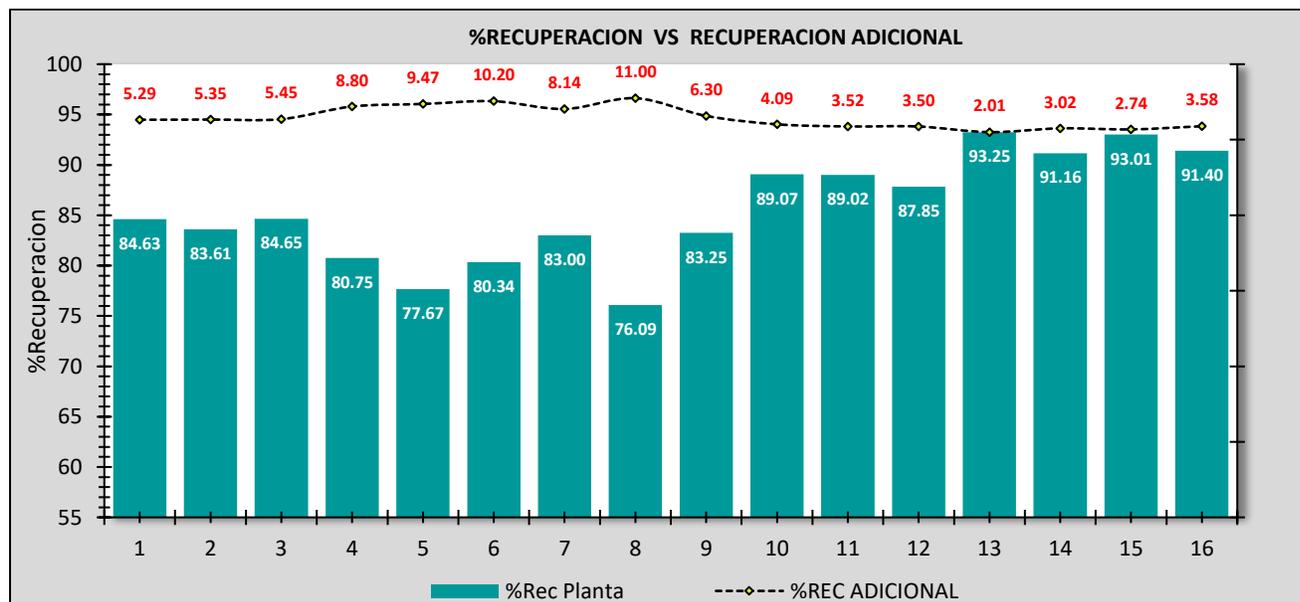
Nota. Adaptación propia

En la figura 68 se muestra el efecto del espumante en la flotación y cumple la función de proporcionar una apropiada resistencia mecánica de las burbujas de aire. Los resultados muestran que para una dosificación de 12gr/ton se obtuvo la recuperación más elevada 88.1%, para dosificaciones menores (12gr/ton<) la recuperación tiene tendencia a bajar, cuando la dosificación es (12gr/ton>) el % de recuperación sube ligeramente puesto que sube el Mass pull en consecuencia la calidad del concentrado tiene tendencia a obtener concentrado de baja calidad.

### 5.4.9. Grafica %recuperación adicional vs %recuperación planta

**Figura 69**

% recuperación adicional vs %recuperación planta



*Nota.* Adaptación propia

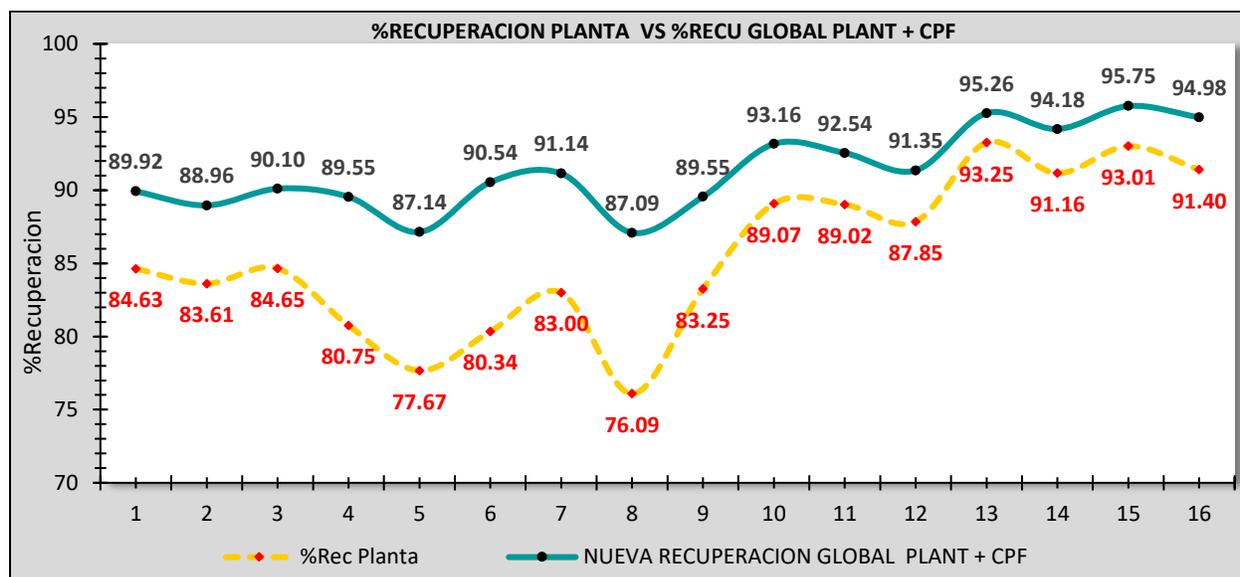
En la figura 69 se puede observar la tendencia de % de recuperación adicional con uso de Hydrofloat con respecto a la recuperación de la planta concentradora Tintaya, los resultados muestran que Hydrofloat tiene un incremento elevado adicional de (8.24%>) en planta concentradora Tintaya debido al incremento en p80 (305-413.5)  $\mu\text{m}$  donde la flotación convencional es poco probable su recuperación debido a la falta de liberación de mineral valioso.

Para (463.1 $\mu\text{m}$  <) el p80 en la planta fue entre (236.9-292.9)  $\mu\text{m}$  teniendo incremento en la %recuperación planta en consecuencia la recuperación en Hydrofloat tiende a descender en un rango (2.01-6.3) % adicional en la recuperación planta.

#### 5.4.10. Gráfica %recuperación planta vs %recuperación global %plant + cpf

**Figura 70**

*Recuperación planta vs recu global plant + cpf*



*Nota.* Adaptación propia

En la figura 70 se muestra la tendencia de % recuperación de la planta concertadora Tintaya y % recuperación con la flotación de gruesos utilizado do la celda Hydrofloat, los resultados muestran, cuando la recuperación en la planta desciende por diversos factores como: p80, Word index, material arcilloso etc. el % recuperación en Hydrofloat incrementa significativamente.

## CAPITULO VI

### 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1. Planificación de análisis estadístico

Se prosigue con el análisis de los resultados que se ha obtenido durante las pruebas experimentales considerando el objetivo “Recuperación de Partículas Gruesas De Minerales Sulfurados De Cobre A partir De Los Relaves Con Hydrofloat con la influencia de p80, Pax (z-6), Flotanól - 07, flujo de agua y aire.”

Para investigar la relación de la variable dependiente (Y) e independientes (X1, X2, X3, X4, X5) se requieren pruebas de contraste de hipótesis con la información corregida en la parte experimental, debido que los contrastes de formulación de hipótesis en perfil de investigación deben ser constatados con los resultados de pruebas experimentales de la investigación donde se basan probar interacción de variables (6 variables), para la cual se realiza un modelo de regresión y correlación lineal. La cual permite evaluar la relación entre variable independiente frente a las variables independientes, el modelo de regresión se expresa de siguiente forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \varepsilon$$

El análisis estadístico tiene como objetivo para la investigación construir un modelo de regresión para evaluar la optimización de la recuperación de cobre con la interacción de p80, flujo de agua, flujo de aire y dosificación de reactivos en la flotación de gruesos (Hydrofloat) en la Cia. Minera Antapaccay S.A. La regresión lineal permite estimar valores reales de las variables de interés, de donde se construye una función basada en el cálculo de probabilidades que las variables adopten el valor de las pruebas experimentales de la investigación.

## 6.2. Resultados de las pruebas experimentales

En las tablas anteriores de base de datos que contienen la información tomada de planta piloto de flotación de partículas gruesas (CPF) perteneciente a Eriez Flotación que se encuentra en Cia. Minera Antapaccay S.A. Para corroborar dicha información se realiza tabla como se muestra esto, con la información de los resultados de las pruebas experimentales del capítulo anterior.

**Tabla 30**

*Resumen de pruebas experimentales y laboratorio*

Nro prueba	x1 AGUA	x2 AIRE	x3 P80	x4 Z-6	x5 F-07	y %RECU
1	4.0	5.2	495.2	30	30	85.8
2	2.51	3.5	437.2	12	10	77.3
3	3.52	4	437.2	12	10	73.4
4	3.5	4	540.9	12	10	84.3
5	3.23	7.6	472.6	12	12	80.1
6	3.54	7.8	490.5	12	12	82.0
7	3.02	7.8	525.5	12	12	78.8
8	3.6	7.8	489.5	12	12	88.1
9	3.7	7.6	486	24	3	70.6
10	3.7	7.8	436.4	24	12	65.1
11	3.7	7.8	436.4	24	12	57.3
12	3.6	7.8	450.1	24	12	59.8
13	3.6	7.8	429.2	24	12	62.7
14	3.69	7.6	429.2	24	12	58.9
15	3.61	7.6	463.1	24	12	67.4
16	3.61	7.6	463.1	24	12	68.9

*Nota.* Adaptación propia

### 6.2.1. Variables involucradas

A continuación, se procede realizar planificación del análisis estadístico con el método de regresión y correlación lineal simple múltiple, la determinación de las variables se desarrolló en el capítulo anterior, cabe recalcar que se tiene una variable dependiente y cuatro variables independientes en la investigación, la denominación se muestra a continuación.

Y = % recuperación de cobre

X1= flujo de agua

X2 = flujo de aire

X3 = Tamaño de partícula p80

X4 = Reactivo Espumante F-07

X5 = Reactivo colector Z-6

### 6.2.2. *Hipótesis de interés a verificar*

En la investigación se estableció la siguiente hipótesis:

Hipótesis general: Es viable recuperar partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre a partir de relaves de flotación con la celda Hydrofloat de la Cia minera Antapaccay S.A. - planta concentradora Tintaya.

Con la finalidad de probar esta hipótesis se realizará diferentes pruebas estadísticas de probabilidad y de inferencia para la cual se plantea las siguientes hipótesis estadísticas específicas con cada una de las variables:

- Flujo de agua

*H01: el flujo de agua no influye y no es significativo dentro del modelo*

*HA1: el flujo de agua influye y es significativo dentro del modelo*

- Flujo de aire

*H02: el flujo de aire no influye y no es significativo dentro del modelo*

*HA2: el flujo de aire influye y es significativo dentro del modelo*

- Tamaño de partícula: p80

*H03: Tamaño de partícula p80 no influye y no es significativo dentro del modelo*

*HA3: Tamaño de partícula p80 influye y es significativo dentro del modelo*

- Reactivo colector: Z-6

*H04: El reactivo colector Z-6 no influye y no es significativo dentro del modelo*

*HA4: El reactivo colector Z-6 no influye y no es significativo dentro del modelo*

- Reactivo espumante: F-07

*H05: El reactivo espumante F-07 no influye y no es significativo dentro del modelo*

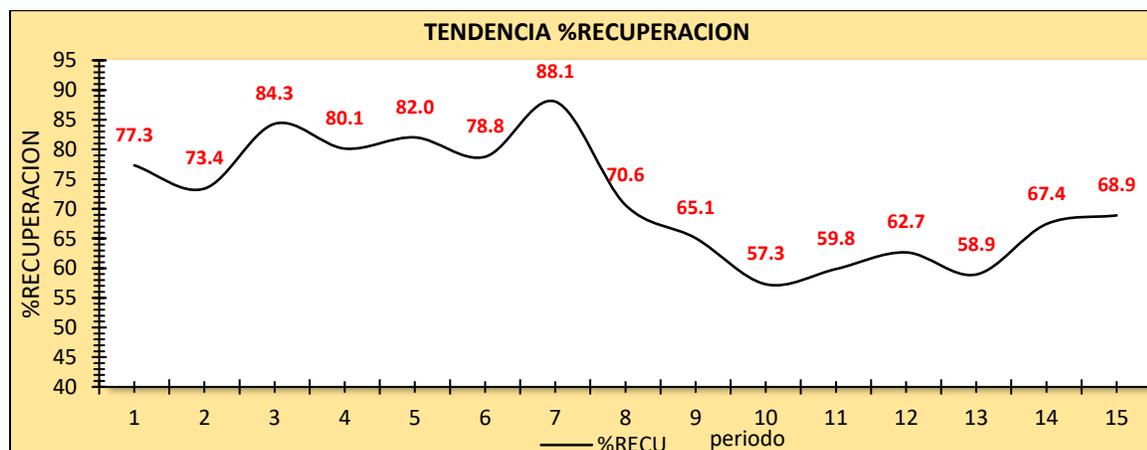
*HA5: El reactivo espumante F-07 influye y es significativo dentro del modelo*

### 6.2.3. Análisis inicia de datos experimentales

Para cuantificar el efecto de las variables predictoras sobre la variable respuesta (% recuperación), se realizan cálculos de regresión y correlación donde las cuales determinan como diferencia entre los valores. Mediante una diagraeme de dispersión se da inicio de análisis de datos para la variable respuesta que es % recuperación de cobre por un periodo de (16 días), esto con la finalidad de garantizar resultados certeros para su análisis. A continuación, los valores de las variables consideradas (% de recuperación Y, periodo días) se presenta en coordenadas (X1, Y1), (X2, Y2) .... (X16, Y16). En la figura 71 se observa la gráfica de dispersión.

#### Figura 71

*Tendencia de % recuperación durante las pruebas experimentales*



*Nota: Adaptación propia*

#### 6.2.4. Estimación de coeficientes de regresión lineal

Estimación de parámetros del modelo de regresión se muestra en tabla 32.

**Tabla 31**

*Coefficientes y error típico de regresión obtenido*

parámetros	Coefficientes	Error típico
Intercepción	13.7387034	24.190334
X 1	2.27253915	5.77862545
X 2	-0.8307795	0.9687532
X 3	0.13662591	0.04628147
X 4	0.74926353	0.30957442
X 5	-0.8638777	0.33295306

*Nota.* Adaptación propia

Con la aplicación de paquete estadístico en Excel se obtiene la tabla, en se muestran los coeficientes calculados con sus respectivos errores típico, finalmente el modelo de regresión múltiple lineal está representado por la siguiente ecuación.

$$Y = 13.7387034 + 2.27253915X_1 - 0.8307795X_2 + 0.13662591X_3 + 0.74926353X_4 - 0.8638777X_5$$

Se aprecia algunos coeficientes tienen signo negativo (-) la cual indica al incremento del valor de la variable independiente da como efecto valores decrecientes en % de recuperación de cobre los coeficientes de regresión tienen signo negativo, esto indica, que, al aumentar el valor de las variables, el valor de los coeficientes también nos indica que la variable X5 tiene mayor desviación(Z-6), Se procederá a probará más adelante la significancia de los coeficientes de cada variable independiente, esto se explicará con un diagrama de barato de efectos estandarizados.

Estimación de los valores específicos de los coeficientes se muestra en la tabla 33.

**Tabla 32***Estimación de efecto de coeficientes*

Parámetros	Coeficientes	Estadístico (t)
Variable X 1	2.27253915	0.39326639
Variable X 2	-0.8307795	-0.8575761
Variable X 3	0.13662591	2.95206495
Variable X 4	0.74926353	2.42030182
Variable X 5	-0.8638777	-2.5945931

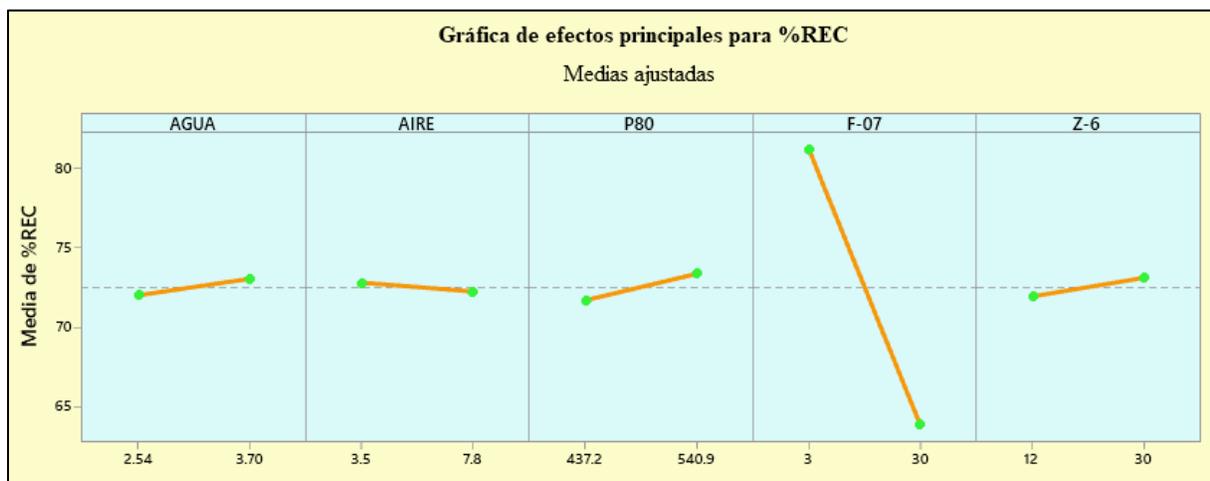
*Nota.* Adaptación propia**6.2.5. Efecto de variables y diagraame de Pareto**

Para mejor comprensión se presenta en un diagrama efectos principales, se realizará el análisis de cada variable y su efecto esto se puede ver en la figura 57, la dirección y pendiente con la finalidad de ver su importancia, para este análisis usaremos el software de estadística Minitap la cual es útil para establecer y analizar loa efectos, en la gráfica nos muestra que la variable X1(agua) no genera efecto significativo en la recuperación debido que variación no genera efecto en la variable respuesta, X2(aire) no tiene efecto significativo en la recuperación, X3(p80) tiene poco efecto en la recuperacion,X4(F-07) tiene efecto positivo significativo en la recuperación debido que variación tiene efecto en % recuperación, X5(Z-6) no tiene efecto en la variable respuesta. la figura muestra lo todo antes mencionado.

### 6.2.5.1. Principales efectos de repuesta

**Figura 72**

*Efecto de variables independientes al % recuperación*



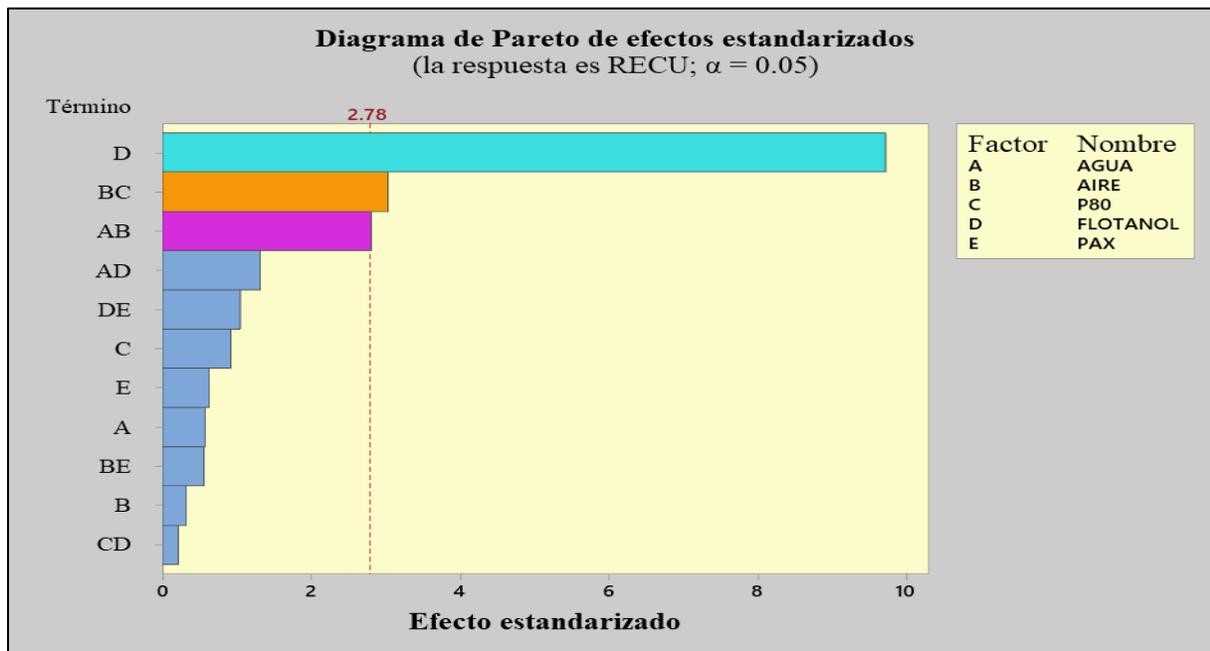
*Nota.* Adaptación propia

Para seguir con el análisis se realiza gráfico 72, de Pareto, para cuantificar efecto y significancia en la variable respuesta que es la recuperación de cobre, como se muestra en la figura nos respalda la significancia las variables independientes sobre la variable respuesta, se muestra como la variable significativa a X4(F-07) y X2(aire)xX3(p80) puesto que rebasa 2.228, las de más variables no son significativas y no tienen efecto en la recuperación, de esto se muestra en la siguiente figura.

### 6.2.5.2. Diagrama de Pareto

**Figura 73**

*Diagrama de Pareto de efectos estandarizados*



*Nota.* Adaptación propia

## 6.3. Inferencia en la regresión lineal múltiple

### 6.3.1. Intervalos de confianza y prueba de hipótesis para el modelo matemático

Los intervalos de confianza nos permiten hacer pruebas de hipótesis en paralelo para los coeficientes del modelo matemático, permitiendo acercarse, una vez calculado el valor de la variable en la muestra, entre qué rango de valores se encuentra el valor real inaccesible de la variable en la población, Un intervalo de confianza estadística permite calcular los valores que existen alrededor de una media de la muestra, se encuentra un rango superior y otro inferior como se puede ver en la tabla; para cada coeficiente (-), se estima la probabilidad determinada y se localiza el parámetro poblacional,

**Tabla 33***Intervalos de confianza y prueba de hipótesis*

Intercepción	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
	24.1903	0.5679	0.5826	-40.1607	67.6381
X 1	5.7786	0.3933	0.7024	-10.6030	15.1481
X 2	0.9688	-0.8576	0.4112	-2.9893	1.3277
X 3	0.0463	2.9521	0.0145	0.0335	0.2397
X 4	0.3096	2.4203	0.0360	0.0595	1.4390
X 5	0.3330	-2.5946	0.0267	-1.6057	-0.1220

*Nota.* Adaptación propia

Para intervalos de confianza de cada componente  $\beta$  está dado por la siguiente ecuación.

$$\hat{\beta}_i \pm t_{n-p-1; \alpha/2} \sqrt{\widehat{V}(\hat{\beta})_{ii}}$$

Donde:

$\hat{\beta}_i$  = es la  $i$  – esimo entrada de  $\hat{\beta}$

$t_{n-p-1; \frac{\alpha}{2}}$  = Es el cuartil superior  $\frac{\alpha}{2}$  de la distribución  $t_{n-p-1}$

$\widehat{V}(\hat{\beta})_{ii}$  = Es el  $i$ -esimo elemento de la varianza por el valor del coeficiente

Para verificar la hipótesis en el intervalo de confianza para el modelo matemático, con las siguientes ecuaciones:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_0: \beta_i \neq 0$$

La regla de decisión es rechazar si el intervalo de  $\beta_i$  incluye al valor de cero (0).

✓ Prueba de hipótesis para  $\beta_0$

Para intervalo de confianza 95% para  $\beta_0$  es (-40.1607;67.6381). esto para decir si el modelo debe incluir el intercepto  $\beta_0$ , se plantea contraste de hipótesis  $H_0: \beta_0 = 0$ , se puede verificar que 0 si está dentro del intervalo de confianza 95% e incluye valores positivos y negativos, esto nos indica que  $H_0$  no rechaza con una significancia 0.05.

✓ Prueba de hipótesis para  $\beta_1, \beta_2$

Dentro del intervalo de confianza 95% para  $\beta_1$  es (-10.6030;15.148);  $\beta_2$  es (-2.9893; 1.3277); se puede decir si el modelo debe o no incluir los interceptos  $\beta_1; \beta_2$  con esto podemos plantear contraste de hipótesis con  $H_0: \beta_1 = 0; H_0: \beta_2 = 0$  se puede verificar que 0 si está dentro del intervalo de confianza 95% e incluye valores positivos y negativos, esto nos indica que  $H_0$  no rechaza con una significancia 0.05. Esto es evidencia para sustentar que el agua, el p80 con lo cuales podemos evidenciar que no tienen efectos sobre la optimización de la recuperación de cobre en el proceso de flotación de partículas gruesas con Hydrofloat. En Cia. Minera Antapaccay S.A. con significancia  $\alpha=0.05$ .

✓ Prueba de hipótesis para  $\beta_3, \beta_4$

Dentro del intervalo de confianza 95% para  $\beta_3$  es (0.0335; 0.2397);  $\beta_4$  es (0.0595; 1.4390); se puede decir si el modelo debe o no incluir los interceptos  $\beta_3; \beta_4$  con esto podemos plantear contraste de hipótesis con  $H_0: \beta_3 = 0; H_0: \beta_4 = 0$  se puede verificar que 0 no está dentro del intervalo de confianza 95% e incluye valores positivos, lo que nos lleva sostener que el efecto marginal del producto sobre la fecundidad es negativo, con una significancia  $\alpha=0.05$ .

✓ Prueba de hipótesis para  $\beta_5$

Dentro del intervalo de confianza 95% para  $\beta_5$  es (-1.6057; -0.1220); se puede decir si el modelo debe o no incluir los intercepto  $\beta_5$ ; con esto podemos plantear contraste de hipótesis con  $H_0: \beta_5 = 0$ ; se puede verificar que 0 no está dentro del intervalo de confianza 95%, e incluye valores negativos, lo que nos lleva sostener que el efecto marginal del producto sobre la fecundidad es negativo, con una significancia  $\alpha=0.05$ .

### 6.3.2. Medida de coeficiente de determinación de la correlación múltiple

Se define el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) como la proporción de la varianza total de una variable independiente, indica que tan bien se ajusta a la variable que pretende explicar, El coeficiente de determinación tiene el problema de incrementarse siempre que se incrementa la cantidad de variables de regresión (a veces de manera artificial). Por lo tanto, para penalizar la cantidad de variables regresoras que forman parte del modelo de regresión, resulta adecuado emplear el coeficiente de determinación corregido por la cantidad de grados de libertad la cual se muestra en la tabla 35.

#### Tabla 34

*Medida de ajustes el modelo( $R^2$ )*

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.90487964
Coefficiente de determinación $R^2$	0.81880717
$R^2$ ajustado	0.72821076
Error típico	5.28551401
Observaciones	16
Valor-p	0.003

*Nota.* Adaptación propia

El valor obtenido para coeficiente de correlación, necesariamente se debe calcular si significancia. Como el valor-p es 0.003 menor al valor de significancia  $\alpha=0.05$ , se reafirma su significancia, esto afirma que existe una correlación de los datos, dado que  $R^2$  es 69.77,  $\alpha=0.05$ , entonces la correlación es significativa y se acepta que existe una buena asociación de datos, teniendo una influencia de variables independientes sobre la recuperación de cobre. En el modelo utilizado se obtuvo  $R=0.721$  la cual permita medir la calidad de ajuste del modelo lineal.

### 6.3.3. Pruebas de hipótesis ANOVA

Se realiza análisis de varianza del modelo de regresión propuesto. La suma de cuadrados del total corregido se obtiene directamente de las observaciones. La suma de cuadrados del error la obtenemos del a partir de los valores ajustados. La suma de cuadrados de regresión la obtenemos por diferencia. La hipótesis a probar es:

$$H_0: \beta_1 = 0 \text{ (el modelo es apropiado para explicar a Y)}$$

$$H_A: \beta_1 \neq 0 \text{ (el modelo no es apropiado para explicar a Y)}$$

Evaluación de intervalo de confianza

**Tabla 35**

*Resultados de pruebas de hipótesis ANOVA*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	1231.09	246.22	7.92	0.003
Lineal	5	1231.09	246.22	7.92	0.003
AGUA	1	4.30	4.30	0.14	0.718
AIRE	1	1.34	1.34	0.04	0.840
P80	1	10.81	10.81	0.35	0.568
FLOTANOL	1	1209.49	1209.49	38.92	0.000
PAX	1	5.14	5.14	0.17	0.693
Error	10	310.73	31.07		
Total	15	1541.82			

*Nota.* Adaptación propia

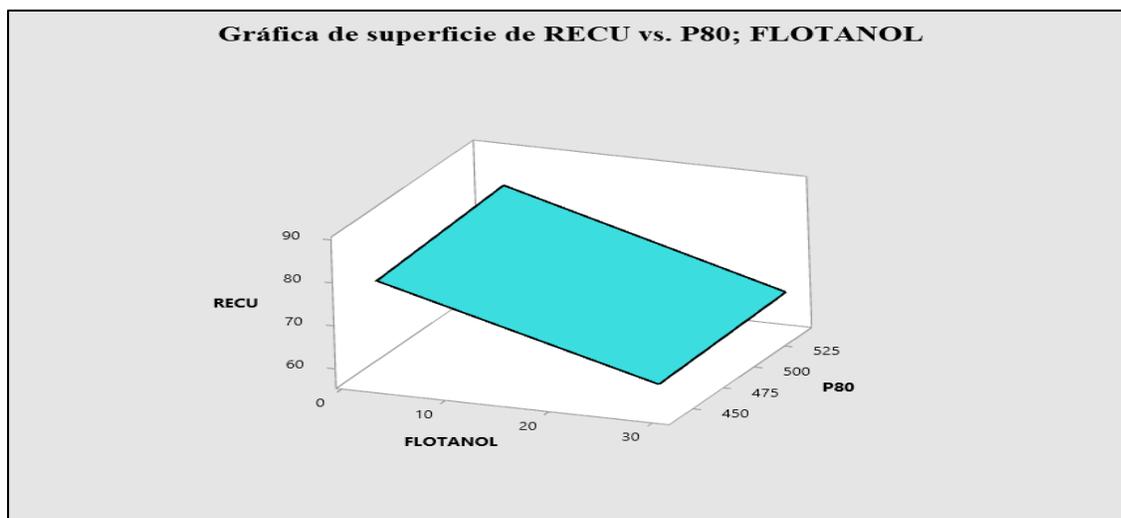
En la tabla se realiza para probar la hipótesis nula, del análisis de la varianza NOVA, en modelo de regresión con nivel de significancia 0.05 de distribución F con 5 y 15 con grados de libertad es 7.92, y valor-p igual a 0.003, con lo cual evidenciamos en contra de la hipótesis nula, en efecto al menos una de las variables independientes tiene efecto significativo sobre la variable respuesta que es la recuperación de cobre, efectivamente la variable X4 ( F-07) es significativo sobre el modelo matemático con la que se reafirma los análisis anteriores, y no tienen efecto significativo X1, X2, X3 y X5, el modelo matemático se explica con X4 ( F-07).

#### 6.3.4. Optimización del modelo

De los análisis anteriores se obtuvieron como pronostico consiste para la variable X1(F-07). Se realiza la optimización mediante el uso de Minitab, los resultados son los siguientes. La Figura, muestra un modelo, como consecuencia de tomar las variables X4 y X3, frente a la variable Y, observándose la región óptima cuando X4 con valor mínimo y X3 toma valores máximos, por se integra la modelación estadística con los modelos como se observa en la figura 18.

#### Figura 74

*% recuperación vs p80 y espumante*

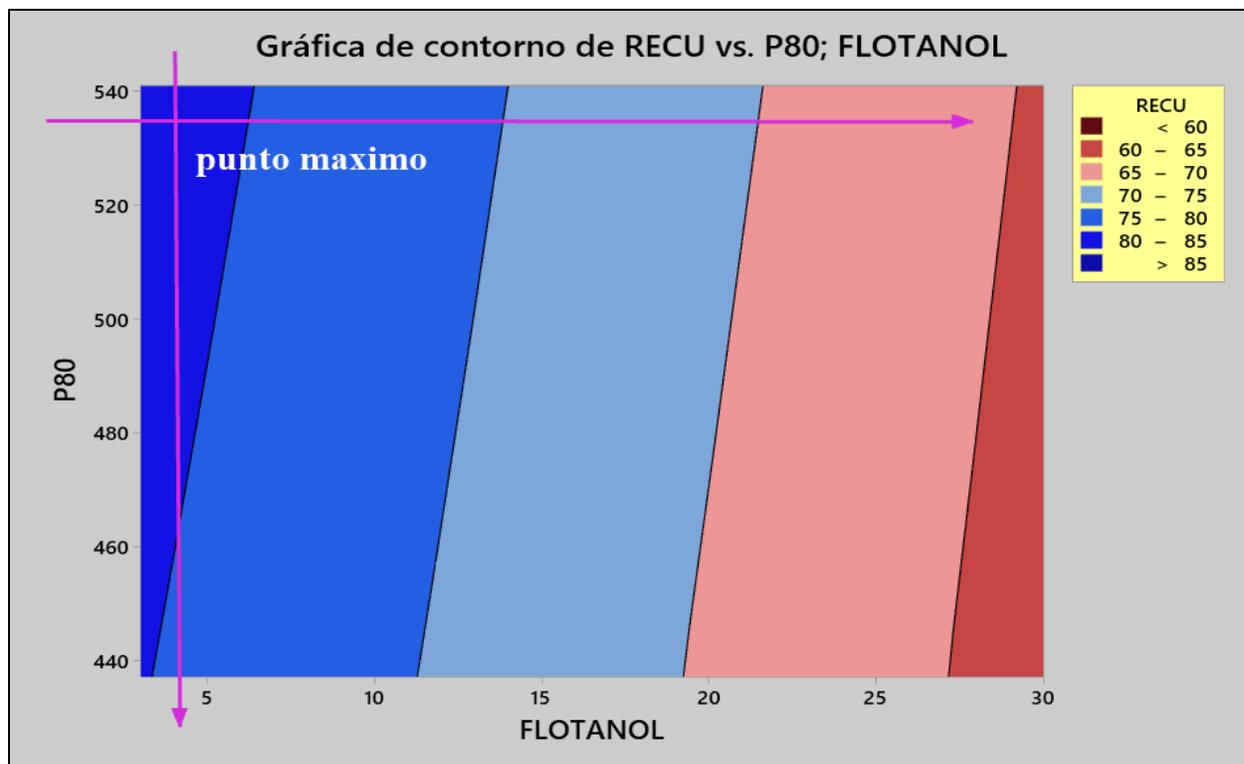


*Nota. Adaptación propia*

La grafica 75, de contorno nos respalda los resultados basados en análisis, sobre la optimización de datos, como se muestra en la figura donde se puede ver la variable respuesta toma valores mayores a 85% y la recuperación de cobre toma valores  $60\% <$  en la zona roja.

**Figura 75**

*Grafica de contorno % Recuperación vs espumante*



*Nota.* Adaptación propia

### 6.3.5. *Parámetros de optimización de respuesta: Y*

Los parámetros se muestran en la tabla 35 para su respectivo análisis y interpretación

**Tabla 36**

*Parámetros de optimización*

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Rec.	Máximo	57.2899	88.0541		1	1

*Nota:* Data software MiniTAB

### 6.3.6. Predicción de respuesta múltiple

Resultado de predicción múltiple se muestra en la tabla 36. Para su respectivo análisis

**Tabla 37**

*Resultados de predicción múltiple*

Variable	Valor de configuración
AGUA	3.7
AIRE	3.5
P80	540.9
F-07	3
Z-6	30

*Nota.* Adaptación propia

### 6.3.7. Solución de la optimización: Y

La solución de la optimización se muestra en la tabla 38. Para su análisis.

**Tabla 38**

*Solución de optimización*

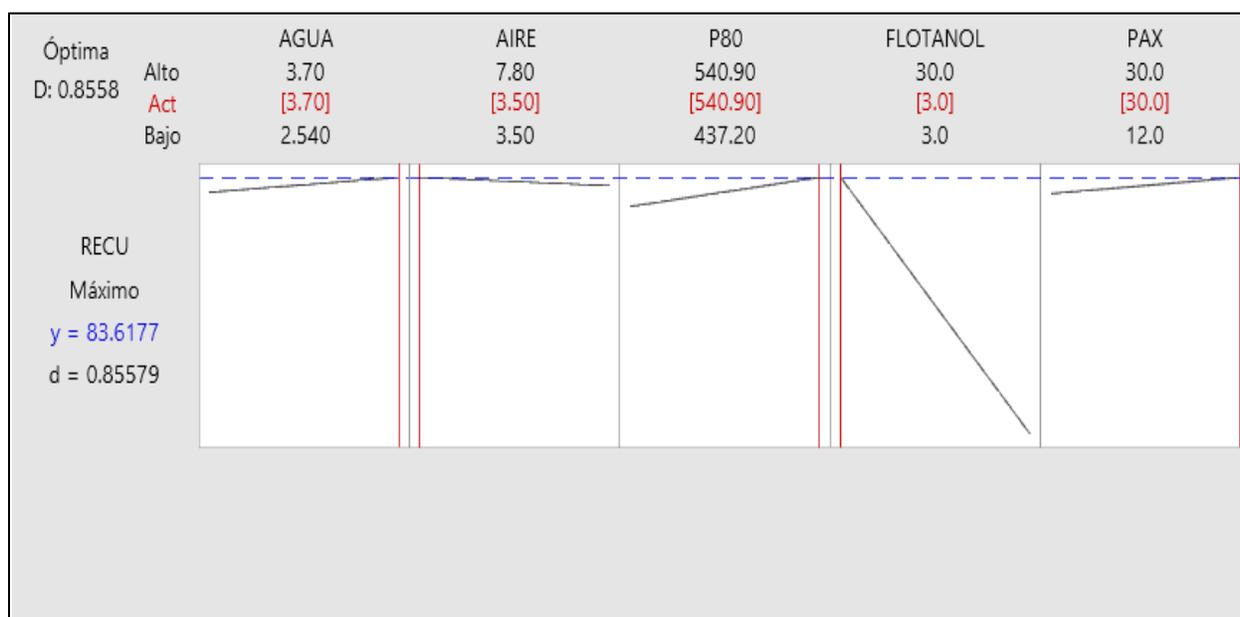
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	LC superior	LC superior
			de 95%	de 95%
RECU	83.62	3.88	90.74	96.52

*Nota.* Adaptación propia

Para los datos sobre recuperación de cobre, la deseabilidad compuesta es 0.85579. la gráfica muestra los valores de respuesta en cada variable independiente. La configuración actual es, agua = 3.70m<sup>3</sup>/hr, aire = 3.5L/min, p80 = 540.90  $\mu$ m, Flotanol(F-07) = 3.0gr/ton y pax(Z-6) = 30gr/ton, La meta era maximizar % de recuperación de cobre. Su valor pronosticado es 83.6177% como se muestra en la tabla 37, su deseabilidad individual es 0. 85579.todo lo mencionado se muestra e la figura 76.

### Figura 76

*Grafica de optimización*



*Nota. Adaptación propia*

## CONCLUSIONES

- ✓ El resultado de pruebas experimentales nos da a conocer que para p80 en alimentación a la celda Hydrofloat en rango ( $489.5 \leq p80 \leq 540.9$ )  $\mu\text{m}$ , donde el relave de planta concentradora Tintaya fue en un rango de ( $272.6 \leq p80 \leq 413.5$ ). se obtuvieron % de recuperación más elevadas en rango de ( $82 \leq \% \text{recu} \leq 88.1$ ). Para  $p80 \leq 489.5$  se obtuvo % de recuperación  $\leq 82\%$  debido que celda hydrofloat es de flotación de gruesos y demuestra la sensibilidad de variación de p80.
- ✓ El resultado más favorable obtenido fue de 88.1% de recuperación con  $p80 = 489.5 \mu\text{m}$ , agua =  $3.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ , aire =  $7.8 \text{ L}/\text{min}$ , F-07 =  $12 \text{ gr}/\text{ton}$ , Z-6 =  $12 \text{ gr}/\text{ton}$ . cuando el % recuperación planta Tintaya fue desfavorable con 76.09% y p80 relave Tintaya fue =  $309.5 \mu\text{m}$  y dando como respaldo a la planta para elevar la recuperación cuando esta deciente debido a varios factores como, p80, work Index, material arcilloso, etc.
- ✓ Según el análisis de regresión múltiple el espumante (F-07) y P80xAire tienen la mayor influencia en la recuperación de cobre y son significativos dentro del modelo, debido que las partículas gruesas flotan bajo un lecho fluidizado rico en burbujas finas, las cuales se adhieren en la superficie de partículas con poca liberación de mineral valioso cambiando su peso específico para ser recuperados en la flotación con Hydrofloat.
- ✓ resultado de difracción de rayos X (DRX) del concentrado obtenido nos muestran el concentrado Hydrofloat las partículas con mineral valioso que encuentran entre ( $266.72-778.5$ )  $\mu\text{m}$ , asociados con minerales valioso que se encuentra entre ( $55.44-273.61$ )  $\mu\text{m}$ , las cuales están asociados como: calcopirita- cuarzo, calcopirita-cuarzo-bornita y presencia de calcopirita-cuarzo-plagioclasa. Cuyos resultados de análisis granulométrico donde P80 se encuentra entre ( $246.5-386.8$ )  $\mu\text{m}$ .

## RECOMENDACIONES

Debido a la importancia de la investigación de esta nueva tecnología de flotación de partículas gruesas, de los resultados obtenidos se recomienda los siguiente:

- ✓ El tiempo de residencia de las partículas dentro de la celda de flotación Hydrofloat es mayor que en las celdas convencionales para que los minerales con poca aria superficial libre pueden ser captados por el colector y las burbujas finas dentro del lecho fluidizado. Se recomienda realizar pruebas en diferentes tiempos de residencia y así evaluar el efecto en la recuperación.
- ✓ El %solidos tiene mucha importancia en el proceso de flotación, a medida que %sol baja tiene mayor probabilidad que los colectores capten debido que las partículas gruesas tienen poca superficie liberada, se recomienda realizar pruebas de flotación en diferentes %sol para evaluar los colectores y su influencia en la recuperación de cobre.

## BIBLIOGRAFIA

- Andrade, S. (1995). *Modelamiento y simulacion de un circuito de flotacion de minerales*. Bogota: IEP. [
- Antapaccay. (2019). *Manual de operaciones de planta*. Peru.
- Linares, N. (2014). *Procesamiento de Minerales - Mineralurgia II*. Peru.
- Sutulov, A. (1963). *Flotacion de Minerales*. Chile.
- L. Vollert, B. Akerstrom y B. Seaman. (2018). *La primera aplicación de eriez hydrofloat en la industria de newcresttm tecnología para la recuperación de cobre de relaves en el valle de cadia operaciones*. Pensilvania 16506
- Michael, J. (2016). *Diseño de circuito de alimentación dividida para la recuperación primaria de sulfuros*. Pensilvania EE. UU. 16506.
- M.Sc José Concha, (2018). *Flotación de partículas gruesas aplicada a minerales sulfurados de cobre*. Eriez Corp. USA.
- Michael J. (2016). *Recuperación de valores de un corriente de relaves de cobre porfídico*. Pensilvania EE. UU.
- Eric Wasmund y Jose (2023). *Sopesar la creciente importancia de las tecnologías en la gestión del agua y cómo se*. División Perú.
- Julio. Ángeles y Jorge (1995). *Procesamiento estadístico de datos con Minitap y Harvard Crapbics*
- Hernández, R y Fernández .C (2014). *Metodología de investigación*

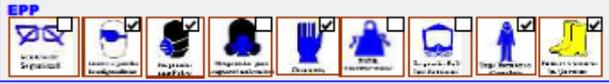
**ANEXOS**

RECUPERACION DE PARTICULAS GRUESAS DE MINERALES SULFURADOS DE COBRE APARTIR DE LOS RELAVES CON HYDROFLOAT EN LA CIA MINERA ANTAPACCA Y S.A. ESPINAR-CUSCO				
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema general: ¿será posible recuperar partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre de los relaves de flotación con la celda Hydrofloat de la cia minera Antapaccay S.A.-planta concentradora Tintaya?</p>	<p>Objetivo General: Recuperar partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre de los relaves de flotación con la celda Hydrofloat de la cia minera Antapaccay S.A. - planta concentradora Tintaya</p>	<p>HG: Es viable recuperar partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre de los relaves de flotación con la celda Hydrofloat de la cia minera Antapaccay S.A. - planta concentradora Tintaya</p>	<p>DEPENDIENTE</p> <p>✓ Recuperación de cobre</p>	<p><b>Tipo de investigación.</b></p> <p>Experimental- Cuantitativo</p> <p><b>Nivel de investigación.</b></p> <p>Descriptivo Explicativo</p> <p><b>Diseño experimental.</b></p> <p>Factorial con uso del software minitap</p>
<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>PE1: ¿Serán adecuadas los minerales valiosos procedentes de los relaves de flotación tanto mineralógicamente como en composición química en los relaves de la planta concentradora de Tintaya?</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>OE1: Identificar las especies mineralógicas con DRX y composición química con absorción atómica, de los minerales valiosos en los relaves de flotación de la planta concentradora Tintaya.</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>H1: la identificación de especies mineralógicas y composición química de los minerales valiosos en los relaves de flotación de la planta concentradora Tintaya, son eficientes para la flotación con Hydrofloat.</p>	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>✓ Flujo de agua</p> <p>✓ Flujo de aire</p> <p>✓ P80</p> <p>✓ Pax</p> <p>✓ Flotanol</p>	<p><b>Población y muestra</b></p> <p>• <b>La población</b> es todos los relaves de la planta concentradora TINYATA, de la empresa minera ANTAPACCA Y</p> <p>• <b>La muestra</b> requerida es de 5.4 metros cúbicos/hora de relave final de flotación.</p>
<p>PE2: ¿Cómo es la influencia del P80 en los relaves al final de la planta concentradora Tintaya, alimento y under flow de Cross Flow de la planta piloto (CPF)?</p>	<p>OE2: Calcular el P80 de relave final de la planta concentradora Tintaya, alimento y Under flow de Cross Flow de la planta piloto (CPF) influye en el porcentaje de recuperación de cobre.</p>	<p>H2: El P80 de relave final de la planta concentradora Tintaya, alimento y Under flow de Cross Flow de la planta piloto (CPF) influye significativamente en el porcentaje de recuperación de cobre.</p>		
<p>PE3: ¿Cuáles son las variables óptimas operativos de la celda Hydrofloat que permite una buena recuperación de las partículas gruesas de los minerales sulfatados de cobre a partir de relave final del proceso de flotación??</p>	<p>OE3: Optimizar las variables operativas de la celda Hydrofloat que permita una buena recuperación de las partículas gruesas de minerales sulfurados de cobre en los relaves finales del proceso de flotación.</p>	<p>H3: Optimizar las variables en la celda Hydrofloat permite garantizar buena recuperación de las partículas gruesas de los minerales sulfurados de cobre a partir de relave final del proceso de flotación.</p>		

*Operacionalización de Variables e Indicadores*

VARIABLE NOMINAL	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD	INSTRUMENTO DE MEDICION
% de recuperación	La recuperación es un indicador de calidad, de la eficiencia de la concentración de minerales, y se expresa en porcentaje	Relación entre la masa del material útil obtenida en el concentrado y la masa del material útil en la alimentación.	Cálculo de masa recuperada de cobre	porcentaje	%	Balance metalúrgico-Exel
Flujo de aire de flotación	Volumen de aire que pasa a través de una sección transversal dada por unidad de tiempo en la celda de flotación.	volumen de aire que se inyecta a la celda de flotación por cada minuto	Cantidad de aire en volumen que se inyecta por unidad de tiempo a la celda	Volumen/ minuto	l/min	Sensor de flujo de aire
Flujo de agua de fluidización	Volumen de agua que pasa en contra corriente a través de una tubería de sección transversal dada por unidad de tiempo.	volumen de agua que se inyecta a la celda Hydrofloat en contracorriente por cada hora	Cantidad de aire en volumen que se inyecta por unidad de tiempo a la celda	Volumen/hora	m3/h	Sensor de flujo de agua
P80	Es la distribución por tamaños de las partículas de un mineral que pasa por una serie de tamices	Adquiere gran importancia dado que el proceso de flotación requiere que las especies minerales útiles tengan un grado de liberación adecuado para su concentración. Se determina mediante el juego de mallas	Distribución de tamaño	Distribución de tamaños	um	Tamices o mallas sistema Tyler
PAX	Xantato Amilico de Potasio es una sustancia química que se usa como reactivo de flotación en la industria de minería para la extracción de minerales de gran valor	Es un colector primario que colecta a minerales auríferos y que ayuda en su flotabilidad. se establece la cantidad adecuada de reactivos en gramos por tonelada. Y se dosifica.	concentración	volumen	gr/tn	Micro pipeta
Flotanol	sustancia química que se utiliza en la flotación por espuma para separar minerales valiosos de desechos.	Es un reactivo químico que se utiliza para la flotabilidad de los minerales generando espumas estables	concentración	volumen	gr/tn	Micro pipeta

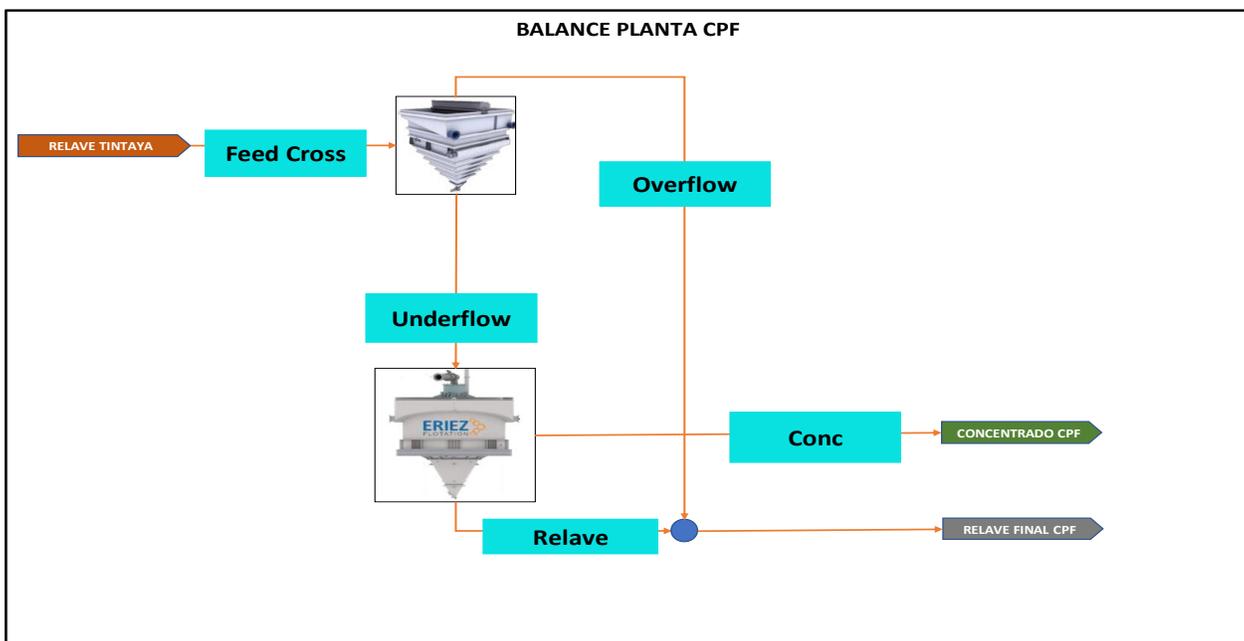
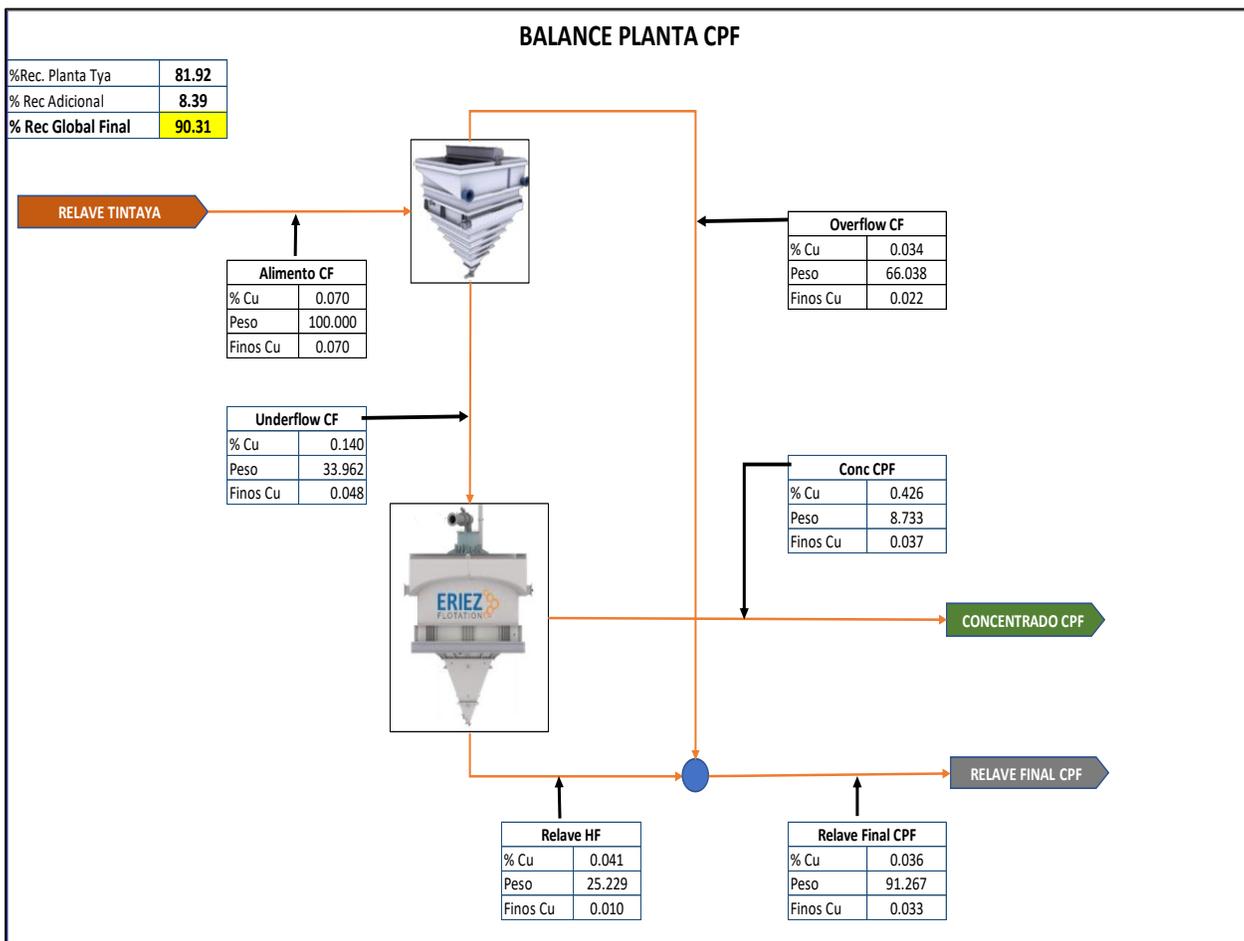
## Hojas MSDS de reactivos utilizados

 <b>MANEJO DE SUSTANCIAS QUIMICAS</b> <b>ANTARACCAY</b>		Proveedor: Clariant Produkte (Deutschland) GmbH Telefono emergenci: +56 2 2247 3600 (CITUC) Código ellipse:
<b>REG - 1555</b>		
Nombre comercial: <b>FLOTANOL C 07</b> Nombre químico: Mezcla de polipropilenglicol		
Número NU: N.I.	Versión: 001	Fecha de Ingreso: 01/08/2022
Número riesg: N.I.	Densidad vapor relativa: N.I.	
T* Descomposición: > 260 °C	Presion vapor a 20°C: N.I.	
Punto de Ebullición (°C): > 200 °C	Concentración: N.I.	
Punto de Fusión (°C): < -20 °C	PH: 6.0	
Punto de Inflamación (°C): > 200 °C	Peso molecular(gr/grmo): N.I.	
T* de Autoignición °C: N.I.	Limite permisible: N.I.	
Densidad relativa al agua: 1,01 g/cm3	Solubilidad: En agua	
<b>EPP</b> 		
		
Composición: Polipropilenglicol	Tarea en que se utiliza: Agente espumante para la flotación	
Información toxicológica: Sin datos disponibles	Características o propiedades: Líquido incoloro	
<b>Exposición Aguda - Primeros Auxilios</b>		
<b>Inhalación:</b> Si se ha inhalado, transportarlo al aire fresco. Consultar a un médico.	<b>Piel:</b> En caso de un contacto, lavar inmediatamente la piel con agua en abundancia.	
<b>Ojos:</b> En caso de un contacto, enjuagar inmediatamente los ojos con agua en abundancia por lo menos durante 15 minutos	<b>Ingestión:</b> Llamar inmediatamente al médico y facilitarle esta Ficha de	
<b>Prevención:</b> Débiles efectos irritantes en los ojos y el tracto respiratorio, muy raramente reacciones alérgicas en la piel.	<b>Exposición crónica:</b> No irrita significativamente la piel. Sin embargo, puede provocar ligeras eritemas y ligeras alteraciones en la función de barrera de la piel.	
<b>Incendio:</b> Medios de extinción apropiados: Chorro pulverizado de agua, Espuma resistente al alcohol, Dióxido de carbono (CO2), Polvo seco	<b>Fugas o Derrames:</b> Recoger con material absorbente (p. ej. arena, serrín). Lavar los restos con agua.	
<b>Reactividad:</b> No se conoce reacciones peligrosas bajo condiciones de uso normales.	<b>Almacenamiento:</b> Medios de extinción apropiados. No comer ni beber durante su utilización. Mantener apartado de bebidas y alimentos. Lávese las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral. Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas.	
<b>Embalaje y transporte:</b> No considerado como mercancía peligrosa.		
<b>Mantenimiento</b> <input type="checkbox"/> Laboratorio predictivo <input type="checkbox"/> Taller alta tensión <input type="checkbox"/> Taller camiones <input type="checkbox"/> Taller muevieterras <input type="checkbox"/> Taller palas y perforadoras	<b>Oxidos</b> <input type="checkbox"/> Area seca <input type="checkbox"/> Area humeda <input type="checkbox"/> Manto mecanico-electrico <input type="checkbox"/> Laboratorio metalurgico	<b>Sulfuros</b> <input type="checkbox"/> Laboratorio quimico <input type="checkbox"/> Taller mecanico concentradora <input type="checkbox"/> Taller mecanico chancadora <input type="checkbox"/> Taller electrico <input type="checkbox"/> Concentradora
	<b>SS.TT.</b> <input type="checkbox"/> Muestretria <input type="checkbox"/> Geotécnia <input type="checkbox"/> Medio Ambiente <input type="checkbox"/> Planta de agua <b>Mina</b> <input type="checkbox"/> Voladura	<b>Administ.</b> <input type="checkbox"/> SSGG <input type="checkbox"/> Almacen <b>Seguridad</b> <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Emergencia

 <b>MANEJO DE SUSTANCIAS QUIMICAS</b> <b>ANTA PACCA Y</b>		Proveedor Telefono emergencia Código ellipse	REACTIVOS NACIONALES SA 277-8000 
		REG -	<b>320</b>
Nombre comercial	<b>XANTATO AMILICO DE POTASIO</b>		
Nombre químico	Xantato Amilico de Potasio		
Número NU	3342	Versión	002
Número riesgo	4.2	Fecha de ingreso	07-01-2020
T° Descomposición	N.I	Densidad vapor relativa	N.I
Punto de Ebullición (°C)	N.I	Presion vapor a 20°C	N.I
Punto de Fusión (°C)	124	Concentración	90%
Punto de Inflamación (°C)	N.I	PH	10.8
T° de Autoignición °C	N.I	Peso molecular(grammo)	202.37
Densidad relativa al agua	N.I	Limite permisible	N.I
		Solubilidad	soluble
<b>EPP</b> <input type="checkbox"/> Gafas <input checked="" type="checkbox"/> Guantes <input checked="" type="checkbox"/> Botas <input checked="" type="checkbox"/> Respirador <input checked="" type="checkbox"/> Mascarilla <input checked="" type="checkbox"/> Sombrero <input checked="" type="checkbox"/> Zapatos <input checked="" type="checkbox"/> Chaqueta <input checked="" type="checkbox"/> Guantes <input checked="" type="checkbox"/> Botas <input checked="" type="checkbox"/> Sombrero <input checked="" type="checkbox"/> Zapatos <input checked="" type="checkbox"/> Chaqueta			
			
Composición	Xantato Amilico de Potasio	Tarea en que se utiliza	Se aplica en el proceso de flotación de minerales
Información toxicologica	Tóxico-Irritante leve en piel y córnea (ojos) y cuando se Ingre	Características o propiedades	Sólido de color blanquecino a amarillo con olor a azufre
<b>Exposición Aguda - Primeros Auxilios</b>			
Inhalación	N.A	Piel	Lavar la zona afectada con abundante agua durante 5 minutos.
Ojos	Lavar con abundante agua durante 10 minutos y llamar ayuda médica.	Ingestión	Tomar abundante agua y consultar al médico de inmediato
Prevención	Usar respirador con filtro, guantes de goma, lentes con protección lateral, traje y botas de trabajo. Bomberos: usar traje y equipo de respiración autónomo.	Exposición crónica	No disponible
Incendio	Use como extintor: polvo químico, dióxido de carbono. Los vapores de la combustión producen gases tóxicos de disulfuro de carbono.	Fugas o Derrames	Absorber con arena o con tierra, si está el derrame sólido se debe recoger con pala y reemboisarlo hasta su disposición final.
Reactividad	Es estable, se debe evitar mezclar con ácidos	Almacenamiento	Debe almacenarse en un área fresca, seca y bajo techo
Embalaje y transporte	Lávese las manos luego de manipularlo, evite estar cerca de llama, chispas o fuego.		
<b>Mantenimiento</b> <input type="checkbox"/> Laboratorio predictivo <input type="checkbox"/> Taller alta tensión <input type="checkbox"/> Taller camiones <input type="checkbox"/> Taller muevetierras <input type="checkbox"/> Taller palas y perforadoras	<b>Oxidos</b> <input type="checkbox"/> Area seca <input checked="" type="checkbox"/> Area humeda <input type="checkbox"/> Manto mecanico-electrico <input type="checkbox"/> Laboratorio metalurgico	<b>Sulfuros</b> <input type="checkbox"/> Laboratorio químico <input type="checkbox"/> Taller mecanico concentradora <input type="checkbox"/> Taller mecanico chancadora <input type="checkbox"/> Taller electrico <input type="checkbox"/> Concentradora	<b>SS.TT.</b> <input type="checkbox"/> Muestretria <input type="checkbox"/> Geotecnia <input type="checkbox"/> Medio Ambiente <input type="checkbox"/> Planta de agua <b>Mina</b> <input type="checkbox"/> Voladura
		<b>Administ.</b> <input type="checkbox"/> SSGG <input checked="" type="checkbox"/> Almacen <b>Seguridad</b> <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Emergencia	

 <b>MANTO DE SUSTANCIAS QUIMICAS</b> <b>ANTAPACCA Y</b>		Proveedor: SYSTEM CORPORACION Telefono emergencia: 2222 Código ellipse:
		REG - <b>782</b>
Nombre comercial: <b>DIESEL SYSTEM CLEANER LIQUI-MOLY</b> Nombre químico: DIESEL SYSTEM CLEANER LIQUI-MOLY		
Número NU:	N.I.	Version: 001
Número riesg:	N.I.	Fecha de Ingreso: 10-09-2013
T° Descomposición:	N.I.	Densidad vapor relativa: N.I.
Punto de Ebullición (°C):	N.I.	Presión vapor a 20°C: N.I.
Punto de Fusión (°C):	N.I.	Concentración: N.I.
Punto de Inflamación (°C):	N.I.	PH: N.I.
T° de Autoignición °C:	N.I.	Peso molecular/gramo: N.I.
Densidad relativa al agua:	N.I.	Límite permisible: N.I.
		Solubilidad: N.I.
<b>EPP</b> 		
		
Composición:	Derivados del petroleo.	Tarea en que se utiliza:
Información toxicológica:	Toxico en caso de presentarse sintomas consulte al medico.	Características o propiedades:
<b>Exposición Aguda - Primeros Auxilios</b>		
Inhalación:	Salga a respirar aire fresco si ha inhalado accidentalmente los vapores si se sienten molestias, acudir al medico.	Piel:
Ojos:	Enjuagar inmediatamente con abundancia de agua, tambien debajo de los parpados, por lo menos durante 15 minutos, consulte al medico	Ingestión:
Prevención:	Use: lentes con protección lateral, respirador con filtro, guantes, overol y zapatos de trabajo. Bomberos: usar traje completo y equipo de respiración autónomo.	Exposición crónica:
Incendio:	Usar un agente extintor adecuado para el incendio circundante.	Fugas o Derrames:
Reactividad:	Estable bajo condiciones normales de manipuleo y uso.	Almacenamiento:
Embalaje y transporte:	Requiere condiciones adecuadas de transporte	
<b>Mantenimiento</b> <input type="checkbox"/> Laboratorio predictivo <input type="checkbox"/> Taller alta tensión <input type="checkbox"/> Taller camiones <input type="checkbox"/> Taller mueveterras <input type="checkbox"/> Taller palas y perforadoras	<b>Oxidos</b> <input type="checkbox"/> Area seca <input type="checkbox"/> Area humeda <input type="checkbox"/> Manto mecanico-electrico <input type="checkbox"/> Laboratorio metalurgico	<b>Sulfuros</b> <input type="checkbox"/> Laboratorio quimico <input type="checkbox"/> Taller mecanico concentradora <input type="checkbox"/> Taller mecanico chancadora <input type="checkbox"/> Taller electrico <input type="checkbox"/> Concentradora
<b>SS.TT.</b> <input type="checkbox"/> Muestreia <input type="checkbox"/> Geotecnia <input type="checkbox"/> Medio Ambiente <input type="checkbox"/> Planta de agua <b>Mina</b> <input type="checkbox"/> Voladura	<b>Administ.</b> <input type="checkbox"/> SSGG <input type="checkbox"/> Almacen <b>Seguridad</b> <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Emergencia	

Balace de planta piloto de flotación de partículas gruesas



$$\%Rec = \frac{c(f - t)}{f(c - t)} * 100$$

f	Ensaye alimento
c	Ensaye concentrado
t	Ensaye relave

DESCRIPCIÓN	%distri				
	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Rlv Tya)	0.07	100.00	0.07	100.00	100.00
Underflow CF	0.14	<b>67.92</b>	0.05	33.96	33.96
Overflow CF	0.03	32.08	0.02	66.04	66.04

DESCRIPCIÓN	%distri				
	% Cu	% Rec	Finos	Peso	% Peso
Alimento (Underflow CF)	0.14	100.00	0.05	33.96	33.96
Concentrado CPF	0.43	<b>78.24</b>	0.04	8.73	8.73
Relave HF	0.04	21.76	0.01	25.23	25.23

#### CÁLCULO RELAVE FINAL CPF

	% Cu	Peso	Finos
Overflow CF	0.03	66.04	0.02
Relave HF	0.04	25.23	0.01
Relave Final CPF	<b>0.04</b>	91.27	0.03

#### CÁLCULO RECUPERACIÓN CPF

	%Cu	Peso	Finos	%Rec
Alimento CF	0.07	100.00	0.07	100.00
Conc HF	0.43	8.73	0.04	<b>53.15</b>
Relave Final CPF	0.04	91.27	0.03	46.85

#### CÁLCULO RECUPERACIÓN ADICIONAL

% Rec Ro	90
% Rec Cln	97
% Rec Adicional	<b>8.388713</b>

<b>%Rec Global Final</b>	<b>90.30871</b>
--------------------------	-----------------

Celda de flotación piloto en funcionamiento

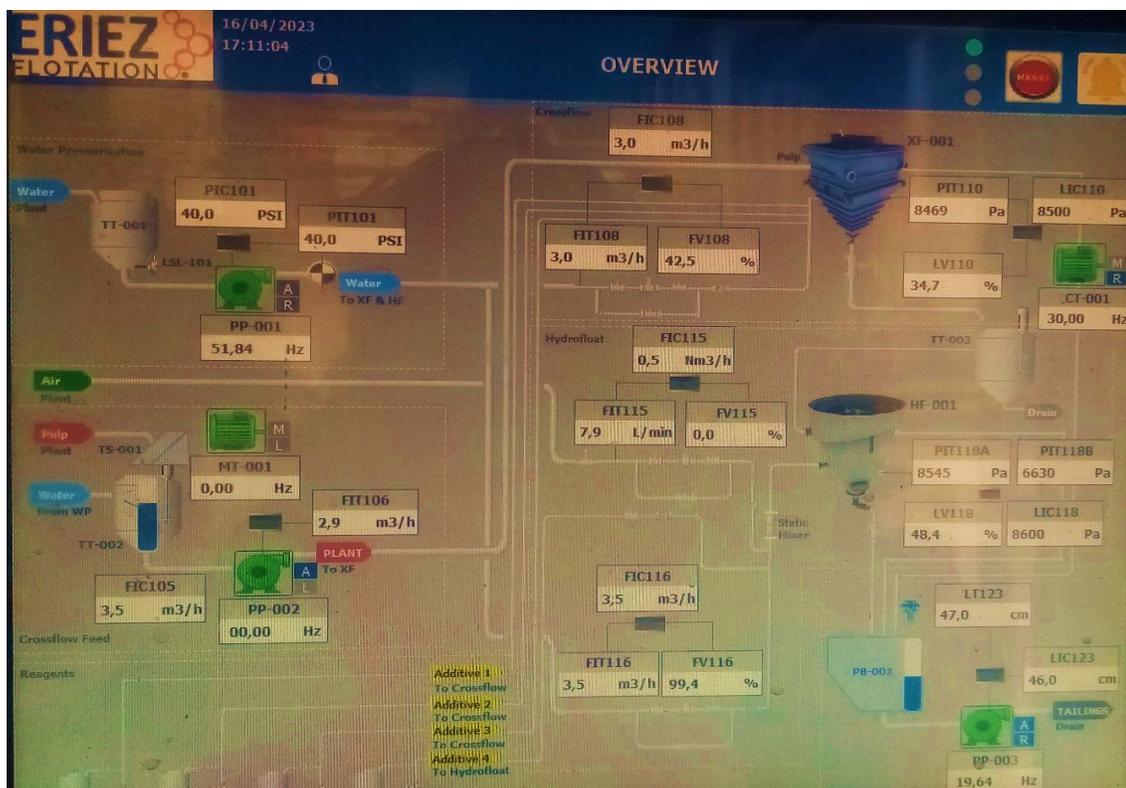


Parte interna de la celda Hydrofloat



Control de parámetros de planta piloto de flotación de gruesos

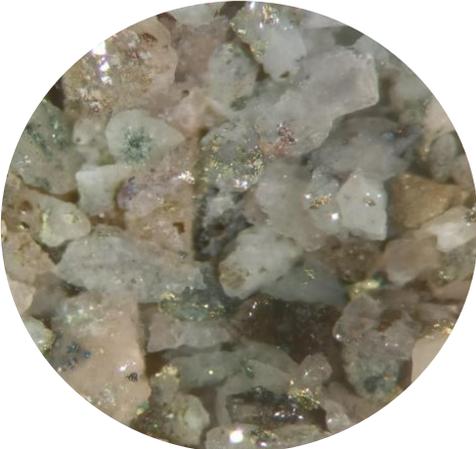




Preparación de muestras



## Fotografías de concentrado y relave de Hydrofloat

	CONCENTRADO HYDROFLOAT	RELAVE HYDROFLOAT
Prueba 11		
Prueba 12		
Prueba 13		