



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**OPTIMIZACIÓN DE LA FLOTACIÓN ULTRAFINA CON CELDAS  
COLUMNA PARA MEJORAR LA RECUPERACIÓN DE ESTAÑO  
A NIVEL LABORATORIO EN LA UNIDAD MINERA SAN  
RAFAEL, ANTAUTA - REGIÓN PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JUAN JUNIOR MAMANI CCAPA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todos ellos dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.



## AGRADECIMIENTOS

A la primera persona, que se lo quiero agradecer es mi tutor Mg. Sc. Oswaldo Maynas, que sin su ayuda y conocimiento no hubiese sido posible realizar este proyecto.

A mis padres, por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida.

A mi padre, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue y que en esta vida nadie regala nada.

A mi madre, por cada día hacerme ver la vida de una forma diferente y confiar en mis decisiones.

A mi hermana, hermano y sobrinos quienes son mi motor y motivo de seguir creciendo profesionalmente.



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 18**

**ABSTRACT..... 19**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1.1</b> | <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>           | <b>21</b> |
| <b>1.2</b> | <b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>              | <b>22</b> |
| 1.2.1      | Problema General.....                             | 22        |
| <b>1.3</b> | <b>JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO:.....</b>           | <b>22</b> |
| <b>1.4</b> | <b>AMBITO DE ESTUDIO.....</b>                     | <b>27</b> |
| 1.4.1      | Ubicación.....                                    | 27        |
| <b>1.5</b> | <b>PROCEDENCIA DEL MINERAL.....</b>               | <b>30</b> |
| 1.5.1      | Proyecto recuperación de relaves bofedal II ..... | 30        |
| <b>1.6</b> | <b>HIPOTESIS.....</b>                             | <b>30</b> |
| 1.6.1      | Hipótesis del trabajo .....                       | 30        |
| 1.6.2      | Hipótesis específica .....                        | 31        |
| <b>1.7</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>                            | <b>31</b> |
| 1.7.1      | Objetivo general. ....                            | 31        |
| 1.7.2      | Objetivos específicos.....                        | 31        |



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>2.1</b>  | <b>MARCO LEGAL.....</b>                                 | <b>32</b> |
| 2.1.1       | Descripción del proyecto.....                           | 32        |
| <b>2.2</b>  | <b>ESPECIFICACIONES TECNICAS APLICADAS.....</b>         | <b>32</b> |
| 2.2.1       | Alcance .....   | 32        |
| <b>2.3</b>  | <b>MARCO CONCEPTUAL.....</b>                            | <b>32</b> |
| 2.3.1       | Flotación de celda columna.....                         | 32        |
| 2.3.2       | Zonas de una Columna de Flotación. ....                 | 33        |
| 2.3.2.1     | Zona de Recuperación (1).....                           | 35        |
| 2.3.2.2     | Zona de Limpieza (2) .....                              | 36        |
| 2.3.2.3     | Zona de Espuma (3).....                                 | 36        |
| <b>2.4</b>  | <b>FORMA DE LA CELDA COLUMNA.....</b>                   | <b>37</b> |
| 2.4.1       | Aireación de la Celda Columna.....                      | 37        |
| <b>2.5</b>  | <b>GENERADORES DE BURBUJA .....</b>                     | <b>39</b> |
| <b>2.6</b>  | <b>GENERADORES INTERNOS.....</b>                        | <b>39</b> |
| <b>2.7</b>  | <b>GENERADORES EXTERNOS.....</b>                        | <b>40</b> |
| <b>2.8</b>  | <b>AGUA DE LAVADO.....</b>                              | <b>40</b> |
| <b>2.9</b>  | <b>CELDAS DE COLUMNA CONVENCIONALES.....</b>            | <b>42</b> |
| <b>2.10</b> | <b>REACTIVOS DE FLOTACIÓN DE ESPUMAS.....</b>           | <b>43</b> |
| <b>2.11</b> | <b>CLASIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS DE FLOTACIÓN.....</b> | <b>43</b> |
| 2.11.1      | Los minerales en el grupo 3.....                        | 47        |
| 2.11.2      | Los minerales no polares .....                          | 47        |
| <b>2.12</b> | <b>COLECTORES.....</b>                                  | <b>48</b> |
| 2.12.1      | Clasificación de los colectores.....                    | 50        |



|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>2.13</b> | <b>COLECTORES ANIONICOS .....</b>  | <b>51</b> |
| 2.13.1      | Los colectores sulfhídricos .....  | 52        |
| 2.13.2      | Los xantogenatos o xantatos.....   | 52        |
| 2.13.3      | Colectores derivados del xantato.....                                    | 53        |
| 2.13.4      | Los xantoformiatos .....   | 53        |
| 2.13.5      | Los tionocarbamatos.....   | 54        |
| 2.13.6      | Los esteres xánticos .....   | 55        |
| 2.13.7      | Los ditiofosfaftos o aerofloats .....                                    | 55        |
| 2.13.9      | Colectores catiónicos .....  | 56        |
| <b>2.14</b> | <b>COLECTORES NO -IONICOS.....</b>                                       | <b>56</b> |
| 2.14.1      | Espumantes.....  | 56        |
| 2.14.2      | Clasificación de los espumantes.....                                     | 58        |
| 2.14.3      | Modificadores de espuma.....   | 58        |
| 2.14.4      | Modificadores o reguladores.....   | 61        |
| 2.14.5      | Activadores.....   | 62        |
| 2.14.6      | Depresores.....  | 63        |
| 2.14.7      | Modificadores de pH.....   | 64        |
| 2.14.8      | Avances recientes en reactivos de flotación.....                         | 66        |
| <b>2.15</b> | <b>PRINCIPALES SUMINISTRADORES DE REACTIVOS PARA<br/>FLOTACIÓN .....</b> | <b>67</b> |
| 2.15.1      | Azko Nobel.....  | 68        |
| 2.15.2      | Allied Colloids.....   | 68        |
| 2.15.3      | Cerquim Minería S.A .....  | 68        |
| 2.15.4      | Hoechst .....  | 69        |
| 2.15.5      | Mineral reagents international .....                                     | 70        |
| 2.15.6      | Nalco Chemical Company.....  | 70        |



|  |           |
|--|-----------|
| 2.15.7 Oxiquim S.A.....  | 71        |
| 2.15.8 La Phillips Petroleum Company.....                                      | 71        |
| 2.15.9 Reactivos Nacionales S.A. (RENASA).....                                 | 71        |
| 2.15.11 Shell Chile S.A.....   | 72        |
| <b>2.16 ESPUMAS DE FLOTACIÓN .....</b>   | <b>73</b> |
| 2.16.1 Estructura de las espumas de flotación.....                             | 74        |
| 2.16.2 Las espumas de tipo de estructura columnar.....                         | 74        |
| 2.16.3 Los agregados de espumas .....  | 74        |
| 2.16.4 Las espumas peliculares de flotación .....                              | 75        |
| <b>2.17 ESTABILIDAD DE LAS ESPUMAS. ....</b>                                   | <b>76</b> |
| <b>2.18 EFECTO DE LOS REACTIVOS EN LA ESTABILIDAD DE LAS<br/>ESPUMAS. ....</b> | <b>78</b> |

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>               | <b>79</b> |
| <b>3.2 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>                    | <b>79</b> |
| 3.2.1 Nivel de la investigación .....                       | 79        |
| 3.2.2 Método y diseño de la investigación. ....             | 79        |
| 3.2.3 Tipo y nivel de investigación.....                    | 80        |
| <b>3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>                        | <b>82</b> |
| 3.3.1 Población.....  | 82        |
| 3.3.2 Muestra.....  | 82        |
| 3.3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos ..... | 82        |
| <b>3.4 MATERIALES .....</b>                                 | <b>85</b> |
| 3.4.1 Personal (responsabilidades).....                     | 85        |
| 3.4.2 Equipos de protección personal.....                   | 85        |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.4.3 | Equipo / herramienta / materiales de trabajo..... | 85 |
| 3.4.4 | Procedimiento (descripción):.....                 | 86 |

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>4.1</b> | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN ROUGHER NUMERO 1 ESTANDAR...</b>  | <b>96</b>  |
| 4.1.1      | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 96         |
| 4.1.2      | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 96         |
| 4.1.3      | Primer balance metalúrgico. ....   | 97         |
| <b>4.2</b> | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN ROUGHER. NUMERO 2:.....</b>   | <b>99</b>  |
| 4.2.1      | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 99         |
| 4.2.2      | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 99         |
| 4.2.3      | Segundo balance metalúrgico.....   | 100        |
| <b>4.3</b> | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN ROUGHER. NUMERO 3:.....</b>   | <b>102</b> |
| 4.3.1      | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 102        |
| 4.3.2      | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 102        |
| 4.3.3      | Tercer balance metalúrgico. ....   | 103        |
| <b>4.4</b> | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN ROUGHER. NUMERO 4:.....</b>   | <b>105</b> |
| 4.4.1      | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 105        |
| 4.4.2      | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 105        |
| 4.4.3      | Cuarto balance metalúrgico.....  | 106        |
| <b>4.5</b> | <b>COMPARACIÓN DE ESTÁNDAR CON LAS PRUEBAS PARA<br/>MEJORAR EL PH DE LA ETAPA ROUGHER DE LA FLOTACIÓN<br/>ULTRAFINA.....</b> | <b>108</b> |
| <b>4.6</b> | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN CLEANER NUMERO 5 ESTANDAR:.</b>   | <b>110</b> |
| 4.6.1      | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 110        |
| 4.6.2      | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 110        |



|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 4.6.3       | Quinto balance metalúrgico.....  | 111        |
| <b>4.7</b>  | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN CLEANER. NUMERO 6:.....</b>   | <b>113</b> |
| 4.7.1       | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 113        |
| 4.7.2       | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 113        |
| 4.7.3       | Sexto balance metalúrgico.....   | 114        |
| <b>4.8</b>  | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN CLEANER. NUMERO 7:.....</b>   | <b>116</b> |
| 4.8.1       | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 116        |
| 4.8.2       | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 116        |
| 4.8.3       | Séptimo balance metalúrgico.....   | 117        |
| <b>4.9</b>  | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN CLEANER. NUMERO 8:.....</b>   | <b>119</b> |
| 4.9.1       | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 119        |
| 4.9.2       | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 119        |
| 4.9.3       | Octavo balance metalúrgico. ....   | 120        |
| <b>4.10</b> | <b>COMPARACIÓN DE ESTÁNDAR CON LAS PRUEBAS PARA<br/>MEJORAR EL PH DE LA ETAPA CLEANER DE LA FLOTACIÓN<br/>ULTRAFINA.....</b> | <b>122</b> |
| <b>4.11</b> | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN VARIANDO MODIFICADOR<br/>ESTANDAR NUMERO 9: .....</b>   | <b>124</b> |
| 4.11.1      | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 124        |
| 4.11.2      | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 124        |
| 4.11.3      | Noveno balance metalúrgico. ....   | 125        |
| <b>4.12</b> | <b>PRUEBA DE FLOTACIÓN VARIANDO MODIFICADOR AP-250<br/>(10%). NUMERO 10: .....</b>   | <b>127</b> |
| 4.12.1      | Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio. ....   | 127        |
| 4.12.2      | Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....  | 127        |
| 4.12.3      | Decimo balance metalúrgico. ....   | 128        |



|  |            |
|--|------------|
| <b>4.13 PRUEBA DE FLOTACIÓN VARIANDO MODIFICADOR TEUTON<br/>(10%)NUMERO 11:</b>  | <b>130</b> |
| 4.13.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.   | 130        |
| 4.13.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.  | 130        |
| 4.13.3 Onceavo balance metalúrgico.  | 131        |
| <b>4.14 COMPARACIÓN DE ESTÁNDAR CON LAS PRUEBAS PARA<br/>MEJORAR LA DOSIFICACIÓN DE UN MODIFICADOR ETAPA<br/>ROUGHER</b> | <b>133</b> |
| <b>4.15 CUADRO COMPARATIVO DE LAS VARIABLES ESTANDAR CON<br/>LAS VARIABLES MODIFICADAS.</b>                              | <b>135</b> |
| <b>V. CONCLUSIONES</b>   | <b>136</b> |
| <b>VI. RECOMENDACIONES</b>   | <b>137</b> |
| <b>VII. REFERENCIAS</b>  | <b>138</b> |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>141</b> |

**ÁREA:** Metalurgia Extractiva

**TEMA:** Concentración gravimétrica

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 21 de octubre de 2022



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación De La Mina San Rafael.....   | 28  |
| <b>Figura 2.</b> Zona de la Celda – Columna de Flotación. (Azareño A y colaboradores).....  | 34  |
| <b>Figura 3.</b> Zona de Recuperación(1), Zona de Limpieza(2), Zona de Espuma(3).....   | 35  |
| <b>Figura 4.</b> Medida de la presión del gas y dirección de flujo en la celda – columna.....   | 38  |
| <b>Figura 5.</b> Ambas con propiedades diferentes.....  | 48  |
| <b>Figura 6.</b> Adsorción del colector sobre una superficie mineral.....   | 49  |
| <b>Figura 7.</b> Se representa la estructura del colector, conocido como teuton 400.....  | 49  |
| <b>Figura 8.</b> Esquema estructural de un colector.....  | 50  |
| <b>Figura 9.</b> Clasificación general de colectores.....   | 51  |
| <b>Figura 10.</b> Esquema de adsorción del espumante en una burbuja de aire.....  | 57  |
| <b>Figura 11.</b> Influencia de la estructura del espumante como una función del tamaño de partícula en una mena de sulfuro de cobre..... | 60  |
| <b>Figura 12.</b> *R denota un grupo no polar, generalmente un grupo hidrocarburo alquil, aril o cíclico.....                             | 61  |
| <b>Figura 13.</b> Estructura de los colchones de espuma.....  | 75  |
| <b>Figura 14.</b> Flujo de agua en una sección plana del lecho de espumas dentro del triángulo.....                                       | 77  |
| <b>Figura 15.</b> Parametros de flotación.....  | 89  |
| <b>Figura 16.</b> Prueba de flotación N° 1 a pH 4.10.....   | 98  |
| <b>Figura 17.</b> Prueba de flotación N° 2 a pH 4.75.....   | 101 |
| <b>Figura 18.</b> Prueba de flotación N° 3 a pH 5.00.....   | 104 |
| <b>Figura 19.</b> Prueba de flotación N° 4 a pH 5.25.....   | 107 |
| <b>Figura 20.</b> Flotacion variando pH - etapa Rouger.....   | 108 |
| <b>Figura 21.</b> Prueba de flotación N°5 a pH 6.5.....   | 112 |
| <b>Figura 22.</b> Prueba de flotación N° 6 a pH 4.50.....   | 115 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 23.</b> Prueba de flotación N° 7 a pH 4.25.....                   | 118 |
| <b>Figura 24.</b> Prueba de flotación N° 8 a pH 4.75.....                   | 121 |
| <b>Figura 25.</b> Flotacion variando pH - alimento celda cleaner.....       | 123 |
| <b>Figura 26.</b> Prueba de flotación N° 9 estandar .....                   | 126 |
| <b>Figura 27.</b> Pruebap de flotación N° 10 Ap-250 .....                   | 129 |
| <b>Figura 28.</b> Prueba de flotación N° 11 Teuton .....                    | 132 |
| <b>Figura 29.</b> Flotación variando modificador. ....                      | 134 |
| <b>Figura 30.</b> Unidad Minera San Rafael .....                            | 141 |
| <b>Figura 31.</b> Laboratorio Metalúrgica Área Preparación Mecánica .....   | 141 |
| <b>Figura 32.</b> Flotación Casiterita 1 a nivel Laboratorio.....           | 142 |
| <b>Figura 33.</b> Flotación Casiterita 2 a nivel Laboratorio.....           | 142 |
| <b>Figura 34.</b> Celdas columna Planta San Rafael.....                     | 143 |
| <b>Figura 35.</b> Área Deslamado Laboratorio Metalúrgica.....               | 143 |
| <b>Figura 36.</b> Laboratorio Metalurgico. ....                             | 144 |
| <b>Figura 37.</b> Laboratorio Metalurgico. ....                             | 144 |
| <b>Figura 38.</b> Alimento Celda columna 1 y 2.....                         | 145 |
| <b>Figura 39.</b> Medicion de pH de agua de lavado celda columna 1 y 2..... | 145 |
| <b>Figura 40.</b> Agua de lavado celda cleaner.....                         | 146 |
| <b>Figura 41.</b> pH de pulpa cleaner.....                                  | 146 |
| <b>Figura 42.</b> pH de pulpa rougher.....                                  | 147 |
| <b>Figura 43.</b> Celda de columna a nivel de laboratorio.....              | 147 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Clasificación de los minerales polares grupo 1 .....                                     | 44  |
| <b>Tabla 2.</b> Clasificación de los minerales polares grupo 2 .....                                     | 45  |
| <b>Tabla 3.</b> Clasificación de los minerales polares grupo 3 .....                                     | 45  |
| <b>Tabla 4.</b> Clasificación de los minerales polares grupo 3b .....                                    | 45  |
| <b>Tabla 5.</b> Clasificación de los minerales polares grupo 4a.....                                     | 46  |
| <b>Tabla 6.</b> Clasificación de los minerales polares grupo 4 .....                                     | 47  |
| <b>Tabla 7.</b> Agentes resurfactantes .....   | 65  |
| <b>Tabla 8.</b> Variables e Indicadores.....   | 80  |
| <b>Tabla 9.</b> Diseño de investigación .....  | 81  |
| <b>Tabla 10.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....                             | 96  |
| <b>Tabla 11.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio .....                             | 97  |
| <b>Tabla 12.</b> Primer balance metalúrgico .....  | 97  |
| <b>Tabla 13.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....                             | 99  |
| <b>Tabla 14.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio .....                             | 100 |
| <b>Tabla 15.</b> Segundo balance metalúrgico .....   | 100 |
| <b>Tabla 16.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....                             | 102 |
| <b>Tabla 17.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio .....                             | 103 |
| <b>Tabla 18.</b> Tercer balance metalúrgico.....   | 103 |
| <b>Tabla 19.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....                             | 105 |
| <b>Tabla 20.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio .....                             | 106 |
| <b>Tabla 21.</b> Cuarto balance metalúrgico .....  | 106 |
| <b>Tabla 22.</b> Comparación de estándar con las pruebas para mejorar el pH de la etapa<br>ROUGHER ..... | 108 |
| <b>Tabla 23.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....                             | 110 |
| <b>Tabla 24.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....                             | 111 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 25.</b> Quinto balance metalúrgico .....  | 111 |
| <b>Tabla 26.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....   | 113 |
| <b>Tabla 27.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 114 |
| <b>Tabla 28.</b> Sexto balance metalúrgico. ....   | 114 |
| <b>Tabla 29.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....   | 116 |
| <b>Tabla 30.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 117 |
| <b>Tabla 31.</b> Séptimo balance metalúrgico.....  | 117 |
| <b>Tabla 32.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....   | 119 |
| <b>Tabla 33.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 119 |
| <b>Tabla 34.</b> Octavo balance pmetalúrgico.....  | 120 |
| <b>Tabla 35.</b> Comparación de estándar con las pruebas para mejorar el pH de la etapa cleaner<br>.....                       | 122 |
| <b>Tabla 36.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....   | 124 |
| <b>Tabla 37.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 125 |
| <b>Tabla 38.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 125 |
| <b>Tabla 39.</b> Noveno balance metalúrgico. ....  | 125 |
| <b>Tabla 40.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....   | 127 |
| <b>Tabla 41.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 128 |
| <b>Tabla 42.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 128 |
| <b>Tabla 43.</b> Decimo balance metalúrgico. ....  | 128 |
| <b>Tabla 44.</b> Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.....   | 130 |
| <b>Tabla 45.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 131 |
| <b>Tabla 46.</b> Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio. ....   | 131 |
| <b>Tabla 47.</b> Onceavo balance metalúrgico.....  | 131 |
| <b>Tabla 48.</b> Comparación de estándar con las pruebas para mejorar la dosificación de un<br>modificador etapa rougher. .... | 133 |



**Tabla 49.** Cuadro comparativo de las variables estándar con las variables modificadas.

..... 135



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

|                          |   |                               |
|--------------------------|---|-------------------------------|
| <b>(g/TM)</b>            | : | Gramos por tonelada métrica   |
| <b>(rpm)</b>             | : | Revoluciones por minuto       |
| <b>(Cu)</b>              | : | Cobre                         |
| <b>(%)</b>               | : | Porcentaje                    |
| <b>(TM/h)</b>            | : | Tonelada por hora             |
| <b>(mm)</b>              | : | Milímetros                    |
| <b>(HP)</b>              | : | Caballos de fuerza            |
| <b>(L/min)</b>           | : | Litros por minuto             |
| <b>(°)</b>               | : | Grados                        |
| <b>(')</b>               | : | Minutos                       |
| <b>(")</b>               | : | Segundos                      |
| <b>(μm)</b>              | : | Micrones                      |
| <b>(μ)</b>               | : | Micra                         |
| <b>(m<sup>3</sup>/h)</b> | : | Metros cúbicos por hora       |
| <b>(s)</b>               | : | Segundos                      |
| <b>(lts)</b>             | : | Litros                        |
| <b>(m.s.n.m)</b>         | : | Metros sobre el nivel del mar |
| <b>(+)</b>               | : | Máximo                        |
| <b>(-)</b>               | : | Mínimo                        |
| <b>(t)</b>               | : | Tiempo                        |
| <b>(pH)</b>              | : | Potencial de hidrogeno        |
| <b>(U.M.)</b>            | : | Unidad minera                 |
| <b>(Km)</b>              | : | Kilometro                     |



|                 |   |                                  |
|-----------------|---|----------------------------------|
| <b>(°C)</b>     | : | Grados celcius                   |
| <b>(MIBC)</b>   | : | Metil isobutil carbonil          |
| <b>(oz/TCS)</b> | : | Onzas por toneladas cortas secas |
| <b>(PSI)</b>    | : | Presion de aire                  |
| <b>(cm/s)</b>   | : | Centímetros por segundo          |
| <b>(cc/s)</b>   | : | Centimetros cúbicos por segundo  |
| <b>(G.E.)</b>   | : | Gravedad especifica              |
| <b>(cm)</b>     | : | Centímetros                      |
| <b>(m)</b>      | : | Metros                           |
| <b>(g)</b>      | : | Gramos                           |
| <b>(w)</b>      | : | Peso                             |
| <b>(Dp)</b>     | : | Densidad de pulpa                |



## RESUMEN

Actualmente en la unidad minera San Rafael, Antauta - Región Puno, la recuperación de estaño fino en las celdas columna es de 68.92% con una calidad de 28.22 % generando pérdida de estaño fino en el relave; en tal razón, se pretende aumentar la recuperación con una flotación de partículas ultrafinas en las celdas columna de la planta concentradora mencionada; mejorando el pH, y la concentración del modificador. El objetivo de la investigación es optimizar la flotación ultrafina con celdas columna para mejorar la recuperación de estaño fino a nivel laboratorio en la unidad minera San Rafael, Antauta - Región Puno. La investigación es de diseño Experimental, de nivel descriptivo, la cual se aplicó pruebas metalúrgicas que se desarrollaron en el laboratorio de la empresa, siguiendo los procesos y operaciones metalúrgicas, como chancado, molienda, flotación y filtrado; se realizaron pruebas de flotación rougher y cleaner, determinando el pH y la concentración del modificador óptimo. Los resultados obtenidos con la flotación ultrafina de estaño fue con el modificador Teutón con una concentración de 30 g/tn en la etapa Rougher a un pH 5.00, incrementando la recuperación en 4.29% de estaño fino y en la etapa Cleaner se realiza una limpieza a un pH 4.50 incrementando la calidad de finos en 0.78% de estaño fino, consecuencia de la optimización en las etapas antes mencionadas se tiene una recuperación total de 73.21% con una calidad de 29% de estaño fino. Por ello, la optimización de la flotación ultrafina contribuirá en mejorar la rentabilidad económica de la empresa.

**Palabras Clave:** Celda columna, densidad, flotación, modificador, pH.



## ABSTRACT

Currently in the San Rafael mining unit, Antauta - Puno Region, the recovery of fine tin in the column cells is 68.92% with a quality of 28.22%, generating loss of fine tin in the tailings; For this reason, it is intended to increase the recovery with a flotation of ultrafine particles in the column cells of the aforementioned concentrator plant; improving the pH, and the concentration of the modifier. The objective of the research is to optimize ultrafine flotation with column cells to improve the recovery of fine tin at the laboratory level in the San Rafael mining unit, Antauta - Puno Region. The research is of Experimental design, descriptive level, which applied metallurgical tests that were developed in the company's laboratory, following the metallurgical processes and operations, such as crushing, grinding, flotation and filtering; Rougher and cleaner flotation tests were carried out, determining the pH and the concentration of the optimal modifier. The results obtained with the ultrafine tin flotation were with the Teuton modifier with a concentration of 30 g/tn in the Rougher stage at a pH of 5.00, increasing the recovery by 4.29% of fine tin and in the Cleaner stage a cleaning is carried out at a pH 4.50 increasing the quality of fines by 0.78% of fine tin, as a consequence of the optimization in the aforementioned stages, a total recovery of 73.21% is obtained with a quality of 29% of fine tin. Therefore, the optimization of ultrafine flotation will contribute to improving the economic profitability of the company.

**Keywords:** Column cell, density, flotation, modifier, pH.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

La flotación es uno de los procedimientos metalúrgicos que consiste en separar materiales de distintas procedencias que se desarrolla desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas, basándose en las propiedades de hidrofóbicas e hidrofílicas, donde la maquina de flotación es muy importante. Por tanto, se plantea el mejoramiento de la recuperación de estaño a través de la optimización de celdas de columna que permita recuperar este mineral que se localiza en particulas finas que limitan mejorar su recuperación.

Las pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio y piloto se han desarrollado en la Planta Concentradora en la U.M. San Rafael. Fue elaborado y desarrollado, razón por la cual se presenta esta tesis titulada: “optimización de la flotacion ultrafina con celdas columna para mejorar la recuperación de estaño a nivel laboratorio en la unidad minera San Rafael, Antauta – Region Puno.”, lo que permite a la metalurgia peruana contribuir al mejoramiento de los procesos de extracción.

De esta forma, para plantear y desarrollar esta investigación se partió de una cuestión que oriento y fue base para esta propuesta. Esta pregunta fue: ¿Qué parámetros debo coptimizar para mejorar la eficiencia del proceso de flotación en celdas columna?. Cuestión que pretende ser respondida desde la mirada de resaltar el tratamiento del mismo que proviene desde un punto de vista metalúrgico. Asimismo, desde la revisión documental y práctico en consecuencia, el método de flotación en celdas columna es uno de los procedimientos de separación que más se utiliza en minerales, considerando que las propiedades cumplen con los requerimientos necesarios para la separación, además se le debe dar importancia mayor para la flotación mediante rangos estrechos de tamaños de



partículas y de pH relativo, este proceso se fundamenta en las características de distintos pH de componentes con materiales heterogéneos, al optimizar el proceso de flotación de celdas columna en las etapas rougher y cleaner en el proceso de recuperar el estaño fino a través de la aplicación de nuevos parámetros, considerando como una estrategia importante que facilita obtener condiciones de mejora de manera eficiente, rápida y confiable que facilita identificar los parámetros óptimos de pH y modificador, realizando las pruebas metalúrgicas para alcanzar una condición óptima del proceso de flotación ultrafina en el celdas columna y a si tener una mayor recuperación de finos de estaño y así mejorar la sustentabilidad del trabajo en la unidad minera San Rafael.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la planta concentradora de estaño de la unidad minera San Rafael – MINSUR, específicamente en proceso de flotación de minerales, se identificó que existe recuperación de estaños fino en 68,92% siendo esta una variable que se encuentra inserta a diferentes cambios y variaciones por diferentes circunstancias, ya sean dependientes, no dependientes involucrados en este proceso; por lo tanto, en esta investigación se requiere lograr una recuperación del 73.21% de estaño, para lograr este objetivo es necesario optimizar el modificador y el pH en la etapa de flotación rougher y cleaner; los cuales fueron identificados y optimizados al máximo para minimizar costos y/o maximizar beneficios.

Ante este hecho observamos la necesidad de plantear mejora continua de las operaciones de la planta concentradora, por tanto se plantea alternativas que buscan optimizar la mejora de la flotación en celdas columna, donde mediante pruebas de laboratorio se determina el pH óptimo de la flotación en la etapa rougher y cleaner; también se propondrá la concentración adecuada para el uso del modificador en la fase rougher, para mejorar la recuperación de estaño fino en la empresa MINSUR.



La celda columna produce concentrados más limpios a recuperaciones, mejor que las celdas mecánicas convencionales, principalmente, por la acción de lavado de las espumas que en ella se produce, que es una de las diferencias más notables en comparación con cualquier otra celda de flotación convencional.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema General.**

¿Cómo se optimizará la flotación de las partículas ultrafinas con celdas columna para mejorar la recuperación de estaño a nivel laboratorio en la unidad minera San Rafael, Antauta – Región Puno?

### **1.2.2 Problemas Específicos.**

1. ¿Cuál es el pH óptimo para la flotación ultrafina con celdas columna a nivel laboratorio?
2. ¿Qué modificador de flotación y a que concentración será el más óptimo para la flotación ultrafina con celdas columna a nivel laboratorio?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO:**

Considerando que la flotacion es un procedimiento que es utilizado en su mayoría para actividades de tratamiento de minerales. Implementar columnas en los esquemas de tratamiento buscando sustituir las celdas cleaner y convencionales de manera paulatina. Encontrando beneficios en costos operativos, mejorar la economía de capital y optimiza el desempeño metalurgico. Teniendo en cuenta que los principios fisicoquímicas superficiales se aplican en el procedimiento de flotacion en celdas convencionales que tienen validez también para celdas de columnas, considerando que la cinética de flotacion un proceso que tiene rapidez mayor en la celda de columna, logrando que de esta forma las particulas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas que ascienden y se eliminan



como concentrado, siendo diferentes de celdas catalogados como convencional que no utilizan ningún agitador mecánico y la pula se inserta cerca de  $2/3$  de parte baja de la celda encontrando una corriente de aire ascendente, haciendo que el concentrado supere por la parte superior, lavando espumas quitando la ganga que se encuentra en la parte inferior. En general, las columnas de flotación incementan a la flotación de las fracciones finas y ultrafinas facilitando la eliminación de arrastre hidráulico de partículas de esteril debido a que existe drenaje eficiente que se realiza con el incremento de agua para lavar dentro del área de espuma.

La evaluación de la flotación ultrafina en las celdas columna se desarrollará en “la unidad minera San Rafael, Antauta, Región - Puno”. El siguiente programa típico escalonado de pruebas metalúrgicas fue preparado y desarrollado. Es por ello que se presenta el proyecto de “optimización de la flotación ultrafina con celdas columna para mejorar la recuperación de estaño a nivel de laboratorio en la unidad minera San Rafael”.

Esto permite aportar en metalurgia a la mejora de operaciones de extracción. En la evaluación de las celdas columna del circuito de flotación ultrafina se observa que, en el último trimestre, hay una deficiencia en la recuperación de las celdas columna. Para ello se realizó una investigación para evaluar las variables de flotación tales como el pH y modificador en las etapas de flotación rougher y cleaner para una mejor recuperación y calidad de estaño fino. Tomando medidas de control se realizará un control operacional del alimento, concentrado y relave de las celdas columna, de tal forma que realizará un muestreo de las etapas rougher y cleaner. Para hacer pruebas metalúrgicas y determinar las variables óptimas de la flotación y así optimizar la eficiencia de recuperación en las celdas columna del circuito de flotación de ultrafinos. El procesamiento de datos será informático a nivel de comparativo explicativo y se empleará el paquete estadístico del MICRO SOFT EXCEL el cual permitirá conocer las curvas de recuperación. En



cuanto a los indicadores se utilizarán tablas, graficas de barras, dispersión entre otros para detallar los resultados obtenidos.

### **1.3.1 Antecedentes del problema:**

En la unidad minera de San Rafael, específicamente en la planta piloto de estaño fino se trabajó con leyes siendo el principal de 0,80% a 1,00% de estaño fino, estimando recuperación promedio que alcanza el 68,92% de estaño fino desde relaves, en donde nace el interés de optimizar el pH y el modificador en la etapa rougher y cleaner para mejorar la recuperación del concentrado de estaño fino a partir de relaves en la planta piloto de la U.M. San Rafael , lo cual se realizara pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio para poder maximizar la recuperación de concentrado de estaño fino.

Torres (2016) Implementando celdas columna para flotar minerales de estaño. Logrando obtener que la flotación tiene propiedades de casiterita que fueron determinados por hierro, tungsteno y tantalio, considerando que los minerales son Zpc que flotan alto gracias a colectores aniónicos que esta compuesta por esquema de R-A general, específicamente en condiciones acidas. La afinidad mayor de reactivos de casiterita da como resultado una menor insolubilidad de la misma, permitiendo la creación de un espacios adecuados para las operaciones interactivas entre el colector y el mineral, formando compuestos fuertes adorbidos por atomos de cristal. “Las pruebas experimentales de flotación definieron el tipo de colector y las condiciones de operación de la planta, confirmando el hecho de lograr una recuperación del orden del 70% con 22% Sn, en medio ácido de pH constante 2,5, utilizando como colector el Aerosol 22 o Aeropromoter 845, agente espumante MIBC (metil isobutil carbinol), dispersante de silicato de sodio, modificador de pH de ácido sulfúrico. La ley del concentrado de estaño producido dependerá de una adecuada eliminación de



elementos contaminantes (impurezas); de ahí la necesidad de realizar una buena limpieza en la etapa previa a la flotación de la Casiterita”.

Cárdenas (1995) Aplicación técnico económico de celdas columna en el circuito de flotación. En la flotación columnar se usa un sistema de dispersión de aire para producir burbujas finas en el fondo de la columna, sistema constituye la parte más crítica de la celda columna, y que permite tener un control sobre el tamaño de burbuja. Si se desea optimizar la recuperación en la celda columna es imprescindible contar con los instrumentos necesarios para la medición del flujo volumétrico del aire suministrado a la columna y presión de inyección de aire (los que influyen en el % de aire retenido y el tamaño de burbuja) y contar con un diseño adecuado con la estructura dispersional de aire (que determina el tamaño de distribución de las burbujas de aire). Se requiere instrumentación y control para una operación altamente eficiente de la columna de flotación (esto es, aparte un incremento en el grado, también una mejora de la recuperación), lo cual no se puede lograr con las celdas mecánicas convencionales por su circuito complejo (alto número de etapas, alto número de celdas). Las pruebas a nivel piloto muestran la factibilidad técnica del reemplazo de las celdas de flotación de limpieza de agitación mecánica por celdas columnas de flotación para el sistema mineral particular de condestable.

Figuroa (2005) Tecnología usada en Celdas de flotación, prototipo, pilotaje y evaluación. Se determinó que las celdas de flotación Denver Sub “A”, agitair y Columna son lo que más se utilizan debido que demuestran importancia a equipamientos puramente neumáticos que para su mantenimiento se requería de costos altos, por tanto se plantea reducir dichas deficiencias a través del uso de celdas de nuevas generación. En la metalurgia las celdas de Jameson que tiene principio simple para la flotación de minerales tiene un compactación y eficiencia mayor tal como Jameson lo demostro en



Australia. Sabemos que las celdas que están aplicando a nivel mundial porque evidencia mejoramiento y eficiencia, porque este sistema busca reajustar celdas de flotación por circuitos de limpieza de Zinc, donde realizó programas típicos de manera escalonado de ensayos metalúrgicos:

- Ensayos metalúrgicos preliminares
- Ensayos metalúrgicos de selección de variables
- Ensayos metalúrgicos con diseño factorial
- Ensayos metalúrgicos de optimización con diseño hexagonal
- Ensayos metalúrgicos finales.

Azañero (2008) Flotación y concentración de minerales en este estudio se visualizo que la celda columna posee aceptación mayor en las empresas mineras, mayormente en área de limpieza y el trabajo con partículas finas. Por tanto, existe la necesidad de poner esfuerzos para plantear e implementar en la etapa de Rougher y con minerales, específicamente en denominado complejos debido que se obtiene resultados positivos. Posterior de lograr la mejora de la difusión de aire exterior que permite producir burbujas de una calidad buena, es decir con menos espumas, aumentando inventario de aire al interior, controlando las burbujas y facilitando el mantenimiento sin interrupción alguna el funcionamiento de la celda será normal. Por tanto este sistema tiene ventajas importantes en la implementación, como es:

- Se lograra reducir costos para su mantenimiento, instalación y desarrollo.
- Demuestra automatización con facilidad y control la informatica
- La energía se ahorra debido que existe consumo mínimo .
- Menos tiempo de retención.



Valdebenito (2011) Analisis operacional en flotación columnar planta las tórtolas, encontrando que la celda columna está ubicada en circuito de limpieza, donde se compuso de 5 columnas, asimismo se encontró que el cobre es uno de los especies minerologicas que perturba el procedimiento de flotación Cu-Mo y no demuestra dependencia de operaciones que se ejecutan en plantas concentradoras. Asimismo, se determinó que la pirita se deprime agregando cal que permitió reajustar el pH y el esteril se controla a través de variables operativas como el aire, agua, grado de pulpa y granulometría. Los resultados se lograron alcanzar a través de sistemas de líneas, evaluación química, evaluación de granulometría y análisis de altura de espuma. Concluyendo que un manejo adecuado de variables operativas repercute en la ley de concentrado y en la recuperación de cobre, pese que se demostró que dicha repercusión no fue notable debido que la granulometría provoca repercusión mayor en la recuperación metalúrgica.

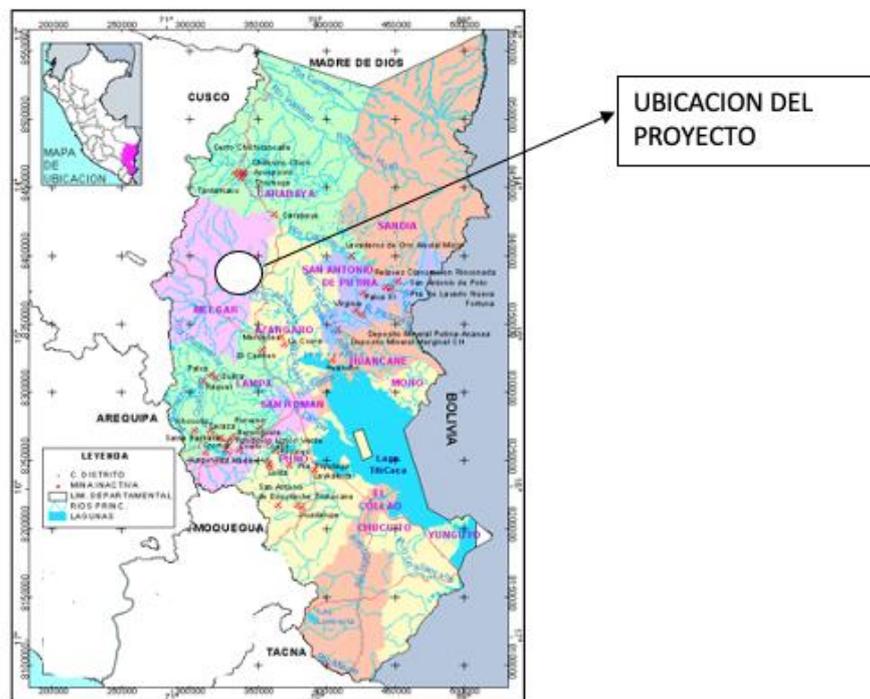
## **1.4 AMBITO DE ESTUDIO.**

### **1.4.1 Ubicación**

La unidad minera San Rafael – MINSUR, se localiza en específicamente en Paraje – Quenamari, que pertenece al distrito de Antauta, provincia de Melgar de la región Puno.

Respecto a la altitud esta se encuentra en 4,500 y 5,200 m.s.n.m. “siendo las coordenadas geográficas 70° 19’ 19” longitud oeste y 14° 13’ 45” Latitud sur y las coordenadas UTM 357,730 E y 8’426570 N”. Tal como se visualiza en la figura siguiente:

**Figura 1.** Ubicación De La Mina San Rafael



Fuente: <https://minem.gob.pe/minem> Mina\_San\_Rafael

Accesibilidad: a la U.M. San Rafael se puede acceder de dos formas, uno de ellos es mediante via terrestre y aérea.

Vía aérea: para quienes acceden desde esta via, la U.M. San Rafael cuenta con una pista de aterrizaje para avionetas que deben contar acondicionamiento a una altura de 4.350 m.n.m. la duración de vuelo desde Juliaca es de 25 min. Y desde la ciudad de Lima es 2 horas de vuelo.

Vía terrestre: Existe carretera que conduce hasta la Unidad minera que se debe hacer aproximadamente un recorrido de 1460 km desde Lima y desde Antauta de 5 km.

#### **1.4.2 Clima y Temperatura:**

Respecto a clima, la zona donde se encuentra la unidad minera es frio que perdura por todo el año, sin embargo existe cambios del transcurso de día y noche, durante el día la temperatura llega hasta 24°C y en la noche desciende hasta 11°C. esta va depender mucho de las estaciones que marcan la zona, desde abril a noviembre la zona es seco y



frígido además de ello existe descenso considerable presentando heladas por tanto desciente hasta 10°C e inclusive menos, en los meses de junio a Julio hasta mediados de agosto se considera días de heladas, en septiembre se observa ventarrones fuertes por las tardes y desde finales de octubre, noviembre se presentan lluvias, granizadas, desde diciembre a marzo la humedad es mayor debido que existe lluvias intensas.

### 1.4.3 Mineralogía

El área minera la mineralogía principal es casiterita, que es un mineral de estaño,  $\text{SnO}_2$ , cuyo denominación viene desde categorías griegas Kassiteros que fue latente en la etapa prerromana. La caseterita demuestra una coloración marrón, negro pardusca, gris verda e incoloracion, adquiriendo un brillo adamantino, e inclusive demuestra transparencia, translúcido u opaco, trasmitiendo una luz marrón e incoloro, asimismo en ocasiones emite una luz anaranjado, amarillo o verdoso y cuando se refleja a la luz demuestrs a un colo claro a gris y con reflejos internos blancos a pardos, es uno de los minerales que demuestra fragilidad pero es resistente a acidos. La casiterita se cristaliza en la estructura tetragonal, grupo bipiramidal ditetragonal. Es un miembro del grupo mineralógico de rutilo ( $\text{TiO}_2$ ), minerales de óxido con la fórmula  $\text{M}_4\text{O}_2$  encargados de cristalizar en la estructura tetragonal. Comunmente la casiterita contiene 79% de estaño y el 21% de oxígeno, tiene un especie de dureza de 6 a 7 respecto a escala de Mohs y contiene un peso específico de 6,8 a 7,01  $\text{g/cm}^3$ . “Este mineral se encuentra en vetas hidrotermales de temperatura media a alta, así como en greisenos, granitos, pegmatitas graníticas, asociado a la fase retardada de cristalización granítica (neumatólisis) y riolitas”. “También es mineral sedimentario en placeres, suele asociarse con cuarzo, moscovita, wolframita, turmalina, topacio, fluorita, scheelita, lepidolita, arsenopirita, bismuto y molibdenita”. Este mineral es importante para encontrar el estaño, que utilizado tambie para obtener bronce. “Dado que aleado con otros metales provoca un



descenso considerable del punto de fusión (a veces algo más de 200° C), es muy práctico en materiales de soldadura y en pigmentos cerámicos”. Asimismo, por su resistencia a la oxidación ambiental, es utilizado en cubiertas anticorrosivas.

## **1.5 PROCEDENCIA DEL MINERAL**

### **1.5.1 Proyecto recuperación de relaves bofedal II**

Con base a estudios, pruebas y muestreos realizados en 2010 se identificó la probabilidad de procesar los relaves insertadas en la presa llamada Bodefal II, que tradicionalmente se utilizaba en la U.M. San Rafael. Se proyecta que el número de relaves en el Bodefal II utilizable para reprocesamiento aumentará a 5,4 millones m<sup>3</sup> o igual a 7,7 millones de toneladas. Razon por el cual se trabaja en el desarrollo de plantas de procesamiento de relaves que tienen la capacidad de 4,000 toneladas al día, por tanto desde el 2012 se desarrollo estudios respecto a la prefactibilidad, donde se analizaron alternativas para mejorar espacios de tranque de relaves y nuevas plantas concentradoras. Asimismo se comenzó en realizar estudios sobre impactos ambientales, que conllevan a obtener certificados de CIRA. Asimismo, se comenzaron a realizar pruebas que permiten la identificación y confirmación del diagrama de flujo de planta de beneficio y la propiedades del material en todo el circuito.

## **1.6 HIPOTESIS**

### **1.6.1 Hipótesis del trabajo**

Optimizando la flotación ultrafina con celdas columna mejora la recuperación de estaño fino a nivel laboratorio en la unidad minera San Rafael, Antauta – Región Puno.



### **1.6.2 Hipótesis específica**

- 1.- Al determinar el pH óptimo en las celdas de flotación ultrafina, etapa rougher y cleaner mejora la recuperación de estaño fino.
- 2.- Al determinar la dosificación óptima del modificador en las celdas de flotación ultrafina etapa rougher mejora la recuperación de estaño fino.

## **1.7 OBJETIVOS**

### **1.7.1 Objetivo general.**

Optimizar la flotación ultrafina con celdas columna mejora la recuperación de estaño fino a nivel de laboratorio en la unidad minera San Rafael, Antauta – Región Puno.

### **1.7.2 Objetivos específicos.**

1. Determinar el pH óptimo en las celdas de flotación ultrafina, etapa rougher y cleaner para mejorar la recuperación de estaño fino.
2. Determinar la dosificación óptima del modificador en las celdas de flotación ultrafina, etapa rougher para mejorar la recuperación de estaño fino.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 MARCO LEGAL

##### 2.1.1 Descripción del proyecto.

Consiste en describir las acciones que se ejecutaran, en este caso comprende realizar estudios preliminar del área como también los balances metalúrgicos..

#### 2.2 ESPECIFICACIONES TECNICAS APLICADAS

Determinar los criterios operacionales que permita realizar una eficiente prueba de flotación de minerales en una celda de flotación a nivel laboratorio, cumpliendo con los estándares de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.

##### 2.2.1 Alcance

Este procedimiento involucra a los Técnicos Metalurgistas asignados a la actividad de operación de prueba de flotación, y/o Ingeniero responsable del Laboratorio metalúrgico, también aplicable para empresas especializadas.

#### 2.3 MARCO CONCEPTUAL.

##### 2.3.1 Flotación de celda columna.

Considerando que la flotacion es un procedimiento que es utilizado en su mayoría para actividades de tratamiento de minerales. Implementar columnas en lo esquemas de tratamiento buscando sustituir las celdas cleaner y convencionales de manera paulatina. Encontrando beneficios en costos operativos, mejorar la economía de capital y optimiza el desempeño metalurgico. Teniendo en cuenta que los principios fisicoquímicas superficiales se aplican en el procedimiento de flotacion en celdas convencionales que



tienen validez también para celdas de columnas, considerando que la cinética de flotación es un proceso que tiene rapidez mayor en la celda de columna, logrando que de esta forma las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas que ascienden y se eliminan como concentrado, siendo diferentes de celdas catalogados como convencional que no utilizan ningún agitado mecánico y la pila se inserta cerca de 2/3 de parte baja de la celda encontrando una corriente de aire ascendente, haciendo que el concentrado supere por la parte superior, lavando espumas quitando la ganga que se encuentra en la parte inferior. En general, las columnas de flotación incrementa a la flotación de las fracciones finas y ultrafinas facilitando la eliminación de arrastre hidráulico de partículas de esteril debido que existe drenaje eficiente que se realiza con el incremento de agua para lavar dentro del área de espuma.

### **2.3.2 Zonas de una Columna de Flotación.**

Por lo general se diferencian cuatro áreas básicas en la celda columna, las cuales son:

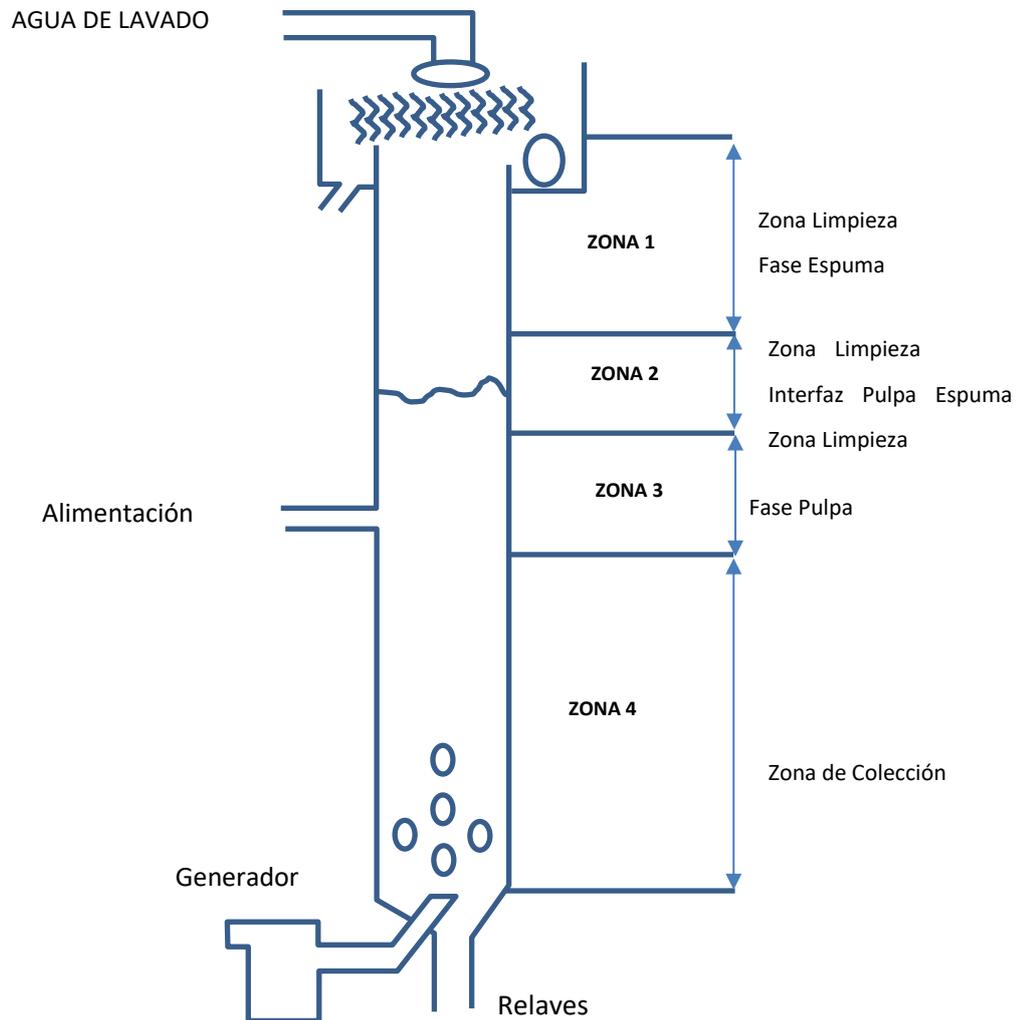
Zona de limpieza: de la fase de espuma: espacio que se prolonga hacia arriba desde la interfaz pulpa - espuma hasta el rebose de la columna.

Zona de limpieza de la interfaz pulpa espuma: área que tiene longitud arbitraria interfaz pulpa espuma; a esta área se denomina un espacio de 0,15 m por encima de la interfaz y 0,15 metros por debajo de la interfaz.

Zona de limpieza de la fase de pulpa: área que se prolonga hacia abajo a partir de la interfaz pulpa espuma hasta la boquilla de inyección del material de alimentación.

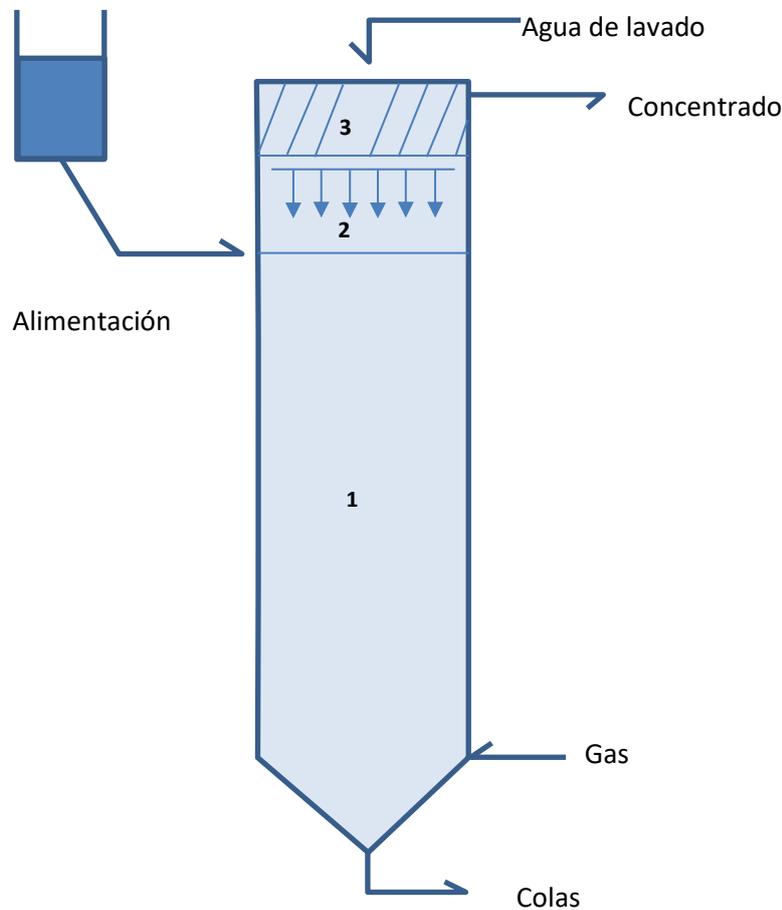
Zona de colección: Área que se prolonga hacia abajo a partir de la boquilla de inyección.

**Figura 2.** Zona de la Celda – Columna de Flotación. (Azareño A y colaboradores)



Una columna de flotación tiene una dividida en tres secciones principales, cada sección describe los hechos que ocurren en el desarrollo de flotación, por tanto las secciones son área de recuperación, de limpieza y de espuma, tal como se demuestra el esquema donde se evidencia las tres secciones en la siguiente figura:

**Figura 3.** Zona de Recuperación(1), Zona de Limpieza(2), Zona de Espuma(3)



### 2.3.2.1 Zona de Recuperación (1)

Sección fundamental de la columna de flotación gracias a ello se produce el principal procedimiento de flotación. Donde la colisión de partículas burbujas se desarrollan cuando existe ascendencia de burbujas ascendentes y por la descendencia de partículas minerales gracias a la gravedad que presentan que hace que entren en contacto contra la corriente. Las partículas flotantes chocan y se juntan con la burbuja transportándose a la superficie de la pulpa. Asimismo, se demuestra que las partículas de ganga se eliminan en el proceso del fondo de la columna, esta tiene límites que son planteados de acuerdo a la parte superior, es decir el espacio de alimentación de pulpa ubicado a dos tercios de la altura de columna y en inferior por la descarga de ganga.



### **2.3.2.2 Zona de Limpieza (2)**

En su camino hacia la superficie las burbujas cargadas son transportadas por áreas de limpieza, espacio ubicado por encima de áreas de recuperación. Cuando las partículas se pegan a las burbujas en áreas de recuperación, existe la probabilidad de que las partículas de ganga queden reternidos entre las burbujas, sin tener adhesión a ninguno de ellos por lo que son llevados hacia las superficies de pulpa. En síntesis, esta área tiene funciones importante como:

- 1.- Elimina las partículas de ganga, reduciendo la contaminación del concentrado.
- 2.- Suprima el flujo de lodo de alimentación a la salida del concentrado haciendo que el líquido fluya hacia abajo en todas las partes de la columna.

### **2.3.2.3 Zona de Espuma (3)**

Comprende el tramo en la cual se forma la propia capa de espuma que al desbordarse por la parte superior, pasa a conformar el concentrado. La espuma que se produce por agregados de partículas y burbujas se encuentran compuestos por hidrofóbicas, gracias a la acción limpiadora. Asimismo, a parte de tres secciones existen diferentes aspectos importantes, resaltando a área de alimentación de pulpa que normalmente se ubica en 60% a 85% de la altura de columna y el área de descarga de relaves que comprende y es vista como un cono receptor que se encuentra acoplado en la columna.

Por otro lado, un aspecto importante que se considera en que la flotación sea eficiente es el tamaño que tienen las burbujas que repercute directamente en procedimientos de colisión de partículas burbuja, resaltando tres efectos que son:



1.- A tamaño reducido de burbujas hace que la superficie por unidad de volumen aumenta, suministrando un espacio mayor disponible que permite que las partículas tengan adherencia producto del aire dado.

2.- Asimismo, las burbujas conforman como un especie de estela a medida que ascienden y transportan el material que no fue adherido por las burbujas, demostrando que mientras más grandes sean las burbujas se elevan más rápido y llevan consigo más material.

3.- Por otro lado, se considera que “hidrodinámica burbuja partícula sugiere que las partículas finas nunca chocan con las burbujas grandes. Dado que las partículas finas son de menor masa, no pueden desviarse de la línea de corriente principal y son alejadas fuera del camino de la burbuja”.

## **2.4 FORMA DE LA CELDA COLUMNA.**

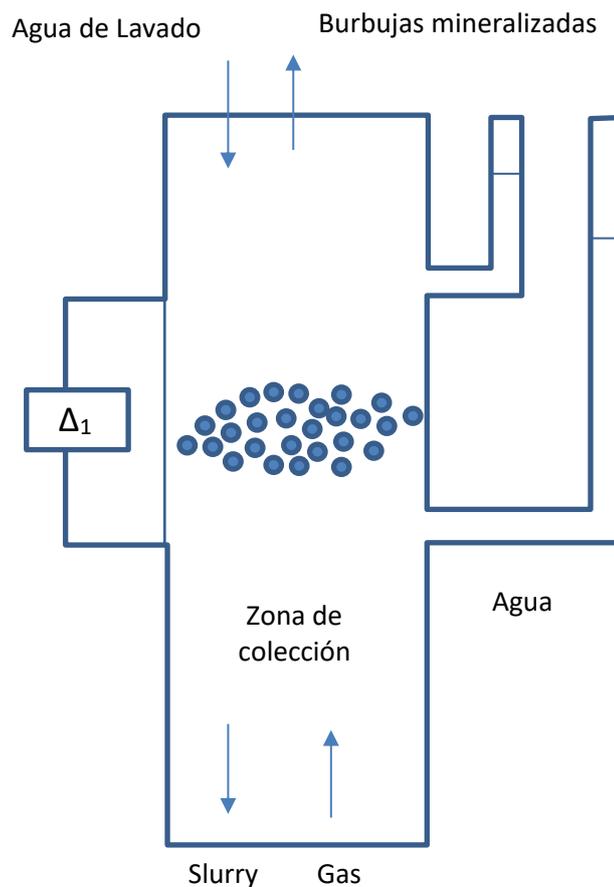
Estas se diferencian de acuerdo a la forma rectangular, redonda o cuadrada que adquieren junto al diámetro pequeño y una altura mayor, sin embargo existe prevalencia mayor de formas redondas, debido que otras formas necesitan material adicional de hierro, evidenciando que tratarlo requiere costo adicional. forma rectangular, cuadrada o redonda con un diámetro pequeño y una gran altura.

### **2.4.1 Aireación de la Celda Columna**

En este apartado cobra importancia mayor el mecanismo de inserción de aire a la celda columna el cual se ejecuta a través de inyectores tanto externos como internos que tienen la finalidad de optimizar la generación de burbujas y su tamaño. “El sistema consiste en la disolución de aire en agua alimentada controlada a una pequeña cámara que contiene grava, a presiones que fluctúan entre 60 y 70 PSI. También es importante el burbujeador microcel de Process Engineering Resources, Inc., que es un

mezclador fijo que se coloca fuera de la columna formando microburbujas que van desde 1000 a 600 micrones. En donde, podemos mencionar los sparger slam jet de Canadian Process Technologies con regulación automática de gas, que funcionan fuera de la columna y están diseñados para una fácil instalación y mantenimiento en línea”.

**Figura 4.** Medida de la presión del gas y dirección de flujo en la celda – columna



Para el respectivo control de aire se realiza mediante la medición de tiempo dentro de la celda que se denomina Holdup, que consiste en la fracción de aire presente en la pulpa de cualquier de las celdas de flotación que se presenta en porcentaje y se establece planteando 2 visores, es decir parte de arriba y abajo, observando que los niveles muestren diferencia mejores el cual debe ser de manera proporcional de aire.



## 2.5 GENERADORES DE BURBUJA

Normalmente existe dos determinantes presentes en el proceso de flotación, como es el tamaño de burbuja y de partícula, brindando métodos adecuados en favor de tratamiento de minerales finos. Como es la disminución de tamaño de burbujas hace que la colisión entre la burbuja y partícula se mayor, por tanto esta disminución de tamaño se obtiene mediante la aplicación de métodos en el proceso de generación de burbujas, existen distintos tipos de generadores, sin embargo se agrupa en dos que son generadores externos e internos.

## 2.6 GENERADORES INTERNOS

Este tipo de generador se “ubican en la base de la columna con conexión al exterior, que suministra aire a una determinada presión para dar el tamaño de burbuja adecuado, los insumos de construcción son muy variados, que van desde una placa rígida perforada, porosa como el acero, cerámica y otros materiales flexibles como polímeros y caucho natural”. Asimismo, existe diferentes técnicas para generar burbujas, resaltando a la liberación de presión, electroflotación y el vacío.

Asimismo, cabe resaltar que los generadores internos en su totalidad se aplicaron en diferente medida el cual fue adaptado acorde a las condiciones y los costos que implica su aplicación. Por otro lado, el tamaño de cada burbuja depende mucho de la abertura y tasa de flujos mediante el orificio, estos generadores hacen que las burbujas tengan bajos consumos de potencia

De igual manera, cabe resaltar que los generadores de caucho flexible, crean burbujas con reducido tamaño y tiene efectos autolimpiantes gracias a las propiedades que tiene en comparación con otros métodos, que vendría ser el fenómeno de dilatación de agujeros.



## **2.7 GENERADORES EXTERNOS.**

Estas se utilizan en las columnas de flotación generalmente brindan medios limitados que permiten controlar el porte de las burbujas producidos y de la rapidez de la inyección de aire, medios limitados para controlar el tamaño de la burbuja producida y la velocidad de aire con la que es inyectado. Dichas limitaciones a menudo crean daños por tanto son considerables como perjudicial en la flotacion, específicamente para la recuperación de minerales finos. Además, los esquemas convencionales de producción de burbujas necesitan de manera continua mantenimientos y una interrupción constante del funcionamiento de la columna para realizar mantenimiento. Esta situación se produce porque el generador se localiza al interior de la columna. Poniendo en necesidad que es importante realizar estudios como es contar con sistemas de generación externas, que comprende de una cámara de mezcla presurizada con equipamiento correspondiente que permita realizar actividades de inyección de aire.

Para el control de tamaño de las burbujas, es importante adicionar aire y agua al sistema de generador, que permite controlar flujos de tamaño de burbuja adecuado, por tanto se inyecta la mezcla a la columna a través de un orificio pequeño ubicado en área de descarga

Finalmente, el generador requiere mantenimiento y reparación sin embargo esta se realiza sin paralización alguna del funcionamiento del equipo, porque el generador se localiza al exterior de la columna, haciendo que esta sea factible y versátil para los operadores.

## **2.8 AGUA DE LAVADO**

En la celda de la columna, el agua de limpieza tiene funciones muy relevantes, tales como:



- Conformacion del sesgo
- Mantenimiento de nivel de espuma y pulpa
- Realizar limpieza del concentrado.
- Lubricante de partículas mineralizadas.
- Boceto de Columnas de Flotación.

La excelencia del proceso y el diseño es importante contar con cantidad mayor de tipos de aparatos de columna. Existen diferentes enfoques para la selección de los planos existentes, el primero de los cuales se basa en la guía de la pulpa y la corriente de aire.

Considerando que las columnas de flotacion en su mayoría trabajan bajo régimen de contracorriente, que consiste en alimentar en la parte superior que comúnmente a una profundidad de 1/3 de altura y de la zona salida. “Son evacuados en la parte inferior de la columna. Se fabricaron dispositivos que mezclan corrientes paralelas y contracorrientes de pulpa y aire, asimismo, existen columnas que introducen el aire y la pulpa en la parte inferior de la celda, y cuyas colas también son descargadas en la parte inferior de la celda”. Este modelo se considera como una tecnica paralela, pese que el flujo es ascendente esta se debe al líquido atrapado entre las burbujas y los procesos de circulación.

Hay dispositivos de una sola celda y de múltiples secciones; “estos se subdividen en 2 grupos: columnas con corrientes paralelas de pulpa y flujo de aire y aquellas que mezclan tramos de corriente paralela y contracorriente”.

El tipo de funcionamiento de las burbujas y partículas son los principales factores que rigen la probabilidad de formación de agregados en la flotación, el grado de apertura de la superficie de burbujas, la velocidad de flotación y la energía del proceso



“La velocidad relativa de partículas y burbujas en contracorriente, a una velocidad de corriente de pulpa de 2 cm/seg y un tamaño medio de burbuja de 1,5 - 2,5 mm, es de 10 - 12 cm/seg”. En contra-corriente de pulpa y aire, se reduce la velocidad de ascenso de las burbujas, lo que eleva su tiempo de retención y eleva el coeficiente de utilización del aire y la capacidad específica del aparato. Las fuerzas de inercia que romper el agregado de partículas de burbujas son en una columna de flotabilidad.

## **2.9 CELDAS DE COLUMNA CONVENCIONALES.**

“Column Flotation Co. of Canada Ltd” fue una de las primeras empresas que fabrico e implementó columnas de flotación. La empresa fabrico una columna de celdas huecas de 10 a 15 metros de altura y de 0,4 a 2 m de diámetro. “Los difusores de aire (tubos de metal envueltos de tela, tubos de goma perforados) se colocan en la parte inferior de la celda, la alimentación se introduce en la columna desde la parte superior, siendo la altura de la zona de lavado “distancia desde el punto de alimentación hasta el borde de desbordamiento de espuma usualmente de 2 a 3 metros”. La zona de celda de forma cuadrada o redonda, la generación de espuma sobrepasan el canal de descarga, ubicado en el perímetro de la columna. Para aumentar el grado de concentrado, se vierte una pequeña cantidad de agua en la zona de espuma, a una profundidad de entre 0 y 0,3 metros desde el borde del rebosadero, y se reparte paralelamente por toda la sección de la celda. El espesor de la capa de espuma cambia entre 0,2 y 2 metros, de acuerdo al tipo de operación. “La compañía fabrica columnas de 13,6 metros de alto y de sección cuadrada (0,45 x 0,45 x 0,9 x 0,9 y 1,8 x 1,8 metros). Para realizar la intensidad de mezcla y mejorar el resultado de la separación, la columna de sección 1,8 x 1,8 metros se divide en cuatro de 0,9 x 0,9 metros mediante dos pantallas perpendiculares”.

Estas columnas son de diseño convencional, donde la fusión aire agua se adiciona a través de la unión de tubos perforados. En columnas de más de 1,8 m de



diámetro se agregan canales internos de desbordamiento de espuma, debido a que en estos dispositivos la capacidad de descarga de la espuma puede ser un factor que limite el rendimiento del proceso.

## **2.10 REACTIVOS DE FLOTACIÓN DE ESPUMAS.**

La mayoría de los minerales cuando se encuentran como tal generalmente no repelen al agua, ni se parecen tanto al aire, viéndose en la necesidad de añadir a la pulpa reactivos o flotadores químicos para conseguir un nivel de control. Por lo tanto, se dice que “los reactivos de flotación son el complemento y variable más importante del proceso, debido a que la flotación no se puede hacer eficientemente sin ellos, ya que influyen en ella con una sensibilidad extraordinaria, ya que no solo influye el tipo de reactivo que se adiciona, sino más bien la mezcla completa de reactivos, su potencia y cantidad, el punto y método de adición”.

## **2.11 CLASIFICACIÓN DE LOS REACTIVOS DE FLOTACIÓN.**

Podemos clasificar en 3 grandes grupos que son:

**Colectores:** consiste en “dotar de propiedades hidrofóbicas a las superficies mineralizadas”.

**Espumantes:** contribuyen a “la formación de espumas estables, de tamaño y mineralización adecuados”.

**Modificadores:** son usados como reguladores de condiciones óptimas que facilitan seleccionar colectores.

Para tener una comprensión mayor, debemos recordar que los minerales en su totalidad se clasifican en dos grupos y son los siguientes:

- polares



- No polar o apolar

Los minerales con fuertes enlaces superficiales covalentes o iónicos se conocen como tipos polares presentan niveles altos de energía libre en superficies polares, que reacciona de manera fuerte con moléculas de agua, catalogándose como hidrofílicos y estas se agrupan en varios tipos según la magnitud de la polaridad, que aumenta del grupo 1 al 5 en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Clasificación de los minerales polares grupo 1

| <b>GRUPO 1</b> |                                  |
|----------------|----------------------------------|
| <b>Mineral</b> | <b>Fórmula</b>                   |
| Galena         | PbS                              |
| Covelita       | CuS                              |
| Bornita        | Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> |
| Chalcosita     | Cu <sub>2</sub> S                |
| Chalcopirita   | CuFeS <sub>2</sub>               |
| Estibinita     | Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   |
| Argentita      | Ag <sub>2</sub> S                |
| Bismutita      | Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   |
| Milerita       | NiS                              |
| Cobaltita      | CoAsS                            |
| Arsenopirita   | FeAsS                            |
| Oropimente     | As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>   |
| Pentlandita    | (Fe,Ni)S                         |
| Rejalgar       | AsS                              |
| Au, Ag, Pt, Cu | (nativos)                        |

Fuente: Elaboracion propia.



**Tabla 2.** Clasificación de los minerales polares grupo 2

| <b>GRUPO 2</b> |                                      |
|----------------|--------------------------------------|
| <b>Mineral</b> | <b>Fórmula</b>                       |
| Barita         | BaSO <sub>4</sub>                    |
| Anhidrita      | CaSO <sub>4</sub>                    |
| Yeso           | CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O |

Fuente: Elaboracion propia.

**Tabla 3.** Clasificación de los minerales polares grupo 3

| <b>GRUPO 3<sup>a</sup></b> |   |
|----------------------------|---|
| <b>Mineral</b>             | <b>Fórmula</b>                          |
| Cerusita                   | PbCO <sub>3</sub>                       |
| Malaquita                  | CuCO <sub>3</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub>  |
| Azurita                    | 2CuCO <sub>3</sub> .Cu(OH) <sub>2</sub> |
| Wulfenita                  | PbMoO <sub>4</sub>                      |

Fuente: Elaboracion propia.

**Tabla 4.** Clasificación de los minerales polares grupo 3b

| <b>GRUPO 3b</b> |  |
|-----------------|--|
| <b>Mineral</b>  | <b>Fórmula</b>                                       |
| Fluorita        | CaF <sub>2</sub>                                     |
| Calcita         | CaCO <sub>3</sub>                                    |
| Widerita        | BaCO <sub>3</sub>                                    |
| Magnesita       | MgCO <sub>3</sub>                                    |
| Dolomita        | CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                  |
| Apatita         | Ca <sub>4</sub> (CaF)(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> |



|             |   |
|-------------|---|
| Scheelita   | $\text{CaWO}_4$                                     |
| Smithsonita | $\text{ZnCO}_3$                                     |
| Rodocrosita | $\text{MnCO}_3$                                     |
| Siderita    | $\text{FeCO}_3$                                     |
| Monacita    | $(\text{Ce,La,Di})\text{PO}_4 \cdot \text{ThSiO}_4$ |

Fuente: Elaboracion propia.

**Tabla 5.** Clasificación de los minerales polares grupo 4a

| <b>GRUPO 4a</b> |  |
|-----------------|--|
| <b>Mineral</b>  | <b>Fórmula</b>   |
| Hematita        | $\text{Fe}_2\text{O}_3$                                      |
| Magnetita       | $\text{Fe}_3\text{O}_4$                                      |
| Goetita         | $\text{Fe}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$               |
| Cromita         | $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$                     |
| Ilmenita        | $\text{FeTiO}_3$   |
| Corindón        | $\text{Al}_2\text{O}_3$                                      |
| Pirolusita      | $\text{MnO}_2$   |
| Limonita        | $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$           |
| Boráx           | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ |
| Wolframita      | $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$                                  |
| Columbita       | $(\text{Fe,Mn})(\text{NbTa})_2\text{O}_6$                    |
| Tantalita       | $\text{Fe}(\text{Ta}_2)\text{O}_6$                           |
| Rutilo          | $\text{TiO}_2$   |
| Casiterita      | $\text{SnO}_2$   |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.** Clasificación de los minerales polares grupo 4

| <b>GRUPO 4</b> |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| <b>Mineral</b> | <b>Fórmula</b>                      |
| Zircón         | $ZrO_2 \cdot SiO_2$                 |
| Willemita      | $Zn_2SiO_4$                         |
| Hemimorfita    | $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$      |
| Berilo         | $Be_3Al_2(SiO_3)_6$                 |
| Silimanita     | $Al_2SiO_5$                         |
| Granate        | $(Al,Fe,Cr)_2(Ca,Mg,Mn)_3(SiO_2)_3$ |
| Cuarzo         | $SiO_2$                             |

Fuente: Elaboracion propia.

### 2.11.1 Los minerales en el grupo 3

Cuentan con la igualdad del nivel de polaridad, no obstante se considera y denomina como hidrofóbicos al grupo 3 debido a la sulfuración de la superficie del mineral en un medio acuoso alcalino. Asimismo, “los metales nativos, los minerales del grupo 1 son todos sulfuros y débilmente polares debido a su enlace covalente, que es relativamente inferior en comparación con el enlace iónico de los minerales de carbonato y sulfato”. En consecuencia, el grado de polaridad se incrementa desde los minerales sulfurados, pasando por los sulfatos hasta los carbonatos, haluros, fosfatos, etc., luego los óxidos de hidróxido y por último los silicatos y el cuarzo.

### 2.11.2 Los minerales no polares

Se diferencian porque están compuestas por moléculas catalogado como débiles, en otras palabras en moléculas covalentes que se unifican por las fuerza de Van der Waals, lo que significa que estas no se adhieren de manera fácil a los dipolos de agua y por lo tanto, son hidrofóbicas. Y estas se clasifican en los siguientes:

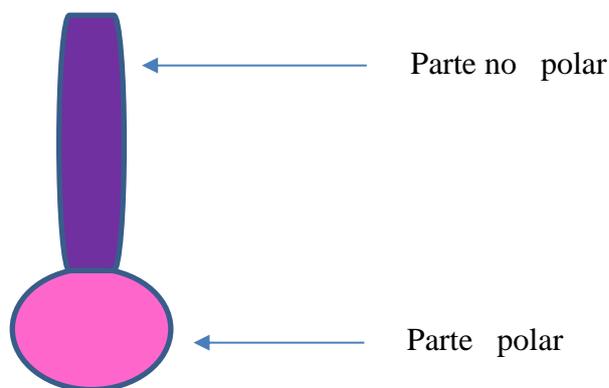
- El grafito.
- El azufre.
- La molibdenita.
- El diamante.
- El carbón.
- El talco.

## 2.12 COLECTORES.

Son sustancias orgánicas de moléculas enredadas con una esquema asimétrica y heteropolar, donde adopta la “función principal es adherirse el área del mineral valioso hidrofobizándolo selectivamente dentro de la pulpa, para crear condiciones que reduzcan la energía libre superficial del mineral húmedo, hasta un punto donde es posible la formación de un perímetro de contacto de fase ( mineral, agua y aire), favoreciendo el amarre de la partícula mineralizada a la burbuja”.La gran parte de los colectores cuentan con dos partes:

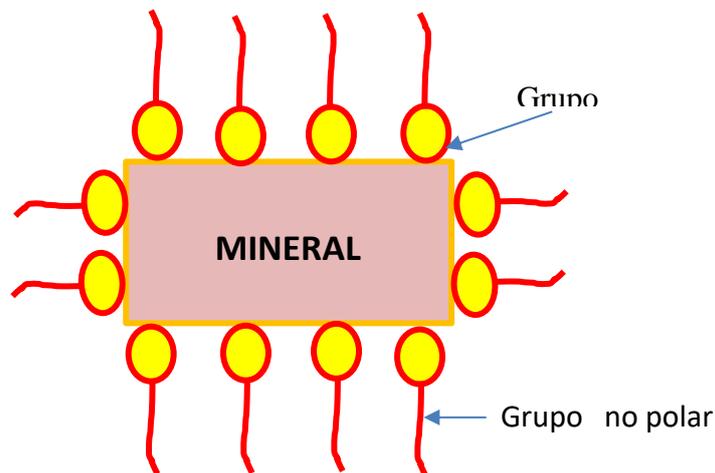
- Parte polar.
- Parte no polar.

**Figura 5.** Ambas con propiedades diferentes

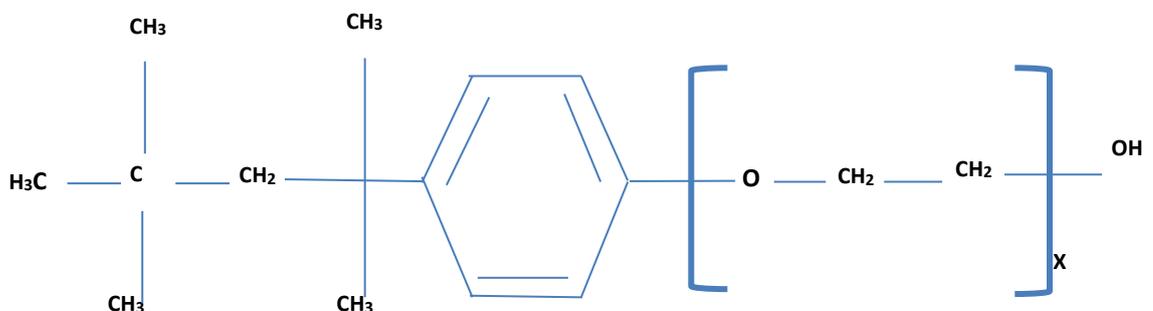


La parte no polar de la molécula es un radical hidrocarbonado, que apenas reacciona con los dipolos del agua, por lo tanto, tiene fuertes propiedades para separar el agua, por lo que le otorga “ propiedades hidrofóbicas al mineral, ya que este lado funcional está guiado hacia el agua. La parte iónica es la parte que se puede adsorber colectivamente en la superficie del mineral por reacción química con los iones en la superficie o por atracción electrostática a la superficie del mineral ”. Tal como se observa en la figura 6.

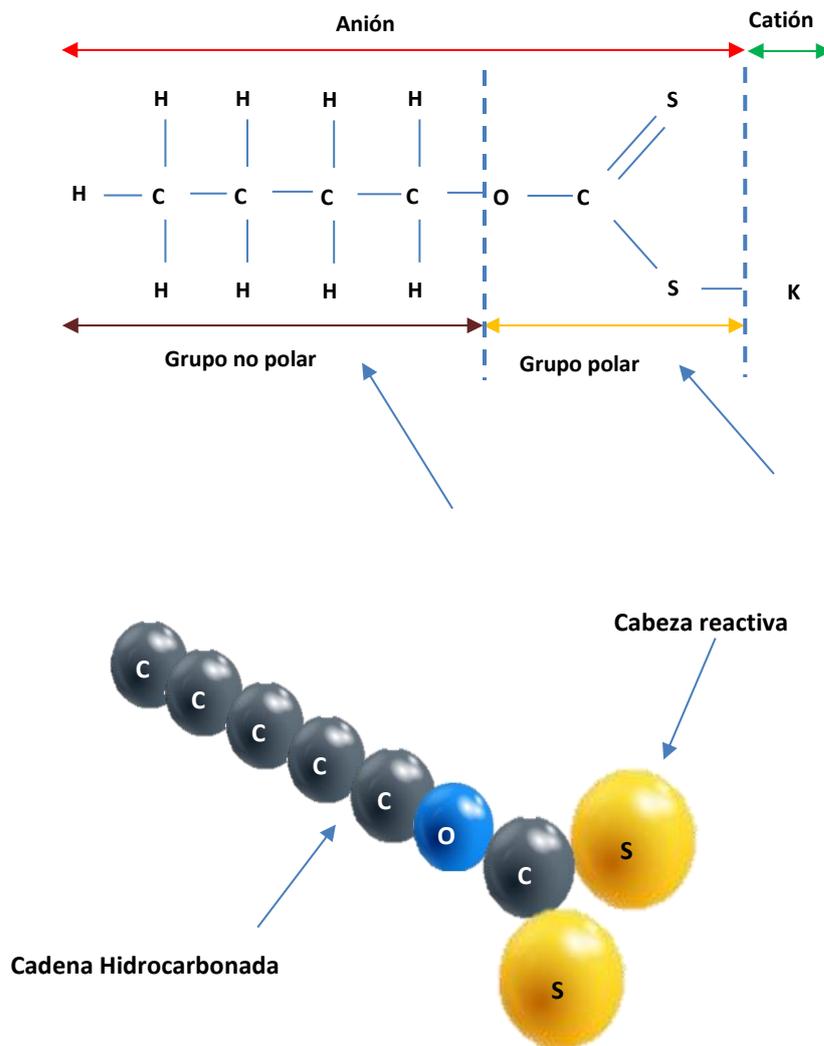
**Figura 6.** Adsorción del colector sobre una superficie mineral



**Figura 7.** Se representa la estructura del colector, conocido como teuton 400



**Figura 8.** Esquema estructural de un colector



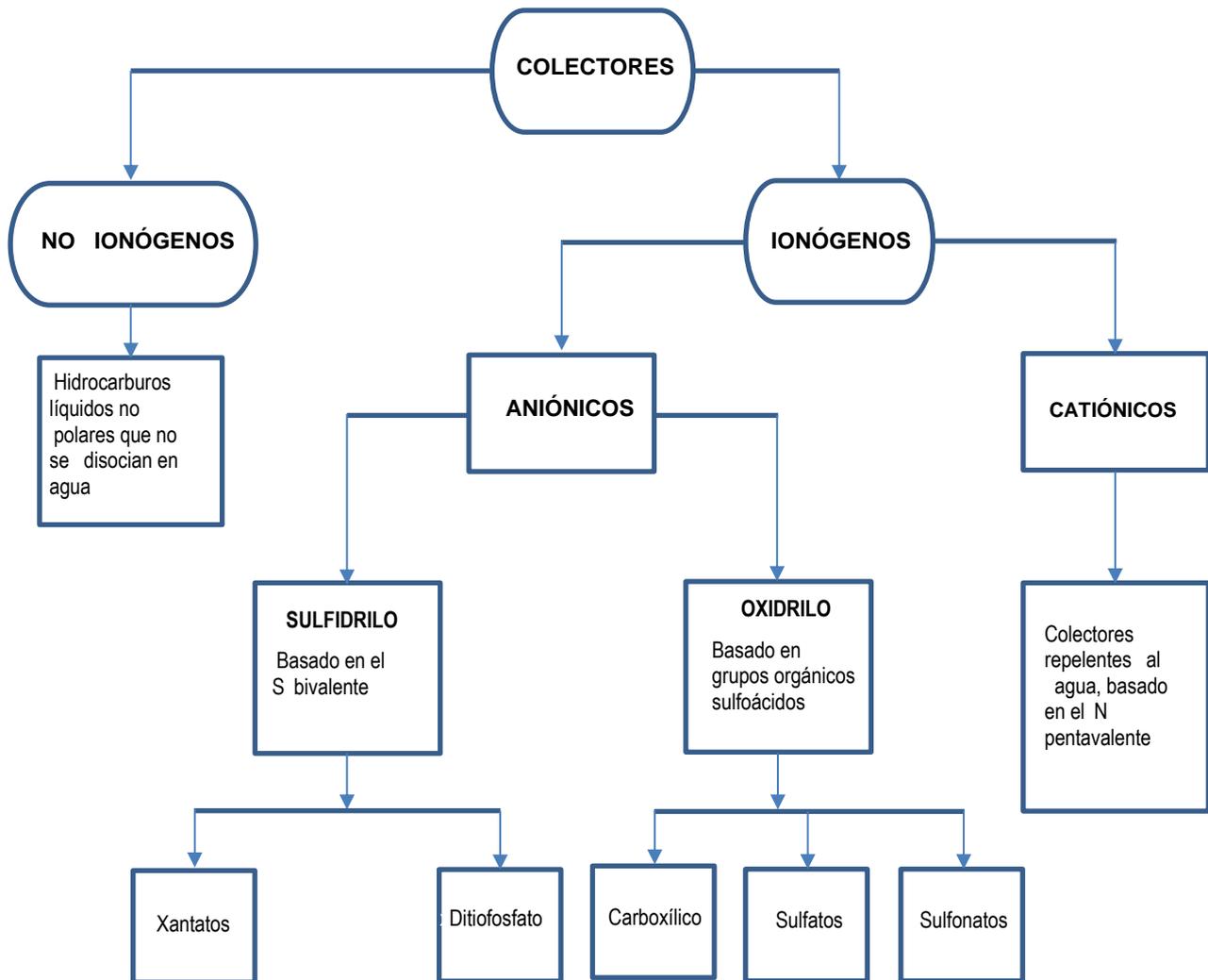
### 2.12.1 Clasificación de los colectores.

Se agrupan de acuerdo con su capacidad de disociación en solución de acuosa y tomando en cuenta el ion que genera hidrofílico y se divide en lo siguiente:

- Ionogénicos, que se disgregan en iones
- No ionogénicos, su acción es molecularmente

A continuación, se da una clasificación general:

**Figura 9.** Clasificación general de colectores



### 2.13 COLECTORES ANIONICOS

Tiene aplicación mayor en el proceso de flotación de minerales, debido a “su notable selectividad y su fuerte adherencia a la superficie del mineral” y se agrupan en lo siguiente:

- Aniones sulfhidrilos o sulfhidricos.
- Aniones oxhidrilos.



### 2.13.1 Los colectores sulfhídricos

Comprende a los “reactivos más utilizados en la industria de tratamiento de minerales, ya que son más efectivos para la flotación de minerales de metales pesados no ferrosos, principalmente sulfuros. Se diferencian porque su grupo solidófilico contiene el sulfuro bivalente”.

Los colectores de aniones que fueron mayor utilizados son los xantogenatos, conocidos como xantatos, y los ditiofosfatos, también conocidos como Aerofloats. Asimismo, “se han utilizado en los últimos años tionocarbonatos de dialquilo, tiocarbanilida y mercaptobenzotiazol, y de forma limitada ditiocarbonatos y mercaptanos de alquilo, así como xantoformiatos o formiatos de xantógeno (Minerec)”.

### 2.13.2 Los xantogenatos o xantatos

Son derivados del ácido carbónico,  $H_2CO_3$ , en los que dos oxígenos se reemplazan por azufre y un hidrógeno se reemplaza por un grupo alquilo o arilo. Hasta el momento, a pesar de numerosos estudios intensivos, los detalles de su comportamiento en diversas condiciones aún están bajo estudio. “Una larga revisión de Rao, 1971, dio a conocer la preparación de xantatos y dixantógenos, su actividad química y su función en la industria de los minerales, así como en la celulosa, en la química, en la vulcanización del caucho, como pesticidas, inhibidores de la corrosión y lubricantes, aceites Reid, 1962 cubre la química de los xantatos” Coucouvanis, 1970 y Jorgensen, 1962 revisan la formación y la estructura del complejo.



Los xantatos son sustancias cristalinas duras con un característico olor propio, debido a la existencia de una cantidad muy reducida de mercaptanos. Los xantatos de metales alcalinos generalmente presentan un color, de blanco a amarillo claro. Los xantatos más utilizados son:

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| ✓ Xantato etílico de potasio      | $C_2H_5OCS_2K$    |
| ✓ Xantato etílico de sodio        | $C_2H_5OCS_2Na$   |
| ✓ Xantato amílico de potasio      | $C_5H_{11}OCS_2K$ |
| ✓ Xantato isopropílico de potasio | $C_3H_7OCS_2K$    |
| ✓ Xantato isopropílico de sodio   | $C_3H_7OCS_2Na$   |
| ✓ Xantato hexílico de potasio     | $C_6H_{13}OCS_2K$ |
| ✓ Xantato butílico sec. de sodio  | $C_4H_9OCS_2Na$   |
| ✓ Xantato isobutílico de sodio    | $C_4H_9OCS_2Na$   |

### 2.13.3 Colectores derivados del xantato

Entre los más importantes tenemos los siguientes:

- ✓ Xantoformiatos.
- ✓ Tionocarbamatos.
- ✓ Esteres xanticos.
- ✓ Mercaptanos.

### 2.13.4 Los xantoformiatos

Proviene de los xantatos, por lo tanto, son el producto de la reacción del xantato de etilo de sodio con el cloroformiato de etilo, es decir; los xantoformatos son líquidos aceitosos amarillos que son insolubles en agua. El xantoformiato de dietilo se utilizaba, como colector para cemento de cobre en procesos LPF (lixiviación, precipitación y flotación), actualmente solo se usa en el circuito ácido de El Teniente



(Chile) donde la mejor fórmula de reactivo usa gasolina al 30% de gasolina y 10% de MIBC, mejorando así la recuperación de molibdenita. Esta variación disminuye considerablemente gastos de colector debido que las dosis siguen continuando con las mismas que con el xantoforato puro se mantiene la recuperación. En el tratamiento de minerales, los xantoforatos pueden ser manipulados a través de tuberías preferentemente de acero inoxidable y PVC (plástico), sin embargo, no se puede cuando existe la presencia de cobre. Los plásticos suelen usarse con precaución mayor debido que son disolventes buenos para el PVC normal, pero este es el caso del polietileno y el propileno, por lo que son aceptables.

### 2.13.5 Los tionocarbamatos

Los tionocarbamatos son derivados de los xantatos, que se emplea para hacer reaccionar un xantato con un aluro de alquilo dando lugar a un éster, el cual reacciona con una amina para dar lugar al tionocarbamato.

- ✓ Isopropil etil tionocarbamato (DOW – Z-200)
- ✓ Isopropil metil tionocarbamato.
- ✓ Butil metil tionocarbamato.
- ✓ Isobutil etil tionocarbamato.
- ✓ Isobutil metil tionocarbamato.
- ✓ Etil isopropil tionocarbamato.

Los

tionocarbamatos son líquidos incoloros, insolubles en agua, pero muy solubles en solventes orgánicos por lo que su uso en flotación puede mezclarse con espumantes en cualquier proporción. Por su contenido de impurezas, huelen a compuestos de azufre.



### 2.13.6 Los esteres xánticos

Se considera los siguientes:

- Ester alil amil xantato
- Ester alil hexil xantato.

### 2.13.7 Los ditiofosfaftos o aerofloats

Son colectores que son fundamentales en el proceso de flotación de sulfuros, los cuales se caracterizan por tener fósforo pentavalente en su grupo solidófilo. Los ditiofosfatos son colectores débiles, pero dan buenos resultados en mezcla con xantatos. Cuentan con una propiedad espumante, la mayoría se agregan en concentraciones del 100 % (puras) y generalmente se agregan durante la molienda para lograr un mejor contacto con la mena valiosa. Solo los solubles pueden agregarse en soluciones no menores al 10% P/V.

Los ditiofosfatos más usados son:

- ✓ Mezcla di etil y di butil ditiofosfato de sodio. (AF-208)
- ✓ Di cresil ditiofosfato de sodio + ácido cresílico + tiocarbanilida(6%) (AF-242 y AF-31).
- ✓ Ácido cresílico + 15% di amil ditiofosfato de sodio. (AF-15)
- ✓ Ácido cresílico + 25% di amil ditiofosfato de sodio. (AF-25)

### 2.13.8 Los colectores aniónicos de oxhidrilo

Estos colectores son usados para la flotación de minerales no sulfurados que transportan metales alcalino térreos como cationes, es decir, Ca, Ba, Mg, Sr, así como óxidos de carbonato y minerales sulfatados. Los carboxilatos o ácidos grasos y sus sales se usan con mayor frecuencia en el tratamiento de minerales, que se extraen de



madera o de fuente de grasa animal, entre los más comunes se encuentran el ácido oleico, el ácido linoleico, el ácido abiético y el ácido linolénico.

### **2.13.9 Colectores catiónicos**

La característica de este grupo de colectores es el catión considerado como el agente hidrofóbico, que comprende en un radical hidrocarbonado y un grupo solidófilico que contiene el nitrógeno pentavalente. Comúnmente, los aniones de este tipo de colectores son haluros y raramente hidróxidos, que no toman parte activa en la reacción con los minerales, los reactivos de amina son considerados los más comunes para uso en flotación, los cuales son adsorbidos en la superficie del mineral generalmente debido a la presión electrostática entre la cabeza polar del colector y la doble capa eléctrica en la superficie del mineral, siendo una adhesión débil.

## **2.14 COLECTORES NO -IONICOS**

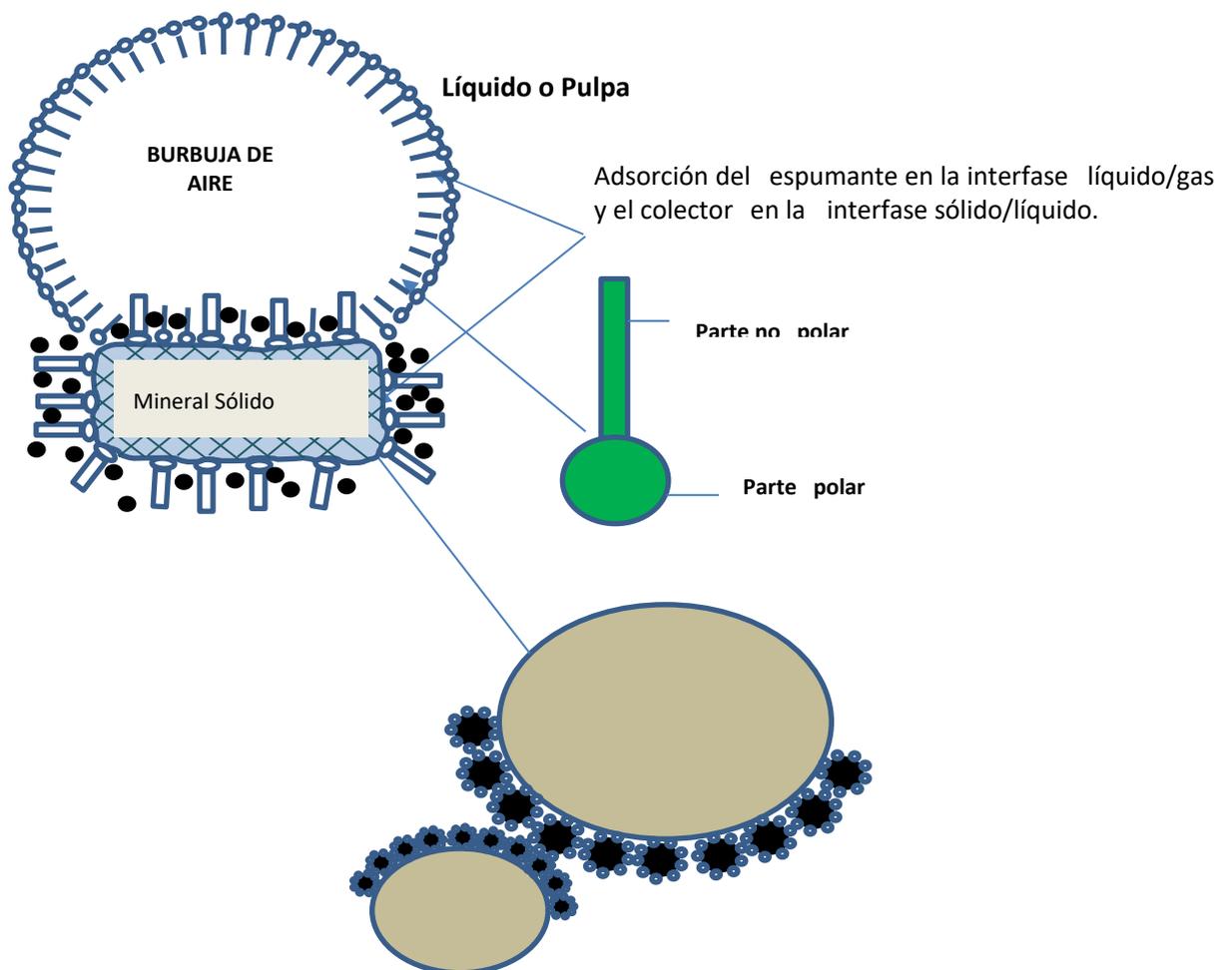
Comprende aquellos reactivos que tienen deficiencias de iones y polares, por lo que no poseen medios propios que permitan adherirse a superficie mineralizadas, siendo necesario agregarlos en combinaciones con los demás componentes orgánicos heteropolares para que puedan ser útiles, es decir, “son reactivos que se adsorben sobre otros colectores que ya han sido adsorbidos, denominándose a este fenómeno coadsorción; estos colectores no iónicos son el petróleo, el queroseno, el aceite de transformadores y de hidrocarburos saturados o no saturados que no tienen grupos polares”.

### **2.14.1 Espumantes**

Son sustancias orgánicas heteropolares de superficie activa que se pueden adsorber en el área de la interface aire-agua. Funcionan para brindar una adecuada resistencia mecánica a las burbujas de aire, manteniéndolas separadas, para que puedan

presentar áreas de adherencia adecuadas para las partículas mineralizadas flotantes, y consecuentemente lograr la estabilidad de la espuma, la cual reduce su energía superficial libre y la tensión superficial del agua. De esta forma, la estructura polar de la molécula de agente espumante se adsorbe en el área de la interface agua-aire con su grupo no polar orientado hacia el aire y los grupos polares hacia el agua, debido a que estos grupos hidrófilos tienen una gran afinidad por el agua. El uso de agentes espumantes dependerá del pH de la pulpa, donde su capacidad de formación de espuma es máxima cuando el reactivo se encuentra en forma molecular. En la siguiente figura se observa:

**Figura 10.** Esquema de adsorción del espumante en una burbuja de aire





### 2.14.2 Clasificación de los espumantes.

Se diferencian de la siguiente manera:

1. Espumantes ácidos
  - ✓ Alquil arilsulfonatos.
  - ✓ Fenoles.
2. Espumantes neutros.
  - ✓ Alcoholes alifáticos.
  - ✓ Sustancias con enlaces éter.
  - ✓ Polialcoxi alcanos.
  - ✓ Monoéteres poliglicólicos.
3. Dialquiltalatos.
4. Alcoholes aromáticos y alicíclicos.

### 2.14.3 Modificadores de espuma.

El agente espumante más usado es el aceite de pino, que contiene 3 terpineoles  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  es una solución de color amarillo claro a amarillo oscuro, su fórmula es  $C_{10}H_{17}OH$ . El ácido cresílico está formado por tres isómeros: Para, Ortho y Metacresol. Contiene derivados de fenol y xiloil así como hidrocarburos aromáticos. En síntesis, es fundamental de un espumador es formar una espuma uniforme, que permita extraer el concentrado, por lo que también tiene efectos valiosos en un circuito de flotación como:

1. Provoca la producción de burbujas más finas.
2. Evita la coalescencia.

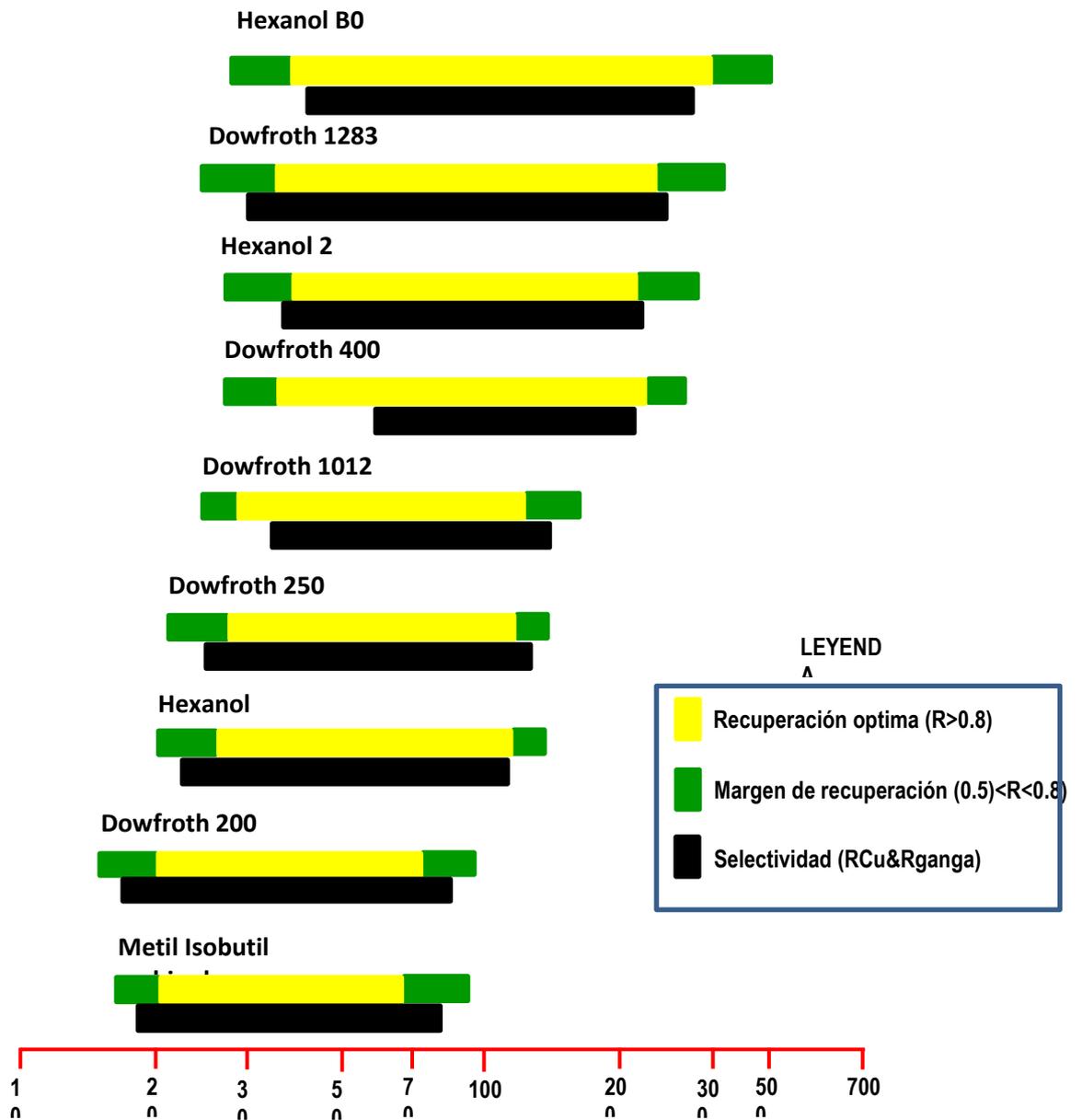


3. Regula la velocidad a la que suben las burbujas a la superficie de la pulpa.
4. percuten en la acción del colector.
5. Aumenta la resistencia de la película de la burbuja mineralizada de la espuma formada.

Para considerar un espumante se debe tomar en cuenta condiciones, tales como:

- ✓ Debe actuar a bajas concentraciones y producir una espuma de volumen y estabilidad adecuada.
- ✓ Las espumas deben destruirse fácilmente al salir de la celda.
- ✓ Las espumas deben permitir el drenaje o desaguado o lavado de las partículas finas arrastradas, pero no colectadas.
- ✓ El espumante debe ser de bajo precio y efectivo.
- ✓ De nulo poder colector.
- ✓ El espumante debe ser poco sensible a las variaciones del pH y a las sales disueltas en la pulpa.
- ✓ La cantidad utilizada debe oscilar entre 5 y 150 g/t.

**Figura 11.** Influencia de la estructura del espumante como una función del tamaño de partícula en una mena de sulfuro de cobre



### 2.14.4 Modificadores o reguladores.

Se utilizan en flotación debido que permite controlar y modificar acciones del colector, el cual poder potenciando o disminuyendo el repelente del agua encima de la superficie del mineral. El modificador implica tanto la reacción con el mineral, como con los iones presentes en la pulpa, siendo esta reacción de carácter químico, dependiendo de su acción y uso en flotación, es variado. Representados de la siguiente manera:

**Figura 12.** \*R denota un grupo no polar, generalmente un grupo hidrocarburo alquil, aril o cíclico

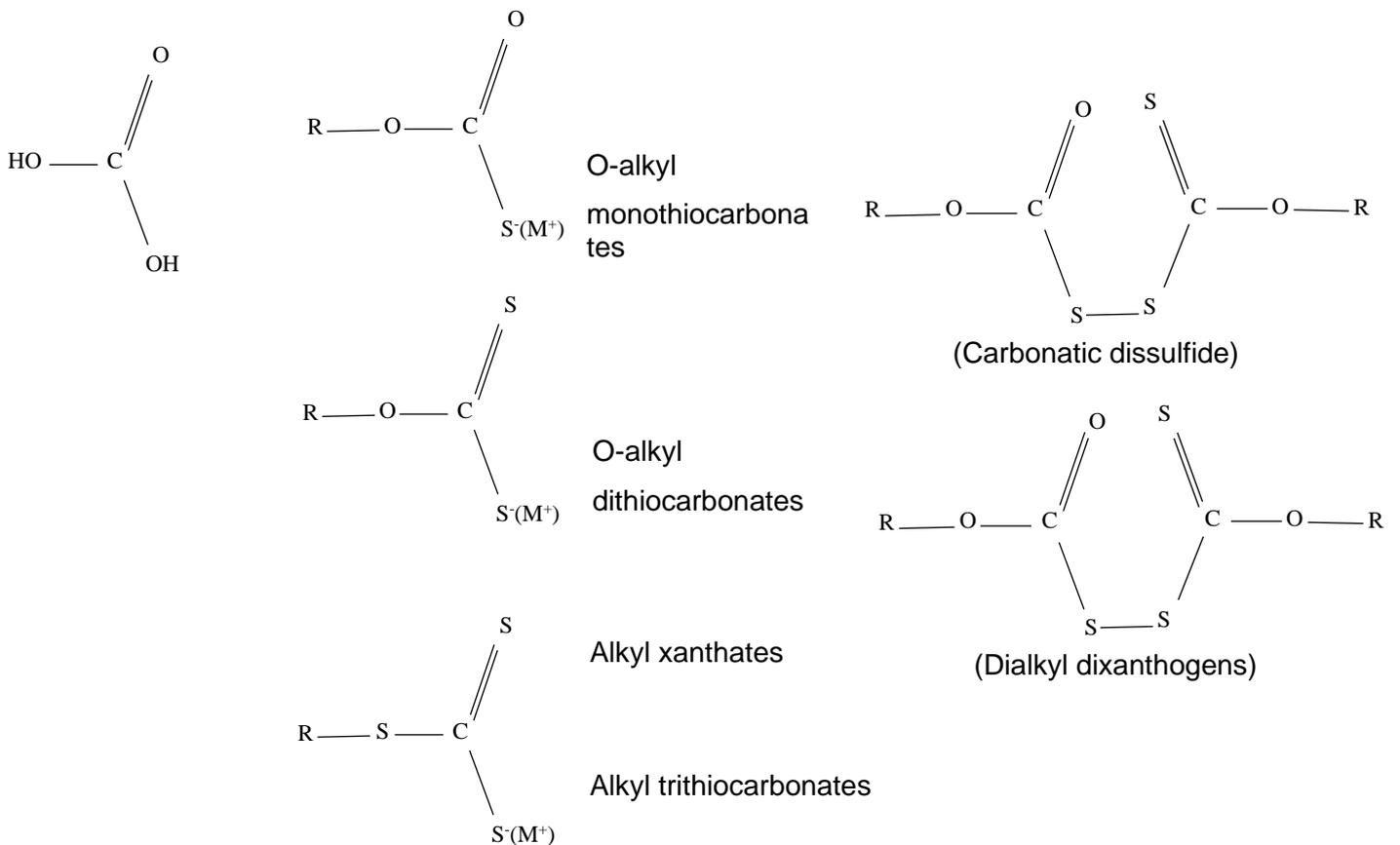
1. Alcohols

RSH

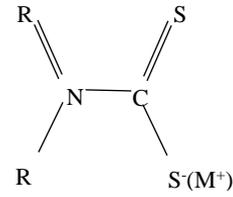
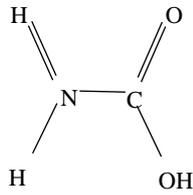
Mercaptans

RS-SR (Dialkyl disulfides)

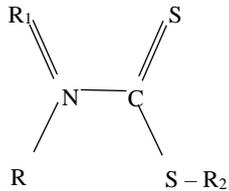
2. Carbonic acid



### 3. Carbonic acid



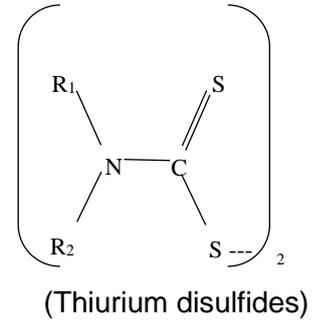
Dialkyl dithiocarbamates



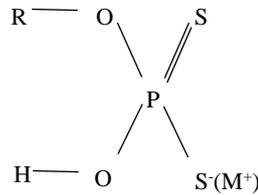
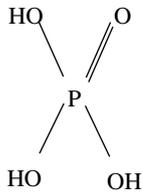
Alkyl thionocarbamate

Esters (c.g. Dow Z-200, Where

R<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>-, R<sub>2</sub>-C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>-)

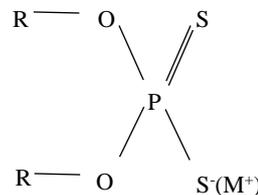


### 4. Phosphoric acid



Monoalkyl  
dithiophosphates

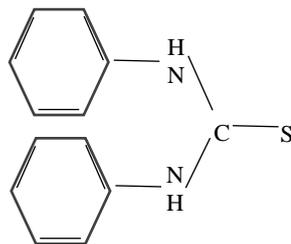
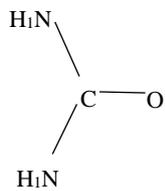
Tetraalkyl  
bis-dithiophosphates



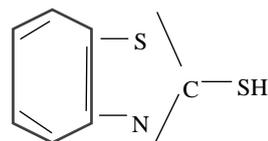
Dialkyl  
dithiophosphates  
(Aerofloats)

(oxidation products  
analogous to  
dixanthogens and  
disulfides)

### 5. Urea



Diphenyl thiourea  
(thiocarbamide)



Mercaptobenzothiazole  
(Flotagen, Captax)

#### 2.14.5 Activadores.

Son sales solubles cuyos iones alteran la naturaleza química de las superficies



de los minerales valiosos, de tal forma que mejoran la adsorción de un colector, haciéndolos hidrofóbicos y flotantes, es decir, hacen más selectiva la acción del colector.

Entre los principales activadores están los siguientes:

1. Sales solubles de metales pesados no ferrosos, que activan al esfalerita (Cu,Pb), pirita (Cu), cuarzo (Cu, Ca, etc) y ciertos no sulfuros.
2. El sulfuro de sodio y otros sulfuros solubles en agua, se utilizan en la activación de minerales metálicos no ferrosos oxidados tales como la cerusita, malaquita, etc.
3. El oxígeno atmosférico, que activa la flotación de sulfuros y a algunos minerales no sulfuros.

#### 2.14.6 Depresores.

Son reactivos que impiden la adsorción de un colector por un mineral, haciéndolo hidrofílico. Esto permite una flotación selectiva. Una forma de depresión natural se debe a las escamas presentes en la pulpa que cubren los minerales haciéndolos hidrofílicos.

Los reactivos que podemos usar en la flotación de minerales son:

- El sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) y otros sulfuros solubles en agua, es usado para deprimir los sulfuros.
- El cianuro ( $\text{Na}^+$  o  $\text{K}^+$ ) es usado en la flotación selectiva de sulfuros, es usado para deprimir la esfalerita, minerales de cobre y pirita.
- Los sulfitos, bisulfitos, hiposulfitos y algunos sulfatos (Zn, Fe), se usan para la flotación selectiva de menas sulfurosas, deprimiendo a la



esfalerita.

- El silicato de sodio, es usado para deprimir el cuarzo, calcita y otras gangas y la separación selectiva de no sulfuros.
- La cal ( $\text{CaO}$  o  $\text{Ca(OH)}_2$ ) se usa como depresor especial para los iones unidos a los sulfuros en la flotación de menas sulfurosas.
- El complejo cianuro-zinc deprime a sulfuros de cobre (calcosita).
- El ferrocianuro y reactivos Nokes - hidróxido de sodio más pentasulfuro de fósforo - deprime sulfuros de cobre.
- El Fluorosilicato y ion fluoruro para deprimir cuarzo y silicatos.

#### **2.14.7 Modificadores de pH.**

La efectividad de todos los reactivos de flotación depende en del grado de alcalinidad ( $\text{OH}^-$ ) o acidez ( $\text{H}^+$ ) de la pulpa. Haciendo que la finalidad de las pruebas de flotacion es obtener valor de pH optimo que permita tener una combinación mineral y reactivo. El pH es uno de los determinantes que es medible de manera fácil en una pulpa de flotación, siendo caracteristico su uso en plantas concentradoras que trabajan con sulfuros, porque genera resultados metalurgicos positivos evitando la corrosión de equipamientos metálicos. Por otro lado, existe plantas concentradoras que le dan poco uso en tratamiento de pulpas acidas, es decir a minerales acidas. En síntesis, la alcalinidad que mayor aplicación tiene es la cal y el hidróxido de sodio, siendo el cal que posee costo menor, no obstante si existe la presencia de ion calcio que presenta problemas es necesario el uso de hidróxido.

**Tabla 7.** Agentes resurfactantes

| Agente Activo                 | Adicionado como                 | Uso                                      | Colector    |
|-------------------------------|---------------------------------|--|-------------|
| <b>Catiónico</b>              |                                 |  |             |
| Cu <sup>++</sup>              | CuSO <sub>4</sub>               | Activador de sulfuros de Zn, Fe, Co, Ni. | Xantato     |
| Pb <sup>++</sup>              | Acetato de plomo                | Activador de la Estibinita               | Xantato     |
| Pb <sup>++</sup>              | Acetato de plomo                | Activador de la halita                   | Acido graso |
| Ca <sup>++</sup>              | CaO o Ca(OH) <sub>2</sub>       | Depresor de la pirita                    | Xantato     |
|                               |                                 | Activador de la sílica                   | Acido graso |
| Zn <sup>++</sup>              | ZnSO <sub>4</sub>               | Depresor de la esfalerita y marmatita    | Xantato     |
| <b>Aniónico</b>               |                                 |  |             |
| O <sup>-</sup>                | Aire                            | Depresor de la pirrotita                 | Xantato     |
| SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | Depresor de esfalerita                   | Xantato     |
| S <sup>-</sup>                | Na <sub>2</sub> S               | Activador de mineral oxidado de Pb y Cu. | Xantato     |
|                               |                                 | Depresor de todos los sulfuros           | Xantato     |
| CN <sup>-</sup>               | NaCN                            | Depresor de sulfuros de Cu, Zn y Fe.     | Xantato     |
| SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Silicato de sodio               | Depresor de gangas limosas               | Xantato     |
|                               |                                 | Activador de silicatos                   | Catiónico   |
| CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | Activador de sulfuro de plomo            | Xantato     |
|                               |                                 | Depresor de ganga                        | Ácido graso |
| <b>Coloide orgánico</b>       |                                 |  |             |
| Dextrina, almidón             |                                 | Depresores de ganga limosa               | Xantato     |
| Sulfonato de lignina          |                                 | Depresor de limos carbonáceos            | Ácido graso |

Fuente: Elaboracion propia



### 2.14.8 Avances recientes en reactivos de flotación.

En la Actualidad la ciencia, según R.R. Klimpel ha lanzado al mercado 5 familias de nuevos reactivos para la industria de los minerales, donde se detallan a continuación:

**Serie F** de colectores de quelación, sus propiedades son:

- Están basados en la familia química  $R^I - S - R^{II} - NR^{III}R^{III}$ .
- Colecta por unión S/N con el metal valioso en el mineral.
- Muy potente por unidad de masa.
- Alta recuperación de Pt, Au, Zn, Cu de minerales complejas.

**Serie S** de Colectores Electroquímicos.

- Aparece también en la familia química  $R^I - S - R^{II}$ .
- Se acumulan por asociación de azufre con sulfuros valiosos como los que se oxidan durante la molienda.
- Focalizado sobre la pirita de la chalcopirita, molibdenita, pentlandita, esfalerita activada por cobre y algunos metales valiosos contenidos en la mena.
- Relativamente insensible a las variaciones químicas y al pH del agua.

**Serie C** de colectores de estructura cristalina.

- Fundamentado en la familia química Dialkilmonosulfonato difenil óxido.
- Se colectan por adsorción preferencial en alto grado a razón del área superficial de la estructura cristalina.
- Focalizado sobre sílice y pirita.
- Capacidad de separación inusual de minerales que antiguamente no



podían ser procesados por flotación.

- Relativamente insensibles al pH y a la dosificación.

**Serie B** de agentes de control de la sílica.

- Fundamentado en la química de la amina hidrofílica  $(H)_m - N - (ROH)_n$ , donde  $m + n = 3, 1 \leq n \leq 3$
- Evita la adsorción del colector aniónico sobre la sílice elevando significativamente la ley.
- Eficaz en dosis muy bajas para deprimir la sílice.

**Serie H** Espumantes No iónicos Hidrofóbicos.

- Adquiridos en productos de reacción de alcoholes alifáticos selectos más concentraciones controlados de óxidos de alquileo.
- Agente espumante muy efectivo para partículas gruesas.
- Potente por unidad de masa en relación a otros agentes espumantes.

## 2.15 PRINCIPALES SUMINISTRADORES DE REACTIVOS PARA FLOTACIÓN

Para tener éxito en el proceso de flotación de forma que se obtenga el máximo beneficio del mineral suministrado a la Planta Concentradora esto requiere de la óptima interacción de sus componentes, siendo el principal el colector; por lo tanto, debe cumplir con los requisitos de operación adecuada. Los colectores deben ser:

- Lo suficientemente fuerte para mejorar la recuperación y lo suficientemente débil para mejorar la selectividad.
- Capaz de proporcionar alta velocidad de flotación y buena espuma.
- Insensible a variaciones en la composición mineral y calidad del agua.



- Diseñado para cumplir con los requisitos ambientales, es decir, fácilmente degradable.
- Fácil de transportar, almacenar y manejar.
- Económicamente conveniente, es decir, de bajo costo.

Las empresas que fabrican estos reactivos conocen estos requisitos y nos ayudan a seleccionar los más adecuados en cada caso. Estos son:

### **2.15.1 Azko Nobel**

Es una empresa que opera a nivel mundial, fabrica reactivos aniónicos, anfóteros y catiónicos. Los colectores son comercializados bajo las marcas de fábrica Atrac, Lilafлот, Armoflote, Armeen y Ethomeen, que son usados principalmente para minerales no sulfuros tales como apatito, barita, calcita, dolomita feldespatos, espato flúor, cianita, magnesita, potasa, pirocloro, cuarzo, scheelita, wolastonita y óxidos de zinc.

### **2.15.2 Allied Colloids**

Abastece reactivos colectores, espumantes y depresores bajo la marca Procol. Los colectores de sulfuros son xantatos, tiocarbamatos, mercaptobenzotiazoles, mercaptanos, ditiolfosfatos y ditiocarbamatos, para los minerales que no son sulfuros, tiene ácidos grasos, éter-aminas, éter-diaminas, aminas grasas, sulfosuccinatos y ácidos grasos modificados. Fabrica agentes espumantes a base de alcohol y glicol. También depresores a base de quebracho, mimosa, dextrina y otros almidones modificados.

### **2.15.3 Cerquim Minería S.A**

Empresa chilena que fabrica una amplia gama de productos químicos para



flotación que incluye colectores CQ7012 (etilxantato), CQ7013 (isopropilxantato) y CQ7014 (isobutilxantato) para minerales sulfurados y metales nobles; el colector de espuma CQ7015, que es del tipo ditiofosfato, muy eficaz para la flotación de cobre/molibdeno, el agente espumante CQ7005 con una amplia gama de aplicaciones, y el CQ7001, regulador de espuma.

#### **2.15.4 Hoechst**

Esta empresa fabrica colectores, espumantes y depresores. Los agentes colectores de hidroxilo aniónicos de la marca Flotonor incluyen sulfatos y sulfonatos de alquilo, así como fosfatos de alquilo y arilo, ácidos fosfónicos y ácidos aminocarboxílicos, sulfosuccinatos y sulfosuccinatos. Se ha demostrado que estos reactivos Flotonor dan buenos resultados en la flotación de minerales no sulfurados y minerales industriales como casiterita, columbita, wolframita, scheelita, barita, espato flúor, minerales pesados de arena de vidrio y especialmente apatita. Los colectores catiónicos de las marcas Flotigam y Genamin, comprenden principalmente aminas grasas, alquilpropilendiaminas grasas, éter-diaminas, aminas grasas etoxiladas, cloruros de alquilamonio cuaternario y otras aminas que pueden usarse como colectores de cuarzo, feldespatos, mica y otros minerales de silicato, pirocloro y sales de potasio. También se utilizan con frecuencia en la flotación inversa, por ejemplo, para eliminar cuarzo y ganga silíceas de minerales de hierro, magnesita y fosfatos. Espumante marca Montanol (alcoholes alifáticos), Flotol (aceites de pino) y floatol (poliglicoles, ésteres de poliglicol, etc.). Fabrica agentes depresores de flotación como los productos Tylose utilizados como dispersantes y depresores para arcilla fina y silicatos.



### **2.15.5 Mineral reagents international**

Cuentan con cuatro nuevas familias patentadas de productos químico. Estos nuevos productos ofrecen un mejor incremento en la selectividad y recuperación de sulfuros y óxidos. Los reactivos de la serie B son sílice y depresores y dispersantes finos. Los colectores de la serie C impiden la sensibilidad química del agua y la escasa selectividad en la flotación de algunos minerales oxidados. Los colectores de la serie F combinan la gran capacidad del nitrógeno para formar compuestos complejos que contienen azufre con la afinidad por los minerales metálicos que contienen azufre. Así, por ejemplo, el colector F-100 es muy valioso en la flotación de sulfuros con contenido de oro libre. Los reactivos de la serie S son colectores de acción electroquímica, diseñados para mantener y controlar la hidrofobicidad de los minerales útiles, siendo muy selectivos con la pirita. Por ejemplo, los colectores S-701 y S-702 cuya acción depende del Eh - utilizados en la flotación general de Cu/Mo son muy selectivos respecto a la pirita en un amplio rango de pH y, además, refuerzan la recuperación del Oro.

### **2.15.6 Nalco Chemical Company**

Produce productos químicos para la industria minera; Naflote 9844 tiene excelentes características de formación de espuma y una capacidad de recolección moderada, produce una espuma fuerte y estable que es capaz de soportar partículas de carbono más gruesas; Naflote 9845 tiene una gran capacidad de recolección y se recomienda para carbones gruesos y difíciles de flotar; Naflote 9847 funciona bien con la mayoría de los tipos de carbón y con él la espuma se rompe excepcionalmente bien en la canaleta.



### **2.15.7 Oxiquim S.A**

Fabrica colectores como isopropil-xantato e isobutil-xantato de sodio, CT-700, el cual es un tionocarbamato modificado. Agentes espumantes como carbinol-isobutil-metilo y mezclas de espumantes especiales; depresores y modificadores.

### **2.15.8 La Phillips Petroleum Company**

Fabrica ORFOM CO 100, un n-dodecil-mercaptano que es un colector secundario o acelerador de sulfuros de cobre y hierro de alta eficiencia, para metales preciosos como para el tratamiento de la pirita aurífera. ORFOM CO 404 es un colector fuerte y de acción rápida para calcopirita, calcosita y blenda, cuando se necesita una alta selectividad. ORFOM CO 500, que es dietilditiofosfato de sodio, se usa preferentemente para la flotación de sulfuros de cobre y es altamente selectivo contra la pirita. ORFOM CO 540, compuesto de di-isobutil-ditiofosfato de sodio, con propiedades similares al anterior. ORFOM CO 800, n-butyl-tritio carbonato de sodio, es un colector muy eficiente para sulfuros de cobre, níquel, plomo y zinc. Produce los depresores ORFOM D1 y ORFOM D8, ambos para sulfuros de hierro. El ORFOM MCO es un colector no polar altamente eficiente para la flotación de molibdenita.

### **2.15.9 Reactivos Nacionales S.A. (RENASA)**

Empresa que fabrica gran cantidad de reactivos de flotación, entre ellos se encuentran los xantatos, fabrica etil-xantato de potasio (Z-3), que generalmente se utiliza para minerales complejos Ag- Pb- Zn. El isobutil-xantato de sodio (Z-11), de acción similar al Z-3, es el más utilizado en el Perú para el tratamiento de minerales complejos. El isobutil-xantato de sodio (Z-14) es un colector de energía útil en los circuitos de aceleración(scavenger). El amil-xantato de potasio (Z-6) es un colector



más potente y menos selectivo. Entre los ditiofosfatos utilizados para la flotación de minerales Ag - Pb se encuentra el AR-125, que actúa en circuitos neutros y alcalinos, y el AR-404, que trabaja en circuitos débilmente ácidos (pH 6).

#### **2.15.10 Senmin.**

Distribuye los reactivos fabricados por National Chemical Products y Karbochem en Sudáfrica. Suministra productos de Xantatos, una serie de colectores Senkol que incluye mercaptobenzotiasoles, ditiocarbamatos, ditiofosfatos, tionocarbamatos y ésteres xánticos. Entre los agentes espumantes incluyen el TEB, 41G, serie 6000 y serie 9000.

#### **2.15.11 Shell Chile S.A.**

Distribuye reactivos como: SF-113, isopropil-xantato de sodio, utilizado como colector de Cu, Fe, Mo, Zn y Pb. SF-114, isobutil-xantato de sodio, utilizado para minerales de oro y plata y metales no ferrosos. SF-203, isopropil-etil-tionocarbamato, es un colector de sulfuros de Cu, Fe y Mo en circuitos ácidos y alcalinos. SF-323, isopropil-etil-tionocarbamato, es un colector potente y más selectivo que los xantatos. Actúa en circuitos alcalinos o neutros para la flotación de sulfuros de cobre. Su selectividad lo hace adecuado para la recuperación de sulfuro de cobre en presencia de pirita en el rango de pH de 10 y 11,5 y, cuando se utiliza con otros colectores, permite bajar el pH de operación de 8,5 a 9,5 y minimiza el consumo de cal. También se recomienda para la flotación de sulfuros de zinc.



## 2.16 ESPUMAS DE FLOTACIÓN

En la flotación las espumas deben tener las siguientes condiciones:

- ✓ Las partículas de mineral a flotarse deben adherirse fuertemente en las espumas.
- ✓ La separación suplementaria máxima posible, debido a la separación selectiva de las partículas de ganga, deben producirse en las espumas.
- ✓ Las espumas no deben ser excesivamente estables y deben romperse rápidamente después de salir de la celda de flotación, de no ser así, causarán dificultades en las canaletas de recepción, en el espesamiento y en el filtrado.
- ✓ Las propiedades de las espumas de flotación son de muy fácil control, si las condiciones físicas y físico-químicas del medio se alteran conjuntamente.

Características físicas que determinan las propiedades de las espumas son:

- El espesor de la cama de espuma (colchón).
- La rapidez y método de eliminación de espumas.
- La cantidad de burbujas y partículas mineralizadas presentes.
- Dispersión de las espumas.
- Intensidad del movimiento de la pulpa en la capa inferior inmediata de la espuma.

Las características físico - químicos permiten los cambios en la alimentación de reactivos que afectan la estabilidad del lecho líquido que separa la burbuja.



### **2.16.1 Estructura de las espumas de flotación.**

Las estructuras flotantes consisten en burbujas de aire separadas por lechos de agua, que se pueden dividir en tres tipos básicos, los cuales son:

- Estructura columnar.
- Agregados de espuma.
- Películas de espuma.

### **2.16.2 Las espumas de tipo de estructura columnar**

Usados en la flotación de minerales, usualmente en la concentración de partículas con tamaños normales.

Sus propiedades son:

- Las burbujas de aire en la capa superior son más grandes que las de las capas inferiores.
- Los lechos de agua que separan a las burbujas de aire en las espumas reducen su espesor a medida que se acercan a la superficie superior de las espumas.
- El colchón de espumas es variablemente grueso y varía de 5 a 20 cm.
- Las burbujas de mayor tamaño generalmente son deformadas.

Las espumas en esta forma contienen relativamente más agua que las espumas de los otras formas, particularmente en las capas más inferiores, su estabilidad varía en un rango muy amplio y son extremadamente móviles.

### **2.16.3 Los agregados de espumas**

Consisten en “espumas relativamente enormes que se adhieren entre sí mediante numerosas burbujas de aire”. Son más reducidas que las anteriores, aunque la distribución

de burbujas de varios tamaños a diferentes niveles en las espumas es semejante. Entre las principales características de este tipo de espuma se encuentran:

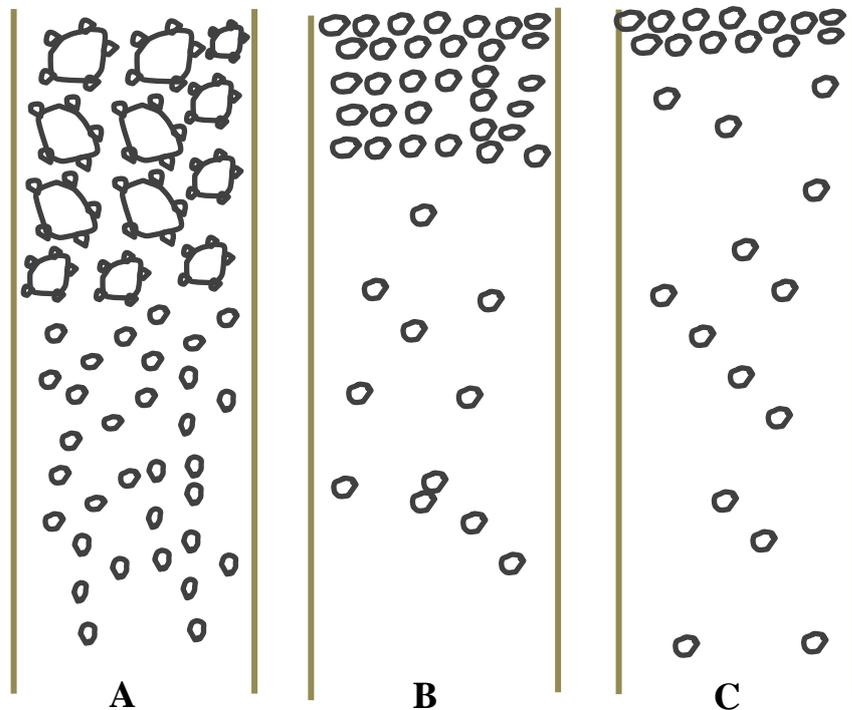
- Contienen relativamente menor agua.
- Son completamente estables.
- Se fracturan rápidamente al salir de la celda.

#### 2.16.4 Las espumas peliculares de flotación

Son iguales a los agregados de espuma, pero son más delgados. Las partículas mineralizadas que se elevan en las espumas de este tipo son enormes, tienen una gravedad específica baja y en general, son fuertemente hidrófobas.

Estos tres tipos de espumas se muestran esquemáticamente en la figura 13.

**Figura 13.** Estructura de los colchones de espuma



A) Tipo de estructura columnar.

B) Tipo agregado de espumas.



### C) Tipo espuma pelicular.

Una buena espuma consiste normalmente en burbujas de aire mineralizado relativamente pequeñas, que se rompen en la superficie de la espuma sin formar burbujas grandes (5 cm) y sin una viscosidad excesiva. Si se forma una espuma seca durante la flotación, es decir, burbujas pequeñas y pesadas, indica que las espumas son demasiado estables, lo que dificulta la eliminación de las espumas y el concentrado es de mala calidad. Si se observa una fina lluvia en la superficie de las espumas indicando su excesiva fragilidad (inestable) y llevan poco mineral, indica que la alimentación del reactivo no ha sido seleccionada correctamente. La señal de una flotación eficiente es la aparición de las espumas con las burbujas de 1 a 3 cm de tamaño, las cuales se encuentran cubiertas casi en su totalidad por una película de partículas minerales, de tal forma que las áreas libres quedan en la parte superior de las burbujas precisamente, la extensión y eficacia de la flotación de control se puede juzgar por el aspecto de las espumas, es decir, su estructura, su tamaño, contenido mineral, color, fluidez o viscosidad.

#### **2.17 ESTABILIDAD DE LAS ESPUMAS.**

La solidez de las espumas de flotación determina una propiedad única que es el tiempo de retención, donde el factor básico en la ruptura de las espumas es también la coalescencia de las burbujas, que se produce cuando el espesor del lecho de agua se reduce considerablemente. que separa las burbujas, cuando no hay suficiente estabilidad de dichas burbujas.

Este lecho de agua se vuelve más delgado por las siguientes razones:

- a. El agua que disocia a las burbujas fluye hacia abajo por acción de la gravedad.

- b. El agua de los lechos se evapora de la superficie de las espumas.
- c. La presión de capilaridad  $P$  ocurre cuando la reducción del lecho de agua ha alcanzado un cierto punto y el agua pasa al "triángulo de Gibbs", tiende a tirar la cubierta de la burbuja hacia adentro y está dada por la ecuación

$$P = \frac{2\gamma_{wa}}{r}$$

Donde :

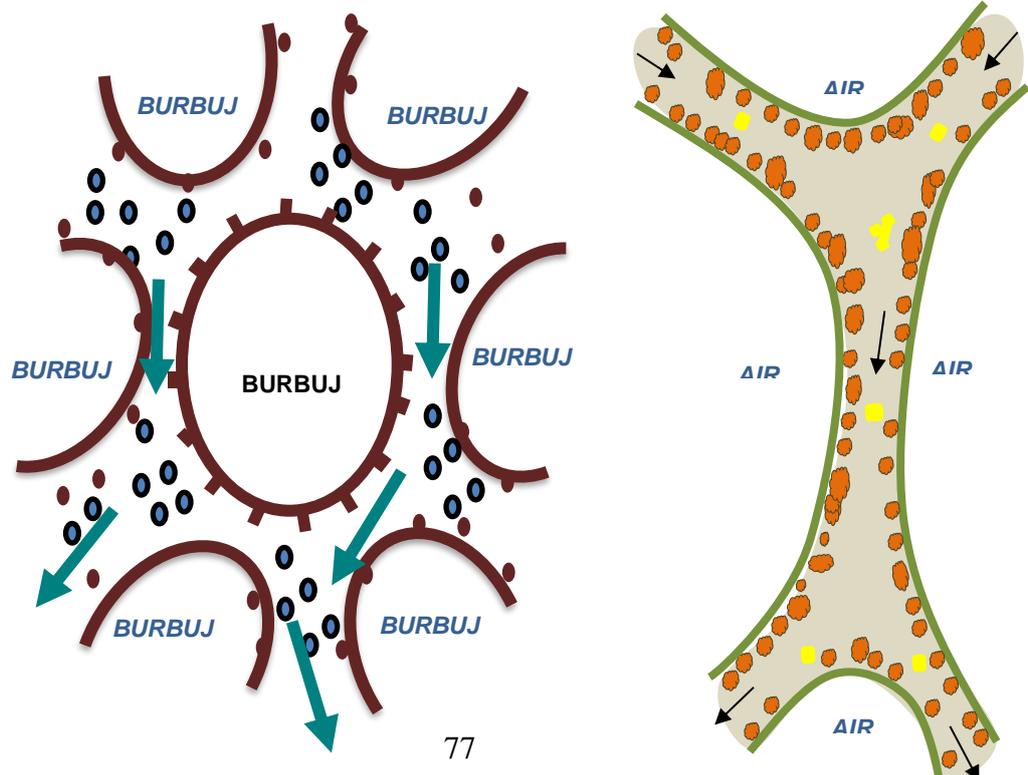
$r$  = Radio de curvatura de la superficie de la burbuja.

$\gamma$  = Energía libre de Gibbs por unidad de área.

$w_a$  = Trabajo de adhesión.

Esto se muestra en la figura 14

**Figura 14.** Flujo de agua en una sección plana del lecho de espumas dentro del triángulo de Gibbs





## **2.18 EFECTO DE LOS REACTIVOS EN LA ESTABILIDAD DE LAS ESPUMAS.**

Los reactivos usados en la flotación alteran la estabilidad de las espumas, tales como :

- Estructura y composición del lecho de adsorción en la superficie de la burbuja.
- Naturaleza de la cubierta del mineral sobre el área de contacto.

De acuerdo a P.A. Rebinder, todos los estabilizadores de cama de agua pueden separarse en tres grupos principales:

- Sustancias tenso activas que forman soluciones coloidales o semi-coloidales en agua, estas sustancias se concentran en el lecho de adsorción y forman una estructura gelatinosa.
- Sustancias solubles en agua transformando una solución real ( moléculas separadas ).
- Sustancias no polares que son prácticamente insolubles en agua (kerosene).



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación aplicada a esta optimización de flotación en celdas columna es de tipo analítico en pruebas metalúrgicas, el presente trabajo desarrolla la evaluación del pH y modificador en la etapa rougher para la flotación en celdas columna.

El pH se define como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno:

$$\text{pH} = -\log_{10} a_{\text{H}^+}$$

#### 3.2 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación es de diseño experimental, de nivel descriptivo aplicada a optimizar la flotación ultrafina con celdas columna para mejorar la recuperación de estaño a nivel laboratorio en la unidad minera San Rafael, Antauta – Región Puno.

##### 3.2.1 Nivel de la investigación

De acuerdo a la investigación esta reúne las características de Nivel de investigación descriptivo y explicativo.

##### 3.2.2 Método y diseño de la investigación.

###### **Método de la investigación y procedimiento experimental**

- Los métodos a usar son analíticos, comparativos y explicativos

## Diseño de la investigación

- Descriptivo y explicativo

Este diseño se realizara de la siguiente forma

**Tabla 8.** Variables e Indicadores

| Variables   | Indicadores  |
|---|--|
| <b>Variable independiente</b><br>-ph, grado de acides.<br>-Modificador teuton.<br>-Granulometria.   | -Potenciómetro y papel pampeha.<br>-Concentración del modificador (g/tn).<br>-Análisis granulométrico. |
| <b>Variable dependiente</b><br>-Optimizar las celdas columna en el circuito de flotación ultrafina. | -Porcentaje de recuperación del cocentrado de estaño.  |

Fuente: Elaboracion propia.

### 3.2.3 Tipo y nivel de investigación

#### - Tipo de la investigación

El tipo de investigación es de diseño experimental nivel descriptivo aplicada a la optimización de la flotacion con celdas columna para mejorar la recuperación de estaño a nivel laboratorio en la unidad minera San Rafael.

#### - Nivel de la investigación

De a acuerdo a la investigación esta reúne las características de nivel de investigación explicativo y descriptivo.



## Diseño de la investigación

Explicativo, Descriptivo y explicativo

Este diseño se realizara de la siguiente forma.

**Tabla 9.** Diseño de investigación

|         |   |  |
|---------|---|--|
| primero | Evaluar las celdas columna en el circuito de flotación ultrafina                  | <ul style="list-style-type: none"><li>- ph del agua de proceso</li><li>- ph de la pulpa</li><li>- Densidad de la pulpa</li><li>- Tipo de modificador que se usa</li></ul>  |
| Segundo | Realizar el muestreo de la flotación de las celdas columna.                       | <ul style="list-style-type: none"><li>- Alimento, concentrado y relve de las celdas columna etapa Rougher.</li><li>- Alimento, concentrado y relve de las celdas columna etapa Cleaner.</li></ul>                    |
| Tercero | Realizar el Análisis de las muestras.   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Densidad</li><li>- pH</li><li>- Granulometría</li><li>- Gravedad especifica</li><li>- Ley de cabeza, concentrado y relave</li></ul>  |
| Cuarto  | Evaluación de los parámetros a optimizar.   | <ul style="list-style-type: none"><li>- pH</li><li>- Modificador</li></ul>   |
| Quinto  | Corrida de pruebas metalúrgicas en el laboratorio metalúrgico                     | <ul style="list-style-type: none"><li>- Modificar el pH de la flotación Rougher de 4 a 6.</li><li>- Modificar el pH de la flotación Cleaner de 3 a 5.</li><li>- Prueba de incrementación de modificadores.</li></ul> |
| Sexto   | Evaluar, comparar y explicar los resultados obtenidos de las pruebas de flotación | <ul style="list-style-type: none"><li>- Tomar medidas de control.</li><li>- Balance Metalúrgico.</li></ul>   |

Fuente: Elaboracion propia.



### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 Población.**

Descarga espesador 70 y/o alimento al circuito de flotación de ultrafinos de la planta concentradora de la U.M. San Rafael.

#### **3.3.2 Muestra.**

El estudio se realizara con una muestra de acuerdo a:

- La densidad de la pulpa.
- Al porcentaje de solidos de la pulpa.
- Alimento a la celda columna etapa rougher
- Concentrado de la celda columna rougher
- Relave de la celda columna etapa rogher
- Alimento a la celda columna etapa Cleaner
- Concentrado de la celda columna Cleaner
- Relave de la celda columna etapa Cleaner

#### **3.3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

##### **Técnicas.**

- Muestreo en pulpa
- Métodos de muestreo
- Tipo de cortadores
- Clasificación de reactivos
- Aforo de ácido sulfúrico
- Recolección de antecedentes de parámetros de flotación



- Recolección del historial de recuperación de estaño en las celdas columna.
- Clasificación de parámetros de flotación.

### **Instrumentos**

- Laboratorio metalúrgico
- Laboratorio químico.
- Computadora portátil laptop.

### **Técnicas de procesamientos y análisis de datos recolectados**

- Utilización de procesadores computarizados.

El procesamiento de datos será informático a nivel de comparativo explicativo y se empleara el paquete estadístico del MICRO SOFT EXCEL el cual permitirá conocer los las curvas de recuperación En cuanto a los indicadores se utilizarán tablas, graficas de barras, dispersión entre otros para detallar los resultados obtenidos.

### **Formulas matemáticas usadas**

El porcentaje de recuperación esta en función de estas variables, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\%R = \frac{C ( F - T )}{F ( C - T )} \times 100$$

%R = Porcentaje de recuperación de metal en el concentrado.

C = Ensayo de metal en el concentrado.

F = Ensayo de metal en la alimentación.

T = Ensayo de metal en las colas.



El porcentaje de recuperación se debe estar calculando día a día y se debe mantener en un valor adecuado de acuerdo a las pruebas realizadas.

La razón de concentración esta en función de estas variables, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$K = \frac{F}{C}$$

K = Razon de concentración

C = Ensayo de metal en el concentrado.

F = Ensayo de metal en la alimentación.

El contenido metalico esta en función de estas variables, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Contenido metalico} = \frac{(\text{ley}) \times (\text{peso})}{100}$$

El radio de concentración esta en función de estas variables, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Radio de concentracion} = \frac{\text{Peso del alimento}}{\text{peso del metal}}$$



### **3.4 MATERIALES**

#### **3.4.1 Personal (responsabilidades)**

- Ejecuta: técnico metalurgista, ayudante de laboratorio metalúrgico.
- Supervisa: Supervisor de turno de Laboratorio Metalúrgico.
- Reemplaza: Ayudante de Laboratorio Metalúrgico.

#### **3.4.2 Equipos de protección personal**

- Casco y barbiquejo
- Respirador con filtros para polvos
- Guantes de cuero, badana, *prótex* o neopreno
- Guantes de nitrilo para manipulación de pulpas o partículas finas
- Lentes de seguridad transparentes
- *Overol con cintas reflectivas*
- Zapatos de seguridad y botas, con punta de acero
- Tyvek (si es necesario)
- Tapones de oído, orejeras.

#### **3.4.3 Equipo / herramienta / materiales de trabajo.**

- Baldes de plástico de 20, 8 y 4 Litros
- Cortador Manual de muestras (para pulpas finas y gruesas)
- Balanza Marcy
- Plumón de tinta indeleble
- Cuarteador de Rifles (muestras secas)
- Cuarteador Cónico (para pulpas)
- Bandejas



- Ro-Tap ATM
- Pulverizador
- Mallas según lo requerido
- Balanza
- Sobres de manila para muestras
- Horno Grieve
- Ro-Tap individual (deslamador)
- Espátulas
- Brochas
- Alcohol
- Pala Jigs
- Formato, cuaderno de registro
- Bolsas para aforar.

#### **3.4.4 Procedimiento (descripción):**

##### **Identificar los puntos a muestrear**

Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgico asignados a la actividad, identificarán los puntos de muestreo en los procesos metalúrgicos a muestrear en caso que desconozcan consultarán al operador del circuito para que le mencione donde queda el punto de muestreo. Colocar baldes de 4, 8 o 20 litros en cada punto de muestreo

Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgico asignados a las actividades, trasladarán los depósitos (baldes) de 4, 8 o 20 litros, con sus respectivas identificaciones (rótulos) y tapas, en el punto donde se sacará la muestra. Verificar que el punto a muestrear este óptimo



Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgico asignados a los trabajos, antes de tomar la muestra deberán de revisar que el punto a muestrear este al 100% optimo, es decir, que planta esté trabajando con sus parámetros normales (tonelaje normal, etc.). Seleccionar el cortador manual adecuado para, realizar la toma de muestra.

Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgico asignados a la actividad, tomarán la muestra con el cortador seleccionado de acuerdo a la granulometría del mineral (fino o grueso) y flujo.

### **Esperar que se regularice el circuito**

Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgico asignados a la actividad, esperarán hasta que planta esté trabajando con sus parámetros normales, en caso contrario no se muestreará.

### **Tiempo de muestreo**

Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgico asignados a la actividad, coordinarán con el Ingeniero o Supervisor de turno los intervalos de tiempo de muestreo en caso sea una muestra compósito, luego tomarán la muestra manualmente y la depositarán en cada balde con el rótulo correspondiente para evitar posible cruce o confusión de muestras.

### **Vaciar la muestra del cortador al depósito**

Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgico asignados a la actividad, vaciarán la muestra del separador con mucho cuidado al depósito (balde) y verificarán que no quede muestra en el separador.



### **Medir la densidad (Según requerimiento)**

Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgico asignados a las actividades, medirán la densidad de la siguiente manera:

- Colgar la Balanza Marcy en un lugar adecuado.
- Sacar la muestra con el cortador, evitar el derrame de pulpa.
- Vaciar la pulpa al vaso Marcy hasta nivelar a los orificios del vaso.
- Pesar el vaso con la muestra en la balanza Marcy y registrar la densidad.

### **Trasladar los depósitos de muestra a Laboratorio Metalúrgico**

Los Técnicos Metalurgistas o Ayudantes de Laboratorio Metalúrgicos asignados a la actividad, culminado el muestreo, trasladarán los baldes con muestra al Laboratorio Metalúrgico y los ubicarán en la zona de preparación de muestras.

### **Preparación de muestra para Ley de Estaño**

Secado de Muestra: El Técnico Metalurgista o Ayudante de Laboratorio Metalúrgico, trasvasará la muestra (pulpa) a una bandeja para secarlo en el Horno Grieve a temperatura de 300°F.

**Nota:** Verificar que las muestras se encuentran relativamente secas introduciendo una espátula de metal y observando que no se adhieren partículas a la misma, esto indicará que se puede proceder con el siguiente paso.

### **Verificar la instalación eléctrica**

El Técnico Metalurgista, deberá verificar la instalación eléctrica del equipo, evitando cualquier contacto con la energía, si se encuentra en mal estado comunicar al Ingeniero o Supervisor de turno.

Antes de iniciar la prueba el Técnico Metalurgista, deberá realizar el Check List de la Celda de Flotación, revisando el óptimo estado, para su operación continua, deberá llenar Check List Celda de Flotación.

### **Determinación de parámetros de flotación**

El Técnico Metalurgista, determinará los parámetros a utilizar, algunos parámetros tomados de Planta son:

- La dosificación de reactivos (cc/min)
- % Sólidos
- G.E.
- pH.

### **Los demás parámetros son determinados mediante cálculos:**

Volumen de celda a utilizar 1.1, 2.2 o 4.6 litros (volumen útil de cada celda)

- Peso de mineral
- Dosis de reactivos (Kg/TM).

**Figura 15.** Parametros de flotación.

| <b>PARÁMETROS - FLOTACIÓN</b> |            |
|-------------------------------|------------|
| pH                            |            |
| rpm                           |            |
| Volumen útil de celda         | Litros     |
| %sólidos                      |            |
| Densidad de pulpa             | Kg/L       |
| Peso de mineral               | Kilogramos |
| Volumen de agua               | Litros     |
| Peso de pulpa                 | Kilogramos |



|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| Colector                    | cc. o gotas |
| Espumante                   | cc. o gotas |
| Tiempo de acondicionamiento | Minutos     |
| Tiempo de residencia        | Minutos     |

Fuente: Elaboracion propia.

### **Limpiar el rotor y estator**

Con la finalidad de eliminar o disminuir los residuos remanentes de mineral y reactivos, el Técnico Metalurgista colocará la celda de flotación en su posición de trabajo y agregará agua pura a la celda, luego encenderá el equipo y abrirá la válvula de aire.

### **Regular los RPM**

El Técnico Metalurgista, desajustará la tuerca de fijación, y regulará los RPM mediante la perilla de ajuste de velocidad, una vez regulado los RPM, se ajustará la tuerca de fijación, apagará el equipo y descartará el agua con la que se lava la celda.

### **Preparación de reactivos**

Los reactivos se prepararán a una concentración 10 o 15%, la cantidad a preparar queda a criterio del Técnico Metalurgista. Los reactivos se prepararán según el procedimiento; *PETS-SR-MINLAB(LABM)-SSO-015* Traslado, Uso, Preparación de Reactivos y Disposición final. Se rotularán las jeringas a utilizar para una fácil identificación de los reactivos.

### **Ajuste del nivel de pulpa**

Según los parámetros de flotación y la celda a usar se calculará el nivel de pulpa. El Técnico Metalurgista agregará mineral en la celda de flotación, el peso de mineral a ser agregado se calculó en el inciso 8.4, luego se agregará el agua hasta que el nivel de



pulpa llegue a la marca de volumen mencionada al inicio (1.1, 2.2 o 4.6 Litros), encenderá el equipo de flotación por unos 2 a 3 minutos para sustituir el aire que pueda quedar incrustado en el mineral, apagará el equipo y se verifica que la pulpa este al nivel inicial, agregando agua si fuera necesario.

### **Regular pH**

El Técnico Metalurgista, encenderá el equipo de flotación y regulará el pH (según pH indicado en el inicio) con ayuda de Ácido sulfúrico o Cal, ambos al 10% w/w, se regula hasta que el pH se mantenga estable.

### **Dosificación y Tiempo de acondicionamiento**

El Técnico Metalurgista añadirá los reactivos de flotación (colector, espumante), la cantidad a añadir es la calculada en el inicio. Una vez añadido los reactivos se cronometra la agitación por un tiempo igual al tiempo de acondicionamiento del inicio.

### **Cinética de flotación**

Para realizar la cinética de flotación se fracciona el tiempo de residencia en al menos 5 partes, ejemplo: Tiempo de residencia de 10 min, tiempos acumulativos: 0.5, 1, 2, 3, 6, 10 min, siendo recomendable que los tres primeros tiempos sean cercanos entre sí. Una vez culminado el tiempo de acondicionamiento, el Técnico Metalurgista colocará una bandeja bajo el labio de la celda, en la cual recepcionará las espumas, luego abrirá la válvula de aire y cronometrará el proceso.

Se dejará que el colchón de espumas crezca y cuando este próximo al labio de la celda se procederá a la remoción de espumas de forma constante a razón aproximada de 50 paletas/minuto. Cuando termine el primer tiempo acumulativo detenemos la remoción para cambiar la bandeja de recepción por una nueva, y luego continuamos la remoción de



espumas hasta que termine el segundo tiempo acumulativo, y tengamos que cambiar la bandeja por una nueva. Después de terminar el segundo o tercer tiempo si nota que baja el nivel de pulpa adicionará agua hasta llegar al volumen inicial y sin cambiar el pH inicial. Seguirá removiendo las espumas y cambiando bandejas hasta que termine el quinto tiempo acumulativo.

### **Prueba de flotación**

Una vez culminado el tiempo de acondicionamiento, el Técnico Metalurgista colocará una bandeja bajo el labio de la celda, la cual recepcionará las espumas, luego abrirá la válvula de aire y cronometrará el proceso. Se dejará que el colchón de espumas crezca y cuando este próximo al labio de la celda se procederá a la remoción de espumas de forma constante. Seguirá removiendo las espumas hasta completar el tiempo de residencia del inicio.

### **Cerrar la válvula de aire y apagar el equipo**

Una vez culminada el tiempo de residencia, el Técnico Metalurgista cerrará la válvula de aire, apagará el equipo moviendo switch de arranque y por último desconectará el cable del interruptor.

### **Verter la muestra que queda en la celda en una bandeja y añadir floculante**

El Técnico Metalurgista, vaciará la muestra que queda en la celda (relave) en una bandeja y añadirá floculante para sedimentar los sólidos y decantar toda el agua posible.

### **Secar y pesar las muestras**

El Técnico Metalurgista, secará y pesará cada muestra, luego reportará los parámetros, condiciones y pesos obtenidos en el formato F-SR-MINLAB(LABM)-SIG-19 Prueba de Flotación.



### **Realizar limpieza del área de trabajo**

- El Técnico Metalurgista, se debe hacer limpieza del área de trabajo:
- Estructura y piso del equipo de flotación.
- Estructura y piso del pulverizador.
- Estructura y piso de la balanza.
- Colocar celda en su respectivo lugar.
- Colocar bandejas en su respectivo lugar.
- Colocar baldes en su respectivo lugar.
- Colocar las espátulas y brochas en su respectivo lugar.

Pulverizar las muestras y enviar a Laboratorio Químico para su respectivo análisis

### **Pulverizar cada muestra siguiendo los pasos:**

El Técnico Metalurgista o Ayudante de Laboratorio Metalúrgico

- Realizará el Check List del equipo; Pulverizador Rock Labs o Pulverizador TMandina; si se presenta algún inconveniente informar al Ingeniero o Supervisor de turno.
- Seleccionar el tiempo de pulverizado con la perilla del temporizador.
- Sacar el cabezal de molienda del pulverizador desajustando el brazo de sujeción, luego añadir la muestra y tapar el recipiente.
- Si el peso de la muestra es mayor a 100 g cuartear la muestra antes de realizar el pulverizado.
- Colocar el cabezal de molienda en el equipo y ajustar el brazo de sujeción.
- Cerrar la tapa del pulverizador porque de lo contrario no trabajará el equipo.
- Iniciar el pulverizado presionando el botón verde.



- Esperar que el equipo se apague automáticamente de acuerdo al tiempo programado, abrir la tapa del pulverizador, desajustar el brazo de sujeción y retirar el cabezal de molienda.
- Retirar la muestra del cabezal de molienda verterlo en el papel glassine y homogenizar, para luego envasar la muestra en su respectivo sobre y dejar el cabezal de molienda limpio con aire a presión para pulverizar la siguiente muestra.

### **Requisitos y restricciones**

- Todo trabajo que no esté indicado en el procedimiento y que necesite realizarse en el puesto de trabajo, deberá ser autorizado por el Ingeniero o Supervisor de turno con una Orden de Trabajo.
- Ninguna labor se realizará sin su respectiva orden de Trabajo.
- Para cada Orden de Trabajo es obligatorio realizar el IPERC Continuo.
- Cumplir con el Reglamento Interno de Trabajo.
- El uso del EPP es obligatorio, desde el momento que ingresa a su labor.
- Solo se podrá operar el equipo si el Operador cuenta con la autorización del Ingeniero.
- Por ningún motivo se debe usar herramientas no autorizadas.
- Por ningún motivo se debe arrancar los equipos sin antes haber realizado una inspección.
- Cuando se realice limpieza con el uso de la manguera obligatoriamente utilizar botas y guantes de jebe.
- No usar los tableros eléctricos.
- Por ningún motivo se debe manipular los equipos en movimiento.



- Mantener siempre ordenada y limpia la zona de trabajo.
- Tener cuidado con los reactivos, leer la hoja MSDS de cada reactivo que utilizará.
- No usar agua contaminada con lama.
- Terminado el trabajo limpiar la celda y equipo.
- Utilizar el teléfono celular en lugares autorizados.
- No usar el teléfono celular en horas de trabajo.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 PRUEBA DE FLOTACIÓN ROUGHER NUMERO 1 ESTANDAR

##### 4.1.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la primera prueba estándar de flotación se considera los siguientes parámetros, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.75 g/cc, la densidad de pulpa es de 1102g/l y un porcentaje de sólido de 14.6% se considerara una muestra seca de 354g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 10.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parametros del mineral |           | Parametros operacionales    |         | Parametros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|-----------------------------|---------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.75 g/cc | Volumen util de la celda    | 2.2 L   | Dp                     | 1102 g/L |
| F80                    | -         | rpm                         | 1300    | %S                     | 14.6     |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 354 g     | Tiempo de acondicionamiento | 5.0 min | V <sub>AGUA</sub>      | 2071 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.1.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 4.10

Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

**Tabla 11.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio

| Etapa                   | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| Flotación de casiterita | 5                          | 8                          | 4.10            |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3 Primer balance metalúrgico.

**Tabla 12.** Primer balance metalúrgico

| Prueba de flotación N° 1 a pH 4.10 |         |       |           |           |      |                        |      |                        |       |                          |       |
|------------------------------------|---------|-------|-----------|-----------|------|------------------------|------|------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Productos                          |         | Peso  |           | Leyes (%) |      | Contenido metálico (g) |      | % recuperación parcial |       | % recuperación acumulada |       |
|                                    | (t)     | (g)   | (%)       | Sn        | S    | Sn                     | S    | Sn                     | S     | Sn                       | S     |
| Espuma Casiterita                  | 1.0 min | 26.3  | 7.47      | 9.28      | 0.56 | 2.44                   | 0.15 | 19.65                  | 12.98 | 19.65                    | 12.98 |
| Espuma Casiterita                  | 4.0 min | 43.9  | 12.4<br>7 | 8.03      | 0.52 | 3.53                   | 0.23 | 28.38                  | 20.42 | 48.02                    | 33.39 |
| Espuma Casiterita                  | 8.0 min | 34    | 9.66      | 5.65      | 0.52 | 1.92                   | 0.18 | 15.46                  | 15.78 | 63.48                    | 49.18 |
| Conc. Casiterita                   |         | 104.2 | 29.5<br>9 | 7.57      | 0.53 | 7.89                   | 0.55 | 63.48                  | 49.18 |                          |       |
| Rlv. Casiterita                    |         | 247.9 | 1.83      | 1.83      | 0.23 | 4.54                   | 0.57 | 36.52                  | 50.82 | 36.52                    | 50.82 |
| Cab. Calculada                     |         | 352.1 | 31.4<br>2 | 3.53      | 0.32 | 12.42                  | 1.13 | 100                    | 100   | 100                      | 100   |
| Cabeza ensayada                    | 3.48    | Ratio | 3.36      |           |      |                        |      |                        |       |                          |       |

Fuente: Elaboración propia.

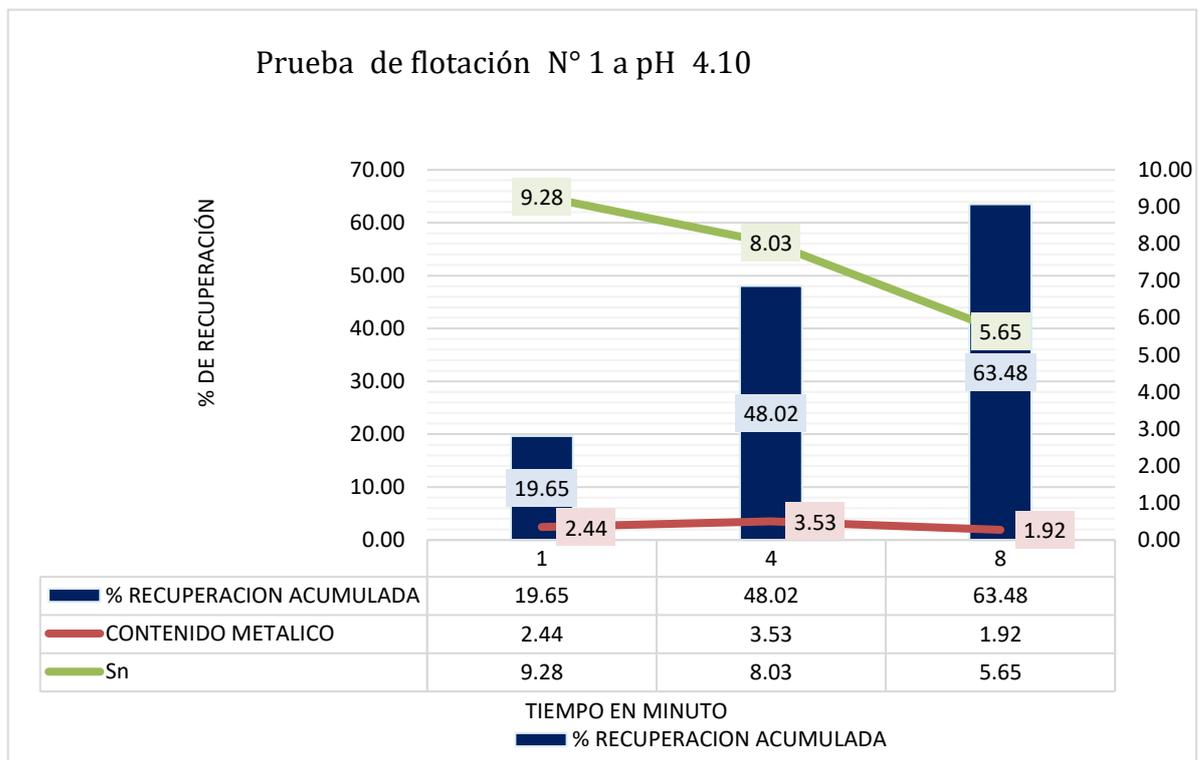
#### Cinetica flotación

- **Cinetica de flotación a 1 minuto.** Tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48 %, al minuto 1 se recuperó 26.30 gramos con una ley de concentrado de 9.28% de

estaño y con 0.56 de azufre, con contenido metálico de 2.44 gramos de estaño y una recuperación parcial de 19.65% de estaño.

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** Tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48 %, al minuto 4 se recuperó 43.90 gramos con una ley de concentrado de 8.03% de estaño y con 0.52 de azufre, con contenido metálico de 2.44 gramos de estaño y una recuperación parcial de 28.38% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48% al minuto 8 se recuperó 34.90 gramos con una ley de concentrado de 5.65% de estaño y con 0.52 de azufre, con contenido metálico de 1.92 gramos de estaño y una recuperación parcial de 15.46% de estaño.

**Figura 16.** Prueba de flotación N° 1 a pH 4.10



Fuente: Elaboración propia.

- **En el minuto 1** se tiene una recuperación acumulada de 19.65 % de estaño con un contenido metálico de 2.44 gramos y con una ley de estaño de 9.28%.



- **En el minuto 4** se tiene una recuperación acumulada de 48.02% de estaño con un contenido metálico de 3.53 gramos y con una ley de estaño de 8.03
- **En el minuto 8** se tiene una recuperación acumulada de 63.48% de estaño con un contenido metálico de 1.92 gramos y con una ley de estaño de 5.65%.

## 4.2 PRUEBA DE FLOTACIÓN ROUGHER. NUMERO 2:

### 4.2.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la segunda prueba de flotación se considera los siguientes parámetros, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.75 g/cc, la densidad de pulpa es de 1102g/l y un porcentaje de solido de 14.6% se considerara una muestra seca de 354g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 13.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parametros del mineral |           | Parametros operacionales    |         | Parametros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|-----------------------------|---------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.75 g/cc | Volumen util de la celda    | 2.2 L   | Dp                     | 1102 g/L |
| F80                    | -         | rpm                         | 1300    | %S                     | 14.6     |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 354 g     | Tiempo de acondicionamiento | 5.0 min | V <sub>AGUA</sub>      | 2071 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 4.75.

**Tabla 14.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio

| Etapa                   | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| Flotación de casiterita | 5                          | 8                          | 4.75            |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3 Segundo balance metalúrgico.

**Tabla 15.** Segundo balance metalúrgico

| Prueba de flotación N° 2 a pH 4.75 |         |        |       |           |      |                        |      |                        |        |                          |        |
|------------------------------------|---------|--------|-------|-----------|------|------------------------|------|------------------------|--------|--------------------------|--------|
| Productos                          |         | Peso   |       | Leyes (%) |      | Contenido metálico (g) |      | % recuperación parcial |        | % recuperación acumulada |        |
|                                    | (t)     | (g)    | (%)   | Sn        | S    | Sn                     | S    | Sn                     | S      | Sn                       | S      |
| Espuma Casiterita                  | 1.0 min | 26.50  | 7.45  | 9.93      | 0.51 | 2.63                   | 0.14 | 21.31                  | 11.90  | 21.31                    | 11.90  |
| Espuma Casiterita                  | 4.0 min | 53.20  | 14.96 | 6.84      | 0.44 | 3.64                   | 0.24 | 29.46                  | 20.71  | 50.77                    | 32.60  |
| Espuma Casiterita                  | 8.0 min | 41.10  | 11.56 | 5.03      | 0.48 | 2.07                   | 0.20 | 16.74                  | 17.19  | 67.51                    | 49.79  |
| Conc. Casiterita                   |         | 120.80 | 33.98 | 6.90      | 0.47 | 8.34                   | 0.57 | 67.51                  | 49.79  |                          |        |
| Rlv. Casiterita                    |         | 234.70 | 1.83  | 1.71      | 0.24 | 4.01                   | 0.57 | 32.49                  | 50.21  | 32.49                    | 50.21  |
| Cab. Calculada                     |         | 355.50 | 35.81 | 3.47      | 0.32 | 12.35                  | 1.14 | 100.00                 | 100.00 | 100.00                   | 100.00 |
| Cabeza ensayada                    | 3.48    | Ratio  | 2.94  |           |      |                        |      |                        |        |                          |        |

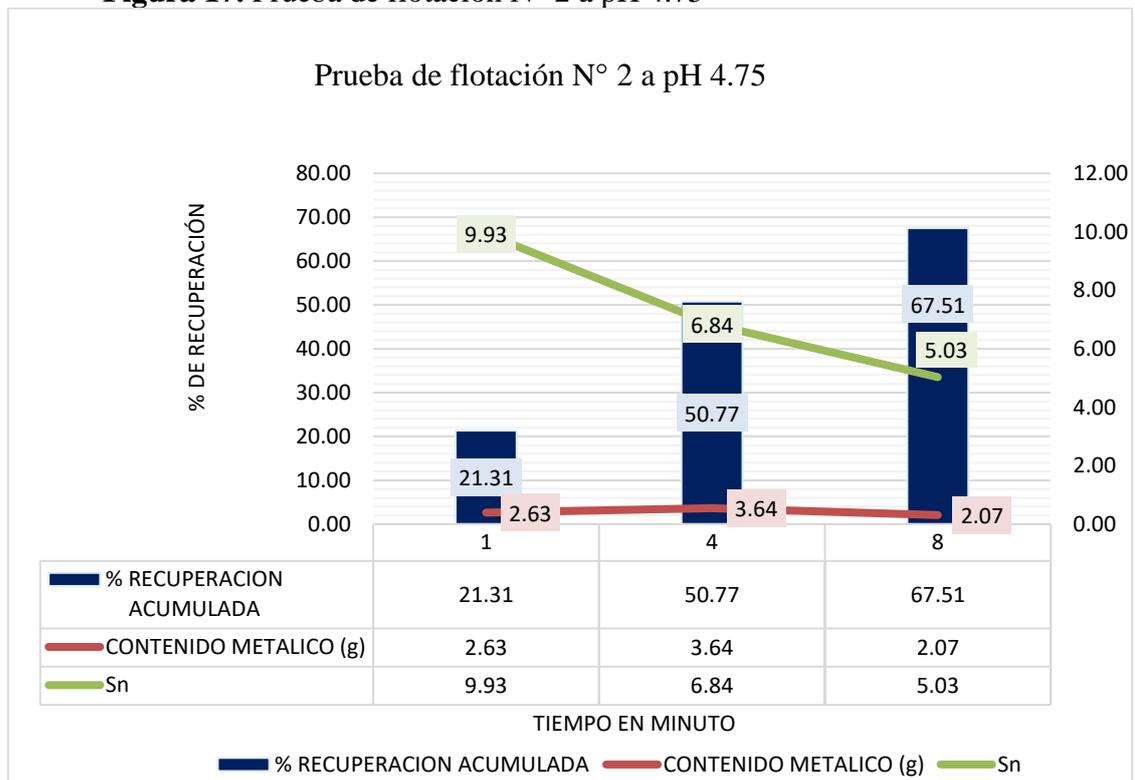
Fuente: Elaboración propia.

#### Cinetica flotación

- **Cinetica de flotación a 1 minuto.** Se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 3.48 % se recuperó al minuto 1, 26.50 gramos con una ley de concentrado de 7.45% de estaño y con 0.51 de azufre, con contenido metálico de 2.63 gramos de estaño y una recuperación parcial de 21.31% de estaño.

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** Se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 3.48 % y se recuperó al minuto 4, 53.20 gramos con una ley de concentrado de 6.84% de estaño y con 0.44 de azufre, con contenido metálico de 3.64gramos de estaño y una recuperación parcial de 29.46% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** Se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 3.48% y se recuperó al minuto 8, 41.10 gramos con una ley de concentrado de 5.03% de estaño y con 0.48 de azufre, con contenido metálico de 2.07 gramos de estaño y una recuperación parcial de 16.74% de estaño.

**Figura 17.** Prueba de flotacion N° 2 a pH 4.75



Fuente: Elaboración propia.

- **En el minuto 1,** se tiene una recuperación acumulada de 21.31% de estaño con un contenido metálico de 2.63 gramos y con una ley de estaño de 9.93%.
- **En el minuto 4,** se tiene una recuperación acumulada de 50.77% de estaño con un contenido metálico de 3.64 gramos y con una ley de estaño de 6.84%.



- **En el minuto 8**, se tiene una recuperación acumulada de 67.51% de estaño con un contenido metálico de 2.07 gramos y con una ley de estaño de 5.03%.

### 4.3 PRUEBA DE FLOTACIÓN ROUGHER. NUMERO 3:

#### 4.3.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la tercera prueba de flotación se considera los siguientes parámetros, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.75 g/cc, la densidad de pulpa es de 1102g/l y un porcentaje de sólido de 14.6% se considerara una muestra seca de 354g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 16.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parametros del mineral |           | Parametros operacionales |       | Parametros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|--------------------------|-------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.75 g/cc | Volumen util de la celda | 2.2 L | Dp                     | 1102 g/L |
| F80                    | -         | rpm                      | 1300  | %S                     | 14.6     |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 354 g     |                          |       | V <sub>AGUA</sub>      | 2071 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 5.00

**Tabla 17.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio

| Etapa                   | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| Flotación de casiterita | 5                          | 8                          | 5.00            |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.3 Tercer balance metalúrgico.

**Tabla 18.** Tercer balance metalúrgico

| Prueba de flotación N° 3 a pH 5.00 |         |        |       |           |      |                        |      |                        |        |                          |        |
|------------------------------------|---------|--------|-------|-----------|------|------------------------|------|------------------------|--------|--------------------------|--------|
| Productos                          |         | Peso   |       | Leyes (%) |      | Contenido metálico (g) |      | % recuperación parcial |        | % recuperación acumulada |        |
|                                    | (t)     | (g)    | (%)   | Sn        | S    | Sn                     | S    | Sn                     | S      | Sn                       | S      |
| Espuma Casiterita                  | 1.0 min | 28.80  | 8.18  | 8.74      | 0.48 | 2.52                   | 0.14 | 20.53                  | 11.95  | 20.53                    | 11.95  |
| Espuma Casiterita                  | 4.0 min | 58.90  | 16.72 | 6.66      | 0.45 | 3.92                   | 0.26 | 31.99                  | 22.72  | 52.52                    | 34.68  |
| Espuma Casiterita                  | 8.0 min | 52.60  | 14.93 | 4.30      | 0.44 | 2.26                   | 0.23 | 18.45                  | 19.97  | 70.97                    | 54.65  |
| Conc. Casiterita                   |         | 140.30 | 39.84 | 6.20      | 0.45 | 8.70                   | 0.63 | 70.97                  | 54.65  |                          |        |
| Rlv. Casiterita                    |         | 211.90 | 1.83  | 1.68      | 0.25 | 3.56                   | 0.53 | 29.03                  | 45.35  | 29.03                    | 45.35  |
| Cab. Calculada                     |         | 352.20 | 41.67 | 3.48      | 0.33 | 12.26                  | 1.16 | 100.00                 | 100.00 | 100.00                   | 100.00 |
| Cabeza ensayada                    | 3.48    | Ratio  | 2.51  |           |      |                        |      |                        |        |                          |        |

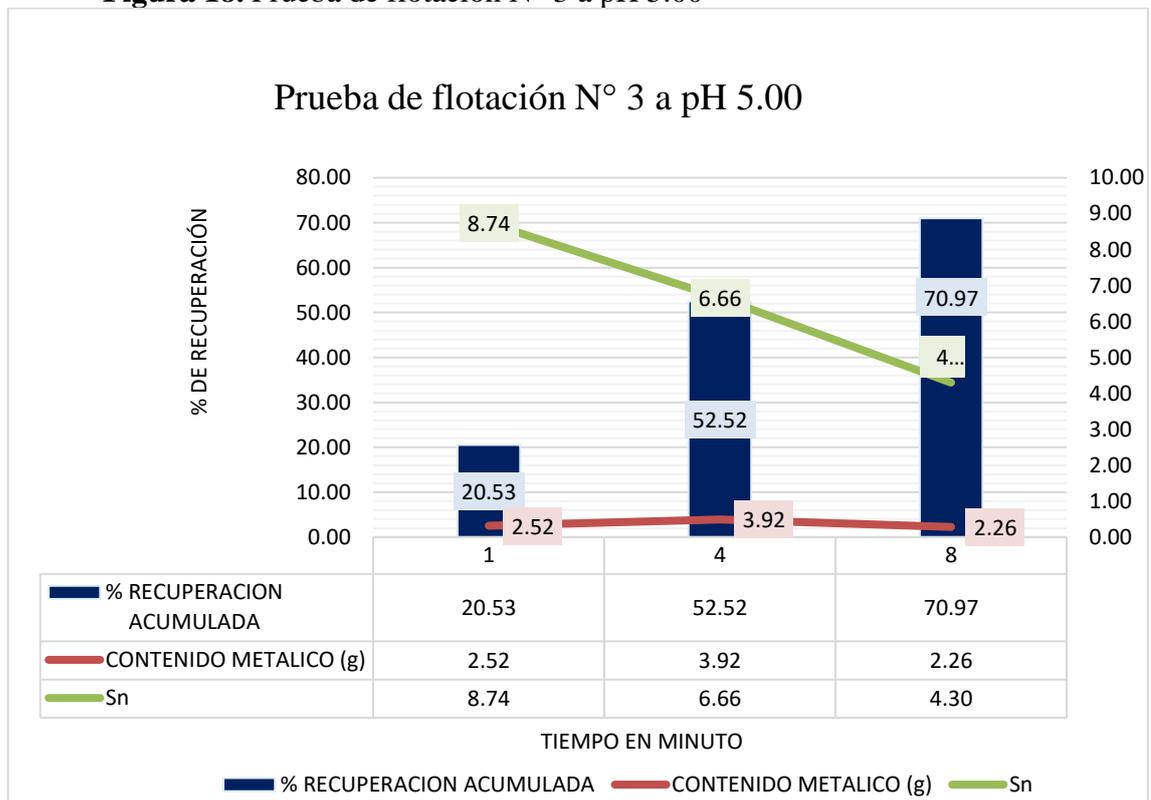
Fuente: Elaboración propia.

### Cinetica flotación

- **Cinetica de flotación a 1 minuto.** tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48 %, al minuto 1 se recuperó 28.80 gramos con una ley de concentrado de 8.74% de estaño y con 0.48 de azufre, con contenido metálico de 2.52 gramos de estaño y una recuperación parcial de 20.53% de estaño.

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48 %, al minuto 4 se recuperó 58.90 gramos con una ley de concentrado de 6.66% de estaño y con 0.45 de azufre, con contenido metálico de 3.92 gramos de estaño y una recuperación parcial de 31.99% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48% al minuto 8 se recuperó 52.60 gramos con una ley de concentrado de 4.30% de estaño y con 0.44 de azufre, con contenido metálico de 2.26 gramos de estaño y una recuperación parcial de 18.45% de estaño.

**Figura 18.** Prueba de flotación N° 3 a pH 5.00



Fuente: Elaboración propia.

- **En el minuto 1** se tiene una recuperación acumulada de 20.53% de estaño con un contenido metálico de 2.52 gramos y con una ley de estaño de 8.74%.
- **En el minuto 4** se tiene una recuperación acumulada de 52.52% de estaño con un contenido metálico de 3.92 gramos y con una ley de estaño de 6.66



- **En el minuto 8** se tiene una recuperación acumulada de 70.97% de estaño con un contenido metálico de 2.26 gramos y con una ley de estaño de 4.30%.

#### 4.4 PRUEBA DE FLOTACIÓN ROUGHER. NUMERO 4:

##### 4.4.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la cuanta prueba de flotación se considera los siguientes parámetros, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.75 g/cc, la densidad de pulpa es de 1098g/l y un porcentaje de solido de 14.0% se considerara una muestra seca de 338g. Para un volumen útil de la celda de 2.2 litros.

**Tabla 19.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parametros del mineral |           | Parametros operacionales |       | Parametros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|--------------------------|-------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.75 g/cc | Volumen util de la celda | 2.2 L | Dp                     | 1098 g/L |
| F80                    | -         | rpm                      | 1300  | %S                     | 14.00    |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 338 g     |                          |       | V <sub>AGUA</sub>      | 2071 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.4.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 5.25

**Tabla 20.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio

| Etapa                   | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| Flotación de casiterita | 5                          | 8                          | 5.25            |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3 Cuarto balance metalúrgico.

**Tabla 21.** Cuarto balance metalúrgico

| Prueba de fotación N° 4 a pH 5.25 |         |        |       |           |      |                           |      |                           |        |                             |        |
|-----------------------------------|---------|--------|-------|-----------|------|---------------------------|------|---------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| Productos                         |         | Peso   |       | Leyes (%) |      | Contenido<br>metalico (g) |      | % recuperacion<br>parcial |        | % recuperacion<br>acumulada |        |
|                                   | (t)     | (g)    | (%)   | Sn        | S    | Sn                        | S    | Sn                        | S      | Sn                          | S      |
| Espuma Casiterita                 | 1.0 min | 36.10  | 10.72 | 7.78      | 0.45 | 2.81                      | 0.16 | 23.97                     | 15.26  | 23.97                       | 15.26  |
| Espuma Casiterita                 | 4.0 min | 60.50  | 17.96 | 6.44      | 0.43 | 3.90                      | 0.26 | 33.25                     | 24.28  | 57.22                       | 39.54  |
| Espuma Casiterita                 | 8.0 min | 36.10  | 10.72 | 4.33      | 0.44 | 1.56                      | 0.16 | 13.34                     | 14.83  | 70.56                       | 54.37  |
| Conc. Casiterita                  |         | 132.70 | 39.40 | 6.23      | 0.44 | 8.27                      | 0.58 | 70.56                     | 54.37  |                             |        |
| Rlv. Casiterita                   |         | 204.10 | 1.83  | 1.69      | 0.24 | 3.45                      | 0.49 | 29.44                     | 45.63  | 29.44                       | 45.63  |
| Cab. Calculada                    |         | 336.80 | 41.23 | 3.48      | 0.32 | 11.72                     | 1.07 | 100.00                    | 100.00 | 100.00                      | 100.00 |
| Cabeza<br>ensayada                | 3.48    | Ratio  | 2.54  |           |      |                           |      |                           |        |                             |        |

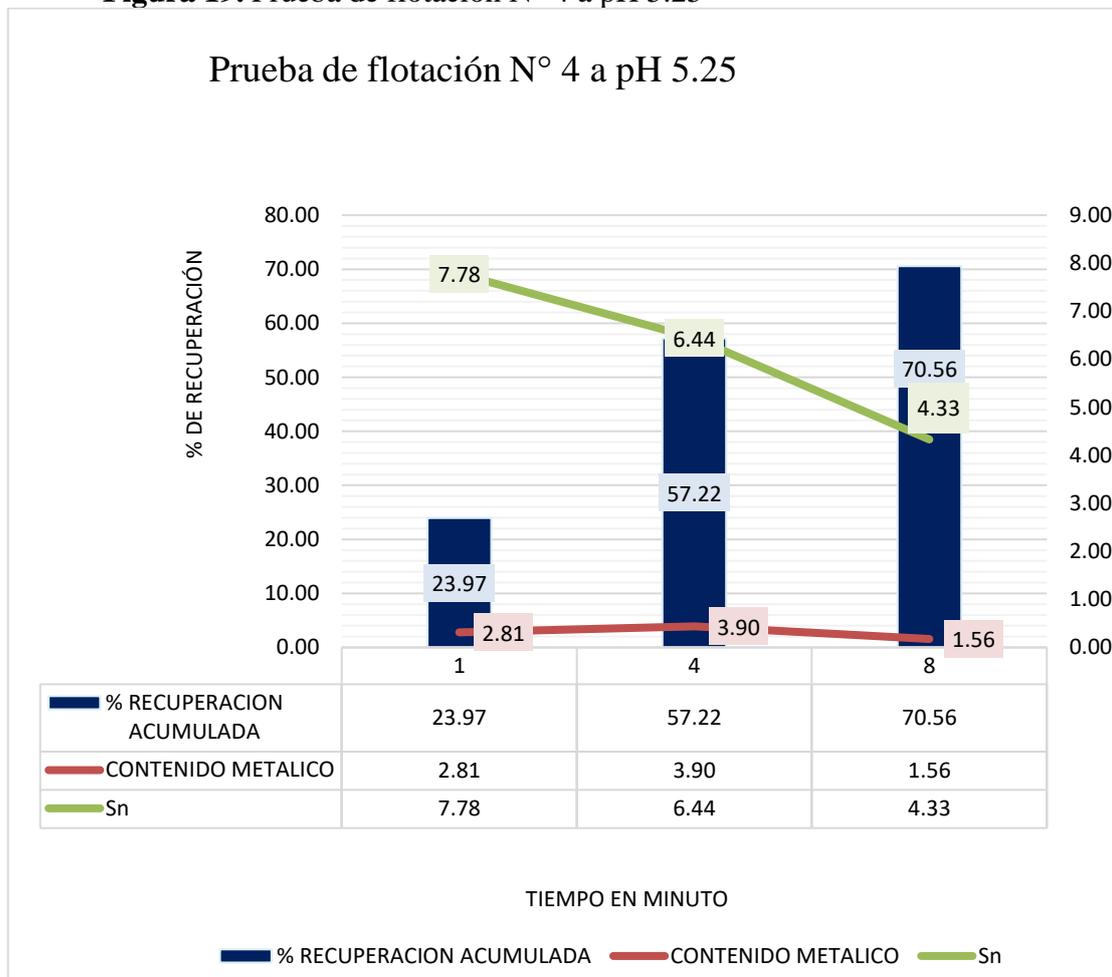
Fuente: Elaboración propia.

#### Cinetica flotación

- **Cinetica de flotación a 1 minuto.** tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48 %, al minuto 1 se recuperó 36.10 gramos con una ley de concentrado de % de estaño y con 0.45 de azufre, con contenido metálico de 2.81 gramos de estaño y una recuperación parcial de 23.97% de estaño.

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48 %, al minuto 4 se recuperó 60.50 gramos con una ley de concentrado de 6.44% de estaño y con 0.43 de azufre, con contenido metálico de 3.90 gramos de estaño y una recuperación parcial de 33.25% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** tiene una ley de cabeza ensayada de 3.48% al minuto 8 se recuperó 36.10 gramos con una ley de concentrado de 4.33% de estaño y con 0.43 de azufre, con contenido metálico de 1.56 gramos de estaño y una recuperación parcial de 14.83% de estaño.

**Figura 19.** Prueba de flotación N° 4 a pH 5.25



Fuente: Elaboración propia.

- **En el minuto 1** se tiene una recuperación acumulada de 23.97% de estaño con un contenido metálico de 2.81 gramos y con una ley de estaño de 7.78%.
- **En el minuto 4** se tiene una recuperación acumulada de 57.22% de estaño con un contenido metálico de 3.90 gramos y con una ley de estaño de 6.44
- **En el minuto 8** se tiene una recuperación acumulada de 70.56% de estaño con un contenido metálico de 1.56 gramos y con una ley de estaño de 4.33%.

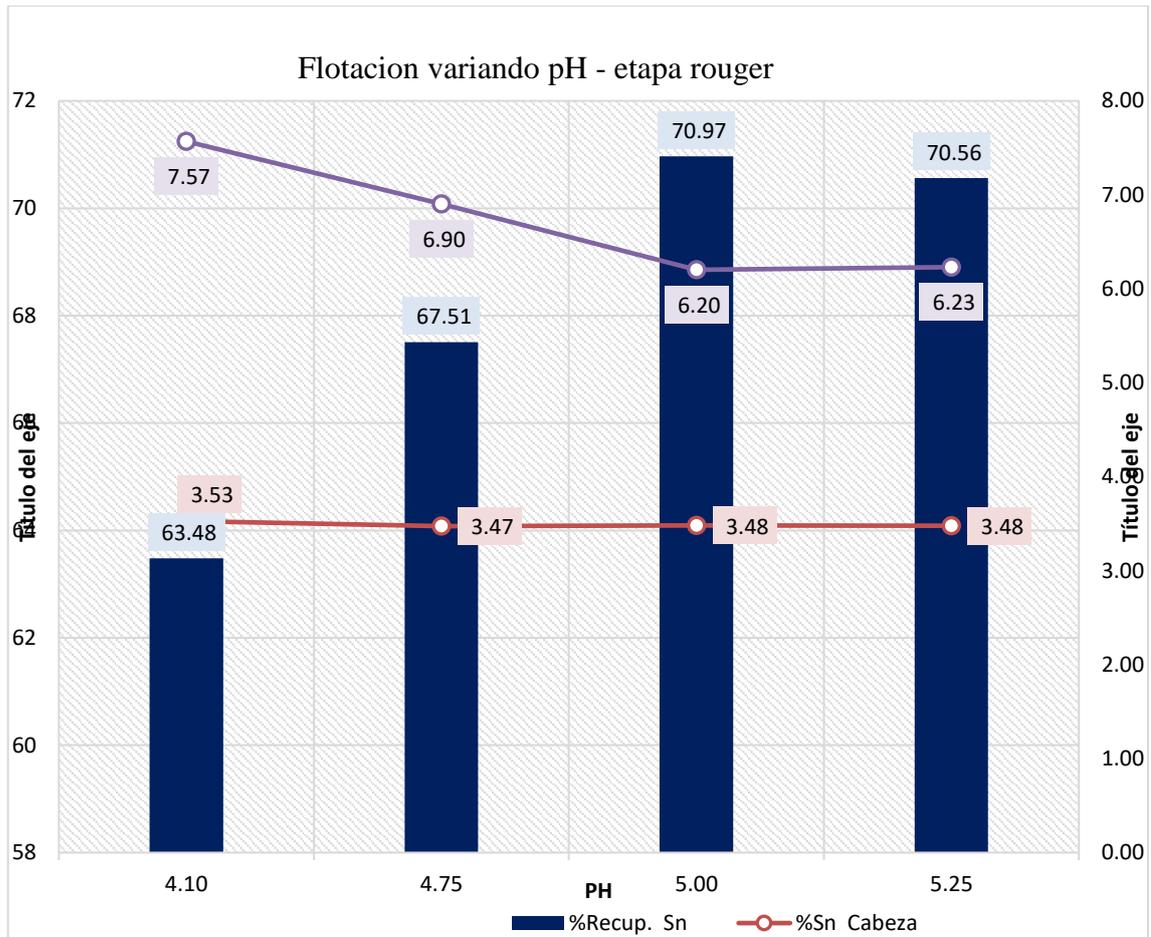
#### 4.5 COMPARACIÓN DE ESTÁNDAR CON LAS PRUEBAS PARA MEJORAR EL PH DE LA ETAPA ROUGHER DE LA FLOTACIÓN ULTRAFINA.

**Tabla 22.** Comparación de estándar con las pruebas para mejorar el pH de la etapa ROUGHER

| Ítem | Prueba               | P1                        | P2                        | P3                        | P4                        |
|------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1    | <b>Muestra</b>       | <b>Alimento ultrafino</b> | <b>Alimento ultrafino</b> | <b>Alimento ultrafino</b> | <b>Alimento ultrafino</b> |
| 2    | <b>P. Muestra</b>    | 354.10                    | 354.10                    | 354.10                    | 338.12                    |
| 3    | <b>V. Celda</b>      | 2.20                      | 2.20                      | 2.20                      | 2.20                      |
| 4    | <b>G.E.</b>          | 2.75                      | 2.75                      | 2.75                      | 2.75                      |
| 5    | <b>%Sólido</b>       | 14.60                     | 14.60                     | 14.60                     | 14.00                     |
| 6    | <b>Densidad</b>      | 1,102.43                  | 1,102.43                  | 1,102.43                  | 1,097.80                  |
| 7    | <b>Tiempo Acond.</b> | 5.00                      | 5.00                      | 5.00                      | 5.00                      |
| 8    | <b>Tiempo Flot.</b>  | 8.00                      | 8.00                      | 8.00                      | 8.00                      |
| 9    | <b>pH</b>            | 4.10                      | 4.75                      | 5.00                      | 5.25                      |
| 10   | <b>Reactivo</b>      | 0                         | 0                         | 0                         | 0                         |
| 11   | <b>%Sn Cabeza</b>    | 3.53                      | 3.47                      | 3.48                      | 3.48                      |
| 12   | <b>%Sn Conc.</b>     | 7.57                      | 6.90                      | 6.20                      | 6.23                      |
| 13   | <b>%Recup. Sn</b>    | 63.48                     | 67.51                     | 70.97                     | 70.56                     |

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 20.** Flotacion variando pH - etapa Rouger



Fuente: Elaboración propia.

### Flotación ultrafina etapa rouger

- i. **Prueba N° 1** es la prueba estandar con pH 4.10 con una ley de cabeza de 3.53% obteniendo una recuperación de 67.51 % con una calidad de 7.57% de fino.
- ii. **Prueba N° 2** es la prueba con pH 4.75 con una ley de cabeza de 3.47% obteniendo una recuperación de 67.51 % con una calidad de 6.90 % de fino.
- iii. **Prueba N° 3** es la prueba con pH 5 con una ley de cabeza de 3.48% obteniendo una recuperación de 70.97 % con una calidad de 6.20 % de fino.



- iv. **Prueba N° 4** es la prueba con pH 5.25 con una ley de cabeza de 3.48% obteniendo una recuperación de 70.56 % con una calidad de 6.23 % de fino.

#### 4.6 PRUEBA DE FLOTACIÓN CLEANER NUMERO 5 ESTANDAR:

##### 4.6.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la quinta prueba estándar de la etapa cleaner de flotación ultrafina, se considera los siguientes parámetros de la prueba estándar, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.80 g/cc, la densidad de pulpa es de 1028g/l y un porcentaje de sólido de 4.2% se considerara una muestra seca de 95g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 23.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parámetros del mineral |           | Parámetros operacionales               |          | Parámetros de la pulpa       |          |
|------------------------|-----------|--|----------|------------------------------|----------|
| <b>G.e.</b>            | 2.80 g/cc | <b>VUTIL DE CELDA</b>                  | 2.2 L    | <b>Dp</b>                    | 1028 g/L |
| <b>F80</b>             | -         | <b>Rpm</b>                             | 1300     | <b>%S</b>                    | 4.2      |
| <b>WMUESTR<br/>A</b>   | 95 g      | <b>Tiempo de<br/>acondicionamiento</b> | 5.0 Min. | <b>V<sub>AGU</sub><br/>A</b> | 2166 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.6.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 6.50.

**Tabla 24.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                   | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|
| Flotación de casiterita | 5                          | 8                          | 6.50            |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.3 Quinto balance metalúrgico

**Tabla 25.** Quinto balance metalúrgico

| Prueba de flotación N° 5 a pH 6.50 |            |       |       |           |      |                           |      |                           |        |                             |        |
|------------------------------------|------------|-------|-------|-----------|------|---------------------------|------|---------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| Productos                          |            | Peso  |       | Leyes (%) |      | contenido<br>metalico (g) |      | % recuperacion<br>parcial |        | % recuperacion<br>acumulada |        |
|                                    | (t)        | (g)   | (%)   | Sn        | S    | Sn                        | S    | Sn                        | S      | Sn                          | S      |
| Espuma Casiterita                  | 1.0<br>min | 30.80 | 33.66 | 18.68     | 0.71 | 5.75                      | 0.22 | 44.84                     | 26.95  | 44.84                       | 26.95  |
| Espuma Casiterita                  | 4.0<br>min | 24.30 | 26.56 | 15.77     | 0.91 | 3.83                      | 0.22 | 29.87                     | 27.45  | 74.71                       | 54.39  |
| Espuma Casiterita                  | 8.0<br>min | 5.40  | 5.90  | 13.01     | 1.30 | 0.70                      | 0.07 | 5.48                      | 8.68   | 80.19                       | 63.07  |
| Conc. Casiterita                   |            | 60.50 | 66.12 | 17.01     | 0.84 | 10.29                     | 0.51 | 80.19                     | 63.07  |                             |        |
| Rlv. Casiterita                    |            | 31.00 | 33.88 | 8.20      | 0.96 | 2.54                      | 0.30 | 19.81                     | 36.93  | 19.81                       | 36.93  |
| Cab. Calculada                     |            | 91.50 | 100   | 14.02     | 0.88 | 12.83                     | 0.81 | 100.00                    | 100.00 | 100.00                      | 100.00 |
| Cabeza<br>ensayada                 | 14.5       | Ratio | 1.51  |           |      |                           |      |                           |        |                             |        |

Fuente: Elaboración propia.

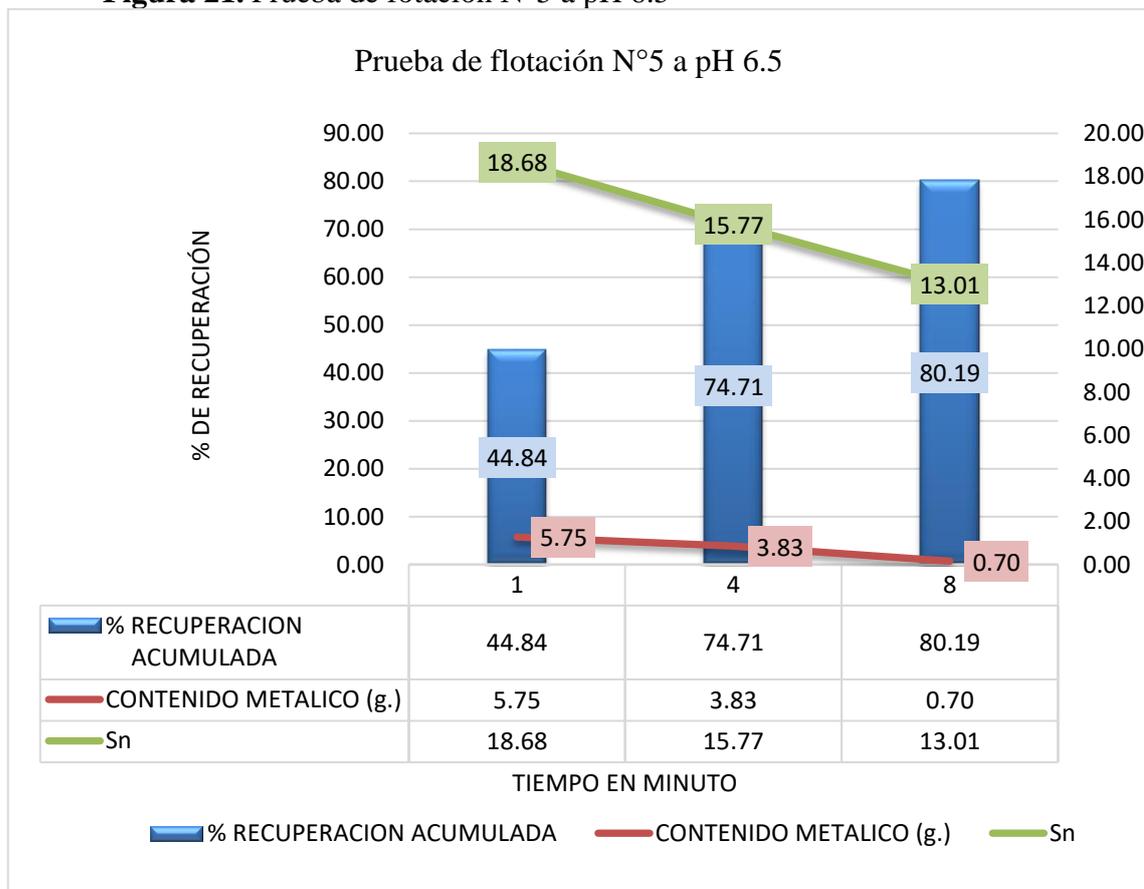
#### Cinetica flotación

- **Cinetica de flotación a 1 minuto.** se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.5 % y se recuperó al minuto 1, 30.80 gramos con una ley de concentrado de

18.68% de estaño y con 0.71 de azufre, con contenido metálico de 5.75 gramos de estaño y una recuperación parcial de 44.84% de estaño.

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.5 % y se recuperó al minuto 4, 24.30 gramos con una ley de concentrado de 15.77% de estaño y con 0.91 de azufre, con contenido metálico de 3.83 gramos de estaño y una recuperación parcial de 29.87% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** Se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.5 % y se recuperó al minuto 8, 5.40 gramos con una ley de concentrado de 13.01% de estaño y con 1.30 de azufre, con contenido metálico de 0.70 gramos de estaño y una recuperación parcial de 5.48% de estaño.

**Figura 21.** Prueba de flotación N°5 a pH 6.5



Fuente: Elaboración propia.



- **En el minuto 1**, se tiene una recuperación acumulada de 44.84% de estaño con un contenido metálico de 5.75 gramos y con una ley de estaño de 18.68%.
- **En el minuto 4**, se tiene una recuperación acumulada de 74.71% de estaño con un contenido metálico de 3.83 gramos y con una ley de estaño de 15.77%.
- **En el minuto 8**, se tiene una recuperación acumulada de 80.19% de estaño con un contenido metálico de 0.70 gramos y con una ley de estaño de 13.01%.

#### 4.7 PRUEBA DE FLOTACIÓN CLEANER. NUMERO 6:

##### 4.7.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la sexta prueba de flotación se considera los siguientes parámetros de la prueba estándar, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.80 g/cc, la densidad de pulpa es de 1027g/l y un porcentaje de sólido de 4.1% se considerara una muestra seca de 92g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 26.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parámetros del mineral |           | Parámetros operacionales |       | Parámetros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|--------------------------|-------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.80 g/cc | Volumen útil de la celda | 2.2 L | Dp                     | 1027 g/L |
| F80                    | -         | rpm                      | 1300  | %S                     | 4.1      |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 92 g      |                          |       | V <sub>AGUA</sub>      | 2167 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.7.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 4.50.

**Tabla 27.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                   | Tiempo acondicionamiento.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH flotacion | Dosificacion de reactivos g/tms |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------------|
|                         |                                     |                            |              | H2SO4 (10%)                     |
| Flotación de casiterita | 5                                   | 8                          | 4.50         | 1125                            |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7.3 Sexto balance metalúrgico.

**Tabla 28.** Sexto balance metalúrgico.

| Prueba de flotación N° 6 a pH 4.50 |         |       |        |           |      |                        |      |                        |        |                          |        |
|------------------------------------|---------|-------|--------|-----------|------|------------------------|------|------------------------|--------|--------------------------|--------|
| Productos                          |         | Peso  |        | Leyes (%) |      | Contenido metalico (g) |      | % recuperacion parcial |        | % recuperacion acumulada |        |
|                                    | (t)     | (g)   | (%)    | Sn        | S    | Sn                     | S    | Sn                     | S      | Sn                       | S      |
| Espuma Casiterita                  | 1.0 min | 32.00 | 35.96  | 19.86     | 0.64 | 6.36                   | 0.20 | 50.82                  | 27.25  | 50.82                    | 27.25  |
| Espuma Casiterita                  | 4.0 min | 20.20 | 22.70  | 15.80     | 0.93 | 3.19                   | 0.19 | 25.52                  | 25.13  | 76.34                    | 52.39  |
| Espuma Casiterita                  | 8.0 min | 4.50  | 5.06   | 12.05     | 1.38 | 0.54                   | 0.06 | 4.34                   | 8.29   | 80.68                    | 60.68  |
| Conc. Casiterita                   |         | 56.70 | 63.71  | 17.79     | 0.80 | 10.09                  | 0.45 | 80.68                  | 60.68  |                          |        |
| Rlv. Casiterita                    |         | 32.30 | 36.29  | 7.48      | 0.91 | 2.42                   | 0.29 | 19.32                  | 39.32  | 19.32                    | 39.32  |
| Cab. Calculada                     |         | 89.00 | 100.00 | 14.05     | 0.84 | 12.51                  | 0.75 | 100.00                 | 100.00 | 100.00                   | 100.00 |
| Cabeza ensayada                    | 14.50   | Ratio | 1.57   |           |      |                        |      |                        |        |                          |        |

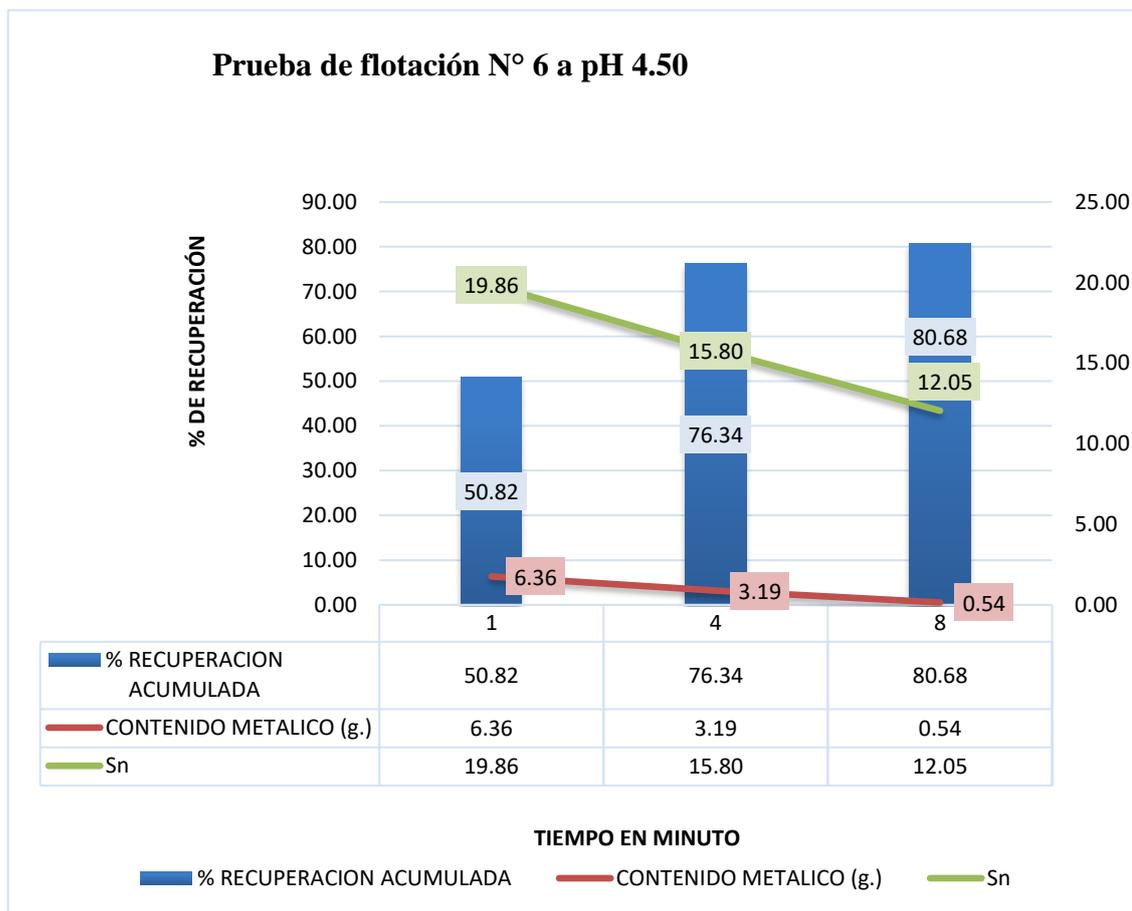
Fuente: Elaboración propia.

#### Cinetica de flotación

- **Cinetica de flotación a 1 minuto.** se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.50 % y se recuperó al minuto 1; 32.00 gramos con una ley de concentrado de 19.86% de estaño y con 0.64 de azufre, con contenido metálico de 6.36 gramos de estaño y una recuperación parcial de 50.82% de estaño.

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.50 % y se recuperó al minuto 4; 20.20 gramos con una ley de concentrado de 15.80% de estaño y con 0.93% de azufre, con contenido metálico de 3.19 gramos de estaño y una recuperación parcial de 25.52% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** Se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.50 % y se recuperó al minuto 8; 4.50 gramos con una ley de concentrado de 12.05% de estaño y con 1.38 de azufre, con contenido metálico de 0.54 gramos de estaño y una recuperación parcial de 4.34% de estaño.

**Figura 22.** Prueba de flotación N° 6 a pH 4.50



Fuente: Elaboración propia.

- **En el minuto 1;** se tiene una recuperación acumulada de 50.82% de estaño con un contenido metálico de 6.36 gramos y con una ley de estaño de 19.86%.



- **En el minuto 4;** se tiene una recuperación acumulada de 76.34% de estaño con un contenido metálico de 3.19 gramos y con una ley de estaño de 15.80%.
- **En el minuto 8;** se tiene una recuperación acumulada de 80.68% de estaño con un contenido metálico de 0.540 gramos y con una ley de estaño de 12.05%.

#### 4.8 PRUEBA DE FLOTACIÓN CLEANER. NUMERO 7:

##### 4.8.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la séptima prueba de flotación se considera los siguientes parámetros de la prueba estándar, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.80 g/cc, la densidad de pulpa es de 1028g/l y un porcentaje de sólido de 4.2% se considerara una muestra seca de 95g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 29.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parámetros del mineral |           | Parámetros operacionales |       | Parámetros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|--------------------------|-------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.80 g/cc | Volumen útil de la celda | 2.2 L | Dp                     | 1028 g/L |
| F80                    | -         | rpm                      | 1300  | %S                     | 4.2      |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 95 g      |                          |       | V <sub>AGUA</sub>      | 2166 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.8.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 4.25.

**Tabla 30.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                   | Tiempo acondici. (min.) | Tiempo flotacion (min.) | pH flotacion | Dosificacion de reactivos |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------------------|
|                         |                         |                         |              | H2SO4 (10%)               |
| Flotacion de casiterita | 5                       | 8                       | 4.25         | 0.77                      |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.3 Séptimo balance metalúrgico.

**Tabla 31.** Séptimo balance metalúrgico.

| Prueba de fotación N° 7 a pH 4.25 |         |       |        |           |      |                        |      |                        |        |                          |        |
|-----------------------------------|---------|-------|--------|-----------|------|------------------------|------|------------------------|--------|--------------------------|--------|
| Productos                         |         | Peso  |        | Leyes (%) |      | Contenido metalico (g) |      | % recuperacion parcial |        | % recuperacion acumulada |        |
|                                   | (t)     | (g)   | (%)    | Sn        | S    | Sn                     | S    | Sn                     | S      | Sn                       | S      |
| Espuma Casiterita                 | 1.0 min | 31.80 | 34.49  | 19.97     | 0.67 | 6.35                   | 0.21 | 48.88                  | 27.76  | 48.88                    | 27.76  |
| Espuma Casiterita                 | 4.0 min | 21.10 | 22.89  | 16.03     | 1.08 | 3.38                   | 0.23 | 26.04                  | 29.56  | 74.92                    | 57.31  |
| Espuma Casiterita                 | 8.0 min | 5.40  | 5.86   | 13.01     | 1.38 | 0.70                   | 0.07 | 5.41                   | 9.67   | 80.32                    | 66.98  |
| Conc. Casiterita                  |         | 58.30 | 63.23  | 17.90     | 0.89 | 10.44                  | 0.52 | 80.32                  | 66.98  |                          |        |
| Rlv. Casiterita                   |         | 33.90 | 36.77  | 7.54      | 0.75 | 2.56                   | 0.25 | 19.68                  | 33.02  | 19.68                    | 33.02  |
| Cab. Calculada                    |         | 92.20 | 100.00 | 14.09     | 0.84 | 12.99                  | 0.77 | 100.00                 | 100.00 | 100.00                   | 100.00 |
| Cabeza ensayada                   | 3.48    | Ratio | 1.58   |           |      |                        |      |                        |        |                          |        |

Fuente: Elaboración propia.

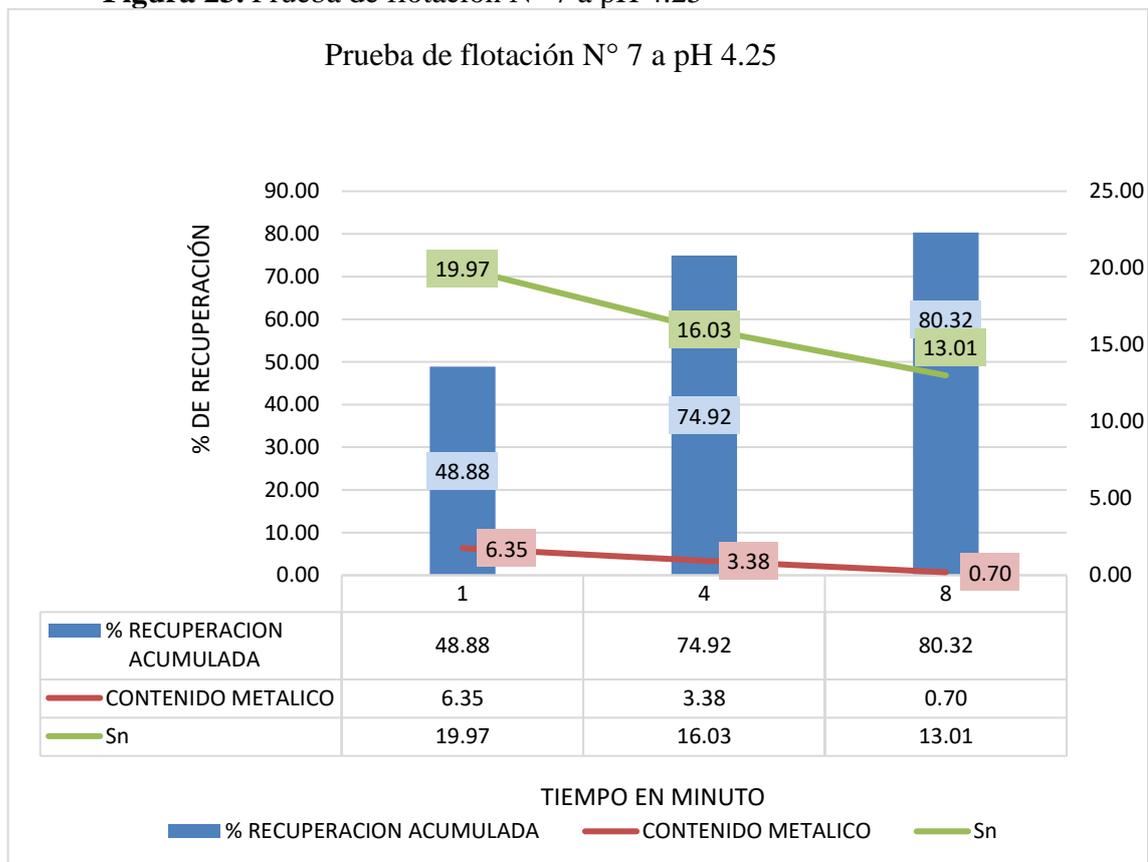
#### Cinetica de flotación

- **Cinetica de flotación a 1 minuto.** se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.50 % y se recuperó al minuto 1; 31.80 gramos con una ley de concentrado de

19.97% de estaño y con 0.67 de azufre, con contenido metálico de 6.35 gramos de estaño y una recuperación parcial de 48.88% de estaño.

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.50 % y se recuperó al minuto 4; 21.10 gramos con una ley de concentrado de 16.03% de estaño y con 1.08% de azufre, con contenido metálico de 3.338 gramos de estaño y una recuperación parcial de 29.56% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** Se ensayó con una ley de cabeza ensayada de 14.50 % y se recuperó al minuto 8; 5.40 gramos con una ley de concentrado de 13.01 % de estaño y con 1.38 de azufre, con contenido metálico de 0.70 gramos de estaño y una recuperación parcial de 5.41% de estaño.

**Figura 23.** Prueba de flotación N° 7 a pH 4.25



Fuente: Elaboración propia.



- **En el minuto 1;** se tiene una recuperación acumulada de 48.88% de estaño con un contenido metálico de 6.35 gramos y con una ley de estaño de 19.97%.
- **En el minuto 4;** se tiene una recuperación acumulada de 74.92 de estaño con un contenido metálico de 3.38 gramos y con una ley de estaño de 16.03%.
- **En el minuto 8;** se tiene una recuperación acumulada de 80.32% de estaño con un contenido metálico de 0.70 gramos y con una ley de estaño de 13.01%.

#### 4.9 PRUEBA DE FLOTACIÓN CLEANER. NUMERO 8:

##### 4.9.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la octava prueba de flotación se considera los siguientes parámetros de la prueba estándar, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.80 g/cc, la densidad de pulpa es de 1026g/l y un porcentaje de sólido de 4.0% se considerara una muestra seca de 90g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 32.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parametros del mineral |           | Parametros operacionales |       | Parametros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|--------------------------|-------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.80 g/cc | Volumen util de la celda | 2.2 L | Dp                     | 1026 g/L |
| F80                    | -         | rpm                      | 1300  | %S                     | 4.0      |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 90 g      |                          |       | V <sub>AGUA</sub>      | 2168 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.9.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 4.75.

**Tabla 33.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                   | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH flotacion | Dosificacion de reactivos |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|
|                         |                            |                            |              | H2SO4 (10%)               |
| Flotación de casiterita | 5                          | 8                          | 4.75         | 0.56                      |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9.3 Octavo balance metalúrgico.

Tabla 34. Octavo balance metalúrgico.

| Prueba de fotación N° 8 a pH 4.75 |         |       |       |           |       |                        |      |                        |        |                          |        |
|-----------------------------------|---------|-------|-------|-----------|-------|------------------------|------|------------------------|--------|--------------------------|--------|
| Productos                         |         | Peso  |       | Leyes (%) |       | Contenido metalico (g) |      | % recuperacion parcial |        | % recuperacion acumulada |        |
|                                   |         | (t)   | (g)   | (%)       | Sn    | S                      | Sn   | S                      | Sn     | S                        | Sn     |
| Espuma Casiterita                 | 1.0 min | 33.90 | 38.65 | 19.06     | 0.54  | 6.46                   | 0.18 | 52.16                  | 28.31  | 52.16                    | 28.31  |
| Espuma Casiterita                 | 4.0 min | 19.80 | 22.58 | 15.81     | 0.77  | 3.13                   | 0.15 | 25.27                  | 23.56  | 77.44                    | 51.86  |
| Espuma Casiterita                 | 8.0 min | 4.10  | 4.68  | 12.82     | 1.07  | 0.53                   | 0.04 | 4.24                   | 6.73   | 81.68                    | 58.60  |
| Conc. Casiterita                  |         | 57.80 | 65.91 | 17.50     | 0.66  | 10.12                  | 0.38 | 81.68                  | 58.60  |                          |        |
| Rlv. Casiterita                   |         | 29.9  | 1.83  | 7.59      | 0.902 | 2.27                   | 0.27 | 18.32                  | 41.40  | 18.32                    | 41.40  |
| Cab. Calculada                    |         | 87.70 | 67.74 | 14.12     | 0.74  | 12.39                  | 0.65 | 100.00                 | 100.00 | 100.00                   | 100.00 |
| Cabeza ensayada                   | 3.48    | Ratio | 1.52  |           |       |                        |      |                        |        |                          |        |

Fuente: Elaboración propia.

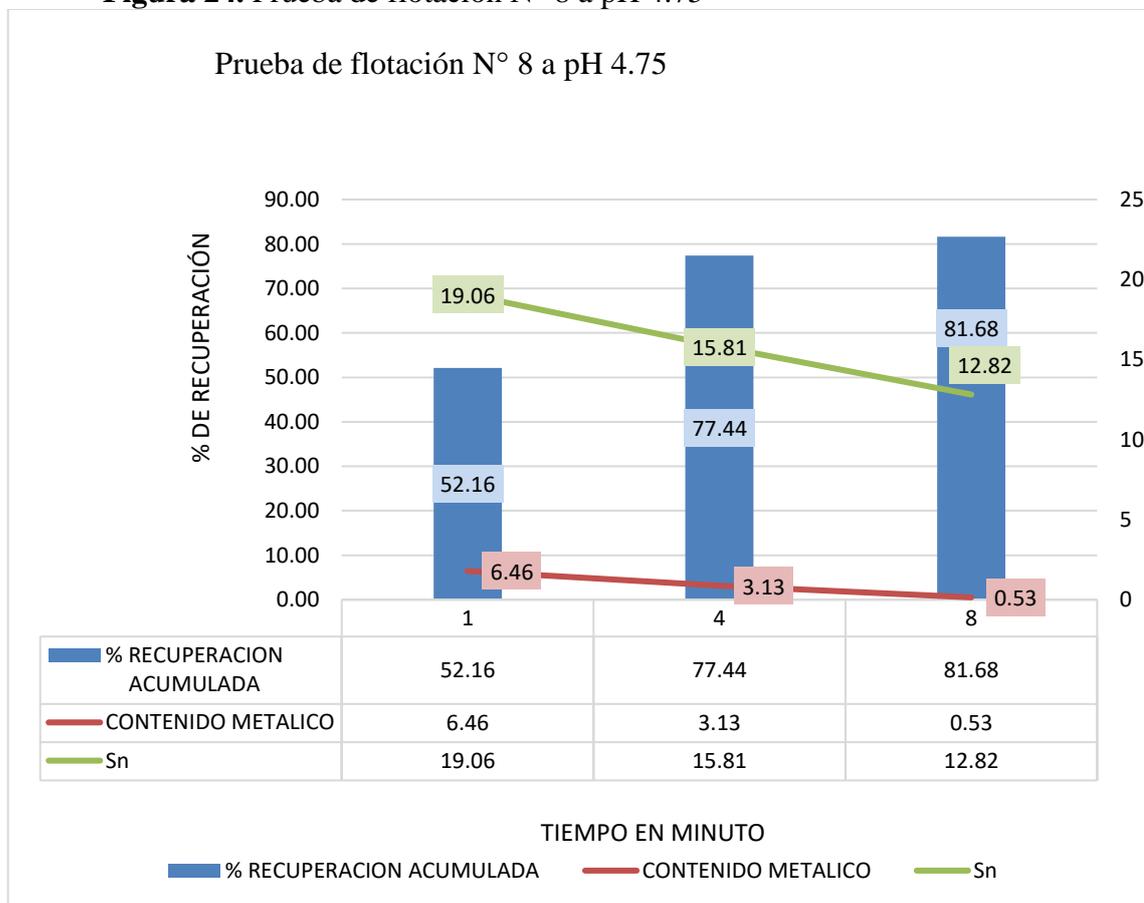
#### Cinetica de flotación

- **Cinetica de flotación a 1 minuto.** se ensayó con una ley de cabeza de 14.50 % y se recuperó al minuto 1; 33.9 gramos con una ley de concentrado de 19.06% de estaño y con 0.54 de azufre, con contenido metálico de 6.46 gramos de estaño y una recuperación parcial de 52.16% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** se ensayó con una ley de cabeza de 14.50 % y se recuperó al minuto 4; 19.8 gramos con una ley de concentrado de 15.81% de

estaño y con 0.77% de azufre, con contenido metálico de 3.13 gramos de estaño y una recuperación parcial de 25.27% de estaño.

- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** Se ensayó con una ley de cabeza de 14.50 % y se recuperó al minuto 8; 4.10 gramos con una ley de concentrado de 12.82 % de estaño y con 1.07 de azufre, con contenido metálico de 0.53 gramos de estaño y una recuperación parcial de 4.24% de estaño.

**Figura 24.** Prueba de flotación N° 8 a pH 4.75



Fuente: Elaboración propia

- **En el minuto 1;** se tiene una recuperación acumulada de 52.16% de estaño con un contenido metálico de 6.46 gramos y con una ley de estaño de 19.06%.
- **En el minuto 4;** se tiene una recuperación acumulada de 77.44% de estaño con un contenido metálico de 3.13 gramos y con una ley de estaño de 15.81%.



- **En el minuto 8;** se tiene una recuperación acumulada de 81.68% de estaño con un contenido metálico de 0.53 gramos y con una ley de estaño de 12.82%.

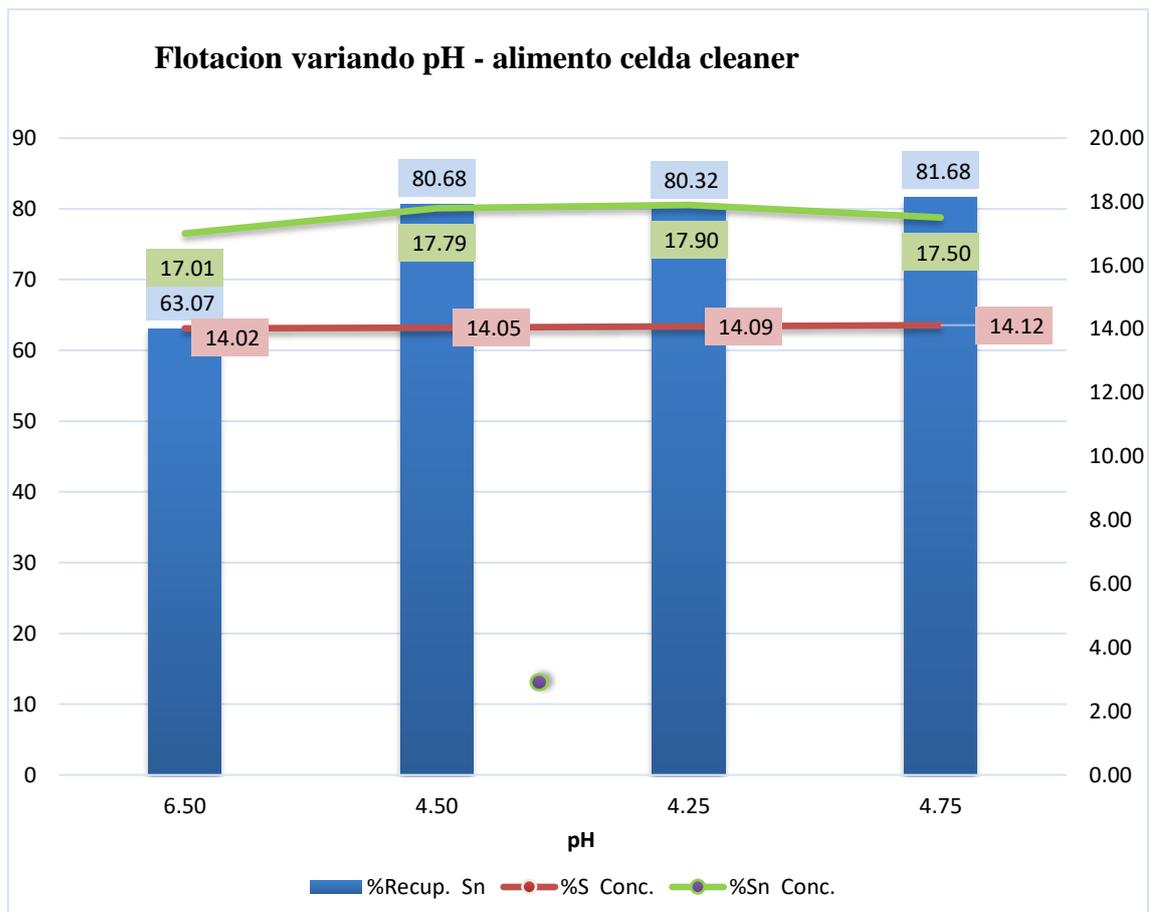
#### 4.10 COMPARACIÓN DE ESTÁNDAR CON LAS PRUEBAS PARA MEJORAR EL PH DE LA ETAPA CLEANER DE LA FLOTACIÓN ULTRAFINA.

**Tabla 35.** Comparación de estándar con las pruebas para mejorar el pH de la etapa cleaner

| <b>Prueba</b>  | <b>P5</b>                     | <b>P6</b>                     | <b>P7</b>                     | <b>P8</b>                     |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Muestra</b> | <b>Alimento celda cleaner</b> | <b>Alimento celda cleaner</b> | <b>Alimento celda cleaner</b> | <b>Alimento celda cleaner</b> |
| P. Muestra     | 95.00                         | 92.00                         | 95.00                         | 90.00                         |
| V. Celda       | 2.20                          | 2.20                          | 2.20                          | 2.20                          |
| G.E.           | 2.80                          | 2.80                          | 2.80                          | 2.80                          |
| %Sólido        | 4.20                          | 4.10                          | 4.20                          | 4.0                           |
| Densidad       | 1,028                         | 1,027                         | 1,028                         | 1,026                         |
| Tiempo Acond.  | 5.00                          | 5.00                          | 5.00                          | 5.00                          |
| Tiempo Flot.   | 8.00                          | 8.00                          | 8.00                          | 8.00                          |
| pH             | 6.50                          | 4.50                          | 4.25                          | 4.75                          |
| Reactivo       | H2SO4                         | H2SO4                         | H2SO4                         | H2SO4                         |
| %S Conc.       | 14.02                         | 14.05                         | 14.09                         | 14.12                         |
| %Sn Conc.      | 17.01                         | 17.79                         | 17.90                         | 17.50                         |
| %Recup. Sn     | 63.07                         | 80.68                         | 80.32                         | 81.68                         |

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 25.** Flotacion variando pH - alimento celda cleaner



Fuente: Elaboración propia.

### Flotación ultrafina etapa cleaner

- i. **Prueba N° 5** es la prueba estandar con pH 6.50 con una ley de cabeza de 14.02 % obteniendo una recuperación de 63.07 % con una calidad de 17.01 % de finos.
- ii. **Prueba N° 6** es la prueba con pH 4.50 con una ley de cabeza de 14.05 % obteniendo una recuperación de 80.68 % con una calidad de 17.79 % de finos.
- iii. **Prueba N° 7** es la prueba con pH 4.25 con una ley de cabeza de 14.09 % obteniendo una recuperación de 80.32 % con una calidad de 17.90 % de finos.
- iv. **Prueba N° 8** es la prueba estandar con pH 4.75 con una ley de cabeza de 14.12% obteniendo una recuperación de 81.68 % con una calidad de 17.50 % de finos.



## 4.11 PRUEBA DE FLOTACIÓN VARIANDO MODIFICADOR ESTANDAR

### NUMERO 9:

#### 4.11.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la novena prueba de flotación se considera los siguientes parámetros de la prueba estándar, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.75 g/cc, la densidad de pulpa es de 1157g/l y un porcentaje de solido de 21.3 % se considerara una muestra seca de 530g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 36.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parametros del mineral |           | Parametros operacionales   |       | Parametros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|----------------------------|-------|------------------------|----------|
| 1580                   | 2.75 g/cc | V <sub>UTIL DE CELDA</sub> | 2.2 L | D <sub>p</sub>         | 1157 g/L |
| F80                    | -         | rpm                        | 1300  | %S                     | 21.3     |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 530 g     |                            |       | V <sub>AGUA</sub>      | 2003 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.11.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 5.00.

**Tabla 37.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                   | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion | Dosificacion de reactivos g/tms |                 |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|
|                         |                            |                            |                 | Teuton<br>(10%)                 | AP-845<br>(10%) |
| Flotacion de casiterita | 3                          | 8                          | 5               | 0                               | 0               |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 38.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                   | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion | Dosificacion de reactivos |                 |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
|                         |                            |                            |                 | TEUTON<br>(10%)           | AP-845<br>(10%) |
| Flotacion de casiterita | 3                          | 8                          | 4.50            | 0.00 cc                   | 0.00 cc         |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.11.3 Noveno balance metalúrgico.

**Tabla 39.** Noveno balance metalúrgico.

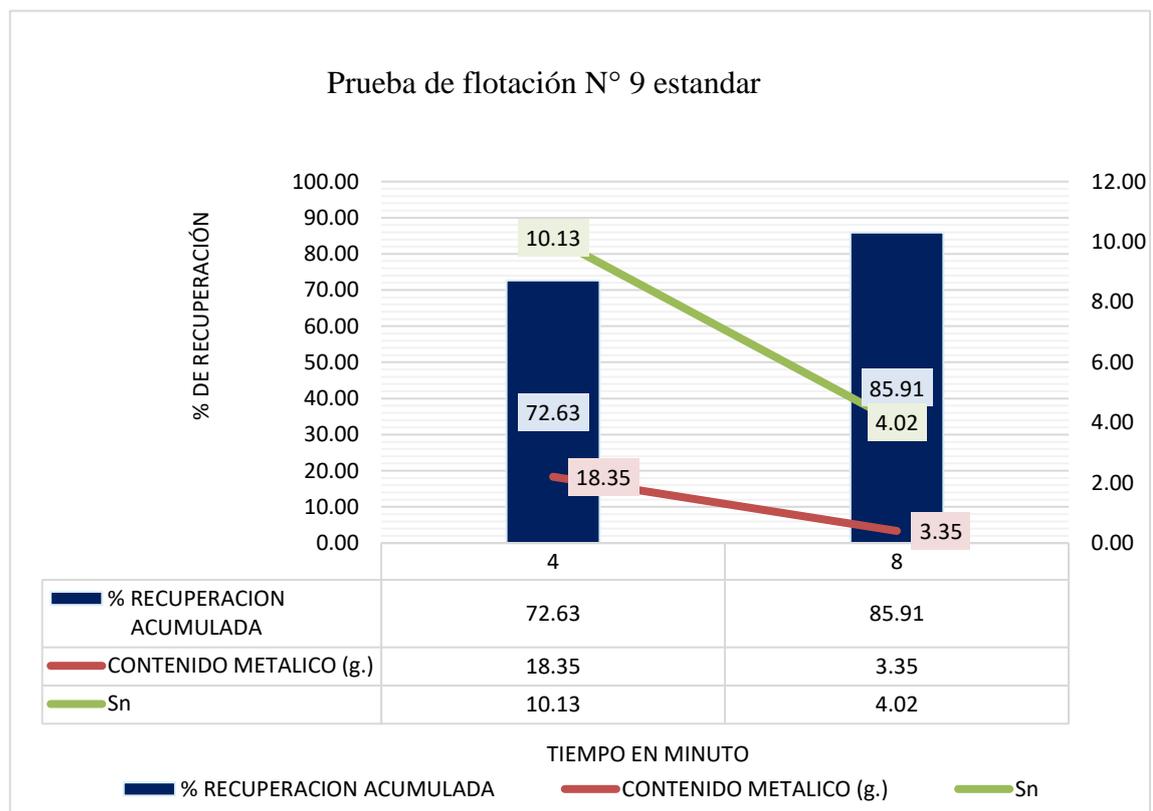
| Prueba de fotación N° 9 estandar |         |       |       |           |      |                        |      |                        |       |                          |       |
|----------------------------------|---------|-------|-------|-----------|------|------------------------|------|------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Productos                        | (t)     | Peso  |       | Leyes (%) |      | Contenido metalico (g) |      | % recuperacion parcial |       | % recuperacion acumulada |       |
|                                  |         | (g)   | (%)   | Sn        | S    | Sn                     | S    | Sn                     | S     | Sn                       | S     |
| Espuma Casiterita                | 4.0 min | 181.1 | 33.38 | 10.13     | 0.54 | 18.35                  | 0.98 | 72.63                  | 45.84 | 72.63                    | 45.84 |
| Espuma Casiterita                | 8.0 min | 83.4  | 15.37 | 4.02      | 0.49 | 3.35                   | 0.4  | 13.27                  | 18.96 | 85.91                    | 64.8  |
| Conc. Casiterita                 |         | 264.5 | 48.75 | 8.2       | 0.52 | 21.7                   | 1.38 | 85.91                  | 64.8  |                          |       |
| Rlv. Casiterita                  |         | 278.1 | 51.25 | 1.28      | 0.27 | 3.56                   | 0.75 | 14.09                  | 35.2  | 14.09                    | 35.2  |
| Cab. Calculada                   |         | 542.6 | 100   | 4.65      | 0.39 | 25.26                  | 2.13 | 100                    | 100   | 100                      | 100   |
| Cabeza ensayada                  | 4.26    | Ratio | 2.05  |           |      |                        |      |                        |       |                          |       |

Fuente: Elaboración propia.

### Cinetica de flotación

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** se ensayó con una ley de cabeza de 4.26 % y se recuperó al minuto 4; 181.10 gramos con una ley de concentrado de 10.13% de estaño y con 0.54% de azufre, con contenido metálico de 18.35 gramos de estaño y una recuperación parcial de 72.63% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** Se ensayó con una ley de cabeza de 4.26 % y se recuperó al minuto 8; 83.40 gramos con una ley de concentrado de 4.02 % de estaño y con 0.49 % de azufre, con contenido metálico de 18.35 gramos de estaño y una recuperación parcial de 13.27% de estaño.

**Figura 26.** Prueba de flotación N° 9 estandar



Fuente: Elaboración propia

- **En el minuto 4;** se tiene una recuperación acumulada de 72.63% de estaño, con un contenido metálico de 18.35 gramos y con una ley de estaño de 10.13%.



- **En el minuto 8;** se tiene una recuperación acumulada de 85.91% de estaño con un contenido metálico de 3.35 gramos y con una ley de estaño de 4.02%.

#### 4.12 PRUEBA DE FLOTACIÓN VARIANDO MODIFICADOR AP-250 (10%).

##### NUMERO 10:

##### 4.12.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la novena prueba de flotación se considera los siguientes parámetros de la prueba estándar, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.75 g/cc, la densidad de pulpa es de 1157g/l y un porcentaje de sólido de 21.3 % se considerara una muestra seca de 542g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 40.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parametros del mineral |           | Parametros operacionales |       | Parametros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|--------------------------|-------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.75 g/cc | Volumen util de la celda | 2.2 L | Dp                     | 1157 g/L |
| F80                    | -         | rpm                      | 1300  | %S                     | 21.3     |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 542 g     | pH                       | 5     | V <sub>AGUA</sub>      | 2003 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.12.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 5.00. y se dosifico AP-250 (10%) 30 g/TMS.

**Tabla 41.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                      | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion | Dosificacion de<br>reactivos g/tms |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------------|
|                            |                            |                            |                 | AP-250 (10%)                       |
| Flotacion de<br>casiterita | 3                          | 8                          | 5.00            | 30                                 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 42.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                      | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion | Dosificacion de<br>reactivos |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|
|                            |                            |                            |                 | AP-250 (10%)                 |
| Flotacion de<br>casiterita | 3                          | 8                          | 5.00            | <b>0.53 cc</b>               |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.12.3 Decimo balance metalúrgico.

**Tabla 43.** Decimo balance metalúrgico.

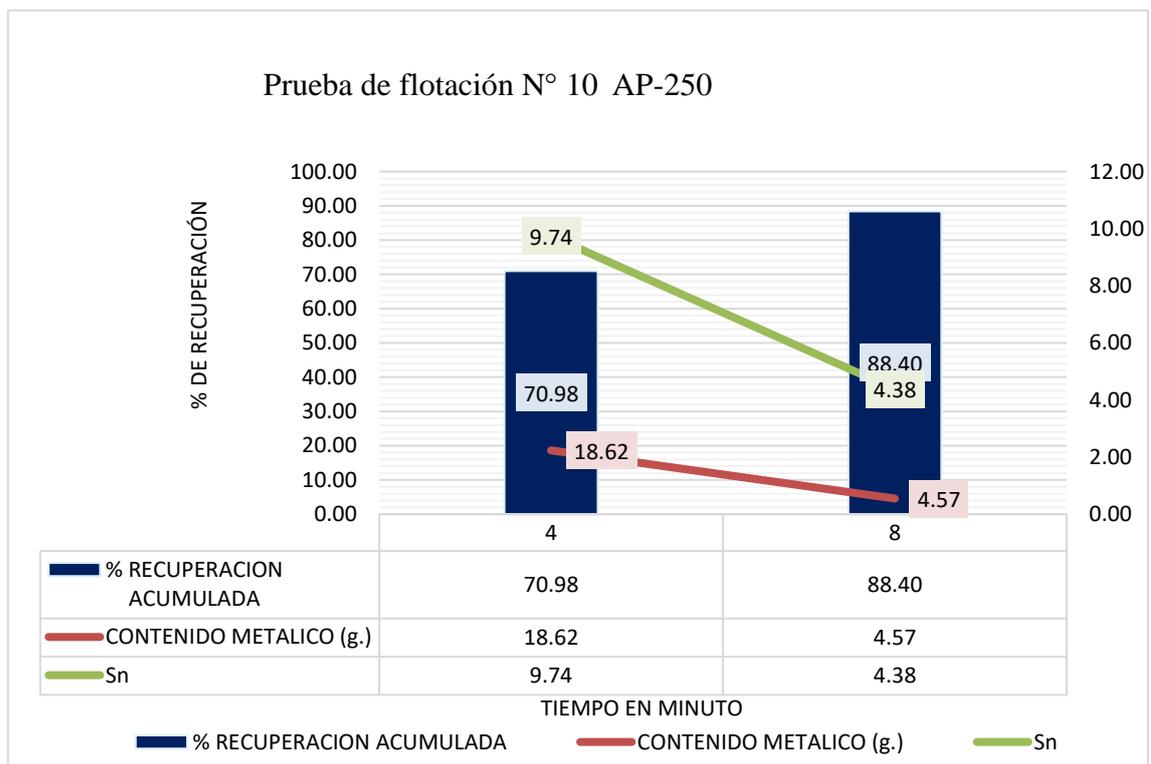
| Prueba de fotación N° 10 AP-250 |         |              |       |           |      |                           |      |                           |        |                             |        |
|---------------------------------|---------|--------------|-------|-----------|------|---------------------------|------|---------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| Productos                       | Peso    |              |       | Leyes (%) |      | Contenido<br>metalico (g) |      | % recuperacion<br>parcial |        | % recuperacion<br>acumulada |        |
|                                 | (t)     | (g)          | (%)   | Sn        | S    | Sn                        | S    | Sn                        | S      | Sn                          | S      |
| Espuma Casiterita               | 4.0 min | 191.20       | 35.34 | 9.74      | 0.52 | 18.62                     | 0.99 | 70.98                     | 45.85  | 70.98                       | 45.85  |
| Espuma Casiterita               | 8.0 min | 104.40       | 19.30 | 4.38      | 0.49 | 4.57                      | 0.51 | 17.43                     | 23.59  | 88.40                       | 69.44  |
| Conc. Casiterita                |         | 295.60       | 54.64 | 7.85      | 0.51 | 23.20                     | 1.51 | 88.40                     | 69.44  |                             |        |
| Rlv. Casiterita                 |         | 245.40       | 45.36 | 1.24      | 0.27 | 3.04                      | 0.66 | 11.60                     | 30.56  | 11.60                       | 30.56  |
| Cab. Calculada                  |         | 541.00       | 100   | 4.85      | 0.40 | 26.24                     | 2.17 | 100.00                    | 100.00 | 100.00                      | 100.00 |
| Cabeza ensayada                 | 4.26    | <b>Ratio</b> | 1.83  |           |      |                           |      |                           |        |                             |        |

Fuente: Elaboración propia.

### Cinetica de flotación

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** se ensayó con una ley de cabeza de 4.26 % y se recuperó al minuto 4; 191.20 gramos con una ley de concentrado de 9.74% de estaño y con 0.52% de azufre, con contenido metálico de 18.62 gramos de estaño y una recuperación parcial de 70.98% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** se ensayó con una ley de cabeza de 4.26 % y se recuperó al minuto 8; 104.40 gramos con una ley de concentrado de 4.38% de estaño y con 0.49 % de azufre, con contenido metálico de 18.62 gramos de estaño y una recuperación parcial de 70.28% de estaño.

**Figura 27.** Prueba de flotación N° 10 Ap-250



Fuente: Elaboración propia

- **En el minuto 4;** se tiene una recuperación acumulada de 70.98% de estaño, con un contenido metálico de 18.62 gramos y con una ley de estaño de 9.74%.



- **En el minuto 8;** se tiene una recuperación acumulada de 88.40% de estaño con un contenido metálico de 4.57 gramos y con una ley de estaño de 4.38%.

#### 4.13 PRUEBA DE FLOTACIÓN VARIANDO MODIFICADOR TEUTON (10%)NUMERO 11:

##### 4.13.1 Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio.

Para la novena prueba de flotación se considera los siguientes parámetros de la prueba estándar, la pulpa tiene una gravedad específica de 2.75 g/cc, la densidad de pulpa es de 1155 g/l y un porcentaje de sólido de 21.3 % se considerara una muestra seca de 536g. Para un volumen útil de celda de 2.2 litros.

**Tabla 44.** Parámetros de flotación casiterita a nivel laboratorio

| Parametros del mineral |           | Parametros operacionales |       | Parametros de la pulpa |          |
|------------------------|-----------|--------------------------|-------|------------------------|----------|
| G.e.                   | 2.75 g/cc | Volumen util de la celda | 2.2 L | Dp                     | 1155 g/L |
| -                      | -         | rpm                      | 1300  | %S                     | 21.3     |
| W <sub>MUESTRA</sub>   | 536 g     | pH                       | 5     | V <sub>AGUA</sub>      | 2005 cc  |

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.13.2 Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

En la primera etapa de flotación se acondicionara 5 minutos y el tiempo de flotación es de 8 minutos y mantener un pH constante de 5.00. y se dosifico *TEUTON* (10%) 30 g/TMS

**Tabla 45.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                      | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion | Dosificacion de<br>reactivos g/tms |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------------|
|                            |                            |                            |                 | <i>TEUTON (10%)</i>                |
| Flotacion de<br>casiterita | 3                          | 8                          | 5.00            | 30                                 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 46.** Condiciones de flotación casiterita nivel laboratorio.

| Etapa                      | Tiempo acondici.<br>(min.) | Tiempo flotacion<br>(min.) | pH<br>flotacion | Dosificacion de<br>reactivos |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|
|                            |                            |                            |                 | <i>TEUTON (10%)</i>          |
| Flotacion de<br>casiterita | 3                          | 8                          | 5.00            | <i>0.53 cc</i>               |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.13.3 Onceavo balance metalúrgico.

**Tabla 47.** Onceavo balance metalúrgico.

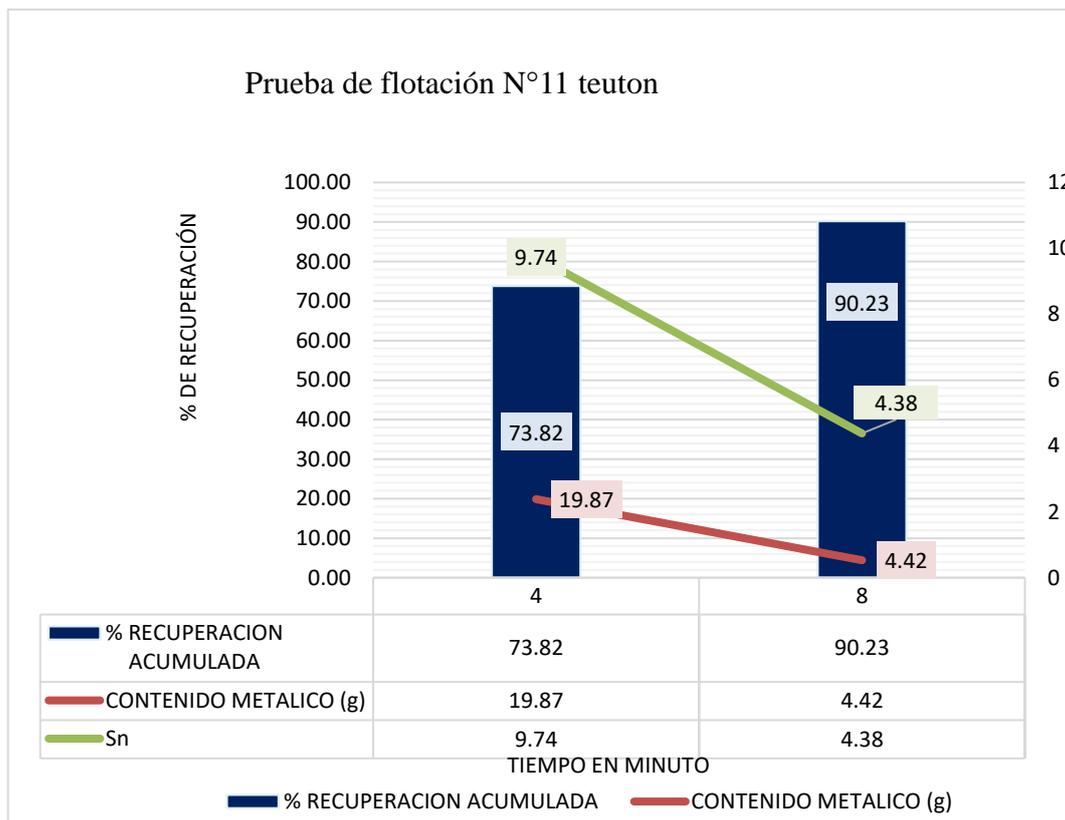
| Prueba de fotación N° 11 teutom |         |        |       |           |      |                           |      |                              |        |                                |        |
|---------------------------------|---------|--------|-------|-----------|------|---------------------------|------|------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| Productos                       | (t)     | Peso   |       | Leyes (%) |      | Contenido<br>metalico (g) |      | %<br>recuperacion<br>parcial |        | %<br>recuperacion<br>acumulada |        |
|                                 |         | (g)    | (%)   | Sn        | S    | Sn                        | S    | Sn                           | S      | Sn                             | S      |
| Espuma Casiterita               | 4.0 min | 204.00 | 38.10 | 9.74      | 0.59 | 19.87                     | 1.20 | 73.82                        | 53.23  | 73.82                          | 53.23  |
| Espuma Casiterita               | 8.0 min | 100.8  | 18.82 | 4.38      | 0.50 | 4.42                      | 0.50 | 16.40                        | 22.29  | 90.23                          | 75.51  |
| Conc. Casiterita                |         | 304.80 | 56.92 | 7.97      | 0.56 | 24.28                     | 1.71 | 90.23                        | 75.51  |                                |        |
| Rlv. Casiterita                 |         | 230.7  | 43.08 | 1.14      | 0.24 | 2.63                      | 0.55 | 9.77                         | 24.49  | 9.77                           | 24.49  |
| Cab. Calculada                  |         | 535.50 | 100   | 5.03      | 0.42 | 26.91                     | 2.26 | 100.00                       | 100.00 | 100.00                         | 100.00 |
| Cabeza ensayada                 | 4.25    | Ratio  | 1.76  |           |      |                           |      |                              |        |                                |        |

Fuente: Elaboración propia.

#### Cinetica de flotación

- **Cinetica de flotación a 4 minutos.** se ensayó con una ley de cabeza de 4.25 % y se recuperó al minuto 4; 204.00 gramos con una ley de concentrado de 9.74% de estaño y con 0.59% de azufre, con contenido metálico de 19.87 gramos de estaño y una recuperación parcial de 73.82% de estaño.
- **Cinetica de flotación a 8 minutos.** Se ensayó con una ley de cabeza de 4.26 % y se recuperó al minuto 8; 100.8 gramos con una ley de concentrado de 4.38% de estaño y con 0.59 % de azufre, con contenido metálico de 4.42 gramos de estaño y una recuperación parcial de 16.40 % de estaño.

**Figura 28.** Prueba de flotación N°11 Teuton



Fuente: Elaboración propia.

- **En el minuto 4;** se tiene una recuperación acumulada de 73.82% de estaño, con un contenido metálico de 19.87 gramos y con una ley de estaño de 9.74%.



- **En el minuto 8;** se tiene una recuperación acumulada de 90.23% de estaño con un contenido metálico de 4.42 gramos y con una ley de estaño de 4.38%.

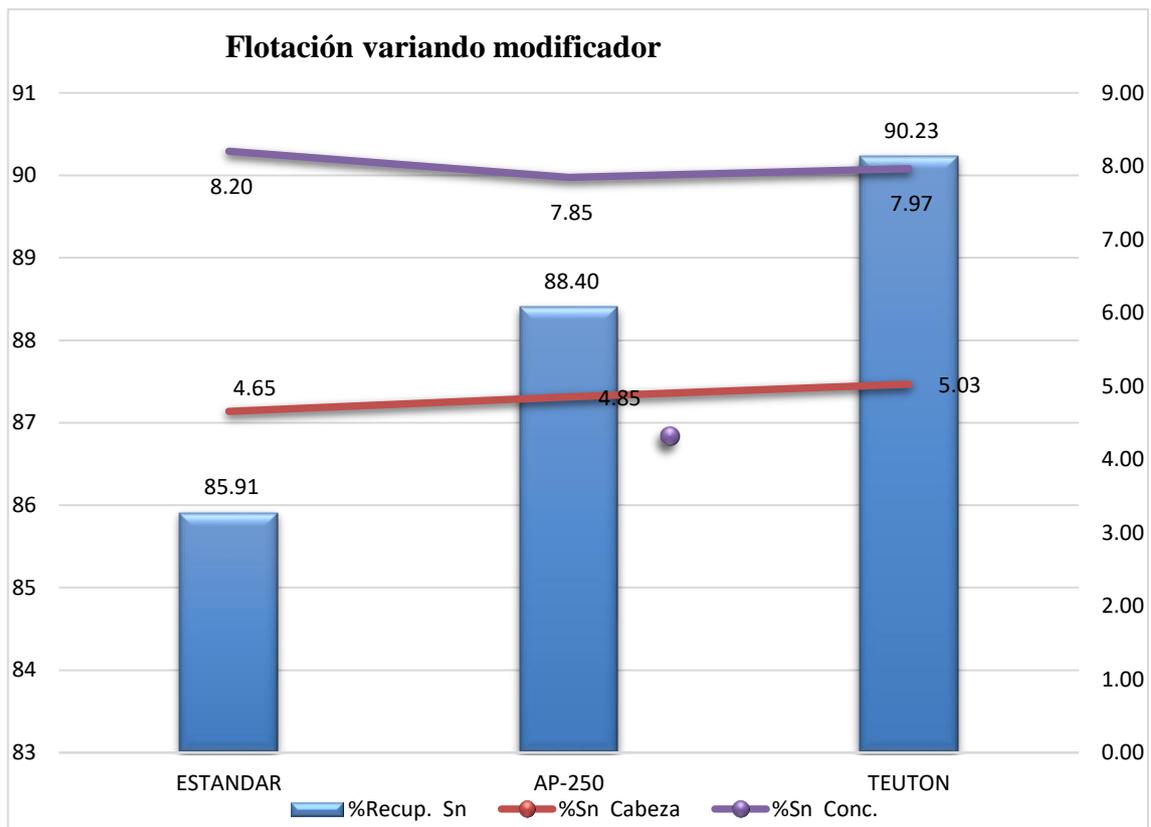
#### 4.14 COMPARACIÓN DE ESTÁNDAR CON LAS PRUEBAS PARA MEJORAR LA DOSIFICACIÓN DE UN MODIFICADOR ETAPA ROUGHER

**Tabla 48.** Comparación de estándar con las pruebas para mejorar la dosificación de un modificador etapa rougher.

| Item | Prueba               | P9                        | P10                       | P11                       |
|------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1    | <b>Muestra</b>       | <b>Alimento ultrafino</b> | <b>Alimento ultrafino</b> | <b>Alimento ultrafino</b> |
| 2    | <b>P. Muestra</b>    | 542.66                    | 541.78                    | 536.20                    |
| 3    | <b>V. Celda</b>      | 2.20                      | 2.20                      | 2.20                      |
| 4    | <b>G.E.</b>          | 2.75                      | 2.75                      | 2.75                      |
| 5    | <b>%Sólido</b>       | 21.32                     | 21.29                     | 21.10                     |
| 6    | <b>densidad</b>      | 1,156.97                  | 1,156.71                  | 1,155.10                  |
| 7    | <b>Tiempo Acond.</b> | 5.00                      | 5.00                      | 5.00                      |
| 8    | <b>Tiempo Flot.</b>  | 8.00                      | 8.00                      | 8.00                      |
| 9    | <b>Reactivo</b>      | ESTANDAR                  | AP-250                    | TEUTON                    |
| 10   | <b>pH.</b>           | 5                         | 5                         | 5                         |
| 11   | <b>%Sn Cabeza</b>    | 4.65                      | 4.85                      | 5.03                      |
| 12   | <b>%Sn Conc.</b>     | 8.20                      | 7.85                      | 7.97                      |
| 13   | <b>%Recup. Sn</b>    | 85.91                     | 88.40                     | 90.23                     |

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 29.** Flotación variando modificador.



Fuente: Elaboración propia.

- i. **Prueba N° 9** es la prueba estandar con ph 5 con una ley de cabeza de 4.65 % obteniendo una recuperación de 85.91 % con una calidad de 8.20% de finos.
- ii. **Prueba N° 10** en esta prueba se acondiciono el reactivo ap-250 acondicionando a un ph 5 con una ley de cabeza de 4.85 % obteniendo una recuperación de 88.40 % con una calidad de 7.85% de finos.
- iii. **Prueba N° 11** en esta prueba se acondiciono el reactivo teuton acondicionando a un ph 5 con una ley de cabeza de 5.03 % obteniendo una recuperación de 90.2 % con una calidad de 7.97 % de finos.



#### 4.15 CUADRO COMPARATIVO DE LAS VARIABLES ESTANDAR CON LAS VARIABLES MODIFICADAS.

**Tabla 49.** Cuadro comparativo de las variables estándar con las variables modificadas.

| Item | Prueba                        | valor estandar     | valor modificado   |
|------|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| 1    | Muestra                       | Alimento ultrafino | Alimento ultrafino |
| 2    | P. Muestra (g)                | 542.66             | 541.78             |
| 3    | V. Celda (cm <sup>3</sup> )   | 2.2                | 2.2                |
| 4    | G.E.                          | 2.75               | 2.75               |
| 5    | %Solido                       | 21.32              | 21.29              |
| 6    | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,156.97           | 1,156.71           |
| 7    | Tiempo Acond.<br>(min)        | 5                  | 5                  |
| 8    | Tiempo Flot. (min)            | 8                  | 8                  |
| 9    | Reactivo                      | ESTANDAR           | TEUTON 400         |
| 10   | pH etapa Rougher              | 4.1                | 5                  |
| 11   | pH etapa Cleaner              | 6.5                | 4.5                |
| 12   | %Sn Cabeza                    | 4.65               | 4.85               |
| 13   | Calidad (%)                   | 28.22              | 29                 |
| 14   | %Recup. Sn                    | 68.92              | 73.21              |

Fuente: Elaboración propia.



## V. CONCLUSIONES

- Se concluye que, en la etapa de flotación rougher se debe de realizar la flotación a un pH 5.00 mejorando la recuperación en 4.29% de estaño fino y en las celdas columna flotacion cleaner se debe de realizar la limpieza a un pH 4.50 incrementando la calidad en 0.78% de estaño fino.
- Adicionando el modificador teuton en la etapa de flotacion rougher a una concentración de 30 g/ton acondicionado a un pH 5.00 incrementa la recuperación en las celdas columna a 73.21% con una calidad de 29% de estaño fino. Se finaliza que, en este trabajo de investigación se logro la optimización del circuito de flotacion ultrafina con celdas columna para mejorar la recuperación de estaño a nivel laboratorio en la unidad minera San Rafael, Antauta – Region Puno.



## VI. RECOMENDACIONES

Se sugiere que la investigación se realice a nivel industrial usando celdas columnas piloto en donde se debe analizar la presión de inyectores de aire el agua de lavado y tener en consideración la densidad de pulpa y la granulometría evaluar en las etapas cleaner, rougher y scavenger.

Se requiere un estudio mucho más amplio con las variables que intervienen en el proceso, así como conocer las propiedades de la pulpa y analizar los parámetros del equipo de celda de columna.

Desde el punto de vista metalúrgico se recomienda el control en el funcionamiento de las celdas de columna de flotación para realizar la prueba piloto con flujómetros de pulpa, válvulas de apertura y cierre automático, válvulas de acción de presión diferencial y así poder mantener la estabilidad de la constante. altura de la interfase pulpa-espuma.



## VII. REFERENCIAS

- ARRAZA, J. y. (2005). "A pilot-scale flotation column to produce ben fracions having high concentration of vitninite maceral". Colombia: Elsevier Ltda.
- Di Yorio, C., & Sánchez, C. y. (1997). Análisis Estadístico Aplicado a la Flotación en Columna de Grafito Proveniente de Ozumita Edo Cojedes". Venezuela: Dpto. Metalurgia, Universidad Central de venezuela.
- H., R. y. (1992.). "Flotación Columnar en la Concentradora Toquepala". Tacna, Perú.: S.P.C.C.
- Ingeniería., U. N. (1997). "Tecnología de la Flotación de Minerales-Flotación Columnar". Perú: MEM.
- Jaime E, S. P. (1986). Dimencionamiento y Optimizacion de Plantas Concentradoras Mediante Técnicas de Modelación Matemática. Santiago: 219 CIMN.
- Jhonatan Vilcapoma Juno, Z. C. (2012). pruebas experimentales a nivel laboratorio de concntracion gravimetrica y flotación de minerales de oro en la planta concentradora "cazelita" Condorama Cuzco. Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú Huancayo.
- kaoru, I. (1989). Introducción al control de calidad. Ediciones Diaz de Santos.
- Manzaneda Cabala José. (1996). Aproximación Racional en Flotación con Diseño Experimental,. Lima, Perú.
- P. LEON, E. M. (2003). "Avances en flotación columnar" Revista" revista del instituto de investigación de la Geología Minas,Metalúrgia y Ciencia . Revista del



instituto de investigación de la Geología Minas, Metalurgia y Ciencia

Geograficas: .

P., Y. J. (1992). "Nuevos Avances en la Tecnología de Columnas de Flotación". Dpto. de Procesos Químicos, Universidad Técnica Federico Sta. María, Valparaíso, Chile.: Revista Minería Chilena.

Poblete., H. W. (1995). "Aplicaciones Industriales de la Celda Columna como Rougher". Vancouver, Canadá: Cesl Engineering Ltd., 1636, West 75 th. Ave.

Poblete., J. F. (1995.). "Integración de Engineering Ltd., West 75 th Ave. Vancouver, Canadá,: pp. 1-9,.

RONALDO, V. F. (1995). Column Flotation – The Original Column. Concepcion Chile: II Congreso Latino Americano .

Sierra García, F. (1987). "Evaluación Tecnológica del Proceso de Flotación Celda Columna",. Revista Rocas y Minerales,.

Sutulov Alexander. (1963). Flotación de Minerales. Chile.

Yianatos, J. (1987.). "Espumas de Flotación en Columnas",. Quebec, Canadá.: University of Mc Gill,.

Torres Ayma Jose Miguel (2016) "Implementacion de celdas columna en la flotación de minerales de estaño".

Cárdenas Cabrera Jorge (1995) "Estudio técnico económico de la aplicación de celdas columna en el circuito de flotación".

Figueroa Loli Melchor Aquiles (2005) "Celda de flotación de nueva generación, prototipo, pilotaje y evaluacion".



Azañero Ortiz Angel (2008) “flotación y concentración de minerales”.

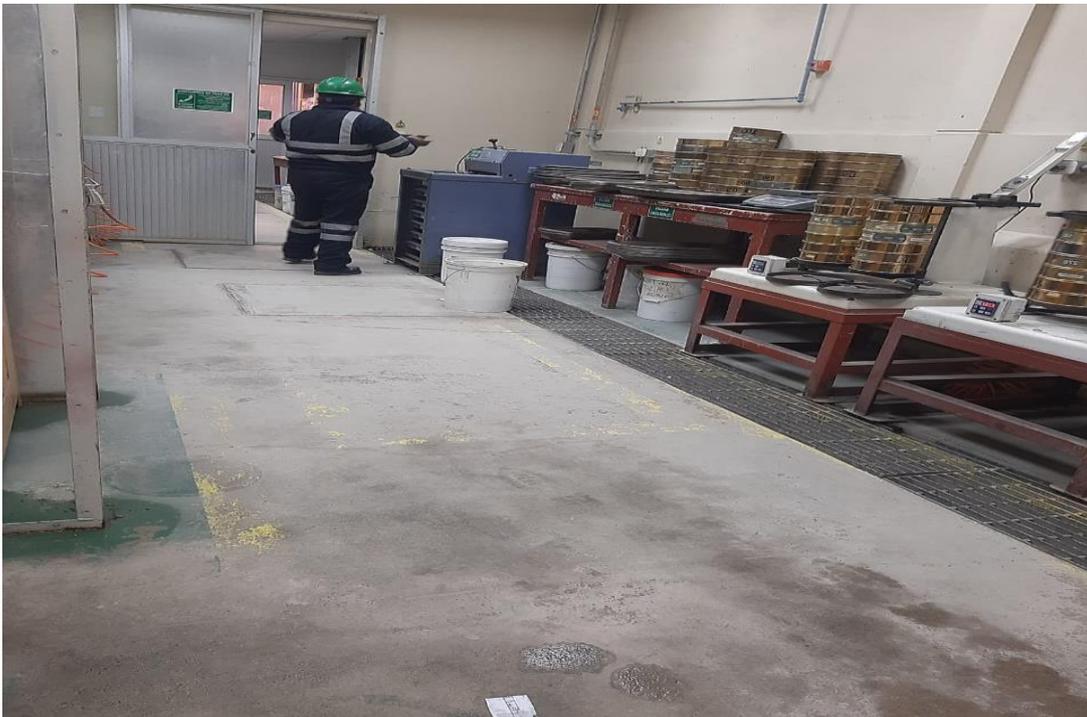
Valdebenito Norambuena F. (2011) “Análisis de estrategia operacional en flotación  
columnar planta las tórtolas, división los bronceos Anglo American”.

## ANEXOS

**Figura 30.** Unidad Minera San Rafael



**Figura 31.** Laboratorio Metalúrgica Área Preparación Mecánica



**Figura 32.** Flotación Casiterita 1 a nivel Laboratorio.



**Figura 33.** Flotación Casiterita 2 a nivel Laboratorio.



**Figura 34.** Celdas columna Planta San Rafael.



**Figura 35.** Área Deslamado Laboratorio Metalúrgica.



**Figura 36.** Laboratorio Metalurgico.



**Figura 37.** Laboratorio Metalurgico.



**Figura 38.** Alimento Celda columna 1 y 2



**Figura 39.** Medicion de pH de agua de lavado celda columna 1 y 2



**Figura 40.** Agua de lavado celda cleaner



**Figura 41.** pH de pulpa cleaner.



**Figura 42.** pH de pulpa rougher.



**Figura 43.** Celda de columna a nivel de laboratorio.

