

*Universidad Nacional*  
*“José Faustino Sánchez Carrión”*



**“ Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”**

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FLOTACIÓN DE ORO Y PLATA  
EN LA COMPAÑÍA MINERA TOCADULOMO S.A”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
METALURGICO

**Autor:**

FLOR ELIZABETH FERNANDEZ RAMOS

**Asesor:**

Dr. MÁXIMO TOMAS SALCEDO MEZA

C.I.P. N° 015140

A handwritten signature in blue ink, reading "Maximo Salcedo Meza", is written over a horizontal line.

**Huacho - Perú**

2020

**“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FLOTACIÓN DE ORO Y PLATA  
EN LA COMPAÑÍA MINERA TOCADULOMO S.A”**

.....

Dr. Sánchez Guzmán, Alberto Irhaam.

Presidente

.....

Dr. Galvez Torres, Edwin Guillermo.

Secretario

.....

M(o). Imán Mendoza, Jaime.

Vocal

.....

Dr. Salcedo Meza, Máximo Tomas.

Asesor

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres, por ser las personas que me dieron la vida y estuvieron a mi lado apoyándome en los momentos más difíciles y por guiarme en mis estudios desde el jardín hasta mi formación profesional.

Flor

## **AGRADECIMIENTO**

Al ser supremo, por todas las cosas, y por guiarme en mi camino.

Al Dr. Máximo Tomas Salcedo Meza, por su apoyo para la culminación de esta tesis.

Flor

## INDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>INDICE GENERAL .....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE TABLA .....</b>	<b>viii</b>
<b>INDICE DE FIGURA.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>14</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	14
1.2 Formulación del problema .....	15
1.2.1 Problema general.....	15
1.2.2 Problemas específicos .....	15
1.3 Objetivos de la Investigación.....	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Justificación de la investigación .....	16
1.5 Delimitaciones del estudio.....	16
<b>CAPITULO II MARCO TEORICO.....</b>	<b>17</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	17
2.2. Investigaciones internacionales.....	17
2.3. Investigaciones nacionales.....	18
2.3.1. Bases Teóricas .....	19
2.3.1.1. Molienda.....	19

2.3.1.2.	Flotación de minerales.....	19
2.3.1.3.	Variables que dependen del componente químico.....	19
2.3.2.	Definición de términos básicos.....	22
2.4.	Hipótesis de la Investigación. ....	23
2.4.1.	Hipótesis General .....	23
2.4.2.	Hipótesis Específicas .....	23
2.4.3.	Operacionalización de las Variables.....	24
<b>CAPITULO III METODOLOGIA.....</b>		<b>25</b>
3.1.	Diseño Metodológico. ....	25
3.2.	Población y Muestra.....	26
3.2.1.	Población .....	26
3.2.2.	Muestra .....	26
3.3.	Técnicas de recolección de datos.....	26
3.4.	Técnicas para el procesamiento de la información. ....	26
<b>CAPITULO IV RESULTADOS .....</b>		<b>28</b>
4.1.	Análisis de Resultados.....	28
4.1.1.	Datos del Circuito de Molienda y Clasificación y Flotación.....	28
4.1.2.	Resultados del Análisis.....	32
4.2.	Contrastación de Hipótesis .....	70
4.2.1.	Contrastación de Hipótesis General .....	70
4.2.2.	Contrastación de Hipótesis Especifico. ....	70
<b>CAPITULO V DISCUSIONES.....</b>		<b>73</b>
5.1.	Discusión de resultados .....	73
<b>CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>75</b>
6.1.	Conclusiones .....	75

6.2. Recomendaciones.....	76
<b>CAPÍTULO VII FUENTES DE INFORMACION .....</b>	<b>77</b>
7.1. Fuentes Bibliográficas .....	77
7.2. Fuentes Electrónicas .....	78
<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Operacionalización de las variables para la evaluación del proceso de flotación de oro y plata .....	24
Tabla 2 Datos de la densidad de pulpa en el clasificador .....	28
Tabla 3 Datos de dosificación de los reactivos en la flotación .....	29
Tabla 4 Datos de las leyes y recuperación oro .....	30
Tabla 5 Datos de las leyes y recuperación plata.....	31
Tabla 6 Paramento del circuito de molienda clasificación.....	36
Tabla 7 Coeficientes correlación de la carga circulante(cc) en función de Alimentación(g/cm <sup>3</sup> ); Rebose(g/cm <sup>3</sup> ); Descarga(g/cm <sup>3</sup> ) .....	37
Tabla 8 Análisis de Varianza de la carga circulante(cc) en función de Alimentación(g/cm <sup>3</sup> ); Flotación(g/cm <sup>3</sup> ); Descarga(g/cm <sup>3</sup> ) .....	38
Tabla 9 Paramento de los reactivos .....	44
Tabla 10 Paramento de leyes de plata.....	49
<i>Tabla 11 Coeficiente correlación de la calidad de plata en la concentración. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 12 Análisis de varianza de la concentración de plata. ....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 13 Coeficiente correlación de la recuperación de plata.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 14 Análisis de varianza de la recuperación de plata.....</i>	<i>54</i>
Tabla 15 Parámetros de leyes de oro. ....	60
<i>Tabla 16 Coeficiente correlación de la concentración de oro.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 17 Análisis de varianza de la concentración de oro.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 18 Coeficiente correlación de la recuperación de oro.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 19 Análisis de varianza de la recuperación de oro .....</i>	<i>65</i>
Tabla 20 Control de parámetros en la clasificación.....	67

Tabla 21 Control de parámetros de reactivos en la flotación.....	68
Tabla 22 Control de parámetros de las leyes del concentrado de la plata .....	68
Tabla 23 Control de parámetros de las leyes del concentrado del oro. ....	69

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Comportamiento de la alimentación de la densidad de pulpa al clasificador.....	32
Figura 2 Comportamiento de la densidad de pulpa del rebose del clasificador. ....	33
Figura 3 Comportamiento de la densidad de pulpa de la descarga del clasificador. ....	34
Figura 4 Comportamiento de la carga circulante del circuito de clasificación y molienda .....	35
Figura 5 Diagrama de Pareto para la carga circulante en el circuito de clasificación. ....	39
Figura 6 Comportamiento de colector Z-6 alimento en la flotación .....	40
Figura 7 Comportamiento de promotor A-404 alimento en la flotación .....	41
Figura 8 Comportamiento de promotor A-208 alimento en la flotación .....	42
Figura 9 Comportamiento de espumante aceite de pino alimento en la flotación.....	43
Figura 10 Comportamiento de la ley de cabeza de plata .....	45
Figura 11 Comportamiento de la ley de concentrado de plata.....	46
Figura 12 Comportamiento de la recuperación de la Ag. ....	47
Figura 13 Comportamiento de la ley de relave del Ag .....	48
Figura 14 Diagrama de Pareto para el concentrado de Ag. ....	52
Figura 15 Diagrama de Pareto para la recuperación de Ag. ....	55
Figura 16 Comportamiento de la ley de cabeza del Au .....	56
Figura 17 Comportamiento de la ley del concentrado del Au .....	57
Figura 18 Comportamiento de la recuperación del Au.....	58
Figura 19 Comportamiento de la ley en el relave de Au .....	59
Figura 20 Diagrama de Pareto para el concentrado de Au. ....	63
Figura 21 Diagrama de Pareto para la recuperación de Au .....	66

## RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo, Evaluar el circuito de molienda, clasificación y del proceso de flotación de oro y plata, para obtener datos que permitan establecer límites de control en la densidad de pulpa y dosificación de reactivos de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino, para mejorar la producción en la compañía minera Tacadulomo S.A. Es una investigación no experimental de campo, con un enfoque cuantitativo.

En el circuito de molienda y clasificación se tienen las densidades de pulpa de  $1.590 \text{ g/cm}^3$  para la alimentación al clasificador, rebose de  $1.267 \text{ g/cm}^3$ , descarga de  $1.865 \text{ g/cm}^3$  y una carga circulante de 3.854. Para la flotación se cuenta con una dosificación de Z-6 de 36.80 g/t, A-404 de 314.75 g/t, A-208 de 348.54 g/t y aceite de pino de 192.38 g/t. Para las leyes promedio de oro en la cabeza es de 1.86 g/t, para el concentrado de 36.84 g/t y en el relave de 0.44 g/t, con una recuperación del 62.54%, las leyes promedio para la plata en la cabeza es de 13.76 g/t, en el concentrado de 228.06 g/t y relave de 8.43 g/t con una recuperación del 38.61%.

Los resultados del presente estudio son confirmados mediante el análisis de desviación, varianza para un nivel de confianza del 95%, rangos y límites. Donde se concluye que la densidad de pulpa en el circuito de clasificación tiene influencia significativa estadísticamente en la carga circulante ya que el valor p calculado es menor a 0.05. Mientras que la dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404, aceite de pino y la densidad de pulpa en la flotación no es significativa estadísticamente en la calidad y recuperación de plata y oro en el concentrado, ya que el valor de p calculado es mayor a 0.05.

**Palabra clave:** flotación, recuperación de oro y plata, densidad de pulpa, dosificación de reactivos.

## ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the grinding circuit, classification and flotation process of gold and silver, to obtain data to establish control limits in pulp density and reagent dosage of Z-6, A-208, A-404 and pine oil, to improve production in the mining company Tocadulomo S.A. It is a non-experimental field research, with a quantitative approach.

In the grinding and classification circuit we have the pulp densities of: 1,590 g / cm<sup>3</sup> for feeding to the classifier, overflow of 1,267g / cm<sup>3</sup>, discharge of 1,865 g / cm<sup>3</sup> and a circulating load of 3,854. For flotation there is a dosage of Z-6 of 36.80 g / t, A-404 of 314.75 g / t, A-208 348.54 and pine oil of 192.38 g / t. For the average gold laws in the head it is 1.86 g / t, for the concentrate of 36.84 g / t and tailings of 0.44 g / t, with a recovery of 62.54%, for silver in the head it is 13.76 g / t, in the concentrate of 228.06 g / t and tailings of 8.43 g / t with a recovery of 38.61%.

The result of the present study are confirmed by the analysis of deviation, variance for 95% confidence level, ranges and limits. Where it is concluded that the pulp density in the classification circuit has a statistically significant influence on the circulating load since the calculated p-value is less than 0.05. While the dosage of the reagents of Z-6, A-208, A-404, pine oil and pulp density in flotation is not statistically significant in the quality and recovery of silver and gold in the concentrate, since the calculated p value is greater than 0.05.

**Keyword:** flotation, recovery of gold and silver, pulp density, dosing of reagents.

## INTRODUCCIÓN

El estudio sobre, “Evaluar el circuito de molienda, clasificación y del proceso de flotación de oro y plata, para obtener datos que permitan establecer límites de control en la densidad de pulpa y dosificación de reactivos de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino, para mejorar la producción en la compañía minera Tocadolomo S.A”, tiene importancia desde el punto de vista técnico y económico, se trata de establecer los límites de control en base a los factores de densidad de pulpa, ley de cabeza, dosificación de los reactivos. Con ello tener una calidad y recuperación adecuado de oro, plata y una dosificación optima de los reactivos. Con ello permitirá mejorar la productividad de la empresa. Los minerales de oro y plata en estado libre, cada vez se van agotando por lo, que es necesario aprovechar en minerales sulfurados de baja ley, ya que, en la zona de Ecuador, existe reservas de minerales de plata y oro con presencia de minerales sulfurados, por lo que es necesario, la pre concentración por flotación para luego realizar su comercialización. El propósito de la investigación es establecer los límites de control en base a la densidad de pulpa, dosificación de reactivos, y el efecto de estas variables en la calidad y recuperación del oro y plata en el concentrado. Por otra parte, se encuentra estructurado de acuerdo a los lineamientos de la universidad, que está conformado por un planteamiento del problema, marco teórico, metodología de la investigación, resultados, discusiones, conclusiones y recomendaciones, bibliografía y anexos que conforma la tesis.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción de la realidad problemática.

El agotamiento en las reservas ricas por el consumo progresivo de los metales ha influido en la obligación de procesar menas con baja ley.

El Perú es un país de antigua tradición minera, especialmente la minería aurífera. La presencia de la cordillera de los andes a lo largo de nuestro territorio, constituye la fuente principal de los recursos minerales, con 1,19% del total del territorio nacional dedicado a esta actividad, quedando un 113,83% del área concesionado que falta explorar. (Azañero, 2015, p.245)

Los procesos de concentración por flotación juegan un rol preponderante en la recuperación de especies valiosas desde sus respectivas menas. El número de variables que inciden sobre los resultados metalúrgicos obtenidos a través de la aplicación de este proceso a una mena en particular, es muy extenso; en muchas ocasiones se denomina como un proceso complejo. (Bravo, 2004)

El proceso de flotación es ampliamente usado como un método rápido y eficiente, para separar el mineral aurífero a partir de sus gangas sulfurosas e insolubles, basado en la diferencia de su hidrofobicidad natural o inducida. Este proceso usa diferentes reactivos, tales como acondicionadores, colectores y depresores, los cuales modifican las propiedades superficiales del mineral. (Azañero, 2015, p.246)

La empresa TOCADULOMO S.A. es una empresa ecuatoriana que fue creado el año 2008 y en el año 2010 adquiere los permisos para las operaciones. Es una empresa minera pequeña que se dedica al rubro de la extracción, la concentración y comercialización de concentrado de minerales de oro y plata.

Debido a las dificultades en el manejo de los parámetros de control, en cuanto al uso de los reactivos, densidad de pulpa y otros parámetros operacionales, se busca mejorar la eficiencia en la recuperación de oro y plata de la compañía minera Tacadulomo S.A, mediante la

evaluación de los límites de control en la densidad de pulpa y dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino, y de esta manera ver cuáles de los factores involucrados no tienen un control adecuado para la toma de decisiones en busca de optimizar el proceso de producción.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Será posible que una evaluación del circuito de molienda, clasificación y del proceso de flotación de oro y plata, permitan obtener datos para establecer límites de control en la densidad de pulpa y dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino para mejorar la producción en la compañía minera Tocadolomo S.A.?

### **1.2.2 Problemas específicos**

¿En qué medida el estudio de la carga circulante del circuito de clasificación, nos permitirá encontrar parámetros para establecer los límites de control en la densidad de pulpa y mejorar la producción de la concentración de minerales que contengan oro?

¿Será posible el seguimiento de la dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino en los puntos de alimentación y nos permita encontrar los parámetros para mejorar la calidad del concentrado de minerales que contengan oro y plata al nivel industrial?

¿Es posible que con un adecuado muestreo se obtendrá datos reales en el circuito de concentración, para establecer parámetros de límites de control en la dosificación de reactivos para mejorar la recuperación de oro y plata?

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar el circuito de molienda, clasificación y del proceso de flotación de oro y plata, para obtener datos que permitan establecer los límites de control en la densidad de pulpa y la dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404, aceite de pino y mejorar la

producción en la compañía minera Tocadolomo S.A.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Analizar el estudio de la carga circulante del circuito de clasificación, para establecer los parámetros de límites de control en la densidad de pulpa y mejorar la producción de la concentración de minerales que contengan oro.

Revisar el seguimiento de la dosificación de los reactivos Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino en los puntos de alimentación, que permitan mejorar la calidad del concentrado de minerales que contengan oro y plata al nivel industrial.

Emplear un adecuado muestreo que permita obtener datos reales en el circuito de concentración, para mejorar los límites de control en la dosificación de reactivos para mejorar la recuperación de oro y plata.

### **1.4 Justificación de la investigación**

La necesidad de contar con las técnicas, métodos y procedimientos para optimizar los parámetros en el proceso de flotación de oro y plata, permitirá comprender los mecanismos que intervienen en ella, y con ello realizar la evaluación de la densidad de pulpa y dosificación de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino apropiado. Por otra parte, el presente trabajo de investigación servirá como un instrumento para entender el nexo entre la dosificación de los colectores y espumante para un mineral de oro y plata, lo cual desde el punto de vista metodológico se podrán aplicar en otros trabajos relacionados a la flotación de oro y plata.

### **1.5 Delimitación del estudio**

La investigación se realizará en las instalaciones de la compañía minera Tocadolomo S.A, Se ubica en la parroquia Bellamaría, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro, Ecuador (Salas, 2019). El estudio se realizará durante el periodo del segundo bimestre del 2019. En las instalaciones de la planta de la minera.

Las limitaciones para realizar el presente trabajo de investigación es la parte económica para realizar el análisis químico, el muestreo y con ello realizar la investigación a cabalidad.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.2. Investigaciones Internacionales.

Romero & Romero (2018) de la Universidad Técnica de Machala, de Ecuador en el estudio respecto al Efecto de la variación de los colectores Z6, 404 y 1208 en la flotación bulk de pirita y arsenopirita aurífera, concluye que, el porcentaje de sólidos en la pulpa del mineral influye en la recuperación de oro. El 33% de sólidos en la pulpa tiene el mayor porcentaje de recuperación a diferencia de los porcentajes de sólidos de 27%, 30% y 37%, y se determinó estadísticamente, que el tipo de colector secundario no influye en el porcentaje de recuperación de oro ( $p\text{-value} > 0,05$ ). Mientras que, sí existe influencia ( $p\text{-value} < 0,05$ ) del porcentaje de sólidos en la pulpa en el porcentaje de recuperación.

Smart, Gerson, Biesinger & Hart (2017) de la biblioteca en línea de wiley, Estados Unidos en el estudio respecto a el desarrollo de la aplicación estadísticas ToF SIMS en la recuperación de minerales por flotación por espuma, concluye, que el desarrollo de ToF-SIMS nos permite la identificación directa de la especie que intervienen en el procesamiento, y su aplicación en las operaciones de procesamiento de los minerales permite mejorar la recuperación más efectiva de los minerales.

Rodríguez (1996) de la Escuela Superior Politecnica del Litoral, Ecuador en el estudio respecto al Estudio mineralurgico de concentración gravimétrica y de flotación para la recuperación de oro a partir de arenas cianuradas de la compañía Orenas S.A, concluye, que las pruebas de concentración por flotación de sulfuros permiten recuperaciones de oro que oscilan entre el 70% y el 77%. Las razones de concentración varían de 4.31: 1 a 3.61: 1.

Según Drif, Taha, Hakkou & Benzaazoua (2018) En el estudio sobre la recuperación de minerales residuales con contenido de plata de relaves de bajo grado por flotación por espuma: el caso de la mina Zgounder Marruecos, concluye que con una liberación D90 63 micras, pH 8.5, con activador  $\text{CuSO}_4$  200 g/t, mezcla de butil-xantato y ditiofosfato 80 g/t, MIBC 30 g/t se

obtuvo una calidad de concentrado de 1747 ppm, con una recuperación de 84% y una recuperación masiva del 40% en peso.

### **2.3. Investigaciones Nacionales.**

Suca (2017) de la Universidad Nacional del Altiplano, de Puno en el estudio sobre la optimización del proceso de flotación para la recuperación de un preconcentrado de oro en minerales sulfurados de la minera Colibrì S.A.C, de acuerdo a los datos experimentales y los datos que arrojó el estadístico, se concluye que con un % de sólidos de 35%, xantato 50g/tm, 10 minutos de flotación se optimizó el proceso de flotación de oro con un valor óptimo= 76,0466.

Palomino & Ramos (2008) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, de Lima en el estudio respecto a la evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo en la minera Koricolqui, concluye que aplicando una etapa de preconcentración al método convencional, permite la optimización de la recuperación del oro, para minerales en una matriz de cuarzo simples donde el oro se encuentra fino, diseminado y libre.

Sánchez (2008) Tecsup, Perú en el estudio respecto al diseño y optimización experimental del proceso de flotación de un mineral aurífero, concluye que para el tratamiento del mineral se requiere un grado de molienda de 63% menos malla 200 y de la adición de los promotores A-3418 y A-208 para obtener recuperación en oro del orden del 90%.

### **2.3.1. Bases Teóricas.**

#### **2.3.1.1.Molienda.**

La conminución es la reducción de los minerales en los molinos, por lo que se requiere grandes cantidades de energía aproximadamente del orden de 45% de lo gastado en todo el proceso. “Las operaciones de conminución se utilizan para garantizar que los componentes valiosos se liberen físicamente de constituyentes de desecho antes de intentar separaciones físicas o químicas” ( Han & Fuerstenau, 2003, pág. 61). La molienda mayormente se realiza en una pulpa del orden del 60% de sólido que permite realizar una liberación óptima del mineral.

#### **2.3.1.2. Variables en la molienda.**

Las variables que intervienen en el circuito de molienda en humedo para una buena liberación está relacionado con los siguientes: “carga de mineral, suministro de agua, carga moledora, condiciones de blindaje, tiempo de molienda, velocidad de operación de los molinos y carga circulante” (Porras, 1997, págs. 53-55). Los factores que intervienen en el proceso de molienda son aquellos que intervienen directamente para que el mineral a liberar este dentro de los parámetros establecidos.

- a. **Carga circulante:** Es la carga que retorna del circuito de clasificación al molino, es el material grueso que ha sido rechazado que no cumple las condiciones del siguiente proceso, que se puede calcular por medio de densidad de pulpa, granulometría (Porras, 1997).

#### **2.3.1.3.Flotaación de minerales.**

En el proceso de concentración de los minerales se puede aprovechar ciertas propiedades de los minerales presentes para su recuperación, esto podrían ser concentración gravimétrica, magnética, eléctrica y concentración por flotaación.

la concentración por flotación se conocen tres tipos y estos son: flotación a granel con aceite, flotación superficial y flotación por espuma. La flotación por espuma es el proceso donde intervienen tres fases sólido, líquido y gas, los sólidos que se encuentran en la pulpa es cubierto su superficie por los colectores y este es atraída por las burbujas y conducido a la superficie aprovechando su densidad y su hidrofobicidad del colector. A este proceso se le conoce como propiedad fisicoquímica ya que interviene la parte química y física en el proceso de separación de los minerales valiosos (Lopez, 1987).

#### **2.3.1.4. Variables de la flotación.**

Los factores que interviene en el proceso de flotación de los minerales por espuma son: Mineral, Granulometría, lama, densidad de pulpa, agua, tiempo, carga circulante, reactivo, pH, aire (Sutulov, 1993). Las variables que intervienen en la flotación permiten mejorar la calidad y recuperación, para ello es necesario controlar las variables de operación y de diseño del circuito.

#### **2.3.1.5. Variables que dependen del componente químico.**

En el proceso de flotación por espuma interviene ciertas propiedades fisicoquímicos para que exista un desequilibrio y existe una separación, ese desorden esta generado de una parte por los reactivos que se le adiciona y estos reactivos se clasifican en: Colectores, espumantes, depresores y modificadores (Portal minero, 2006).

#### **2.3.1.6. Clasificación de reactivos.**

Los reactivos que se emplea en el proceso son colector, espumante, depresores y modificadores de pH en el proceso de flotación de los minerales que se requiere su recuperación.

- a. **Colectores:** Son reactivos orgánicos iones o moléculas que se adsorben sobre la superficie del mineral. Esta adsorción de las partículas lo hace hidrofóbica por lo tanto haya una adhesión entre la partícula y la burbuja, induciendo a la reducción de tiempo, permitiendo asegurarse la adhesión en la colisión partícula y burbuja. Entre los colectores se tiene aniónicos y catiónicos (Kelly & Spottiswood, 1990). Los reactivos aniónicos usados en nuestro caso son los xantatos y Aerofloats.

Z-6: Xantato amflico de potasio, es el colector más selectivo para minerales sulfurados con presencia de óxidos, empleados para minerales de plomo y cobre (Azuñero, 2015).

A-208: R=etlo+secbutilo. Es un colector selectivo para oro nativo, plata y cobre (Cytec , 2002).

A-208: Es un colector para piritas auríferas, en medio ácido o neutro y minerales alteradas de cobre, plomo, zinc y metales preciosos en medio alcalina (Cytec , 2002).

- b. **Espumantes:** Son compuestos heteropolares, que contiene una parte polar que solubiliza que atrae al agua y una parte no polar que atrae al aire. Esta propiedad le da una condición de estabilidad a la espuma para que cumpla con las condiciones de evacuación de las partículas cargadas a la superficie (Lopez, 1987). Los espumantes más empleados tenemos el aceite de pino, MIBC, F-70, etc.
- c. **Depresores:** los depresores tienen la función de cambiar la superficie del mineral haciendo hidrofílica que tenga afinidad con el agua, por lo que el mineral no se adhiere al colector (Sutulov, 1993). Entre los depresores tenemos NaCN, NaSH, ZnSO<sub>4</sub>, etc.
- d. **Modificadores:** Entre los modificadores se tiene los promotores, activadores, modificador de pH (Sutulov, 1993).
- 1) **Activadores:** El proceso de activación es un proceso de oxidación reducción donde se modifica la superficie del mineral cambiando por otro ion que tenga la afinidad

del colector, a si aumentar la colectividad del mineral (Porras, 1997). Entre los colectores más empleados tenemos  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ , etc.

- 2) **Modificador de pH:** El proceso para modificación de pH se emplea reactivos ácidos o bases, entre ellos tenemos.  $\text{CaO}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , etc.

#### 2.4.3. Definición de términos básicos.

- a) **Carga circulante:** Es el mineral que está recirculando permanentemente en el proceso de molienda y flotación hasta que cumpla las condiciones establecidas (Lopez, 1987).
- b) **Circuito:** Está constituido por todas las operaciones existentes en un determinado proceso, ya sea del proceso de molienda, clasificación, flotación, etc (Lopez, 1987).
- c) **Concentración:** Es el mecanismo de elevar el contenido de un mineral, eliminando aquellos que no son de interés económico (Porras, 1997).
- d) **Densidad de pulpa:** Es la mezcla de mineral y agua, que se emplea en la molienda, flotación y cianuración en los procesos metalúrgicos (Porras, 1997).
- e) **Flotación:** Es la diferencia de la propiedad de la superficie de los minerales hidrofóbicos e hidrofílicos, donde el mineral de interés subirá a la superficie adherida a la burbuja y la ganga se quedará adherida al agua (Lopez, 1987).
- f) **Lama:** Es el mineral finamente molido que interactúa negativamente en el proceso de flotación, cianuración y sedimentación en los procesos metalúrgicos.
- g) **Minerales hidrofílicos:** Son los minerales que tienen afinidad con el agua, que están formado por la mayoría de los minerales óxidos que lo conforman el relave (Porras, 1997).
- h) **Minerales hidrofóbicos:** Son aquellos minerales que no tiene afinidad con el agua y tiene la propiedad rechazar, que están conformado por minerales nativos, minerales sulfurados como: grafito, talco, etc (Porras, 1997).

- i) **Procesamiento de Minerales:** Es el camino de una secuencia de actividades para concentrar un mineral para que sea económicamente rentable.
- j) **Recuperación:** Es la relación del elemento que se ha obtenido de los que se tenía inicialmente multiplicado por cien, expresado en porcentaje (Lopez, 1987).
- k) **Variable:** Son componentes que intervienen en un determinado proceso para producir un producto (Sutulov, 1993).

## **2.4. Hipótesis de la Investigación.**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Realizando la evaluación del circuito de molienda, clasificación y del proceso de flotación de oro y plata, se obtendrá datos que permitan establecer los límites de control en la densidad de pulpa y la dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino para mejorar la producción en la compañía minera Tacadulomo S.A.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas.**

Realizando un estudio de la carga circulante del circuito de clasificación, nos permitirá encontrar parámetros para establecer los límites de control en la densidad de pulpa y mejorar la producción de la concentración de minerales que contengan oro.

Con un seguimiento de la dosificación de los reactivos Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino en los puntos de alimentación, se encontrará los parámetros que permitirán mejorar la calidad del concentrado de minerales que contengan oro y plata a nivel industrial.

Con un adecuado muestreo se obtendrá datos reales en el circuito de concentración, con ello establecer parámetros que permitan establecer los límites de control en la dosificación de reactivos para mejorar la recuperación de oro y plata.

### 2.4.3. Operacionalización de las Variables.

*Tabla 1*

*Operacionalización de las variables para la evaluación del proceso de flotación de oro y plata*

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
<b>Independiente</b>			
Evaluación	- Estimar la eficiencia de las operaciones del circuito de molienda, clasificación y flotación de oro y plata.	Medida	- Carga circulante. - Reactivos. - Concentrado
<b>Dependiente</b>			
Proceso de flotación	- Es el mecanismo de separar los minerales de oro y plata por medio hidrodinámica aprovechando sus propiedades fisicoquímicas de los minerales los de interés son hidrofóbica y la otra parte son hidrofílica.	Calidad	- Límites de control. - Calidad. - Recuperación
<b>Intervinientes.</b>			
Condiciones para el proceso de concentración	Son aquellos factores que intervienen, en las etapas del proceso para que tenga una adecuada flotación de oro y plata.	Control	- Tamaño de mineral - Carga de bolas - Diámetro de bolas - Tiempo flotación.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1. Diseño Metodológico.**

##### **3.1.1. Tipo de Investigación.**

En la evaluación del proceso de flotación de oro y plata se empleó, el tipo de investigación no experimental de campo, ya que el estudio se realizó sobre la realidad de las variables de operación para la concentración de oro y plata (Baena, 2017). Es un estudio prospectivo y los datos se obtuvieron en el momento en que se realizó la investigación.

##### **3.1.2. Nivel de Investigación.**

El nivel de investigación sobre la evaluación del proceso de flotación de oro y plata al ser un estudio real tuvo el nivel de investigación aplicada, una vez encontrado las deficiencias en las operaciones se aplicó las correcciones necesarias (Jiménez, 1998).

##### **3.1.3. Diseño de la Investigación.**

En la presente indagación sobre evaluación del proceso de flotación de oro y plata se realizó, un diseño no experimental ya que se recopilaron datos de la realidad del proceso haciéndolo un diseño transeccional, que permitió explicar las causas que generen la deficiencia del proceso (Carrasco, 2005).

##### **3.1.4. Enfoque de la Investigación.**

El enfoque del estudio sobre la evaluación del proceso de flotación de oro y plata es cuantitativo, ya que la información recopilada de la planta de procesamiento de minerales es numérica, de las cuales se realizaron el análisis estadístico para obtener una información de acuerdo a los objetivos de la investigación (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

## **3.2. Población y Muestra.**

### **3.2.1. Población.**

La población para el estudio se delimitará el circuito de molienda clasificación y flotación las 24 horas de producción y durante el tiempo que dure la recopilación de la muestra, ya que la investigación se realizó como el conjunto que tiene relación con el estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

### **3.2.2. Muestra.**

La recolección de la muestra para la evaluación del proceso de flotación de oro y plata fue una muestra probabilística estratificada, ya que la muestra se tomó con un intervalo de tiempo en el proceso real (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). La muestra que se sacó fue de cada 2 horas durante los turnos de los puntos que se evaluaron, aproximadamente de un litro en los casos de la pulpa y 1 kilo en caso del mineral ingresante al proceso.

## **3.3. Técnicas de recolección de datos**

Para la recopilación de información para la evaluación del proceso de flotación de oro y plata de la planta de producción fue por la observación directa, ya que los datos a recopilar se necesitan que sean confiable, por lo que la información requerida debe ser de fuentes primarios por ello es necesario emplearla (Hurtado, 2000).

## **3.4. Técnicas para el procesamiento de la información.**

En el estudio sobre la evaluación del proceso de flotación de oro y plata de acuerdo a su naturaleza y a los objetivos planteados, se usó para su procesamiento los datos recolectados, la estadística, mediante un ordenador, con el programa Excel y minitab 19, con el cual se

obtendrán promedio, desviación, varianza, rangos, límites, etc., por medio de tablas, gráficos, etc. (Hurtado, 2000).

Luego se analizaron los resultados para contrastar la hipótesis en función de los objetivos y su fundamentación mediante el marco teórico para llegar a una conclusión, que serán procesados mediante un procesador de texto para su digitalización usando el Word y almacenamiento el pdf.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de Resultados.

##### 4.1.1. Datos del Circuito de Molienda y Clasificación y Flotación.

Los datos del circuito de molienda y clasificación son con respecto a la densidad de pulpa, mientras que, en el circuito de flotación con respecto a la dosificación de los reactivos, por otra parte, las leyes de la cabeza, relave, concentrado, se detalla en las tablas 2, 3, 4 y 5.

##### a) Circuito de Molienda y Clasificación.

Las densidades tomadas del circuito de molienda y clasificación, es un promedio de las dos guardias lo que se describe en la tabla 2.

*Tabla 2*

*Datos de la densidad de pulpa en el clasificador*

Alimentación (g/cm <sup>3</sup> )	Rebose (g/cm <sup>3</sup> )	Descarga (g/cm <sup>3</sup> )	Carga circulante(cc)
1.575	1.282	1.850	3.217
1.570	1.273	1.800	3.791
1.580	1.271	1.910	3.139
1.570	1.254	1.870	3.598
1.620	1.254	1.910	4.510
1.580	1.275	1.823	3.750
1.630	1.261	1.864	5.209
1.591	1.266	1.892	3.618

En la tabla 2 se muestra las densidades de pulpa de la alimentación, rebose, descarga y la carga circulante, del circuito de molienda y clasificación.

### b) Dosificación de Reactivos.

Los reactivos tomados en el circuito de flotación es un promedio de las dos guardias lo que se describe en la tabla 3.

*Tabla 3*

*Datos de dosificación de los reactivos en la flotación*

Z-6(g/t)	A-404(g/t)	A-208(g/t)	Ac.Pino(g/t)
55.77	297.09	284.92	206.99
50.41	292.22	258.13	211.86
14.37	365.28	297.09	146.11
30.44	370.15	306.84	209.43
36.77	311.71	345.80	245.96
14.85	204.56	423.72	82.80
36.04	306.84	435.90	189.95

En la tabla 3 se describe las dosificaciones de los reactivos, colector Z-6, promotor A-404, promotor A-208 y aceite de pino en gramos por toneladas métricas.

**c) Leyes de Oro y Plata en el circuito de flotación.**

Las leyes del circuito de flotación para el oro, es un promedio de las dos guardias lo que se describe en la tabla 4.

*Tabla 4*

*Datos de las leyes y recuperación oro*

Cabeza	Concentrado	Recuperación Au	Relave Au
Au(g/t)	Au(g/t)	(%)	(g/t)
0.63	29.31	52.92	0.30
0.70	32.83	43.39	0.40
0.97	42.04	45.94	0.53
0.77	34.70	47.06	0.41
3.90	38.00	90.70	0.40
3.26	42.04	84.39	0.53
0.73	33.76	45.22	0.41

De la tabla 4 las leyes para el oro se tienen, ley de cabeza, ley de concentrado, ley de relave y recuperación, para las leyes gramos por toneladas métricas, mientras para la recuperación en porcentaje.

Las leyes del circuito de flotación para la plata, es un promedio de las dos guardias lo que se describe en la tabla 5.

*Tabla 5*

*Datos de las leyes y recuperación plata.*

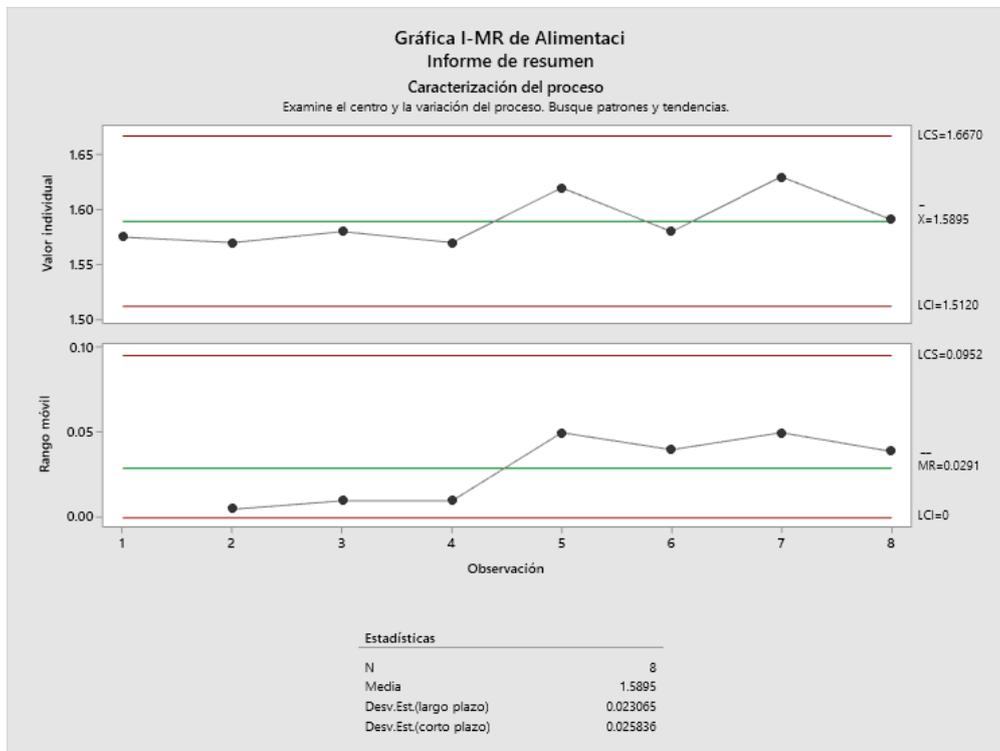
Cabeza	Concentrado	Recuperación Ag	Relave Ag
Ag(g/t)	Ag(g/t)	(%)	(g/t)
7.60	206.39	30.89	5.31
11.69	222.61	17.62	9.72
13.70	251.94	19.49	11.15
11.01	226.74	21.43	8.74
21.30	206.39	90.21	2.30
12.13	233.76	19.51	9.87
11.35	224.67	19.52	9.23

De la tabla 5 las leyes para la plata se tienen, ley de cabeza, ley de concentrado, ley de relave y recuperación, para las leyes gramos por toneladas métricas, mientras para la recuperación en porcentaje.

## 4.1.2. Resultados del Análisis.

### 4.1.2.1. Circuito de Molienda y Clasificación.

#### a) Alimentación.



*Figura 1 Comportamiento de la alimentación de la densidad de pulpa al clasificador.*

De la figura 1 para la alimentación al clasificador la densidad de pulpa tiene un promedio de  $1.5895 \text{ g/cm}^3$ , con un límite superior de  $1.6670 \text{ g/cm}^3$ , con límite inferior de  $1.5120 \text{ g/cm}^3$ . Mientras que el rango móvil tiene un promedio de  $0.0291$  y límite superior de  $0.0952$ , con una variación estándar (largo plazo) de  $0.023065$  y una variación estándar (corto plazo) de  $0.025836$  para número de 8 datos.

b) Rebose.

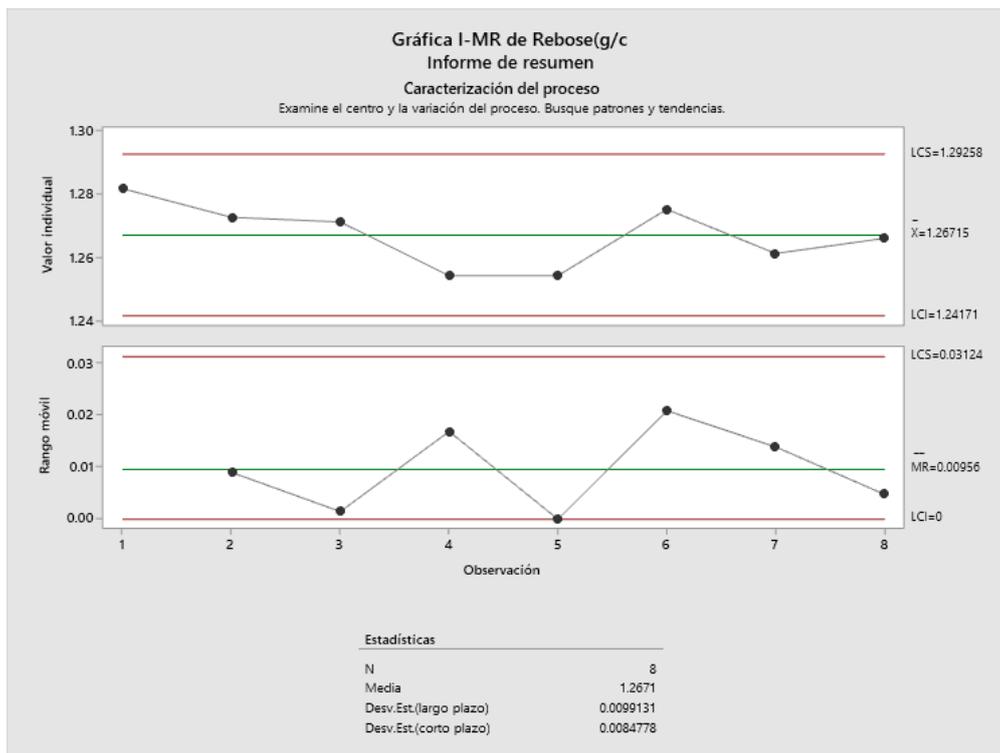
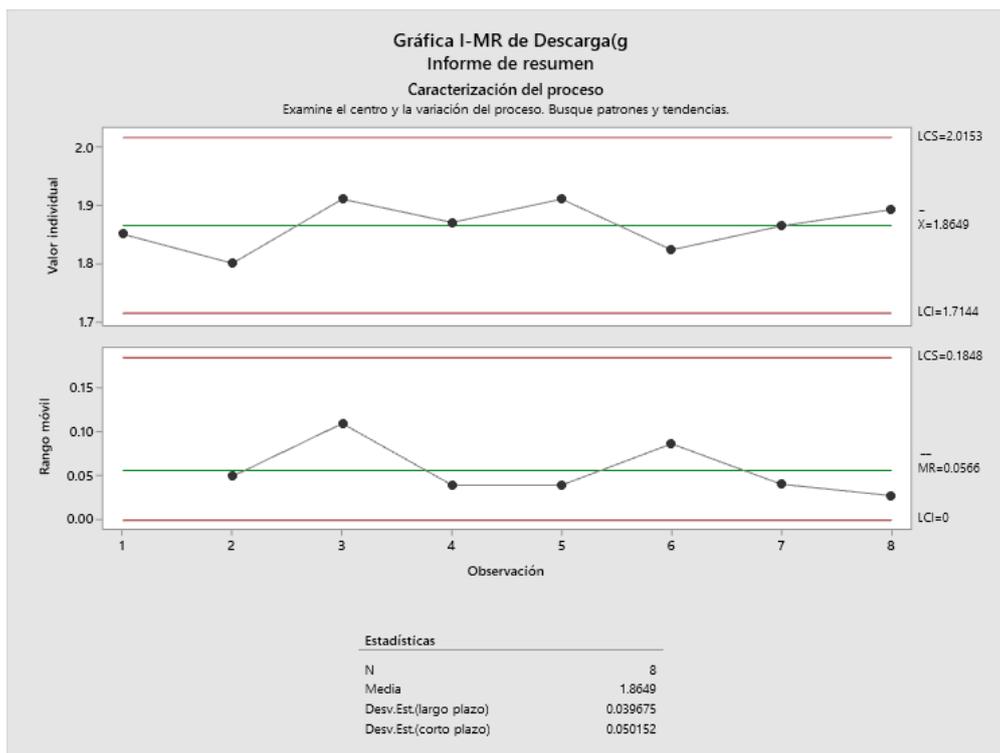


Figura 2 Comportamiento de la densidad de pulpa del rebose del clasificador.

De la figura 2 para el rebose del clasificador la densidad de pulpa tiene un promedio de 1.26715  $\text{g/cm}^3$ , con un límite superior de 1.29258  $\text{g/cm}^3$ , con límite inferior de 1.24171  $\text{g/cm}^3$ . Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 0.00956 y límite superior de 0.02171, con una variación estándar (largo plazo) de 0.0099131 y una variación estándar (corto plazo) de 0.0084778 para numero de 8 datos.

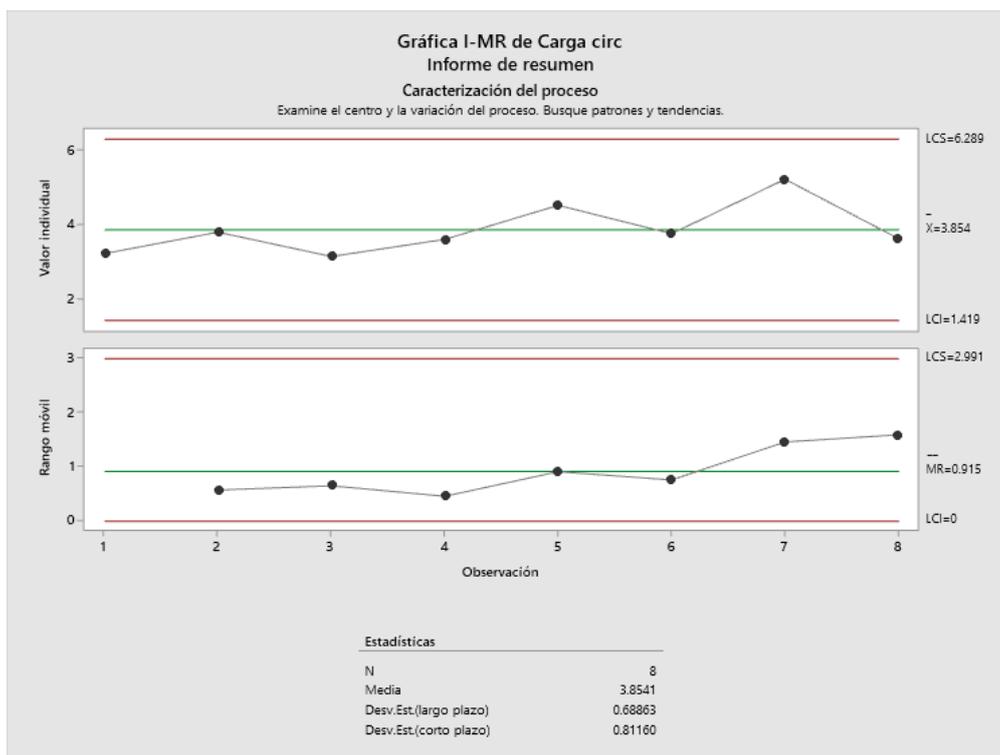
c) Descarga.



*Figura 3 Comportamiento de la densidad de pulpa de la descarga del clasificador.*

De la figura 3 para la descarga del clasificador la densidad de pulpa tiene un promedio de 1.8649 g/cm<sup>3</sup>, con un límite superior de 2.0153 g/cm<sup>3</sup>, con límite inferior de 1.7144 g/cm<sup>3</sup>. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 0.0566 y límite superior de 0.01848, con una variación estándar (largo plazo) de 0.039675 y una variación estándar (corto plazo) de 0.050152 para numero de 8 datos.

d) Carga circulante.



*Figura 4 Comportamiento de la carga circulante del circuito de clasificación y molienda.*

De la figura 4 la carga circulante del circuito de clasificación, tiene un promedio de 3.854, con un límite superior de 6.289, con límite inferior de 1.419. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 0.915 y límite superior de 2.991, con una variación estándar (largo plazo) de 0.68863 y una variación estándar (corto plazo) de 0.81160 para número de 8 datos.

## e) Parámetros de control.

*Tabla 6*  
*Parametro del circuito de molienda clasificación*

Parámetro	Alimentación (g/cm <sup>3</sup> )	Rebose (g/cm <sup>3</sup> )	Descarga (g/cm <sup>3</sup> )	Carga circulante(cc)
Limite superior	1.6670	1.29258	2.0153	6.289
Promedio	1.5895	1.26715	1.8649	3.854
Limite inferior	1.5120	1.24171	1.7144	1.419
Desv. Est. (largo plazo)	0.023065	0.0099131	0.039675	0.68863
Desv. Est. (corto plazo)	0.025836	0.0084778	0.50152	0.81160
N	8	8	8	8

De la tabla 6 las densidades promedio se tiene para el alimento de 1.5895 g/cm<sup>3</sup>, para el rebose de 1.26715 g/cm<sup>3</sup>, descarga de 1.8649 g/cm<sup>3</sup> y una carga circulante promedio de 3.854.

**f) Análisis de regresión: Carga circulante(cc) vs. Alimentación(g/cm<sup>3</sup>); Rebose (g/cm<sup>3</sup>); Descarga(g/cm<sup>3</sup>).**

Ecuación de regresión

$$\text{Carga circulante(cc)} = 7,75 + 27,86 \text{ Alimentación(g/cm}^3\text{)} - 24,19 \text{ Rebose(g/cm}^3\text{)} - 9,399 \text{ Descarga(g/cm}^3\text{)}.$$

Tabla 7

Coefficientes correlación de la carga circulante(cc) en función de Alimentación(g/cm<sup>3</sup>); Rebose(g/cm<sup>3</sup>); Descarga(g/cm<sup>3</sup>)

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
Constante	7,75	6,30	1,23	0,286	
Alimentación(g/cm <sup>3</sup> )	27,86	1,46	19,11	0,000	1,42
Rebose(g/cm <sup>3</sup> )	-24,19	3,56	-6,79	0,002	1,57
Descarga(g/cm <sup>3</sup> )	-9,399	0,847	-11,10	0,000	1,42

En la tabla 7 el valor calculado de p para la densidad de alimentación(g/cm<sup>3</sup>) es de 0.00, mientras que para la densidad del rebose(g/cm<sup>3</sup>) es de 0.002, por otra parte, para la densidad de la descarga(g/cm<sup>3</sup>) es de 0.000 menor a 0.05, con relación a la carga circulante, teniendo una alta influencia en la carga circulante.

Resumen del modelo

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
0,0745965	99,33%	98,83%	96,09%

La variación estándar es de 0.0745965, con un R-cuadrado de 99.33%, mientras que el R-cuadrado(ajustado) es de 98.83% y el R-cuadrado(pred) es de 96.09% para las densidades de alimentación rebose y descarga del clasificador para la carga circulante.

Tabla 8

*Análisis de Varianza de la carga circulante(cc) en función de Alimentación(g/cm<sup>3</sup>); Flotación(g/cm<sup>3</sup>); Descarga(g/cm<sup>3</sup>)*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Regresión	3	3,29724	1,09908	197,51	0,000
Alimentación(g/cm <sup>3</sup> )	1	2,03237	2,03237	365,23	0,000
Rebose (g/cm <sup>3</sup> )	1	0,25680	0,25680	46,15	0,002
Descarga(g/cm <sup>3</sup> )	1	0,68542	0,68542	123,17	0,000
Error	4	0,02226	0,00556		
Total	7	3,31950			

En la tabla 8 en el análisis de varianza para la carga circulante, el valor calculado de p para la densidad de alimentación(g/cm<sup>3</sup>) es de 0.00, mientras que para la densidad del rebose(g/cm<sup>3</sup>) es de 0.002, por otra parte, para la densidad de la descarga(g/cm<sup>3</sup>) es de 0.000 menor a 0.05, teniendo una alta influencia en la carga circulante.

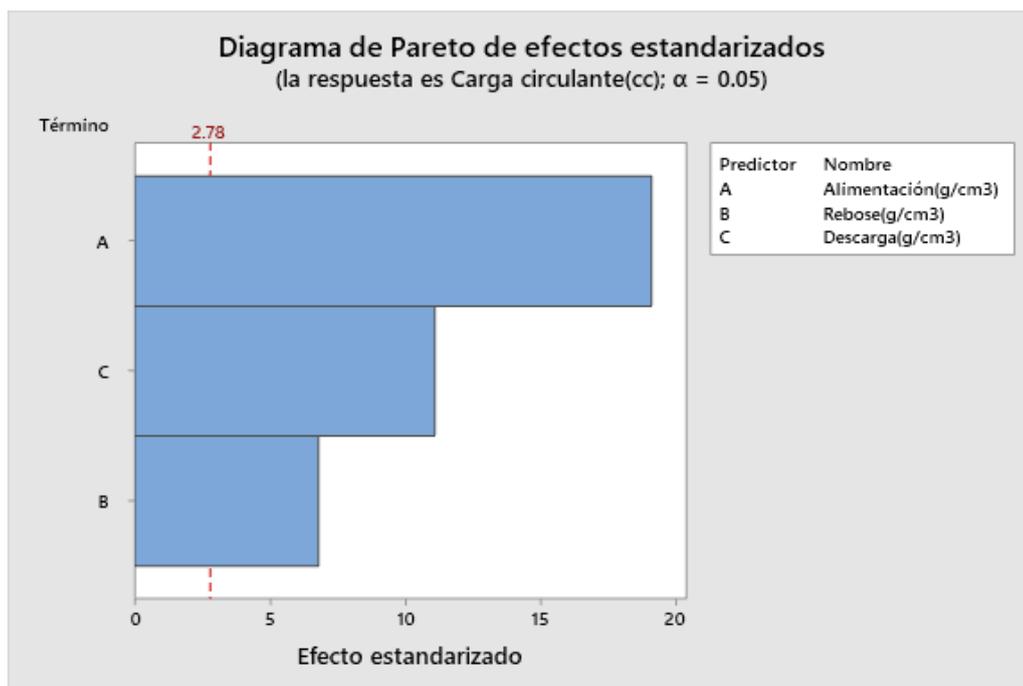
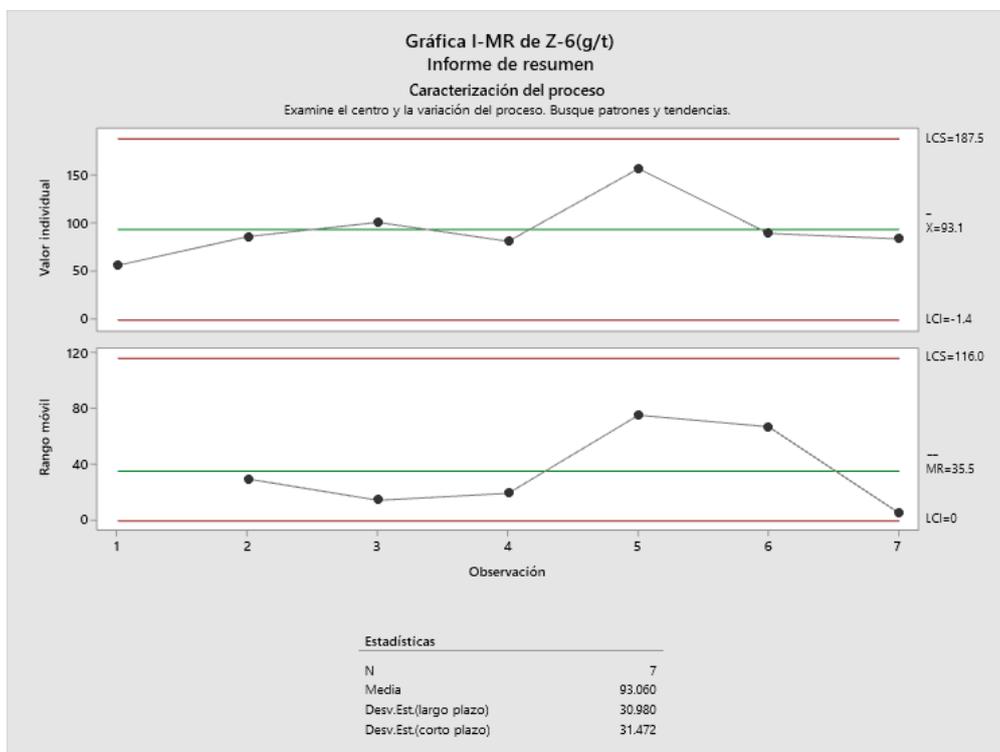


Figura 5 Diagrama de Pareto para la carga circulante en el circuito de clasificación.

En la figura 5 el diagrama de Pareto para la carga circulante, en relación a la densidad de pulpa de alimentación, rebose y descarga del clasificador los barras A (densidad de alimentación  $\text{g/cm}^3$ ), B (densidad rebose  $\text{g/cm}^3$ ), C (densidad en descarga  $\text{g/cm}^3$ ) son superior a 2.78, para una confiabilidad del 95%

#### 4.1.2.2. Dosificación de Reactivos.

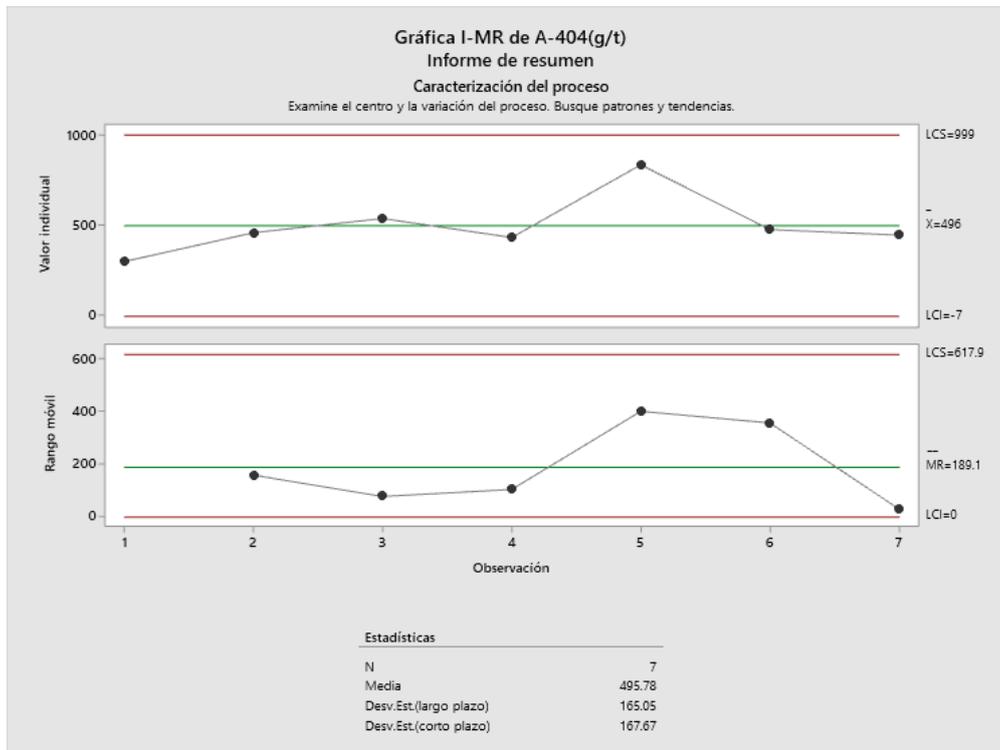
a) Colector Z-6.



*Figura 6 Comportamiento de colector Z-6 alimento en la flotación*

De la figura 6 la alimentación del colector Z-6 a la flotación, tiene un promedio de 93.10 g/t, con un límite superior de 187.50 g/t, con límite inferior de 1.40 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 35.5 y límite superior de 116.00, con una variación estándar (largo plazo) de 30.980 y una variación estándar (corto plazo) de 31.472 para número de 7 datos.

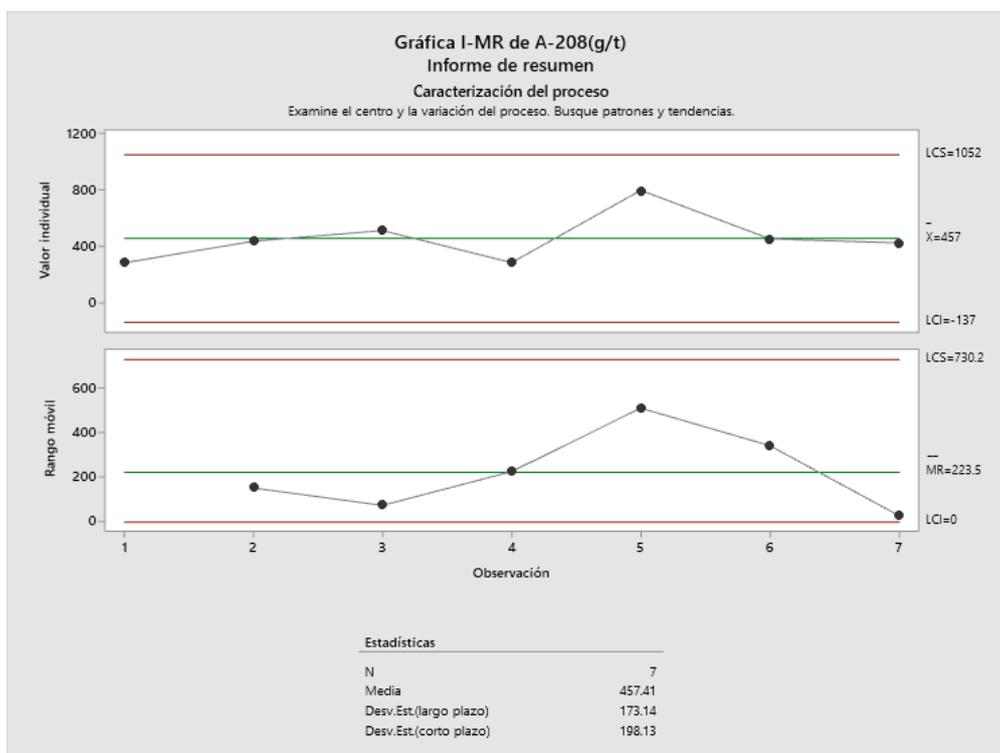
b) Promotor A-404.



*Figura 7 Comportamiento de promotor A-404 alimento en la flotación*

De la figura 7 la alimentación del promotor A-404 a la flotación, tiene un promedio de 496 g/t, con un límite superior de 999 g/t, con límite inferior de 7 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 189.10 y límite superior de 617.9, con una variación estándar (largo plazo) de 165.05 y una variación estándar (corto plazo) de 167.67 para número de 7 datos.

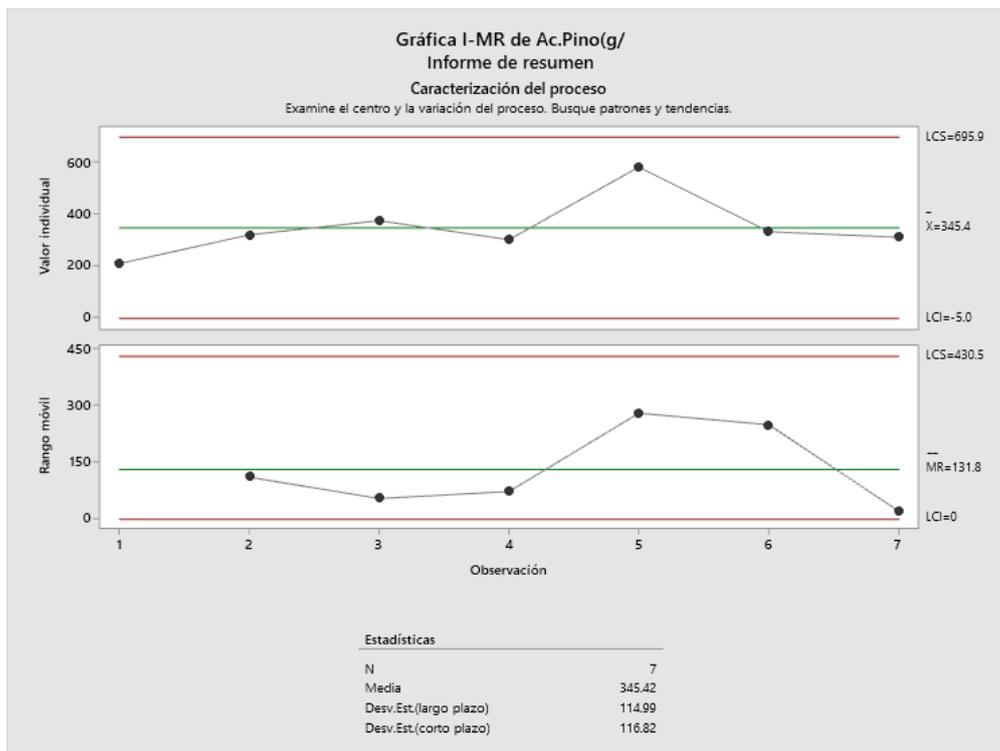
c) Promotor A-208.



*Figura 8 Comportamiento de promotor A-208 alimento en la flotación*

De la figura 8 la alimentación del promotor A-208 a la flotación, tiene un promedio de 457 g/t, con un límite superior de 1052 g/t, con límite inferior de 137 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 223.50 y límite superior de 730.20, con una variación estándar (largo plazo) de 173.14 y una variación estándar (corto plazo) de 198.13 para numero de 7 datos.

## d) Espumante Aceite de Pino.



*Figura 9 Comportamiento de espumante aceite de pino alimento en la flotación*

De la figura 9 la alimentación del espumante aceite de pino a la flotación, tiene un promedio de 345.4 g/t, con un límite superior de 695.90 g/t, con límite inferior de -5.0 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 131.80 y límite superior de 430.50, con una variación estándar (largo plazo) de 114.99 y una variación estándar (corto plazo) de 116.82 para número de 7 datos.

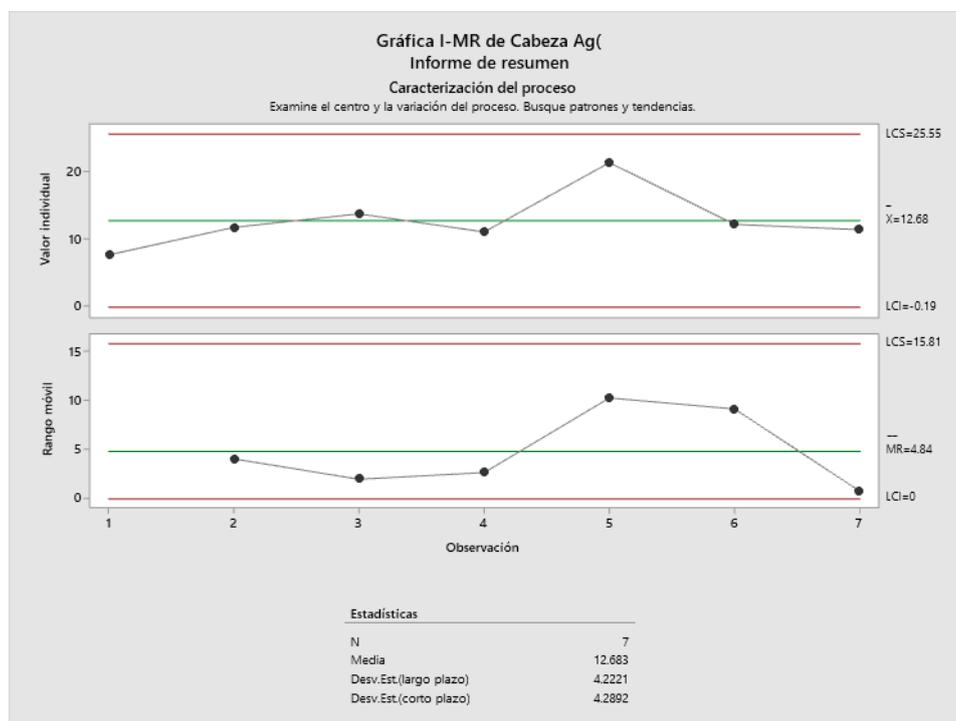
*Tabla 9*  
*Parametro de los reactivos*

Parámetro	Promotor		Promotor	
	Colector Z-6 (g/t)	A-404 (g/t)	A-208 (g/t)	Aceite de pino (g/t)
Límite superior	187.50	999	1052	695.90
Promedio	93.10	496	457	345.40
Límite inferior	-1.4	-7	137	-5.00
Desv. Est. (largo plazo)	30.980	165.05	173.14	114.99
Desv. Est. (corto plazo)	31.472	167.67	198.13	116.82
N	7	7	7	7

De la tabla 9 el colector Z-6 en promedio se tiene 93.10 g/t, para el promotor A-404 de 496 g/t, para el promotor A-208 es de 457 g/t y el aceite de pino en promedio de 345.40 g/t.

### 4.1.2.3. Balance de Oro y Plata.

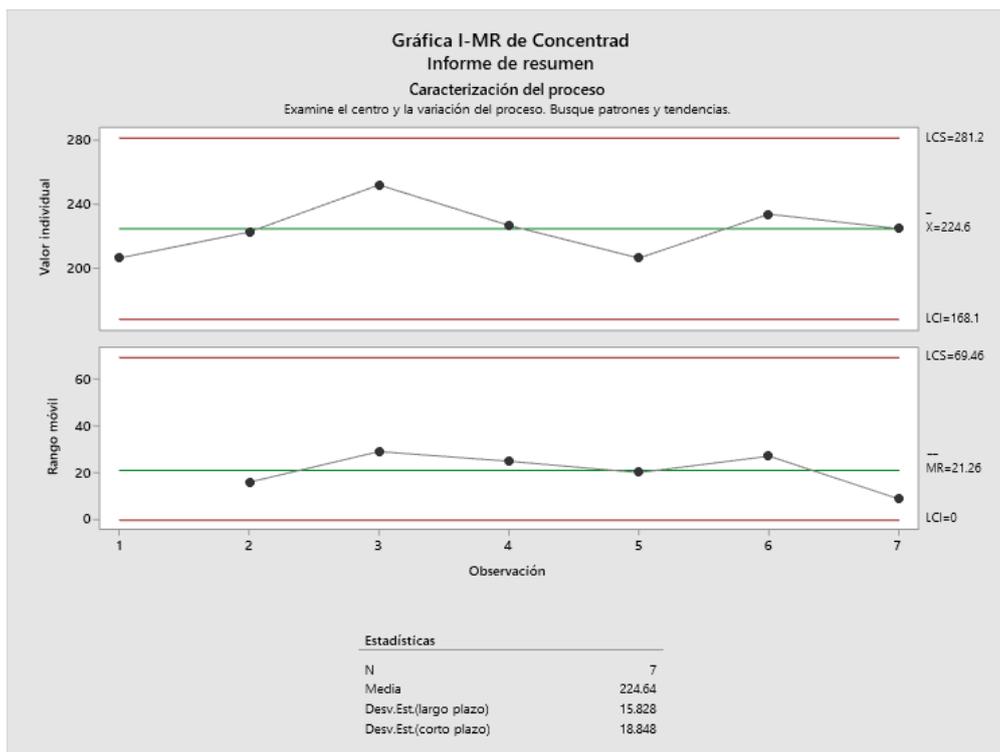
#### a) Ley de Cabeza de Plata.



*Figura 10 Comportamiento de la ley de cabeza de plata.*

De la figura 10 la ley de cabeza de la plata, tiene un promedio de 12.68 g/t, con un límite superior de 25.55 g/t, con límite inferior de -0.19 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 4.84 y límite superior de 15.81, con una variación estándar (largo plazo) de 4.2221 y una variación estándar (corto plazo) de 4.2892 para número de 7 datos.

## b) Ley de Concentrado de Plata.



*Figura 11 Comportamiento de la ley de concentrado de plata*

De la figura 11 la ley de la plata en el concentrado, tiene un promedio de 224.60 g/t, con un límite superior de 281.20 g/t, con límite inferior de 168.10 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 21.26 y límite superior de 69.46, con una variación estándar (largo plazo) de 15.828 y una variación estándar (corto plazo) de 18.848 para número de 7 datos.

c) Recuperación de Plata.

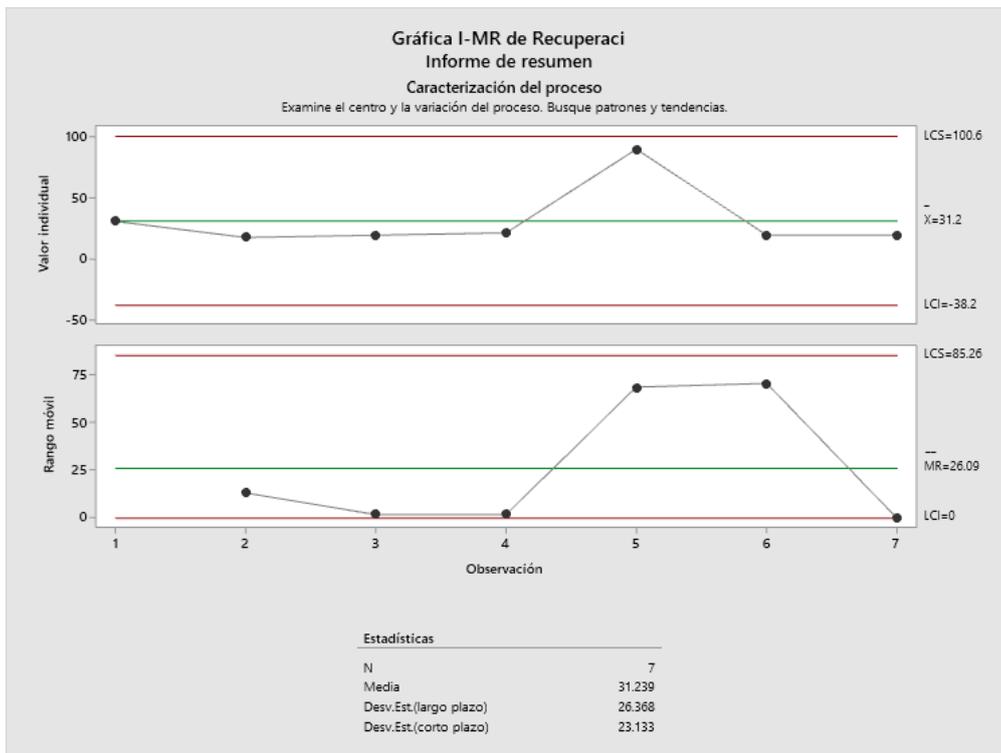
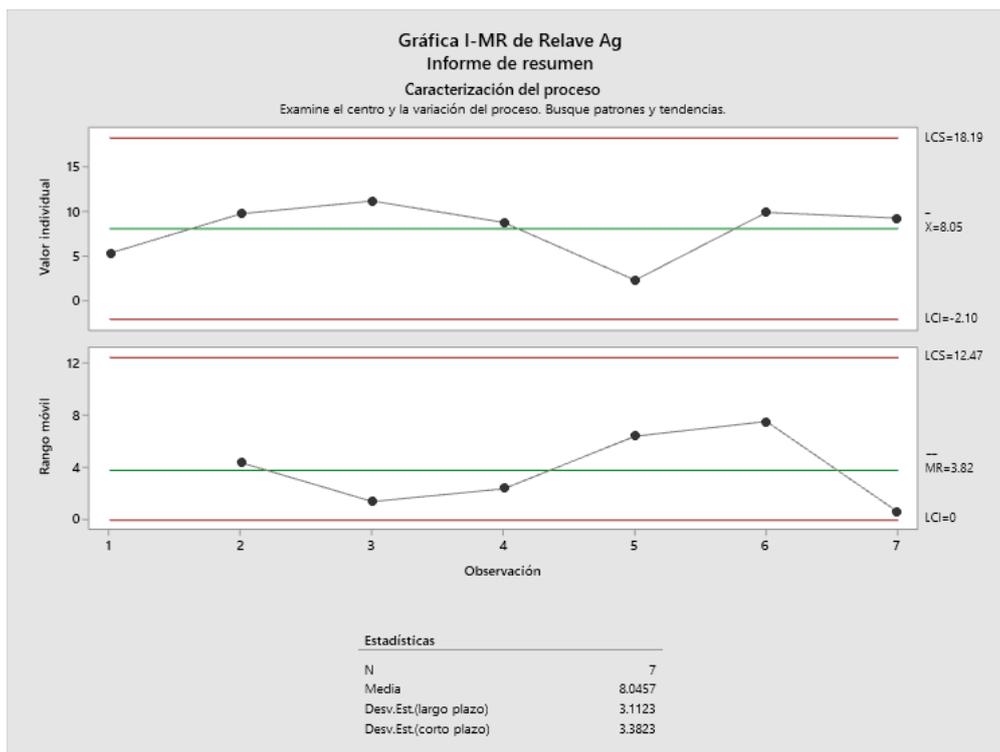


Figura 12 Comportamiento de la recuperación de la Ag.

De la figura 12 la recuperación de la plata en el concentrado, tiene un promedio de 31.20 g/t, con un límite superior de 100.60 g/t, con límite inferior de -38.20 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 26.09 y límite superior de 85.26, con una variación estándar (largo plazo) de 26.368 y una variación estándar (corto plazo) de 23.133 para numero de 7 datos.

## d) Relave de Plata.



*Figura 13 Comportamiento de la ley de relave del Ag*

De la figura 13 la ley de la plata en el relave, tiene un promedio de 8.05 g/t, con un límite superior de 18.19 g/t, con límite inferior de 2.10 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 3.82 y límite superior de 12.47, con una variación estándar (largo plazo) de 3.1123 y una variación estándar (corto plazo) de 3.3823 para número de 7 datos.

Tabla 10

Parametro de leyes de plata.

Parámetro	Cabeza (g/t)	Concentrado (g/t)	Recuperación (%)	Relave (g/t)
Límite superior	25.55	281.20	100.60	18.19
Promedio	12.68	224.60	31.20	8.05
Límite inferior	0.19	168.10	-38.2	-2.10
Desv. Est. (largo plazo)	4.2221	15.828	26.368	3.1123
Desv. Est. (corto plazo)	4.2892	18.848	23.133	3.3823
N	7	7	7	7

De la tabla 10 la ley de cabeza de la plata en promedio se tiene 12.68 g/t, para el concentrado de 224.60 g/t, para la recuperación de 31.205 y en el relave en promedio de 8.05 g/t.

e) Análisis de regresión: Concentrado Ag(g/t) vs. Z-6(g/t); A-404(g/t); A-208(g/t); Ac. Pino(g/t); Densidad de pulpa(g/L); Cabeza Ag(g/t)

De acuerdo los modelos estadístico (Minitab 19), no pueden estimar las variables A-404(g/t); Ac.Pino(g/t); Cabeza Ag(g/t), por lo que, la ecuación de regresión queda de la siguiente manera:

$$\text{Concentrado Ag(g/t)} = -389 + 0.49 \text{ Z-6(g/t)} - 0.084 \text{ A-208(g/t)} + 0.48 \text{ Densidad de pulpa(g/L)}$$

*Tabla 11*

*Coefficiente correlación de la calidad de plata en la concentración.*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
Constante	-389	2261	-0.17	0.874	
Z-6(g/t)	0.49	2.04	0.24	0.825	49.77
A-208(g/t)	-0.084	0.320	-0.26	0.811	38.21
Densidad de pulpa(g/L)	0.48	1.75	0.27	0.802	4.35

De acuerdo la tabla 11 las variables Z-6, A-208 y la densidad de pulpa el valor p calculado es de 0.825, 0.811, 0.802 respectivamente mayor a 0.05 p para una confianza del 95% para la calidad de la plata en concentración.

#### **Resumen del modelo**

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
21.9638	3.72%	0.00%	*

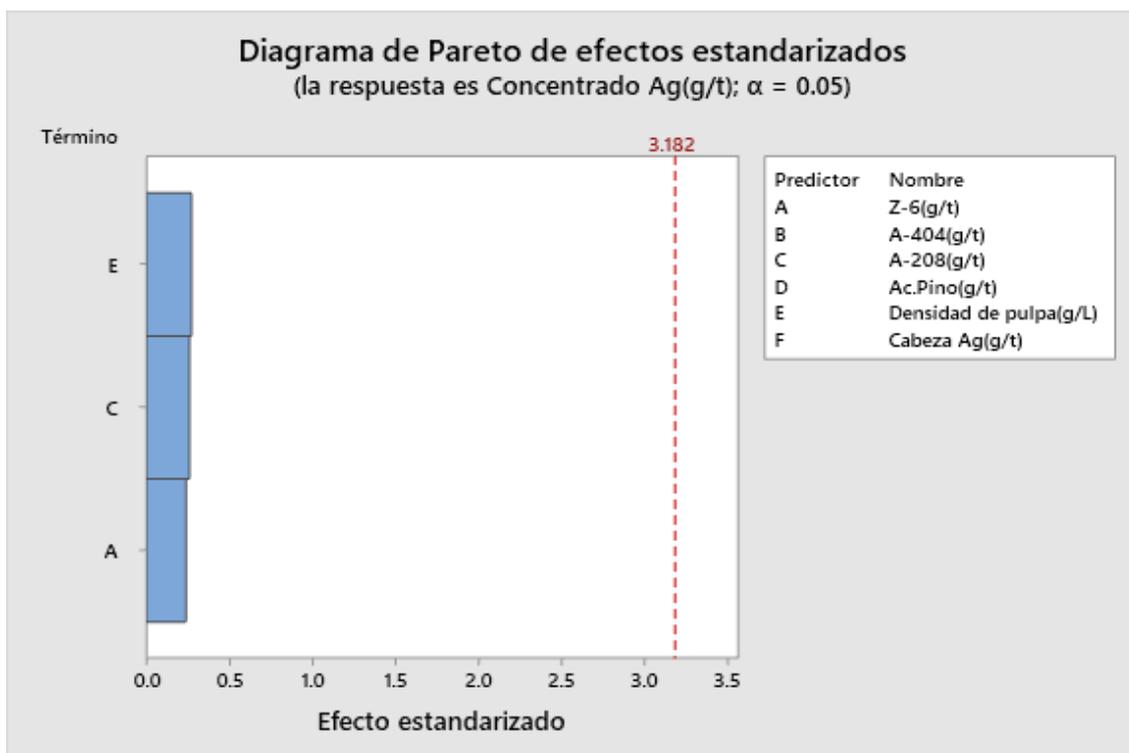
La varianza s es de 21.9638 para la concentración de plata, con una R-cuadrado de 3.72% y R-cuadrada ajusta que tiende a 0.00%.

*Tabla 12*

*Análisis de varianza de la concentración de plata.*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Regresión	3	55.92	18.64	0.04	0.988
Z-6(g/t)	1	28.17	28.17	0.06	0.825
A-208(g/t)	1	33.02	33.02	0.07	0.811
Densidad de pulpa(g/L)	1	36.02	36.02	0.07	0.802
Error	3	1447.23	482.41		
Total	6	1503.15			

De acuerdo la tabla 12 en el análisis de varianza, las variables Z-6, A-208 y la densidad de pulpa el valor p calculado es de 0.825, 0.811, 0.802 respectivamente mayor a 0.05 p para una confianza del 95% para la concentración de plata.



*Figura 14 Diagrama de Pareto para el concentrado de Ag.*

De la figura 14 en el diagrama de Pareto, para la concentración de plata, las variables de Z-6, A-404, A-208, Aceite de pino, ley de cabeza y densidad de pulpa es menor a 3.182 para confiabilidad del 95% con un error del 5%, siendo estadísticamente no relevante en el concentrado en la ley de plata.

f) Análisis de regresión: Recuperación Ag(%) vs. Z-6(g/t); A-404(g/t); A-208(g/t); Ac.Pino(g/t); Densidad de pulpa(g/L); Cabeza Ag(g/t).

De acuerdo los modelos estadístico (Minitab 19), no pueden estimar las variables A-404(g/t); Ac.Pino (g/t); Cabeza Ag(g/t), por lo que, la ecuación de regresión queda de la siguiente manera:

$$\text{Recuperación Ag(\%)} = -206 + 0,77 \text{ Z-6(g/t)} - 0,008 \text{ A-208(g/t)} + 0,13 \text{ Densidad de pulpa(g/L)}.$$

*Tabla 13*

*Coefficiente correlación de la recuperación de plata.*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
Constante	-206	2176	-0,09	0,931	
Z-6(g/t)	0,77	1,97	0,39	0,721	49,77
A-208(g/t)	-0,008	0,308	-0,03	0,981	38,21
Densidad de pulpa(g/L)	0,13	1,68	0,08	0,942	4,35

De acuerdo a la tabla 13 las variables Z-6, A-208 y la densidad de pulpa el valor p calculado es de 0.721, 0.981, 0.942 respectivamente mayor a 0.05 p para una confianza del 95% para la concentración de la plata en concentración.

### **Resumen del modelo**

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
21,1388	67,87%	35,73%	*

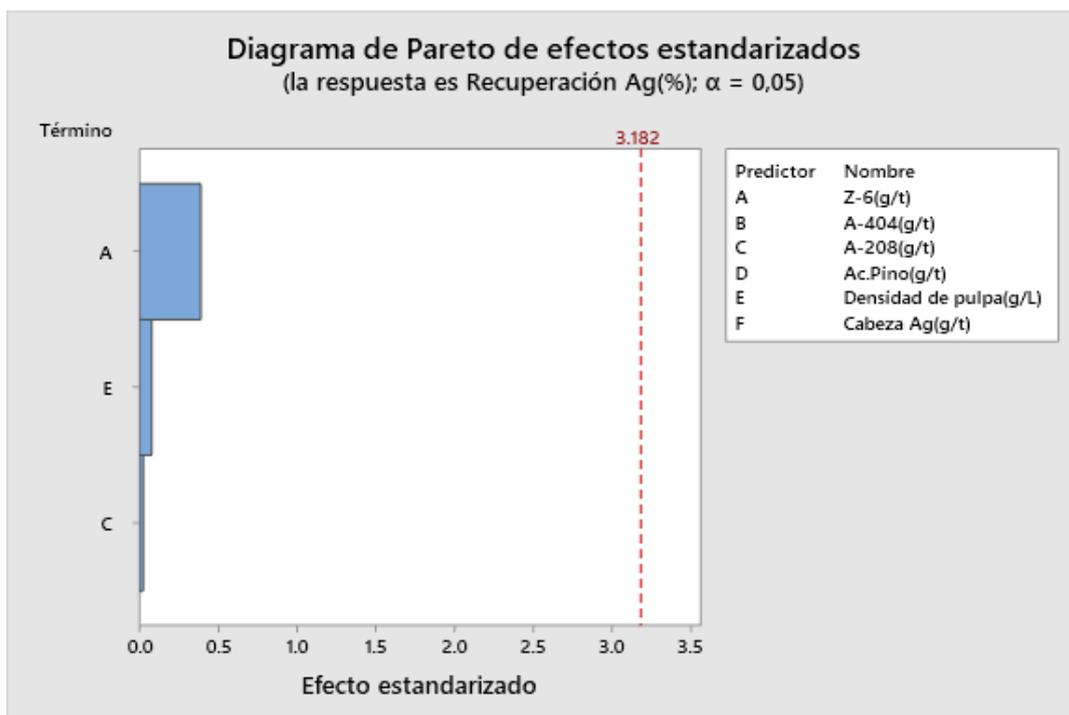
La varianza s es de 21.1388 para la concentración de plata, con una R-cuadrado de 67.87% y R-cuadrada ajusta que tiende a 35.73%.

*Tabla 14*

*Análisis de varianza de la recuperación de plata.*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Regresión	3	2831,16	943,718	2,11	0,277
Z-6(g/t)	1	68,93	68,932	0,15	0,721
A-208(g/t)	1	0,31	0,313	0,00	0,981
Densidad de pulpa(g/L)	1	2,81	2,809	0,01	0,942
Error	3	1340,54	446,847		
Total	6	4171,70			

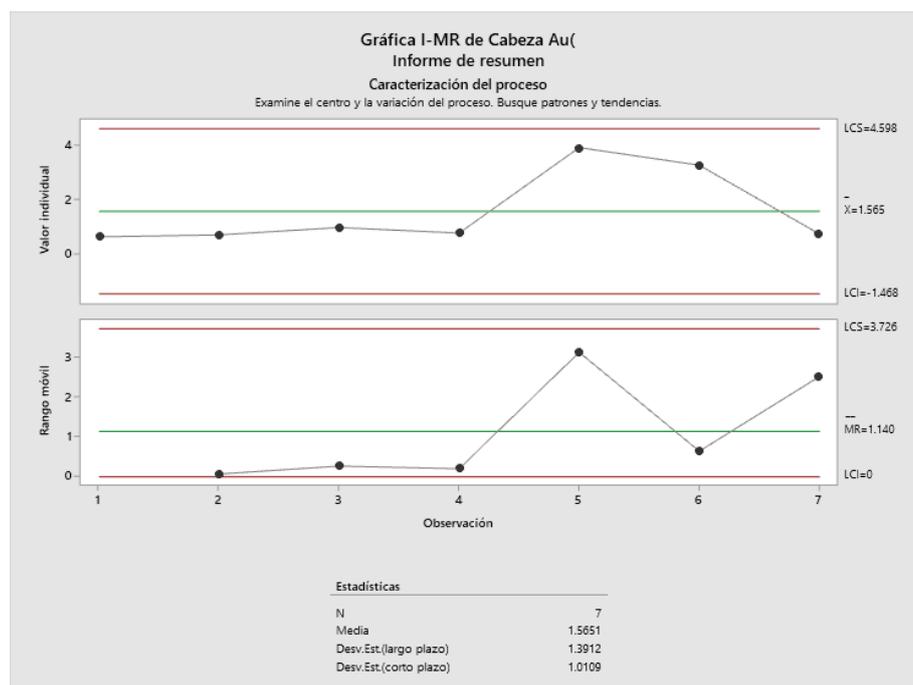
De acuerdo la tabla 14 en el análisis de varianza, las variables Z-6, A-208 y la densidad de pulpa el valor p calculado es de 0.721, 0.981, 0.942 respectivamente mayor a 0.05 p para una confianza del 95% para la recuperación de plata.



*Figura 15 Diagrama de Pareto para la recuperación de Ag.*

De la figura 15 en el diagrama de Pareto, para la concentración de plata, las variables de Z-6, A-404, A-208, Aceite de pino, ley de cabeza y densidad de pulpa es menor a 3.182 para confiabilidad del 95% con un error del 5%, siendo estadísticamente no relevante en el concentrado, en la ley de plata.

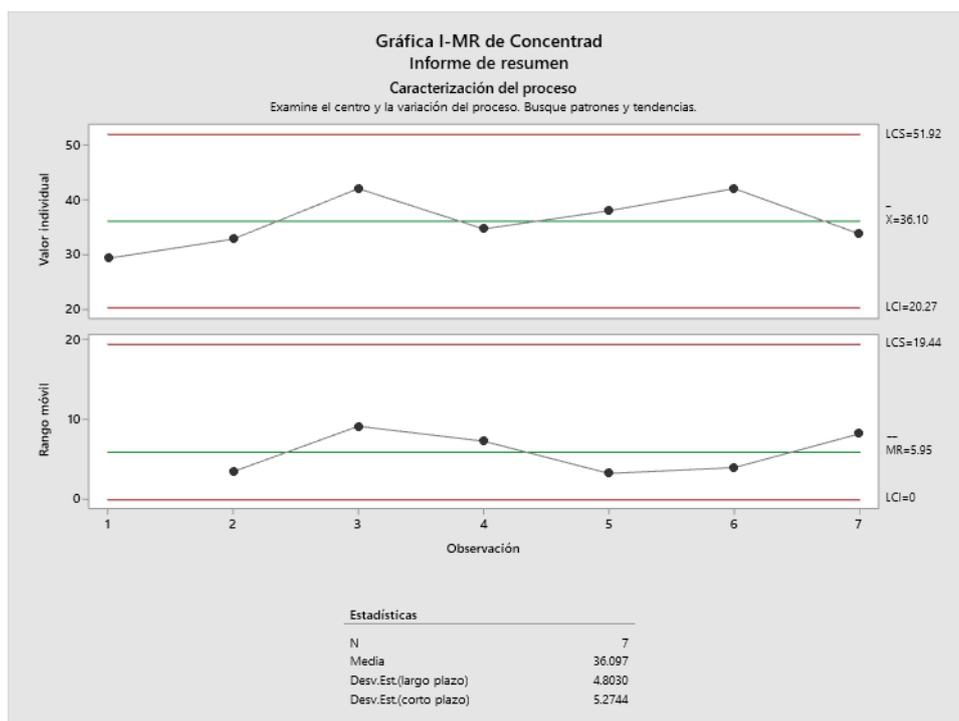
## g) Ley de Cabeza de Oro.



*Figura 16 Comportamiento de la ley de cabeza del Au*

De la figura 16 la ley cabeza del oro, tiene un promedio de 1.565 g/t, con un límite superior de 4.598 g/t, con límite inferior de 1.468 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 1.140 y límite superior de 3.726, con una variación estándar (largo plazo) de 1.3912 y una variación estándar (corto plazo) de 1.0109 para número de 7 datos.

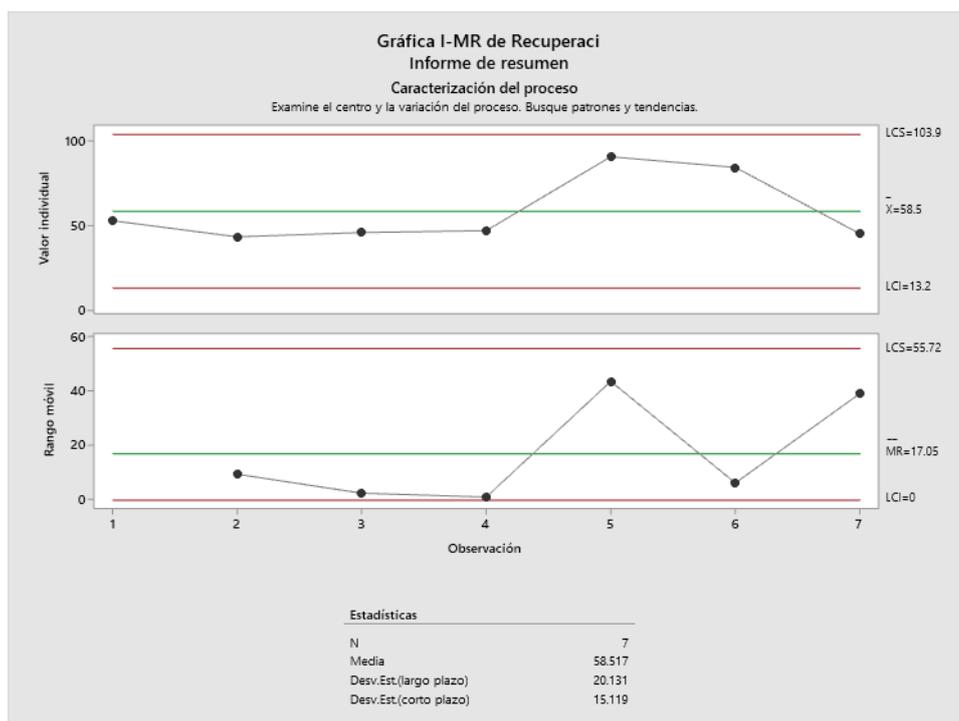
## h) Ley de Concentrado de Oro.



*Figura 17 Comportamiento de la ley del concentrado del Au*

De la figura 17 la ley de oro en el concentrado, tiene un promedio de 36.10 g/t, con un límite superior de 51.92 g/t, con límite inferior de 20.27 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 5.95 y límite superior de 19.44, con una variación estándar (largo plazo) de 4.2744 y una variación estándar (corto plazo) de 5.2744 para número de 7 datos.

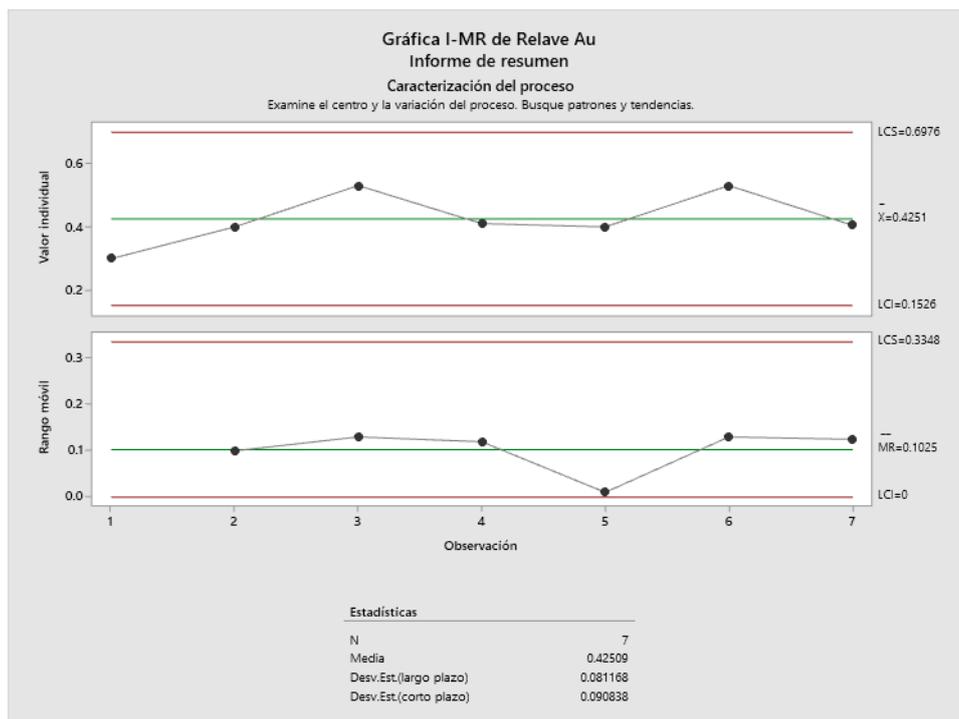
## i) Recuperación de Oro.



*Figura 18 Comportamiento de la recuperación del Au*

De la figura 18 la recuperación del oro en el concentrado, tiene un promedio de 58.50%, con un límite superior de 103.90%, con límite inferior de 13.20%. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 17.05 y límite superior de 55.72, con una variación estándar (largo plazo) de 20.131 y una variación estándar (corto plazo) de 15.119 para número de 7 datos.

## j) Ley de Relave de Oro.



*Figura 19 Comportamiento de la ley en el relave de Au*

De la figura 19 la ley de oro en el relave, tiene un promedio de 0.4251 g/t, con un límite superior de 0.6976 g/t, con límite inferior de 0.1526 g/t. Mientras que el rango móvil tiene un promedio de 0.1025 y límite superior de 0.3348, con una variación estándar (largo plazo) de 0.081168 y una variación estándar (corto plazo) de 0.090838 para número de 7 datos.

Tabla 15

*Parámetros de leyes de oro.*

Parámetro	Cabeza (g/t)	Concentrado (g/t)	Recuperación (g/t)	Relave (g/t)
Límite superior	4.598	51.92	103.90	0.6976
Promedio	1.565	36.10	58.50	0.4251
Límite inferior	-1.468	20.27	13.2	0.1526
Desv. Est. (largo plazo)	1.5651	4.8030	20.131	0.081168
Desv. Est. (corto plazo)	1.0109	5.2744	15.119	0.090838
N	7	7	7	7

De la tabla 15 la ley de cabeza del oro en promedio se tiene 1.565 g/t, para el concentrado es de 36.10 g/t, para la recuperación es de 58.50% y en el relave en promedio de 0.5051 g/t.

k) Análisis de regresión: Concentrado Au(g/t) vs. Ac.Pino(g/t); A-404(g/t); Z-6(g/t);

Densidad de pulpa(g/L); Cabeza Au(g/t)

**Ecuación de regresión**

$$\text{Concentrado Au(g/t)} = -488 + 0,2395 \text{ Ac.Pino(g/t)} - 0,1095 \text{ A-404(g/t)} - 0,960 \text{ Z-6(g/t)} \\ + 0,433 \text{ Densidad de pulpa(g/L)} - 1,70 \text{ Cabeza Au(g/t)}$$

Tabla 16

*Coeficiente correlación de la concentración de oro*

<b>Término</b>	<b>Coef</b>	<b>EE del coef.</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>	<b>FIV</b>
Constante	-488	159	-3,07	0,201	
Ac.Pino(g/t)	0,2395	0,0870	2,75	0,222	183,63
A-404(g/t)	-0,1095	0,0471	-2,32	0,259	56,06
Z-6(g/t)	-0,960	0,261	-3,68	0,169	143,05
Densidad de pulpa(g/L)	0,433	0,131	3,30	0,187	16,33
Cabeza Au(g/t)	-1,70	1,23	-1,39	0,398	24,25

De acuerdo la tabla 16 las variables: Aceite de pino, A-404, Z-6, la densidad de pulpa y ley de cabeza, los valores de p calculado son de 0.222, 0.259, 0.169, 0.187 y 0.398 respectivamente mayor a 0.05 p para una confianza del 95%, para la concentración del oro.

#### **Resumen del modelo**

<b>S</b>	<b>R-cuad.</b>	<b>R-cuad. (ajustado)</b>	<b>R-cuad. (pred)</b>
0,849590	99,48%	96,87%	0,00%

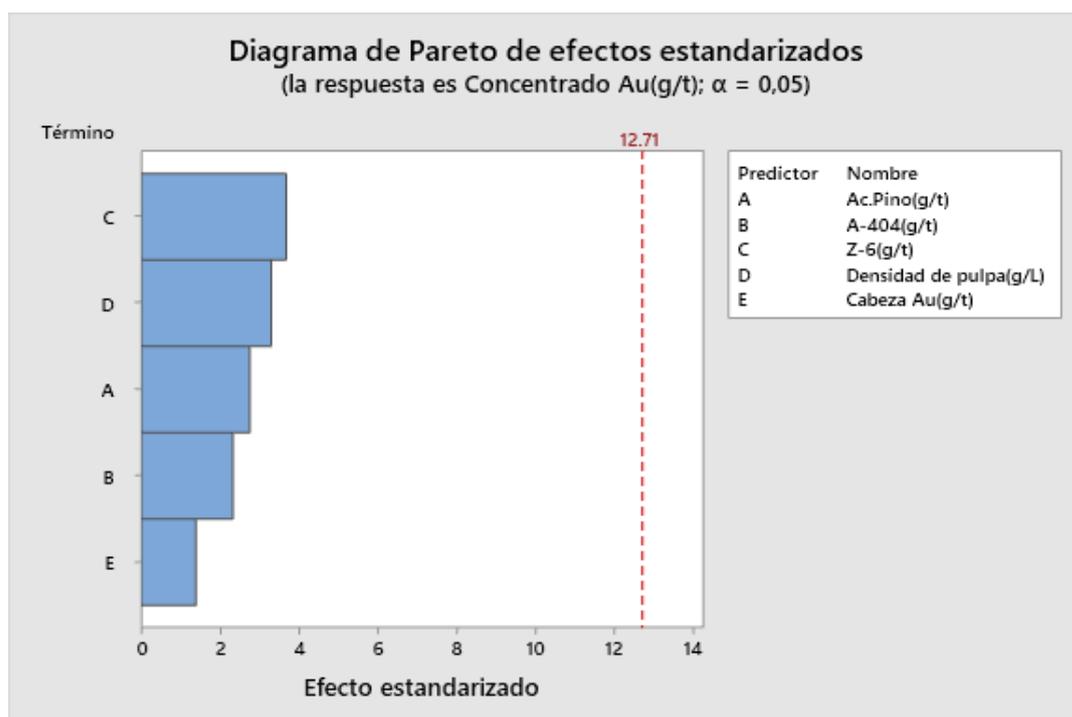
La varianza s es de 0.849590 para la concentración del oro, con una R-cuadrado de 99.48% y R-cuadrada ajusta que tiende a 96.87%.

Tabla 17

Análisis de varianza de la concentración de oro

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Regresión	5	137,689	27,5379	38,15	0,122
Ac.Pino(g/t)	1	5,465	5,4652	7,57	0,222
A-404(g/t)	1	3,894	3,8937	5,39	0,259
Z-6(g/t)	1	9,798	9,7977	13,57	0,169
Densidad de pulpa(g/L)	1	7,883	7,8834	10,92	0,187
Cabeza Au(g/t)	1	1,385	1,3852	1,92	0,398
Error	1	0,722	0,7218		
Total	6	138,411			

De acuerdo la tabla 17 el análisis de varianza para el Aceite de pino, A-404, Z-6, la densidad de pulpa y ley de cabeza, los valores de p calculado son de 0.222, 0.259, 0.169, 0.187 y 0.398 respectivamente mayor a 0.05 p para una confianza del 95%, para la concentración del oro en concentración.



*Figura 20 Diagrama de Pareto para el concentrado de Au.*

De la figura 20 en el diagrama de Pareto, para la concentración del oro, las variables de aceite de pino, A-404, Z-6, ley de cabeza y densidad de pulpa es menor a 12.71 para confiabilidad del 95% con un error del 5%, siendo estadísticamente no relevante en el concentrado en la ley del oro.

- l) Análisis de regresión: Recuperación Au (%) vs. Ac. Pino (g/t); A-404(g/t); Z-6(g/t); Densidad de pulpa(g/L); Cabeza Au(g/t).

### Ecuación de regresión

$$\text{Recuperación Au (\%)} = 1055 - 0,720 \text{ Ac.Pino(g/t)} + 0,375 \text{ A-404(g/t)} + 2,257 \text{ Z-6(g/t)} - 0,863 \text{ Densidad de pulpa(g/L)} + 24,44 \text{ Cabeza Au(g/t)}$$

Tabla 18

Coefficiente correlación de la recuperación de oro

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1055	364	2,90	0,212	
Ac.Pino(g/t)	-0,720	0,199	-3,61	0,172	183,63
A-404(g/t)	0,375	0,108	3,47	0,179	56,06
Z-6(g/t)	2,257	0,597	3,78	0,165	143,05
Densidad de pulpa(g/L)	-0,863	0,300	-2,87	0,213	16,33
Cabeza Au(g/t)	24,44	2,81	8,69	0,073	24,25

De acuerdo la tabla 18 las variables: Aceite de pino, A-404, Z-6, la densidad de pulpa y ley de cabeza, los valores de p calculado son de 0.222, 0.259, 0.169, 0.187 y 0.398 respectivamente mayor a 0.05 p para una confianza del 95%, para la recuperación del oro en el concentrado.

### Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,94545	99,84%	99,07%	56,25%

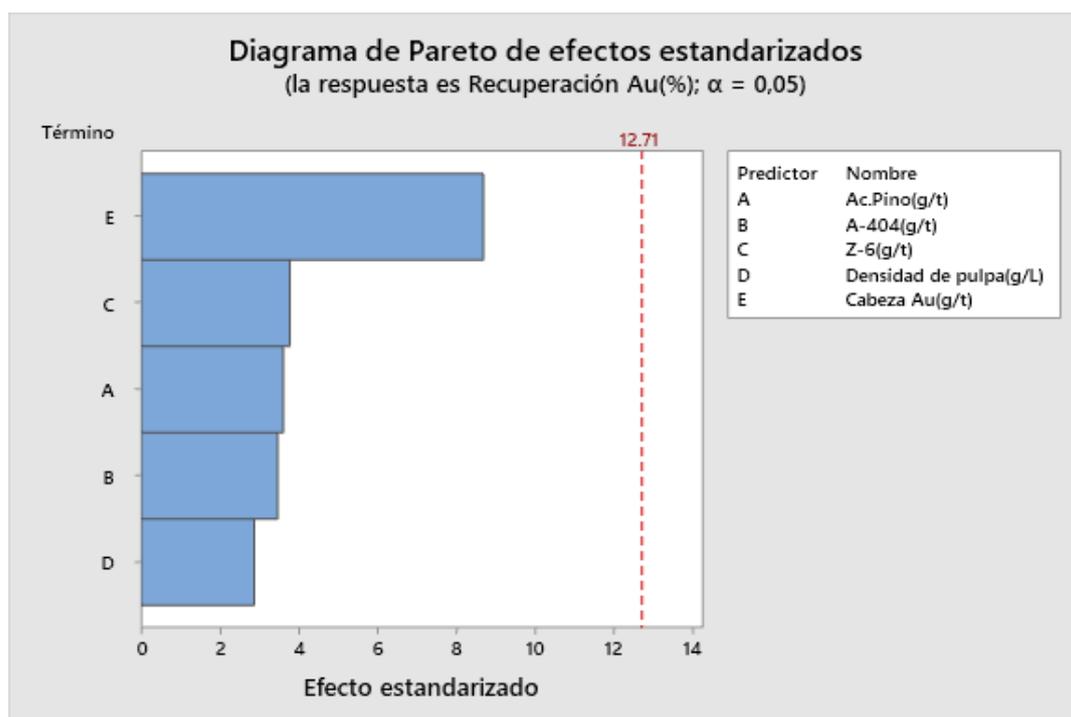
La varianza s es de 1.94545 para la recuperación del oro, con una R-cuadrado de 99.84% y R-cuadrada ajusta que tiende a 99.07%. y R-cuadrada pred. De 56.25%.

Tabla 19

*Análisis de varianza de la recuperación de oro*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Regresión	5	2427,77	485,553	128,29	0,067
Ac.Pino(g/t)	1	49,45	49,451	13,07	0,172
A-404(g/t)	1	45,62	45,622	12,05	0,179
Z-6(g/t)	1	54,11	54,110	14,30	0,165
Densidad de pulpa(g/L)	1	31,28	31,283	8,27	0,213
Cabeza Au(g/t)	1	286,12	286,117	75,60	0,073
Error	1	3,78	3,785		
Total	6	2431,55			

De acuerdo la tabla 19 en el análisis de varianza, las variables aceite de pino, A-404, Z-6, densidad de pulpa y ley de cabeza del oro, el valor p calculado es de 0.1721, 0.179, 0.165, 0.213, 0.073 respectivamente mayor a 0.05 p para una confianza del 95% para la recuperación del oro.



*Figura 21 Diagrama de Pareto para la recuperación de Au*

De la figura 21 en el diagrama de Pareto, para la recuperación del oro, las variables aceite de pino, A-404, Z-6, densidad de pulpa y ley de cabeza para el oro, es menor a 12.71 para una confiabilidad del 95% con un error del 5%, siendo estadísticamente no relevante en la recuperación del oro.

#### 4.1.2.4. *Parametro de Control Operacional.*

En el circuito de molienda clasificación y el circuito de flotación se tiene un control, en relación de las densidades de pulpa de alimentación al clasificador, rebose, descarga en función a ello se tiene una carga circulante, mientras que en la calidad y recuperación del oro y plata se tiene los controles de los reactivos, y las leyes en la alimentación, concentrado, relave y la recuperación tanto de la plata y del oro.

##### a) **Control de la densidad de pulpa en la clasificación.**

*Tabla 20*

*Control de parámetros en la clasificación.*

	Alimentación	Rebose	Descarga	Carga
Parámetro	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	circulante(cc)
Mínimo	1.570	1.254	1.800	3.139
Promedio	1.590	1.267	1.865	3.854
Máximo	1.630	1.282	1.910	5.209

De la tabla 20 la densidad de la alimentación al clasificador tiene un límite inferior de 1.570 g/cm<sup>3</sup>, y un límite superior de 1.630 g/cm<sup>3</sup>, con un promedio de 1.590 g/cm<sup>3</sup>. Mientras que, el rebose tiene un límite inferior de 1.254 g/cm<sup>3</sup>, y un límite superior de 1.282 g/cm<sup>3</sup>, con un promedio de 1.267 g/cm<sup>3</sup>, por otra parte, la descarga del clasificador tiene un límite inferior de 1.800 g/cm<sup>3</sup>, y un límite superior de 1.910 g/cm<sup>3</sup>, con un promedio de 1.865 g/cm<sup>3</sup>. Con ello se tiene una carga circulante, con un límite inferior de 3.139, y un límite superior de 5.209, con un promedio de 3.854 de carga circulante.

**b) Control de reactivo en la flotación.**

*Tabla 21*

*Control de parámetros de reactivos en la flotación.*

Parámetro	Z-6(g/t)	A-404(g/t)	A-208(g/t)	Ac.Pino(g/t)
Max	55.77	370.15	435.90	245.96
Prom.	36.80	314.75	348.54	192.38
Min	14.37	204.56	258.13	82.80

De la tabla 21 los reactivos ingresantes al circuito de flotación se tienen para Z-6 un límite inferior de 14.37 g/t, y un límite superior de 55.77 g/t, con un promedio de 36.80 g/t. Mientras que, el A-404 un límite inferior de 204.56 g/t, y un límite superior de 370.15 g/t, con un promedio de 314.75 g/t, por otra parte, A-208 un límite inferior de 258.13 g/t, y un límite superior de 435.90 g/t, con un promedio de 348.54 g/t. Con una dosificación espumante de aceite de pino, con un límite inferior de 82.80 g/t, y un límite superior de 245.96 g/t, con un promedio de 192.38 g/t.

**c) Control de las leyes y recuperación de la plata.**

*Tabla 22*

*Control de parámetros de las leyes del concentrado de la plata.*

Parámetro	Cabeza Ag (g/t)	Concentrado Ag (g/t)	Recuperación Ag (%)	Relave Ag (g/t)
Max	21.30	251.94	90.21	11.15
Prom.	13.76	228.06	38.61	8.43
Min	7.60	206.39	17.62	2.30

De la tabla 22 las leyes de la plata en cabeza se tiene un límite inferior de 7.60 g/t, y un límite superior de 21.30 g/t, con un promedio de 13.76 g/t, mientras que en el concentrado la plata se tiene un límite inferior de 206.39 g/t, y un límite superior de 251.94 g/t, con un promedio de 228.06 g/t. por otra parte la recuperación de la plata, tiene un límite inferior de 17.62 %, y un límite superior de 90.21%, con un promedio de 38.61 %. Mientras que en el relave la plata tiene un límite inferior de 2.30 g/t, y un límite superior de 11.15 g/t, con un promedio de 8.43 g/t.

**d) Control de las leyes y recuperación del oro.**

*Tabla 23*

*Control de parámetros de las leyes del concentrado del oro.*

Parámetro	Cabeza Au(g/t)	Concentrado Au(g/t)	Recuperación Au (%)	Relave Au (g/t)
Max	3.90	42.04	90.70	0.53
Prom.	1.86	36.84	62.54	0.44
Min	0.63	29.31	43.39	0.30

De la tabla 23 las leyes del oro en cabeza se tiene un límite inferior de 0.63 g/t, y un límite superior de 3.90 g/t, con un promedio de 1.86 g/t, mientras que en el concentrado el oro se tiene un límite inferior de 29.31 g/t, y un límite superior de 42.04 g/t, con un promedio de 36.84 g/t. por otra parte la recuperación de oro, tiene un límite inferior de 43.39 %, y un límite superior de 90.70 %, con un promedio de 62.54 %. Mientras que en el relave el oro tiene un límite inferior de 0.30 g/t, y un límite superior de 0.53 g/t, con un promedio de 0.44 g/t.

## 4.2. Contrastación de Hipótesis.

### 4.2.1. Contrastación de Hipótesis General.

**H<sub>1</sub>**: Realizando la evaluación del circuito de molienda, clasificación y del proceso de flotación de oro y plata, se obtendrá datos que permitan establecer los límites de control en la densidad de pulpa y la dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino para mejorar la producción en la compañía minera Tocadulomo S.A.

**H<sub>0</sub>**: Realizando la evaluación del circuito de molienda, clasificación y concentración del proceso de flotación de oro y plata, **No** se obtendrá datos que permitan establecer los límites de control en la densidad de pulpa y la dosificación de los reactivos de Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino para mejorar la producción en la compañía minera Tocadulomo S.A.

Es predominante la hipótesis alternativa y se descarta la hipótesis nula, se establecen parámetro de control de las variables tanto de entrada que son la densidad de la pulpa, dosificación de reactivos, ley de cabeza y de los productos ley de concentrado, recuperación y relave de oro y plata.

### 4.2.2. Contrastación de Hipótesis Especifico.

a) **H<sub>1</sub>**: Realizando un estudio de la carga circulante del circuito de clasificación, nos permitirá encontrar parámetros para establecer los límites de control en la densidad de pulpa y mejorar la producción de la concentración de minerales que contengan oro.

**H<sub>0</sub>**: Realizando un estudio de la carga circulante del circuito de clasificación, **No** permitirá encontrar parámetros para establecer los límites de control en la densidad de pulpa y mejorar la producción de la concentración de minerales que contengan oro.

Es predominante la hipótesis alternativa y se descarta la hipótesis nula, ya que las densidades de pulpa influyen estadísticamente en la carga circulante y el valor p calculado es menor que 0.05(tabla 8) por otra parte en el diagrama de Pareto los valores de las densidades son superior a la línea de 2.78(figura 5). Con las densidades

promedio del alimento de  $1.5895 \text{ g/cm}^3$ , para el rebose de  $1.26715 \text{ g/cm}^3$ , para la descarga de  $1.8649 \text{ g/cm}^3$  y una carga circulante promedio de 3.854(tabla 7).

- b) **H<sub>1</sub>**: Con un seguimiento de la dosificación de los reactivos Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino en los puntos de alimentación, se encontrará los parámetros que permitirá mejorar la calidad del concentrado de minerales que contengan oro plata a nivel industrial.

**H<sub>0</sub>**: Con un seguimiento de la dosificación de los reactivos Z-6, A-208, A-404 y aceite de pino en los puntos de alimentación, **No** se encontrará los parámetros que permitirá mejorar la calidad del concentrado de minerales que contengan oro plata al nivel industrial.

Es predominante la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa, para la calidad de la plata en el concentrado, la dosificación de los reactivos no tiene influencia estadísticamente, ya que el valor de p calculado es mayor a 0.05(tabla 12), complementando con el diagrama de Pareto los valores de los reactivos son menor a la línea de 3.182. por otra parte (figura 14), para la calidad del oro en el concentrado, no es significativo estadísticamente, ya que el valor de p calculado es mayor a 0.05(tabla 18), complementado con el diagrama de Pareto los valores de los reactivos son menor que la línea 12.71(figura 20). Para el colector Z-6 en promedio se tiene 93.10 g/t, para el promotor A-404 de 496 g/t, para el promotor A-208 es de 457 g/t y el aceite de pino en promedio de 345.40 g/t.

- c) **H<sub>1</sub>**: Con un adecuado muestreo se obtendrá datos reales en el circuito de concentración, con ello establecer parámetros que permitan establecer los límites de control en la dosificación de reactivos para mejorar la recuperación de oro y plata.

**H<sub>0</sub>**: Con un adecuado muestreo se obtendrá datos reales en el circuito de concentración, con ello **No** se establecerá parámetros que permitan establecer los límites de control en la dosificación de reactivos para mejorar la recuperación de oro y plata.

Es predominante la hipótesis nula y se descarta la hipótesis alternativa, para la plata en la recuperación, la dosificación de los reactivos, no es significativo, ya que el valor de p calculado es mayor a 0.05(tabla 14), complementado con el diagrama de Pareto los valores de los reactivos son menor a la línea de 3.182(figura 15), por otra parte, para la calidad del oro en el concentrado, los reactivos no tiene influencia significativa, ya que, el valor de p calculado es mayor a 0.05(tabla 19), complementando con el diagrama de Pareto los valores de los reactivos son menor a la línea de 12.71(figura 21). Los parámetros para la plata, ley de cabeza en promedio se tiene 12.68 g/t, para el concentrado de 224.60 g/t, para la recuperación de 31.20% y en el relave en promedio de 8.05 g/t. Para el oro la ley de cabeza en promedio se tiene 1.565 g/t, para el concentrado es de 36.10 g/t, para la recuperación es de 58.50% y en el relave en promedio de 0.5051 g/t.

## CAPITULO V

### DISCUSIONES

#### 5.1. Discusiones de Resultados.

Los resultados que se tienen son en función a los datos recopilados del proceso de producción, del circuito de clasificación y flotación. Teniendo en el circuito de flotación: la dosificación de los reactivos, leyes de los elementos de oro y plata en la alimentación, concentrado, relave y recuperación.

En el circuito de clasificación y molienda; la densidad de pulpa de la alimentación al clasificador tiene un límite inferior de  $1.570 \text{ g/cm}^3$ , y un límite superior de  $1.630 \text{ g/cm}^3$ , con un promedio de  $1.590 \text{ g/cm}^3$ . Mientras que la densidad de pulpa para el rebose tiene un límite inferior de  $1.254 \text{ g/cm}^3$  y un límite superior de  $1.282 \text{ g/cm}^3$  con un promedio de  $1.267 \text{ g/cm}^3$ , por otra parte, la densidad de pulpa en la descarga del clasificador tiene un límite inferior de  $1.800 \text{ g/cm}^3$ , y un límite superior de  $1.910 \text{ g/cm}^3$ , con un promedio de  $1.865 \text{ g/cm}^3$ . Con ello se tiene una carga circulante, con un límite inferior de 3.139, y un límite superior de 5.209, con un promedio de 3.854 de carga circulante (Tabla 20).

Los reactivos ingresantes al circuito de flotación tienen para Z-6 un límite inferior de 14.37 g/t, y un límite superior de 55.77 g/t, con un promedio de 36.80 g/t. Mientras que para el A-404 se tiene un límite inferior de 204.56 g/t, y un límite superior de 370.15 g/t, con un promedio de 314.75 g/t, por otra parte para el A-208 se tiene un límite inferior de 258.13 g/t, y un límite superior de 435.90 g/t, con un promedio de 348.54 g/t y Con una dosificación del espumante aceite de pino, con un límite inferior de 82.80 g/t, y un límite superior de 245.96 g/t, con un promedio de 192.38 g/t (21).

Para la plata; las leyes de la plata en la cabeza se tiene un límite inferior de 7.60 g/t, y un límite superior de 21.30 g/t, con un promedio de 13.76 g/t, mientras que en el concentrado la plata tiene un límite inferior de 206.39 g/t, y un límite superior de 251.94 g/t, con un promedio de 228.06 g/t. por otra parte la recuperación de la plata, tiene un límite inferior de 17.62 %, y un límite superior de 90.21%, con un promedio de 38.61 %. Mientras que en el relave la plata tiene

un límite inferior de 2.30 g/t, y un límite superior de 11.15 g/t, con un promedio de 8.43 g/t (tabla 22).

Para el oro; las leyes del oro en la cabeza tiene un límite inferior de 0.63 g/t, y un límite superior de 3.90 g/t, con un promedio de 1.86 g/t, mientras que en el concentrado el oro tiene un límite inferior de 29.31 g/t, y un límite superior de 42.04 g/t, con un promedio de 36.84 g/t. por otra parte la recuperación de oro, tiene un límite inferior de 43.39 %, y un límite superior de 90.70 %, con un promedio de 62.54 %. Mientras que en el relave el oro tiene un límite inferior de 0.30 g/t, y un límite superior de 0.53 g/t, con un promedio de 0.44 g/t (tabla 23).

En el circuito de clasificación en relación a las densidades de pulpa, tiene influencia significativa estadísticamente en la carga circulante ya que el valor calculado de p para los componentes donde interviene la densidad de pulpa es menor que 0.05 (tabla 8).

La dosificación de los reactivos z-6, A-208, A-404, aceite de pino, la densidad de pulpa y la ley de cabeza tanto para la plata y oro con los parámetros estudiados no tiene efecto significativo en la recuperación y calidad del oro y la plata en el concentrado ya que el valor calculado de p es mayor a 0.05 para una confiabilidad del 95% (tabla 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18 y 19)

Los resultados del presente trabajo de investigación tienen relación con respecto a lo propuesto por Romero & Romero (2018) en el estudio del efecto de la variación de los colectores z-6, 404 y 1208 en flotación bulk de pirita y arsenopirita aurífera, donde el tipo de colector secundario no influye en el porcentaje de recuperación de oro ( $p\text{-value} > 0,05$ ). Mientras que si existe influencia ( $p\text{-value} < 0,05$ ) del porcentaje de sólidos en la pulpa en el porcentaje de recuperación. Por otra parte, en el estudio sobre, la aplicación de la estadística en la recuperación de minerales por flotación permite identificar la especie que interviene directo en la recuperación de minerales en las operaciones de procesamiento de minerales (Smart, Gerson, Biesinger, & Hart, 2017).

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones.

En el presente estudio, respecto a la “evaluación del proceso de flotación de oro y plata en la Compañía Minera Tocadolomo S.A”, se llegaron a las siguientes conclusiones:

Permite establecer parámetros de control de las variables que intervienen en el circuito de clasificación como la carga circulante, por otra parte, la dosificación de los reactivos que intervienen en la flotación de los minerales que contiene oro y plata, y los parámetros de las leyes de plata y oro, las leyes de cabeza, concentrado y relave, además el porcentaje de recuperación de oro y plata.

Las densidades de pulpa en el circuito de clasificación y molienda alimentación, rebose y descarga del clasificador tiene influencia significativa estadísticamente en la carga circulante ya que el valor  $p$  calculado es menor a 0.05 y los valores en el diagrama de Pareto es mayor a la línea de 2.78.

La dosificación de los reactivos no es significativa estadísticamente en la calidad de plata en el concentrado, ya que el valor de  $p$  calculado es mayor a 0.05, y en el diagrama de Pareto los valores de los reactivos son menor a la línea de 3.182, de igual manera la dosificación de los reactivos no es significativo en la calidad del oro en el concentrado, ya que el valor de  $p$  calculado es mayor a 0.05, también en el diagrama de Pareto los valores de los reactivos son menor a la línea 12.71.

Respecto a la recuperación de la plata, la dosificación de los reactivos no es significativo estadísticamente, ya que el valor de  $p$  calculado es mayor a 0.05, complementado con el diagrama de Pareto los valores de los reactivos son menor que la línea de 3.182. por otra parte, para la recuperación del oro en el concentrado no es significativo, ya que el valor de  $p$  calculado

es mayor a 0.05, complementado con el diagrama de Pareto los valores de los reactivos son menor que la línea de 12.71.

## **6.2. Recomendaciones.**

Respecto a las recomendaciones para la “evaluación del proceso de flotación de oro y plata en la Compañía Minera Tocadolomo S.A”, son los siguientes:

Realizar un estudio con mayor información para determinar las influencias de los variables en estudio y establecer los parámetros de control.

Estudiar la asociación de los minerales para ver con que elementos se encuentran asociado para poder elegir los reactivos adecuados.

Realizar un estudio mineralógico para ver en qué tamaño de grama se puede encontrar la asociación, para la liberación del oro y plata.

Ver el tiempo de acondicionamiento, flotación y la mezcla de los reactivos para buscar la influencia en la calidad y la recuperación de oro y plata.

## CAPÍTULO VII

### FUENTES DE INFORMACION

#### 7.1. Fuentes Bibliográficas

Azuñero, A. (2015). *Flotación y concentración de minerales*. Lima: Editorial colecciones Jóvic.

Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. DC México: Grupo Editorial Patria.

Carrasco, S. (2005). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: San Marcos.

Cytec . (2002). *Mining Chemicals Handbook*. Cytec Industries Inc.

Drif , B., Taha , Y., Hakkou , R., & Benzaazoua , M. (2018). Recovery of Residual Silver-Bearing Minerals from Low-Grade Tailings by Froth Flotation: The Case of Zgounder Mine, Morocco. *MDPI*, 15.

Han, K., & Fuerstenau, M. (2003). *Principles of Mineral Processing*. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL.

Hurtado, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Caracas: Fundación sypal.

Jiménez, R. (1998). *Metodología de la Investigación. Elementos básicos para la investigación clínica*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas.

Kelly, E., & Spottiswood, D. (1990). *Introducción al procesamiento de minerales*. Mexico DF: Editorial LIMUSA S.A.

Lopez, V. (1987). *Apuntes de procesamiento de concentración de minerales*. Ciudad de México: Facultad de ingeniería UMAN.

Palella, S., & Martins, F. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Caracas: FEDUPEL.

Porras, D. (1997). *Procesamiento de minerales*. Cerro de Pasco: UNDAC.

Portal minero. (2006). *Manual general de minería y metalurgia*. Santiago: Servicios de Impresión Laser S.A.

Sutulov, A. (1993). *Flotación de minerales*. Concepción: Instituto de investigación tecnológicas.

## 7.2. Fuentes Electrónicas

Bravo, A. (2004). Manual flotación de minerales. Obtenido de <https://idoc.pub/documents/manual-flotacion-de-minerales-pqn813x1py41>

Palomino, A., & Ramos, O. (2008). Evaluación en la recuperación de oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo en la minera kocolqui - Lima. *Ingeniero Metalúrgico*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de [https://www.ucursos.cl/usuario/8dca1be23e3a61d95b6b3560d770e69d/mi\\_blog/r/Evaluacion\\_en\\_la\\_recuperacion\\_del\\_oro\\_y\\_plata\\_a\\_partir.pdf](https://www.ucursos.cl/usuario/8dca1be23e3a61d95b6b3560d770e69d/mi_blog/r/Evaluacion_en_la_recuperacion_del_oro_y_plata_a_partir.pdf)

Rodríguez, B. (1996). Estudio mineralúrgico de concentración gravimétrica y de flotación para la recuperación de oro a partir de arenas cianuradas de la compañía Orens S.A. Ingeniero Químico. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.3103/S1067821217030166>

Romero, D., & Romero, H. (2018). Efecto de la variación de los colectores Z6, 404, y 1208 en la flotación bulk de pirita y arsenopirita aurífera. Ingeniero Químico. Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12300/1/ROMERO%20SAGBAY%20DIEGO%20ARMANDO.pdf>

Salas, J. (2019). Estudio de *impacto* ambiental de la empresa minera TOCADULOMO S.A. ubicada en la parroquia Bellamaría, Cantón Santa Rosa, provincia de El Oro. *Ingeniero en manejo y conservación del medio ambiente*. Universidad Nacional de Loja, Loja. Obtenido de <http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/22470/1/JULISSA%20PIED>

AD%20SALAS%20SOLANO.pdf

Sánchez, L. (2008). Diseño y optimización experimental del proceso de flotación de un mineral aurífero. Ingeniero Metalurgico. Tecsup, Perú. Obtenido de [http://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistaIi/Ii\\_4/1.pdf](http://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistaIi/Ii_4/1.pdf)

Smart, R., Gerson, A., Biesinger, M., & Hart, B. (2017). The development of statistical ToF SIMS applied to *minerals* recovery by froth flotation. *Wiley Online Library*, 9. Obtenido de <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/sia.6249>

Suca, J. (2017). *Optimización del proceso de flotación para la recuperación de un preconcentrado de oro en minerales sulfurados de la minería colibrí SAC*. Ingeniero Químico. Universidad Nacional del altiplano, puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5110/Suca\\_Pari\\_Juan\\_Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5110/Suca_Pari_Juan_Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

# **ANEXOS**

**Anexo 1 Instrumentos para la toma de datos**

Dia:

Turno:

Dosificación de reactivos

N°	Hora	Z-6 ml/min	A-208 ml/min	A-404 ml/min	MIBC ml/min
1					
2					
3					
4					
5					



### Anexo 3 Reporte de densidad de pulpa

Fecha:

Turno:

	Densidad de pulpa(g/L)						
Hora							
Descarga molino							
Alimento hidrociclón							
Descarga hidrociclón							
Rebose hidrociclón							
Carga circulante (CC)							



**COMPAÑÍA MINERA  
TOCADULOMO S.A.**  
*Asociación al Progreso del País*  
C.U.G. 0151751078001  
P.O. Box 1000 - Santa Rosa - D. C. - Ecuador

**REPORTE PLANTA DE PROCESOS**

**FECHA** 20/01/2019      **HORA** 20:03

**JEFE DE TURNO** FERNANDEZ RAMOS, FLOR ELIZABETH

**TURNO** MAÑANA - TARDE

AREA DE MOLIENDA - CLASIFICACION						
PARAMETROS OPERACIONALES						
DENSIDAD DE PULPA				CONSUMO DE BOLAS		
HORA	RESPONSABLE	Dp	CONTROL	2"	3"	4"
7:00:00	Javier Huanca	1830				
8:00:00		1730		HORA	HORA	HORA
9:00:00		1800				
10:00:00		1800				
11:00:00		1840		CONSUMO	CONSUMO	CONSUMO
11:55:00		1820				
12:50:00	Zambrano Freddy	1810				
13:50:00		1890		RESPONSABLE	RESPONSABLE	RESPONSABLE
14:50:00		1800				
15:50:00		1750				
16:50:00		1850				
17:50:00		1810				

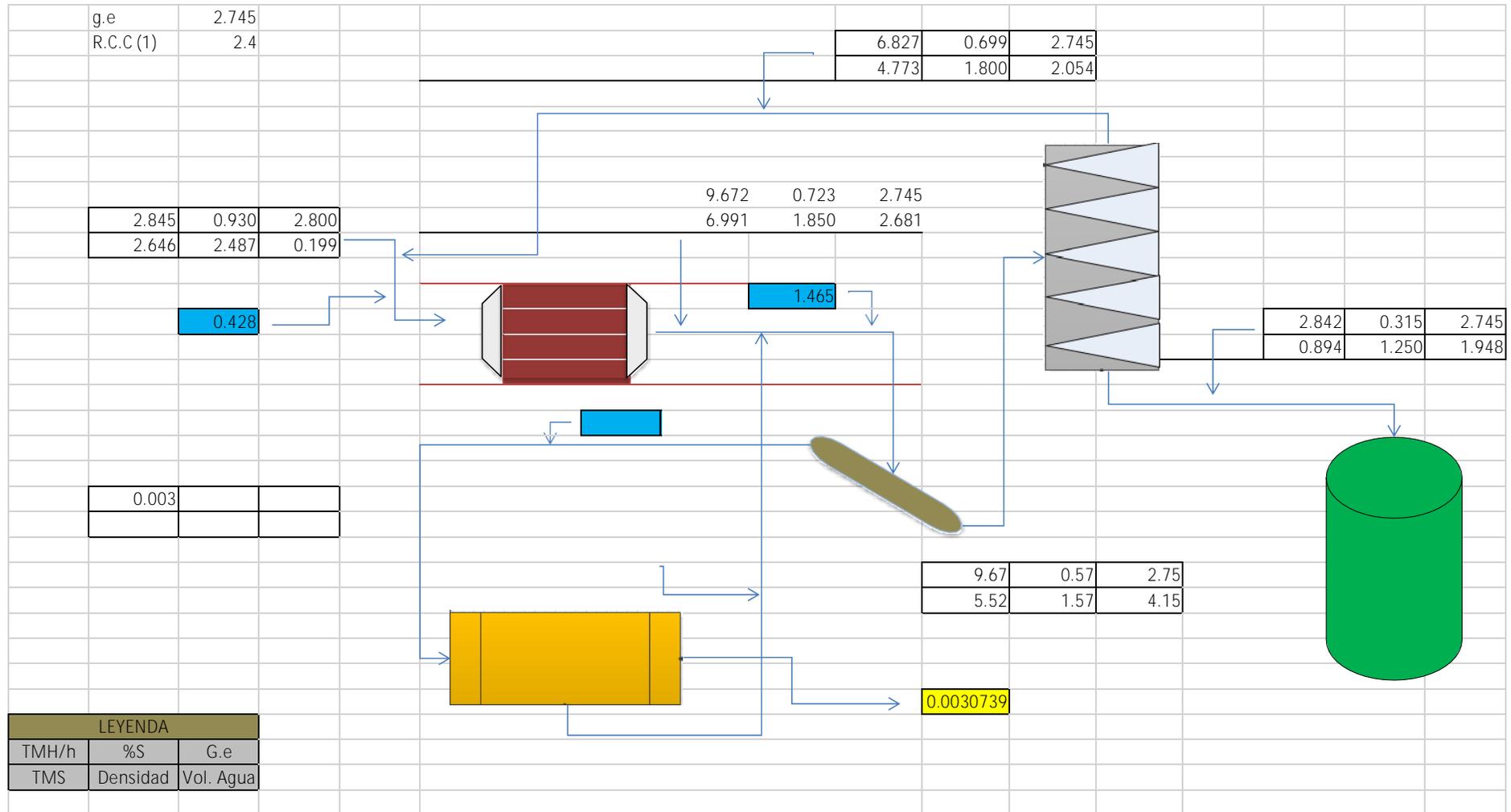
AREA FLOTACION						
PARAMETROS OPERACIONALES						
DENSIDAD DE PULPA				CONSUMO DE REACTIVOS		
HORA	RESPONSABLE	Dp	CONTROL	z-6	A - 208	A - 404
7:00:00	Lino Carlos	1260				
8:00:00		1310				
9:00:00		1280		ACEITE DE PINO	CAL	
10:00:00		1300				
11:00:00		1250				
12:00:00		1280				
13:00:00	Lino Carlos	1240				
14:00:00		1275				
15:00:00		1245				
16:00:00		1285				
17:00:00		1280				
18:00:00		1250				

OCURRENCIAS



### Anexo 5 Balance de circuito de molienda y clasificación



### Anexo 3 Reporte de balance metalúrgico

ANALISIS LABORATORIO	COMP N°	COD.ALB.	Au	Ag	Cu
			g/t	g/t	%
CABEZA	1	58502	1.23	7.6	0.05
CONCENTRADO	1	58503	29.31	206.39	3
COLA	1	58504	0.3		
BANDA	1	58505	0.63		

TMD:	45
% HUMEDAD:	8

PRODUCTO	T.M.S	LEYES		CONTENIDO		RECUPERACION (%)		RATIO
		Ag (gr/TM)	Au (gr/TM)	Ag (gr)	Au (gr)	Ag	Au	
Alimentación	41.400	7.600	0.63	314.640	26.082	100.00	100.00	
Concentrado Ag Au	0.471	206.390	29.310	97.198	13.803	30.89	52.92	87.91
Relave	40.929	5.313	0.3	217.456	12.279	69.11	47.08	
Cab. Calculada	41.400	7.600	0.630	314.654	26.082			