



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



**OPTIMIZACIÓN DEL CONCENTRADOR GRAVIMÉTRICO**  
**KNELSON KC-XD48 PARA LA OBTENCIÓN DE CONCENTRADO**  
**DE ORO EN LA PLANTA CONCENTRADORA TINTAYA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. DELIA QUILLA ORTIZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2018**



## DEDICATORIA

A Dios por derramar sus bendiciones sobre mí, quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y vencer todos los obstáculos que se presentaban, y por haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Adrián y Nilda, quienes me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi coraje para conseguir mis objetivos, brindarme su apoyo, sus consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar.

A mis hermanos; por estar siempre presentes, acompañándome incondicionalmente para poderme realizar.

A mi querida hija, por darle a mi corazón el ritmo y el son al que debe latir y vibrar, a mi esposo por todo su amor y apoyo en cada paso que doy.

A los docentes universitarios que me enseñaron a valorar el estudio y superarme cada día, a los amigos de la escuela y de la vida, con quienes he compartido una etapa de mi vida y de quienes me llevo enseñanzas valiosísimas a nivel personal y profesional.

*Delia Quilla Ortiz*



## AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios, por brindarme la dicha de la salud, bienestar físico y espiritual y ofrecerme una vida llena de aprendizaje, experiencias y sobre todo felicidad.
- Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, por ser mi alma mater.
- Agradezco de manera muy especial mis padres quienes me han brindado su apoyo y cariño en todo momento de mi vida.
- Agradezco a mis hermanos por ser un ejemplo de desarrollo profesional y llenar mi vida de alegrías.
- Un agradecimiento profundo y sincero a todo el personal de la Planta Concentradora Tintaya por todo el apoyo y amistad que me brindaron durante el tiempo que permanecí en la empresa, especialmente en el periodo de realización de las pruebas para poder culminar mi trabajo de investigación.

*Delia Quilla Ortiz*



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN .....	11
ABSTRACT.....	12
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.1.1 Interrogante general .....	14
1.1.2 Interrogantes específicas .....	14
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	14
1.3 OBJETIVOS .....	15
1.3.1 Objetivo general .....	15
1.3.2 Objetivos específicos .....	15
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
2.1 ANTECEDENTES.....	16
2.2 BASES TEÓRICAS.....	18
2.2.1 Mineralogía del yacimiento Tintaya .....	18
2.2.2 Recursos hídricos Tintaya .....	18
2.2.3 El oro.....	18



2.2.4	Tipos de yacimientos auríferos .....	19
2.2.5	Propiedades del oro .....	21
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	23
2.3.1	Concentración gravimétrica .....	23
2.3.2	Criterios de concentración.....	24
2.3.3	Métodos de separación por gravedad .....	25
2.3.4	Concentradores centrífugos.....	30
2.3.5	Concentrador gravimétrico Falcón.....	31
2.3.6	Concentrador gravimétrico Knelson .....	33
2.3.7	Principios del proceso de concentración gravimétrica.....	35
2.3.8	Ventajas del concentrador Knelson.....	36
2.3.9	Modelos Knelson .....	38
2.3.10	Concentrador gravimétrico Knelson KC-XD48.....	42
2.3.11	Variables de operación.....	47
2.4	CIRCUITO GRAVIMÉTRICO EN LA PLANTA CONCENTRADORA .....	51

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	MATERIAL EXPERIMENTAL .....	52
3.1.1	Materia prima .....	52
3.2	EQUIPOS Y MATERIALES.....	52
3.2.1	Equipo .....	52
3.2.2	Materiales .....	53
3.2.3	Equipo de protección personal .....	53
3.3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	54
3.3.1	Lugar de ejecución .....	54
3.3.2	Procedimiento experimental.....	55
3.3.3	Diseño de pruebas experimentales .....	55



3.3.4	Prueba N° 1 .....	58
3.3.5	Prueba N° 2 .....	59
3.3.6	Prueba N° 3 .....	61
3.3.7	Prueba N° 4 .....	62
3.3.8	Prueba N° 5 .....	63
3.3.9	Prueba N° 6 .....	65
3.3.10	Diseño experimental.....	66

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	69
4.1.1	Flujo de agua de fluidización y ciclo de concentración .....	69
4.2	ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL .....	70
4.2.1	Análisis de los efectos estimados para la recuperación de oro (%) .....	70
4.2.2	Análisis de varianza para recuperación.....	71
4.2.3	ANÁLISIS DE RESIDUOS.....	72
4.2.4	Análisis pendiente ascendente – descendente para recuperación de oro	74
4.2.5	Análisis de gráficos .....	75
V.	CONCLUSIONES .....	78
VI.	RECOMENDACIONES .....	79
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
	ANEXOS .....	84

**Área** : Metalurgia Extractiva

**Tema** : Diseño Experimental

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 27 de diciembre de 2018.



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Tazón perforado.....	34
<b>Figura 2.</b> Knelson de laboratorio serie MD.....	38
<b>Figura 3.</b> Knelson serie CD.....	39
<b>Figura 4.</b> Knelson serie XD .....	40
<b>Figura 5.</b> Knelson Recuperación de Mercurio (MR) .....	42
<b>Figura 6.</b> Partes Concentrador Knelson .....	44
<b>Figura 7.</b> Ingreso de agua al anillo de concentración.....	45
<b>Figura 8.</b> Ingreso de pulpa de alimentación .....	45
<b>Figura 9.</b> Sección del anillo de concentración .....	47
<b>Figura 10.</b> Mapa de la Provincia de Espinar .....	55
<b>Figura 11.</b> Gráfico de efectos principales para la recuperación - Statgraphics.....	75
<b>Figura 12.</b> Gráfico de interacción para la recuperación – Statgraphics .....	76
<b>Figura 13.</b> Gráfico de superficie estimada - Statgraphics .....	76



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Resumen de pruebas de recuperación de oro.....	16
<b>Tabla 2.</b> Tiempos de toma de muestra de cabeza y relave 60 min. ....	58
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje recuperación prueba n°1 .....	59
<b>Tabla 4.</b> Porcentaje recuperación prueba n°2 .....	60
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje recuperación prueba n°3 .....	62
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje recuperación prueba n°4 .....	63
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje recuperación prueba n°5 .....	64
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje recuperación prueba n°6 .....	66
<b>Tabla 9.</b> Cuadros de variables.....	66
<b>Tabla 10.</b> Diseño factorial.....	67
<b>Tabla 11.</b> Statgraphics .....	67
<b>Tabla 12.</b> Statgraphics .....	67
<b>Tabla 13.</b> Statgraphics .....	68
<b>Tabla 14.</b> Statgraphics .....	68
<b>Tabla 15.</b> Recuperación pruebas Knelson .....	69
<b>Tabla 16.</b> Recuperación antes de las pruebas Knelson .....	70
<b>Tabla 17.</b> Statgraphics .....	70
<b>Tabla 18.</b> Statgraphics .....	71
<b>Tabla 19.</b> Statgraphics .....	72
<b>Tabla 20.</b> Statgraphics .....	74





## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>C</b>	: Concentrado total mineral.
<b>c</b>	: Ley de concentrado
<b>F</b>	: Alimentación total mineral (Cabeza)
<b>f</b>	: Ley de cabeza.
<b>Fc</b>	: fuerza centrífuga, Kg-f
<b>g.</b>	: Gramos
<b>g/TM</b>	: Gramos por tonelada métrica.
<b>g/TMS</b>	: Gramos por tonelada métrica seca.
<b>gl<sub>E</sub></b>	: Grados de libertad del error.
<b>gl<sub>R</sub></b>	: Grados de libertad del residuo.
<b>GPM</b>	: Galones por minuto.
<b>Hr.</b>	: Hora
<b>Kg/Hr</b>	: Kilogramo por hora.
<b>km.</b>	: Kilometro
<b>m</b>	: Masa de la partícula, g
<b>m.s.n.m.</b>	: Metros sobre el nivel del mar.
<b>Min</b>	: Minuto
<b>Mm</b>	: Milímetro



<b>MS</b>	: Cuadrado medio.
<b>N</b>	: Numero de pruebas
<b>n</b>	: Numero de revoluciones de la partícula por unidad de tiempo.
<b>P</b>	: Peso de la partícula, g
<b>Rec.</b>	: Recuperación
<b>RPM</b>	: Revoluciones por minuto.
<b>Seg</b>	: Segundo
<b>SGf</b>	: Gravedad específica del medio fluido.
<b>SGg</b>	: Gravedad específica de la ganga.
<b>SGh</b>	: Gravedad específica del mineral pesado.
<b>SSMR</b>	: Suma de cuadrados de residuos
<b>t</b>	: Ley de relave
<b>T</b>	: Relave total mineral.
<b>tm</b>	: Número de términos del modelo
<b>TM/hr</b>	: Toneladas métricas por hora.
<b>TMS/Hr</b>	: Tonelada métrica seca por hora
<b>U/F</b>	: Underflow
<b>w</b>	: Velocidad angular, radianes



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado Optimización del Concentrador Gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro en la Planta Concentradora Tintaya, Distrito de Yauri, Provincia de Espinar, Región de Cusco, se realizó con el objetivo de optimizar el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48, para incrementar la recuperación de concentrado de oro a partir de minerales sulfurados de cobre con presencia de oro nativo, telurios, plata, hierro y otros en su mineralogía, el cual desde que inició su actividad presentaron resultados deficientes, ya que trabajaron a rangos establecidos en el año 2011 con un flujo de agua de fluidización 200 GPM y ciclo de concentración de 120 MIN, las cuales no eran adecuadas ya que se llegó a obtener hasta un 12% de recuperación, perdiéndose oro en el relave por el inadecuado control de las variables, para lo cual requiere optimizar las variables de operación, agua de fluidización y ciclo de concentración. La metodología aplicada es de tipo experimental, se basa en el diseño de pruebas experimentales mediante la toma de muestras representativas del concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para las variables identificadas, y luego ser analizadas en el laboratorio químico de Tintaya, se efectuó 6 pruebas experimentales a diferentes rangos de agua de fluidización desde 160, 180 y 200 GPM combinando con diferentes tiempos de concentración 60, 120 y 180 min, para el análisis estadístico de resultados de laboratorio se aplicó Microsoft Excel, y para el diseño de experimentos se utilizó el programa de simulación Statgraphics Centurion XVI, se desarrolló el Diseño Factorial  $2^2$  con dos puntos centrales, obteniendo una recuperación de oro a 27.69%, para un flujo de fluidización de 171.24 GPM y un ciclo de concentración de 60 minutos.

**Palabras clave:** Optimización, concentrador, gravimétrico, obtención, oro.



## ABSTRACT

The present research work entitled Optimization of the KNELSON KC-XD48 Gravimetric Concentrator to obtain gold concentrate in the Tintaya Concentrator Plant, Yauri District, Espinar Province, Cusco Region, was carried out with the aim of optimizing the KNELSON gravimetric concentrator KC-XD48, to increase the recovery of gold concentrate from copper sulphide minerals with the presence of native gold, tellurides, silver, iron and others in its mineralogy, which since it began its activity presented poor results, since they worked at ranges established in 2011 with a fluidization water flow of 200 GPM and a concentration cycle of 120 MIN, which were not adequate since up to 12% recovery was obtained, losing gold in the tailings due to inadequate control of variables, for which it is necessary to optimize the variables of operation, fluidization water and concentration cycle. The methodology applied is experimental, it is based on the design of experimental tests by taking representative samples from the KNELSON KC-XD48 gravimetric concentrator for the variables identified, and then being analyzed in the chemical laboratory of Tintaya, 6 experimental tests were carried out at different ranges of fluidization water from 160, 180 and 200 GPM combining with different concentration times 60, 120 and 180 min, for the statistical analysis of laboratory results Microsoft Excel was applied, and for the design of experiments the program For Statgraphics Centurion XVI simulation, the Factorial Design 22 was developed with two central points, obtaining a gold recovery at 27.69%, for a fluidization flow of 171.24 GPM and a concentration cycle of 60 minutes.

**Keywords:** Optimization, concentrator, gravimetric, obtaining, gold.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El oro es uno de los minerales que se encuentra en la planta concentradora Tintaya, una planta concentradora de flotación de cobre con presencia de oro en la mineralogía del yacimiento al estado nativo, pero que cuenta con baja ley. Como se sabe este metal por su característica de metal pesado y maleable normalmente no es factible recuperarlo en forma efectiva por procesos de flotación, también podemos mencionar que no es viable utilizar los procesos gravimétricos convencionales por su hidrofobicidad que, por su fineza, su forma de escama y hojuela, o por su porosidad no se moja y consecuentemente no se hunde para permitir su recuperación ya que se pierde en los relaves.

Pero con el avance de la tecnología existen alternativas para una buena recuperación de oro hidrófobo, por ello la planta concentradora Tintaya cuenta con un concentrador gravimétrico KNELSON versión KC-XD48, un equipo sencillo y robusto, amigable con el medio ambiente ya que no se emplea insumos químicos para realizar la separación del oro, posee una elevada capacidad de procesamiento y sus costos de inversión, operación y mantención son relativamente bajos.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concentrador gravimétrico Knelson KC-XD48 de la planta concentradora Tintaya, presento problemas en la recuperación de oro, la cual desde que inició su actividad se observaron resultados deficientes en la recuperación de oro, ya que se trabajaba a rangos establecidos en el 2011: flujo de agua de fluidización 200 GPM y ciclo de concentración de 120 MIN, las cuales no eran adecuados ya que se llegó a



obtener hasta un 12% de recuperación, perdiéndose oro en el relave por el inadecuado control de las variables de operación del concentrador gravimétrico, observándose los bajos resultados en la recuperación nació la necesidad de optimizar el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro, para ello se optimiza las variables de operación como el agua de fluidización y ciclo de concentración. Para lo cual nos planteamos las siguientes interrogantes:

### **1.1.1 Interrogante general**

¿Será posible la optimización del concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro en la planta concentradora Tintaya?

### **1.1.2 Interrogantes específicas**

- ¿Será posible la optimización del agua de fluidización en el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro en la planta concentradora Tintaya?
- ¿Será posible la optimización del ciclo de concentración óptimo en el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro en la planta concentradora Tintaya?

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Después de la parada de la planta concentradora Tintaya a finales del 2011, el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 inicio su actividad el 18 de mayo del 2015, trabajando con rangos de flujo de fluidización de 200 GPM y ciclo de 120 MIN, a más de un año de operatividad se observaron resultados deficientes en la recuperación, todo ello por el inadecuado control de las variables de operación debido a lo observado nació la necesidad de optimizar el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48



para la obtención de concentrado de oro, para ello se optimiza las variables de operación como el agua de fluidización y el ciclo de concentración óptimo.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Optimizar el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro en la planta concentradora Tintaya.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Optimizar el efecto del agua de fluidización en el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro.
- Optimizar el ciclo de concentración óptimo en el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Palomino y Ramos (2008) en su tesis de pregrado menciona, el Perú tiene la riqueza más grande del mundo, no solo por cantidad sino también por la gran variedad de recursos mineros, lo que permite a las empresas compensar con otro producto cuando exista baja de precio en un determinado metal.

Choquenaira (1999) en su investigación, con el objeto de incrementar la recuperación de metales preciosos en la planta concentradora Tintaya, realiza una serie de pruebas en laboratorio, para lo cual se utiliza diferentes equipos de concentración gravimétrica y de flotación, cuyos resultados se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Resumen de pruebas de recuperación de oro

	MESA	SKIM AIR	JIGS	JIGS+LIMP	JIGS+S.MAG	KNELSON
ALIM. TMS/Hr	0,335	7,23	0,625	4,5	4,5	30
Au, gr/ton	4,95	2,1	2,98	3,75	3,75	0,543
CONC. TMS/Hr	0,068	0,25	0,0023	0,013	0,004	0,023
Au, gr/ton	19,4	19,5	69,05	701,213	2235,263	430,665
RELAVE. TMS/Hr.	0,114	6,98	0,623	4,487	4,496	29,977
Au, gr/ton	1,9	1,47	0,392	1,781	1,82	0,212
RECUPERACION						
Au, %	59,215	32,21	39,1	52,88	52,21	60,92
Radio de conc.	4,93	28,92	271,7	346,15	1125,0	1304,34

Fuente: Choquenaira (1999).

Como se puede observar en el cuadro, se llega a la conclusión de la posibilidad de obtener un concentrado gravimétrico con una ley promedio de 430,655 g/TMS sin





limpieza, con una recuperación de 60,92% de oro con el concentrador Knelson de 30 TMS/Hr de capacidad, 2 Hr. de ciclo de concentración, presión de agua de fluidización 2,5 PSI, Caudal 8 l /seg, -10 mallas 86,83%, eficiencia de zaranda 50%, densidad de alimentación de pulpa 1718 g/l. % H<sub>2</sub>O en el concentrado 13,65 %

Luego de haber discutido y evaluado esta posibilidad de obtener concentrado de oro por gravimetría a través del concentrador Knelson, se estableció una serie de pruebas de pilotaje con el concentrador Knelson KC-CD30 para luego justificar, e implementar un concentrador Knelson KC-XD48 de 100TM/Hr de capacidad.

Valderrama *et al.* (2012) define, el concentrador centrífugo Knelson, usado en la concentración de minerales de oro, ha mostrado ser un buen equipo porque efectúa una separación con alta eficiencia, posee una elevada capacidad de procesamiento y sus costos de operación y mantención son relativamente bajos.

Tintaya (2016) reporte análisis oro Planta Concentradora Tintaya (cabeza, concentrado y relave), ANEXO A.

De acuerdo a los datos del reporte de las leyes de cabeza, concentrado y relave brindados por laboratorio químico, realizamos el balance metalúrgico en base a leyes para obtener la recuperación de oro en planta concentradora Tintaya, la cual da como resultado 51.758% de recuperación de oro.

Tintaya (2016) reporte análisis oro Knelson Planta Concentradora Tintaya antes de las pruebas metalúrgicas (cabeza, concentrado y relave), ANEXO B.

Con los datos de las leyes de cabeza, concentrado y relave brindados por laboratorio químico, realizamos el balance metalúrgico en base a leyes para obtener la



recuperación de oro en el concentrador gravimétrico Knelson antes de las pruebas, en la cual obtenemos como resultado 12, 593% de recuperación de oro.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Mineralogía del yacimiento Tintaya**

La estructura mineralizada del yacimiento Anta del STOCK 3A y STOCK 3B, son minerales sulfurados de cobre como la Calcopirita ( $\text{FeS}_2\text{Cu}$ ) y otros minerales como la Calaverita ( $\text{AuTe}_2$ ), Krennerita ( $(\text{Au.Ag})\text{Te}_2$ ), Silvanita ( $\text{AgAuTe}_4$ ), Estibina ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) y otros con presencia de oro nativo en su mineralización.

### **2.2.2 Recursos hídricos Tintaya**

La principal fuente de agua superficiales es Rio Salado, cuya cuenca se extiende a 26 km. Aguas arriba en la confluencia de los ríos Chacamayo y Chaquimayo que se extiende en unos 17 km. Aguas arriba cada uno, hasta sus nacientes en lagunas producidas por deshielos de los puntos topográficos más altos de la región. El rio salado pertenece a la cuenca del rio Apurímac del que es afluente.

### **2.2.3 El oro**

Tobón (2013) refiere, el oro se encuentra, generalmente en pequeñas cantidades en la naturaleza y su mineralización natural da origen a la formación de diferentes yacimientos. Domic (2001) clasifica los minerales de oro de mayor importancia económica, así:

- Minerales de oro nativo. Estos son minerales en los cuales el oro está en su estado elemental ( $\text{Au}$ ) y no está asociado a las partículas de sulfuro u otros minerales. El oro nativo puede estar presente en una veta de origen hidrotermal



de carácter ígneo o en un depósito aluvial de carácter sedimentario. Para los depósitos del primer tipo, una vez liberados mediante un proceso de molienda, las partículas del oro, que poseen tamaños relativamente gruesos, puede concentrarse mediante diferentes equipos de separación gravitacional. Y para los depósitos tipo aluvial, formados por procesos naturales de erosión, transporte y sedimentación, el oro ya se encuentra liberado, siendo necesario una secuencia de etapas de concentración gravimétrica.

- Oro asociado con sulfuros. Mayoritariamente el oro ocurre en dos formas: en estado libre y diseminado en sulfuros. En la mayoría de los minerales de oro, se encuentra presente la piritita ( $\text{FeS}_2$ ). También es muy frecuente observar otros sulfuros como son: pirrotina ( $\text{FeS}$ ), arsenopiritita ( $\text{FeAsS}$ ), calcopiritita ( $\text{CuFeS}_2$ ), estibina ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) y otros.
- Telururos de oro. Son los únicos otros minerales de oro, aparte del oro metálico que tienen importancia económica, generalmente se encuentran asociados con oro nativo y con sulfuros. A estos minerales pertenece la Calaverita ( $\text{AuTe}_2$ ) y Krennerita ( $(\text{Au. Ag}) \text{Te}_2$ ), los cuales tienen alrededor de 40% de oro, y la Silvanita ( $\text{AgAuTe}_4$ ), que también contiene plata y presenta alrededor de 25% de oro.
- Oro en otros minerales. Existen otros minerales que también contienen oro como la Auroestibina ( $\text{AuSb}_2$ ), oro con Cobrepofirítico y como la Kostovita ( $\text{CuAuTe}_4$ ).

#### 2.2.4 Tipos de yacimientos auríferos

Julca y Ortiz (2017) menciona los tipos de yacimientos auríferos.



Vetas y filones de cuarzo aurífero. Las vetas de cuarzo con mineralización de oro y otros metales de menor relevancia ocurren en dos unidades geológicas principales:

- En el Batolito Occidental Andino especialmente en una parte media (área de Nazca - Ocoña).
- En el paquete de rocas paleozoicas y rocas intrusivas vecinas que constituyen la Cordillera Oriental.

### **Depósitos Epitermales**

Son las vetas hidrotermales de cuarzo, carbonatos, baritina y fluorita, que contienen oro nativo y Teleruros de oro y cantidades variables de plata. Constituyen vetas emplazadas en espacios abiertos y la gran parte se encuentra en rocas volcánicas muy alteradas de edad terciaria.

### **Placeres**

Compuestos de arena no consolidadas o semi-consolidadas y de gravas, las que contienen muy pequeñas cantidades de oro nativo y otros minerales pesados (magnetita). La mayor parte son depósitos fluvioglaciares y glaciales; ocurren a lo largo de valles y cauces actuales o terrazas de flujos preexistentes.

### **Placeres Fósiles**

Estos son depósitos formados en épocas geológicas muy antiguas. Todos los ejemplos conocidos son pre-cambrianos y han sido litificados hasta convertirse en conglomerados formando parte del basamento, están compuestos por cuarzo, pirita y minerales micáceos. Depósitos Diseminados de Oro Los yacimientos de este tipo, corresponden al mineral en estudio de la presente tesis. Consisten en diseminados de



oro en granos muy finos en calizas, dolomitas y limosas. El oro que mayormente es submicroscópico, está acompañado de sílice, pirita y otros sulfuros. Oro como Subproducto. Donde el oro es el constituyente menor común de la mena y puede ser recuperado durante los procesos de fundición y refinación de los concentrados de los metales base. A pesar de que el contenido de oro en estas menas es bajo, la producción es significativa debido a los altos tonelajes de mineral que se tratan.

### **2.2.5 Propiedades del oro**

Navarro (2017) en su tesis de grado menciona:

#### **2.2.5.1 Propiedades físicas**

El oro se halla en la naturaleza en una proporción bajísima. Es un metal de color amarillo característico, blando, muy dúctil y maleable, pues puede reducirse a láminas hasta unos diez milésimos de milímetro de espesor (pan de oro); en la escala de dureza de Mohs está entre 2,5 y 3 y posee una gravedad específica de 19,3 g/L. Es inalterable frente a los agentes atmosféricos y solo es atacable por muy pocos agentes químicos, como el cloro, el bromo, el agua regia, el mercurio y el cianuro de sodio en presencia de oxígeno.

Julca y Ortiz (2017) en su tesis de grado menciona las propiedades químicas y mecánicas:

#### **2.2.5.2 Propiedades químicas**

Es fácilmente soluble en agua regia o en otras mezclas que desprenden cloro. También lo disuelve el yodo en estado nascente y los cianuros.

No lo atacan el ácido clorhídrico ni tampoco el ácido nítrico solo.



No lo atacan los álcalis fundidos.

El ácido sulfúrico lo ataca por encima de los 300 °C.

El oro se alea con gran facilidad con el mercurio (amalgama de mercurio). Calentando cuidadosamente la amalgama formada, se evapora el mercurio y queda el oro en forma esponjosa.

El oro es el más "no-reactivo" de todos los metales, es benigno en todos los ambientes naturales e industriales. El oro nunca reacciona con oxígeno o sea difícilmente se oxidará o se empañará.

### **2.2.5.3 Propiedades mecánicas**

El oro es un metal maleable y dúctil, en forma de lingote se le puede trocear, modelar y martillar en frío; en forma de lámina, puede no sobrepasar el espesor de un quinceavo de micra, es decir la décima quinta parte de una milésima de milímetro (0.0001mm), las cuales dejan pasar la luz tomando un color verde azulado, pero con la luz reflejada presenta su color característico. Con una onza de oro, es decir con aproximadamente 30 g, se puede cubrir una superficie de 30 m<sup>2</sup>. En la forma de hilo el oro se puede estirar hasta alcanzar longitudes increíbles, una onza de metal alcanzaría más de 90 Km. El oro es muy resistente, su límite de elasticidad es de 4 Kg/mm<sup>2</sup>, su carga de ruptura alcanza los 13 Kg/mm<sup>2</sup>. Es de fácil soldadura autógena, buen conductor eléctrico y buen aislante del calor y del frío.

Llampi (2013) resume las propiedades en:

- Densidad del oro libre que generalmente va desde 13 a 19 lo que lo hace separable por el método gravimétrico.



- Densidad del mineral acompañante que varía de 2,6 a 8.5.
- Naturaleza hidrofóbica de la superficie del oro nativo lo hace flotable.
- El oro es humedecido por el mercurio, debido a que la tensión superficial entre el oro y el mercurio es baja.
- Tamaño de la partícula del oro hasta 0.075mm o menos y su asociación con los minerales portadores o de ganga.

## **2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1 Concentración gravimétrica**

Llampi (2013) menciona que la concentración gravimétrica es esencialmente un método para separar partículas minerales de diferente peso específico, por las diferencias en movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas simultáneamente la gravedad y/u otras fuerzas, como la hidráulica y de fricción. Navarro (2017) define generalmente que la concentración por gravedad es el más sencillo y más económico de los métodos de concentración. El uso de este tipo de separación está recomendado siempre que sea practicable porque permite la recuperación de mineral útil en un orden de tamaños tan gruesos como sea posible, reduciendo los costos inherentes a la reducción de tamaño y disminuyendo las pérdidas asociadas a estas operaciones.

Edgardo (2015) los métodos de separación por gravedad se usan para tratar una gran variedad de materiales que varían desde los sulfuros metálicos pesados hasta el carbón con una densidad relativa baja.



Estos métodos fueron perdiendo importancia debido al desarrollo del proceso de flotación, así como el desarrollo de otros procesos alternativos. Sin embargo; en los últimos años muchas compañías han revaluado los sistemas gravimétricos debido al incremento en los costos de los reactivos de flotación, la relativa simplicidad de los procesos gravimétricos y al hecho de que producen relativamente poca contaminación ambiental.

Palomino y Ramos (2008) las técnicas gravimétricas que recuperan los minerales pesados valiosos residuales de las colas de flotación. Aparte de la producción corriente hay muchos enormes terrenos de colas que se pueden excavar y procesar económicamente para rendir concentrados de alto valor usando tecnología recientemente desarrollada.

### 2.3.2 Criterios de concentración

Llampi (2013) menciona el criterio de concentración es importante en la determinación de qué clase de separación es posible en un caso particular es la gravedad y alguna o más fuerzas, fundamentalmente la primera, en este caso, se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{SGh - SGf}{SGg - SGf}$$

Dónde:

SGh : Gravedad específica del mineral pesado.

SGg : Gravedad específica de la ganga.

SGf : Gravedad específica del medio fluido.





Dónde se establece que:

Si  $C \geq 2.5$  la separación es fácil y si  $C < 2.5$  la concentración por gravedad no es posible,

- $C \geq 2.50$  la separación es fácil en todo tamaño.
- $C \geq 1.65$  la separación es fácil debajo de 65 mallas.
- $C \geq 1.25$  la separación es posible a tamaño de gravas o gruesos.
- $C < 1.25$  las separaciones gravimétricas no son posibles, a menos que se aplique una segunda fuerza de gravedad.

Julca y Ortiz (2017) de acuerdo a algunos investigadores, el criterio de concentración puede ser muy útil si la forma de las partículas fuera considerada, en caso contrario, sorpresas desagradables en cuanto a la eficiencia del proceso se pueden verificar en la práctica.

### **2.3.3 Métodos de separación por gravedad**

Vilcapoma y Chávez (2012) describe en general, los métodos de separación por gravedad se agrupan en tres categorías principales:

#### **2.3.3.1 Separación por medios densos**

La separación en medio denso consiste en separar sólidos en función de sus densidades usándose como medio un fluido de densidad intermedia, donde el sólido de densidad más baja flota y el de densidad más alta se va al fondo (se hunde). Los medios densos usados son: líquidos orgánicos, solución de sales en agua y más comúnmente suspensiones de sólidos de granulometría fina en agua.



Este proceso es aplicable a cualquier mineral, en el que después de un adecuado grado de liberación por trituración, hay bastante diferencia en la densidad relativa entre las partículas que se pretende separar (partículas pesadas y partículas ligeras). El proceso se aplica ampliamente cuando la diferencia de densidad ocurre a un tamaño de partícula grueso, puesto que la eficiencia de la separación disminuye con el tamaño debido a una disminución de la velocidad de asentamiento de las partículas.

Las partículas deberían ser preferiblemente superiores a 3 mm de diámetro, en tal caso la separación puede ser efectiva sobre una diferencia de densidad relativa de 0.1 o inferior. Separaciones por debajo de las 500  $\mu\text{m}$ , e inferiores, en tamaño pueden ser llevadas a cabo con el empleo de separadores centrífugos. Existiendo diferencia de densidad, no hay límite superior en cuanto a tamaño, excepto el límite impuesto por la disponibilidad de la planta para manejar el material.

Las ventajas del proceso de medio denso son:

- Posibilidad de hacer separaciones precisas a una determinada densidad relativa. Posibilidad de mantener una densidad de separación que puede ser controlada dentro de un margen de variación entre  $\pm 0.005$  unidades de densidad relativa.
- Posibilidad de manejar un amplio rango de tamaños (caso del tratamiento de carbones). Posibilidad de cambiar la densidad relativa de separación para conseguir exigencias variables de mercado.
- Posibilidad de manejar fluctuaciones en la alimentación, tanto en cantidad como en calidad.



Desventajas que presenta el proceso de medio denso son:

- Coste relativamente elevado debido principalmente por la necesidad de equipos auxiliares para recoger y reciclar el medio denso.
- Alto coste debido a las operaciones de los equipos para el reciclado del medio y la pérdida del mismo.
- Altos costes de mantenimiento si el medio empleado es abrasivo.
- Potenciales problemas de arranque del sistema si se permite al medio sedimentarse en bombas, recipientes y tuberías.

En algunos casos, los costes adicionales de los sistemas de medio denso estarán justificados por la recuperación de las sustancias vendibles. Los diagramas de flujo de medio denso ofrecen generalmente más flexibilidad de respuesta ante las condiciones cambiantes del mercado que aquellos diagramas de flujo de "allwater" tales como los jigs y las mesas concentradoras

### **2.3.3.2 Separación por corrientes verticales**

En la cual se aprovechan las diferencias entre velocidades de sedimentación de las partículas pesadas y livianas, como es el caso del jig.

El equipo que utiliza corrientes verticales para la concentración de minerales es el jig, en los cuales las corrientes verticales son generadas por el movimiento de pulsaciones en el agua.

Carbajal y Chávez (2015) la alimentación a los equipos de separación gravimétrica requiere que haya sido controlada desde el punto de vista granulométrico, con el fin de disminuir el efecto del tamaño de las partículas en la medida de lo posible.



A causa de que los separadores gravimétricos son muy sensibles al contenido de lamas o material arcilloso, pues aumentan la viscosidad del medio; se tenderá a eliminar previamente estos tamaños (10  $\mu$ m) por medio de clasificadores hidráulicos o hidrociclones. La alimentación que se dirigirá a los equipos concentradores se verá previamente sometida a una clasificación en rangos granulométricos, a través de clasificadores hidráulicos. Otro aspecto importante de los separadores gravimétricos es el control del agua que interviene en los mismos. Será importante controlar la densidad de la pulpa, la recirculación del agua y control de sus propiedades, aprovechamiento y gestión del agua, etc. Para ellos hay en la actualidad una amplia gama de equipos, válvulas, medidores, etc. con el fin de facilitar dicha gestión y control. Los procesos de concentración por gravedad se diferencian por el tipo de movimiento que les aplican a las partículas para su separación, así tenemos:

- Concentración por impulsos (pulsadoras Jigs)
- Concentración por sacudimiento (mesa Wilfley)
- Concentración de flujo por gravedad
- Concentradora de artesa, espiral de Humpreys
- Concentradora de canaleta, cono Reitcher.

### **2.3.3.3 Separación en corrientes superficiales de agua**

Como es el caso de las mesas concentradoras y los separadores de espiral.

#### **2.3.3.3.1 Mesas vibratorias**

Navarro (2017) las mesas concentradoras son aparatos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada. Aquí se habla



principalmente de los tipos con movimiento longitudinal vibratorio, donde las partículas de mineral se diferencian formando bandas en abanico (cejas), según su peso específico (y la granulometría). Otros tipos de mesas (mesas de banda, mesas basculantes, mesas de paño sin fin, mesas redondas, etc.) son raramente usadas en la pequeña minería y por esto no se describen aquí en detalle.

La mesa con movimiento longitudinal vibratorio (mesa vibradora) está muy difundida principalmente en la minería del wolframio, estaño y oro.

De acuerdo a su modelo y tamaño, las mesas se utilizan para concentrar minerales finos y ultra finos con una capacidad hasta un máximo de 1,5 t/h por unidad. Las mesas vibradoras permiten una amplia variación en sus parámetros operativos y, de esta forma, se pueden adaptar al material de alimentación correspondiente. Debido a que el proceso de concentración se lleva a cabo a la vista sobre el tablero de la mesa, cualquier cambio en los parámetros (inclinación longitudinal y transversal, cantidad de agua, etc.) resulta en cambios en el comportamiento del material, que pueden ser visualizados inmediatamente.

Principalmente se puede usar en la minería aurífera filoniana (vetas), para la recuperación de oro fino y muchas veces para la recuperación de piritas auríferas como subproducto comerciable. Este último constituye además un contaminante cuando se descarta en las colas a los ríos y lagunas; su separación o recuperación significa una valiosa contribución a los propósitos de mitigación de este impacto ambiental y un ingreso adicional.

Las mesas sirven también para enriquecer pre concentrados gravimétricos obtenidos por otros equipos (canaletas, espirales, etc.) y para producir concentrados de alta ley (que en algunos casos se pueden fundir directamente)



### **2.3.3.3.2 Concentración en espirales**

El primer tipo de espiral Humphrey fue introducido en 1945. El principio básico se ha mantenido hasta la actualidad, pero con evoluciones considerables en cuanto al diseño y técnicas de fabricación. Los materiales de construcción empleados han evolucionado desde la madera y hierro fundido hasta el poliéster reforzado con fibra de vidrio, pasando por aleaciones, hormigón, goma, etc.

Actualmente, la mayoría de los fabricantes construyen en poliéster reforzado con fibra de vidrio, con recubrimientos de poliuretano o goma, y este relativamente sencillo proceso de fabricación ha sido uno de los motivos del rápido avance en el diseño de estos separadores.

Los mayores avances en el diseño han incidido en el perfil y paso de la espiral. El campo de aplicación se ha expandido principalmente, debido al desarrollo de espirales en las cuales el paso y el perfil cambian a lo largo de su longitud.

Los espirales se dividen en dos tipos:

Espirales de múltiples retiradas y espirales de retiradas limitadas.

### **2.3.4 Concentradores centrífugos**

Palomino y Ramos (2008) los concentradores centrífugos constituyen la principal innovación realizada a los implementos de concentración gravimétrica de oro. En un tiempo muy corto, han ganado gran aceptación para la recuperación gravimétrica de oro en minas grandes; frecuentemente en los circuitos de molienda para separar oro libre y evitar sobre molienda y antes de plantas de cianuración o flotación para recuperar el oro grueso. También existen muchas aplicaciones en plantas industriales en la minería aurífera aluvial. Otra aplicación especial para los concentradores centrífugos



es la recuperación del oro como un producto secundario. Todos los concentradores centrífugos operan con el mismo principio: básicamente, un recipiente que rota efectúa la separación gravitacional de la carga en un campo centrífugo.

Edgardo (2015) merecen destaque los concentradores centrífugos Knelson, Falcón, la pulsadora Kelsey y el concentrador Multi-Gravity Separator.

### **2.3.5 Concentrador gravimétrico Falcón**

Álvarez (2006) el principio de separación del concentrador Falcón está basado en la diferencia de pesos específicos de las partículas componentes de una carga mineralizada. Debido a que usa campos gravitatorios altos es capaz de separar minerales liberados en rangos de tamaño considerado como finos a ultra finos, donde se observa un aumento en la eficiencia de separación en comparación con otros concentradores gravimétricos.

El Concentrador Centrifugo Falcón fue primeramente diseñado para el beneficio de oro, aunque posteriormente se extendió su aplicación a otros minerales como: estaño, platino, minerales de hierro, ilmenita, carbón, etc.

Sus principales características son:

- Amplio rango de aplicación en el procesamiento industrial de minerales.
- Buena eficiencia en la recuperación de partículas finas.
- Rotor construido de Caucho, poliuretano, carburo y nihard para una máxima resistencia al desgaste.
- Pocas partes móviles.
- Alta confiabilidad en la obtención del concentrado.



- Modelos a escala laboratorio con alta capacidad.
- Modelos disponibles para la recuperación con elevado peso o alimentación con amplio rango de tamaño de partículas.

Desde un punto de vista general, las principales ventajas que ofrecen estos equipos son:

- Elevada capacidad de procesamiento
- Bajo consumo de agua
- Recuperaciones elevadas, sobre todo en fracciones finas
- Bajos costos de inversión y de operación
- Automatización simplificada
- Pre concentración y concentración de minerales

Entre sus aplicaciones podemos citar a:

- Recuperación de oro fino a partir de yacimiento primario.
- Retratamiento de sulfuros.
- Recuperación de hierro y estaño fino
- Remoción de ceniza y sulfuros del Carbón.
- Recuperación de Oro fino a partir de relaves de flotación o cianuración
- Pre concentración antes de la cianuración para maximizar rendimiento.
- Retratamiento de relaves de Tantalio y Estaño fino.





- Retratamiento de Hierro fino contenido en relaves.
- Pre concentración de oro y plata a partir de relaves antiguos.
- Pre concentración y deslamado de depósitos de minerales pesados.
- Pre concentración previa a la flotación o cianuración mediante la remoción de partículas livianas no deseadas.
- Instalación en circuitos de molienda ciclón para la recuperación de valores liberados.

### **2.3.6 Concentrador gravimétrico Knelson**

Edgardo (2015) en la década de los 90 apareció una serie de equipamientos para el beneficio de minerales que utilizan la fuerza centrífuga para efectuar la separación de los minerales valiosos. El más conocido de ellos fue el concentrador Knelson, que en poco tiempo obtuvo gran aceptación en la industria minera. Este concentrador recupera partículas de oro de tamaños que van desde  $\frac{1}{4}$  “hasta aproximadamente un micrón. En estos concentradores el problema de compactación del mineral que pudiese originar la fuerza centrífuga, fue solucionado introduciendo agua a presión en el sistema, contrabalanceando la fuerza centrífuga en el cono de concentración.

La efectividad de separación en el concentrador Knelson se basa en la generación de una fuerza gravitacional 60 veces superior a la fuerza normal de un equipo convencional que juntamente con el proceso de fluidización, permite la recuperación aún partículas microscópicas. Esto significa que en el interior del Concentrador Knelson las partículas son sometidas a 60 veces la fuerza de la gravedad para asegurar la recuperación de partículas finas que antes se pensaba eran no recuperables por medios gravimétricos convencionales.

La pieza principal de este concentrador es el tazón perforado que contiene anillos horizontales en forma de rifles a lo largo de su pared interior como se muestra en la figura:



**Figura 1.** Tazón perforado

Fuente: Álvarez (2006).

Álvarez (2006) en su operación, en principio se inyecta agua en el tazón giratorio de concentración a través de una serie de orificios de fluidización. Luego, se introduce la pulpa por medio de un tubo central vertical estacionario de alimentación. Una vez que la pulpa llega a la base del tazón, ésta, debido a la fuerza centrífuga, es forzada a desplazarse por la parte exterior, subiendo por la propia pared del tazón, donde las partículas pesadas, una vez que se ha alcanzado la fluidización óptima, son atrapadas entre los rifles, creando así un lecho en el que se produce la concentración y las partículas livianas son descargadas por la parte superior del tazón.



Álvarez (2006) en la operación del Knelson la compactación de la cama se evita por medio del proceso de fluidización. A medida que el agua es inyectada a los anillos, se controla el flujo para alcanzar fluidificación óptima. Partículas de alto peso específico son retenidas en el cono concentrador. Cuando el ciclo de concentración se completa, para la descarga del concentrado retenido en los rifles, el equipo se detiene para luego adicionar agua de lavado a presión (funcionamiento discontinuo). Su principal variable de operación es la alimentación de agua en contra presión (agua de fluidización).

La característica más importante del concentrador Knelson, es su radio de concentración, que permite la recuperación de oro desde minerales de ley de cabeza baja para obtener concentrados de alta ley, como es el caso de esta investigación.

### 2.3.7 Principios del proceso de concentración gravimétrica

Edgardo (2015) menciona que los principios que gobiernan el proceso de concentración gravimétrica.

Considérese una partícula de peso “P” que recorre una órbita circular de radio “r” con una velocidad tangencial “μ”.

$$F_c = \frac{m\mu^2}{r} = \frac{P}{g} \left( \frac{\mu^2}{r} \right)$$

$$\mu = w * r = 2\pi n * r$$

Donde:

F<sub>c</sub> : fuerza centrífuga, Kg-f

m : Masa de la partícula, g



P : Peso de la partícula, g

w : Velocidad angular, radianes

n : Numero de revoluciones de la partícula por unidad de tiempo. RPM

$$F_c = \frac{P}{g} (4\mu^2 n^2 r) = P * \left( \frac{39.5 * n^2 r}{g} \right)$$

Se muestra que las fuerzas que originan la concentración de las partículas en el concentrador son  $(39.5 n^2 r/g)$  veces mayores que el peso.

Diámetro promedio en el interior de los anillos del concentrador Knelson.

$$\varnothing = (1,18 + 0,91) / 2 = 1,045 \text{ m.}$$

$$r = 0,52 \text{ m.}$$

$$\text{Entonces: } 39,5 * (320)^2 * 0,52 / (9,8 * 3600) = 60$$

Lo que significa que la velocidad rotacional crea una fuerza centrífuga de 60 gravedades.

### 2.3.8 Ventajas del concentrador Knelson

Álvarez (2006) todos los equipos concentradores Knelson ofrecen:

- Recuperación rápida y eficiente a bajo costo
- Operación confiable y sin problemas
- Bajo costo de inversión, operación y mantenimiento
- Operación no contaminante y sin peligro para el medio ambiente
- Total, seguridad del concentrado



- Total, automatización disponible en todos los modelos

El equipo Knelson encuentra su aplicación en el procesamiento de:

- Metales preciosos: oro, platino y plata.
- Metales básicos: cobre.
- Metales nocivos para el medio ambiente: plomo y mercurio.

Otras las otras aplicaciones, podemos citar a:

- Recuperación de tantalita, casiterita, ilmenita, rutilo, cromita, etc.
- Recuperación de sulfuros con contenido de oro a partir de colas de lixiviación o flotación
- Recuperación de oro fino libre.
- Recuperación de valores metálicos a partir de escorias de fundición
- Productos de calcinación.
- Limpieza de Concentrados Finos.
- Retratamiento de relaves

En la industria mineralurgia, los equipos Knelson suelen estar ubicadas en el circuito de molienda, esta modalidad de instalación ha sido usada con éxito en la recuperación de metales preciosos, tales como oro, platino y plata, también se aplica en la recuperación de metales básicos como el cobre, zinc, etc. Los metales nocivos para el medio ambiente, tales como plomo y mercurio pueden también ser recuperados de tierras contaminadas coadyuvando de esta manera en la mitigación de la contaminación ambiental. El tamaño máximo de partícula con que pueden trabajar es de 6 mm.

### 2.3.9 Modelos Knelson

Edgardo (2015) hay tres series de modelos Knelson: Se fabrican en diversos tamaños y modelos, desde el concentrador de laboratorio KC-MD3 hasta el equipo de alta producción KC-XD48 con capacidad de procesar 150 tph. Las aplicaciones del equipo Knelson varían desde trabajos de laboratorio o exploración en campo hasta plantas piloto y producción a gran escala (alta capacidad).

#### 2.3.9.1 Serie de descarga manual (MD)

A esta serie corresponden los equipos de Escala Piloto y de Laboratorio.



**Figura 2.** Knelson de laboratorio serie MD

Fuente: Álvarez (2006).

Las capacidades son de 1000 Kg/Hr y 50 kg/Hr. En la operación, las partículas de la alimentación al Knelson de laboratorio son sometidas a una fuerza de hasta 80 veces la gravedad para la recuperación de eventuales partículas denominados como ultra fino.

- KC-MD 3 (50 kg/h; 1/6 HP).

- KC-MD 7.5 (1000 kg/h; 3/4 HP).

### 2.3.9.2 Serie de descarga central (CD)

En 1992 se introdujo al trabajo industrial la Serie avanzada de modelos de Descarga Central KC-CD.



**Figura 3.** Knelson serie CD

Fuente: Álvarez (2006).

Estas fueron las primeras unidades diseñadas para extraer el concentrado rápidamente "sin usar las manos" y en un ambiente de completa seguridad, habiéndose convertido desde entonces en un equipo standard en la industria. Los equipos de esta serie son apropiados para la etapa de pre concentración y para la limpieza de pre concentrados.

- KC-CD 10 MS (2,5 ton/h; 1.5 HP)
- KC-CD 12 MS (6 ton/h; 2 HP)
- KC-CD 20 MS (25 ton/h; 7.5 HP)
- KC-CD 30 MS (60 ton/h; 15 HP)

### 2.3.9.3 Serie de servicio pesado (XD)

Las condiciones de operación en circuitos de molienda de roca dura pueden ser sumamente severas. La Serie KC-XD, introducido en 1997, ha sido desarrollada para soportar las exigencias de las condiciones más difíciles de operación, ofreciendo mayor capacidad y mejor recuperación en comparación con otros equipos. Son también apropiados para operaciones aluviales o para proyectos de re-tratamiento de relaves antiguos donde se presentan condiciones de acidez.



**Figura 4.** Knelson serie XD

Fuente: Álvarez (2006).





- KC-XD20 (25 ton/h; 7,5 HP)
- KC-XD30 (60 ton/h; 15 HP)
- KC-XD48 (150 ton/h; 40 HP)

#### **2.3.9.4 Serie de recuperación de mercurio (MR)**

El Concentrador Knelson de Recuperación de Mercurio (KC-MR) está diseñado para recuperar mercurio simultáneamente con oro y otros metales preciosos. Recupera el 98% de mercurio metálico elemental, ya sea en su estado natural, presentándose como un producto secundario de una operación minera previa, o que haya ocurrido como resultado de otros procesos industriales.

Durante su operación el KC-MR continuamente descarga mercurio en un tanque acumulador. El mercurio puede extraerse luego sin riesgo para su tratamiento posterior con miras a la recuperación de oro y mercurio por separado. El KC-MR puede surtir ya sea con sistema de control manual (trabajos en pequeña escala) o con el Sistema Independiente de Control Knelson (KICS) para lograr una completa automatización,



**Figura 5.** Knelson Recuperación de Mercurio (MR)

Fuente: Álvarez (2006).

### **2.3.10 Concentrador gravimétrico Knelson KC-XD48**

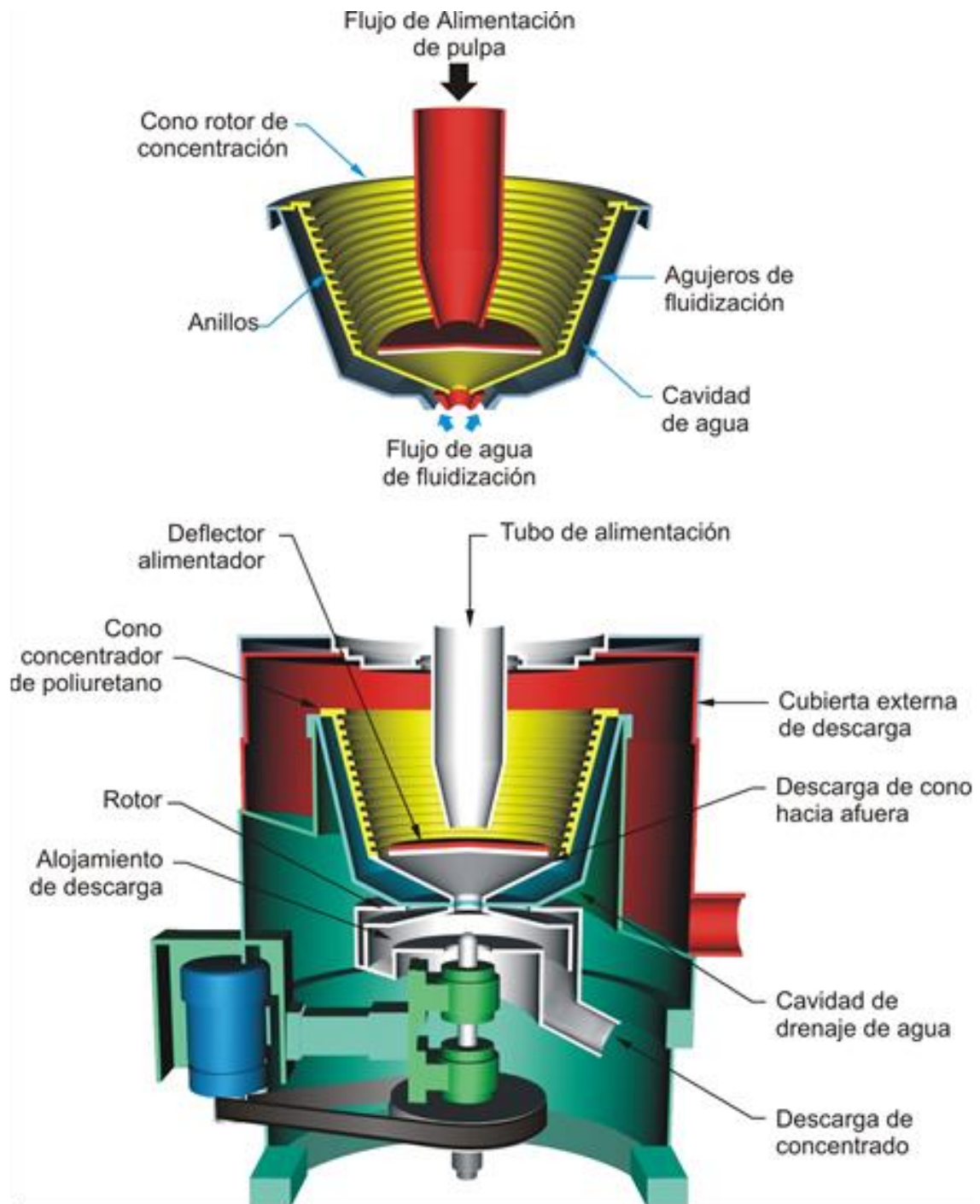
Quintuña (2014) define el Concentrador Knelson, como un concentrador centrífugo que trabaja a una alta velocidad que utiliza la fuerza centrífuga con un proceso de fluidización patentado, de la serie de servicio pesado (XD), serie 48.



### 2.3.10.1 Partes del concentrador gravimétrico Knelson KC-XD48

Tintaya (2002) consta de:

- Un recipiente de poliuretano en forma de cono truncado y provisto de rifles anulares.
- Rotor.
- Plato deflector.
- Anillos de concentración.
- Motor eléctrico  $\frac{3}{4}$  HP que genera la rotación de 320 RPM aprox.
- Un sistema hidráulico de alimentación de agua en contra presión.
- Embudo de alimentación de pulpa.
- Sistema de instrumentación.
- Zaranda vibratoria.
- Tubería de alimentación.
- Tubería de descarga de concentrado.



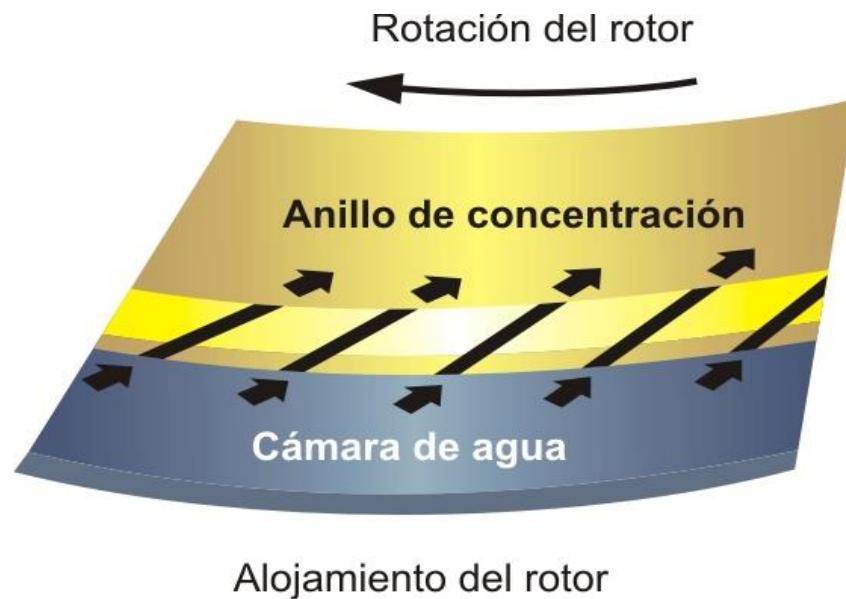
**Figura 6.** Partes Concentrador Knelson

Fuente: Tintaya (2002).

### 2.3.10.2 Funcionamiento del concentrador gravimétrico Knelson KC-XD48

Tintaya (2002).

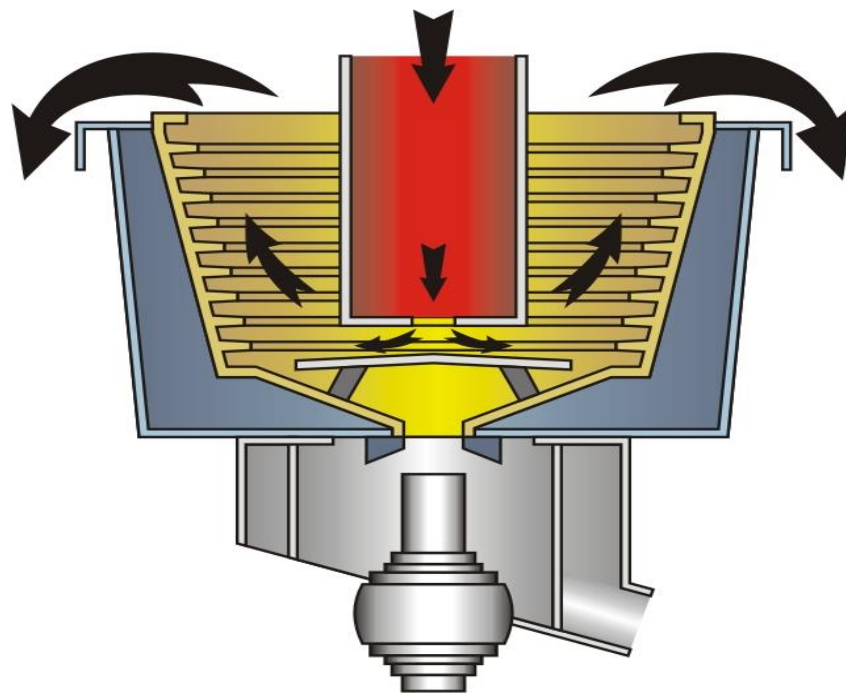
- El agua es introducida desde la cámara de agua a través de una serie de agujeros de fluidización al cono de concentración que está girando.



**Figura 7.** Ingreso de agua al anillo de concentración

Fuente: Tintaya (2002).

- La pulpa es introducida a través del tubo estacionario de alimentación.

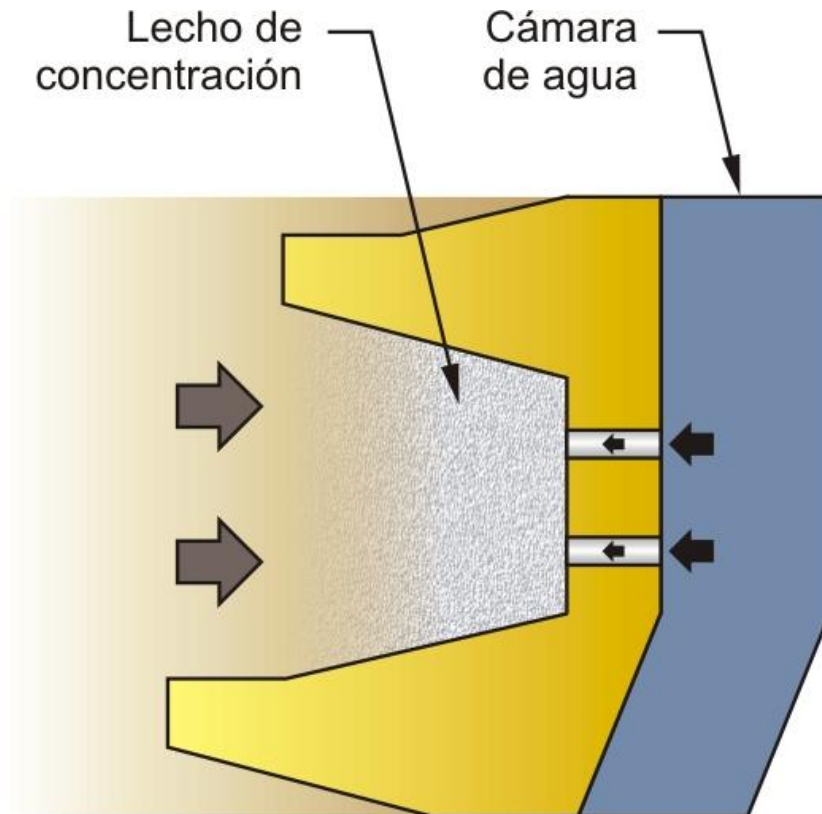


**Figura 8.** Ingreso de pulpa de alimentación

Fuente: Tintaya (2002).



- Cuando la pulpa llega al fondo del cono, estos son forzados por la fuerza centrífuga hacia arriba en la pared interior del cono.
- Los lodos llenan cada anillo de concentración a su capacidad total creando una cama de concentrado.
- La compactación de la cama de concentración se evita por medio del proceso patentado de fluidización, a medida que la presión de agua es inyectada a través de los orificios de fluidización hacia los anillos. Se controla el flujo de agua para alcanzar fluidificación óptima, esta inyección es tangencial y contraria al sentido de giro de las agujas del reloj.
- Durante la operación el ensamblaje entero del rotor gira en una dirección de las agujas del reloj una velocidad de 320 RPM lo que permite que las partículas con alto peso específico sean retenidas en el cono del concentrador.
- La duración del ciclo de concentración se determina mediante pruebas experimentales (2 min), esta dependerá del grado de molienda y la ocurrencia mineralógica.
- Cuando se concluye el ciclo la descarga del concentrado puede ser manual o automática, parándose el cono de concentración tan pronto el rotor deje de girar, la válvula de flujo de fluidización se abre por algunos segundos, esto permitirá desalojar el concentrado de cada anillo (agua de lavado).



**Figura 9.** Sección del anillo de concentración

Fuente: Tintaya (2002).

### 2.3.11 Variables de operación

Tintaya (2002) las principales variables de operación son:

- Flujo de agua de fluidización
- Ciclo de concentración

#### 2.3.11.1 Flujo de agua de fluidización

Julca y Ortiz (2017) es tu tesis de grado menciona:



### 2.3.11.1.1 Definición y descripción de fluidización

La fluidización se define como un proceso en el que, en un lecho con partículas sólidas, se hace pasar un fluido hasta lograr una mezcla homogénea entre las partículas y el fluido.

Un lecho de partículas sueltas, ofrece resistencia a un flujo que fluye a través de él. Mientras la velocidad del fluido aumenta, las fuerzas de fricción ejercidas en las partículas aumentan. Si el fluido, fluye hacia abajo a través de un lecho de partículas, tenderá a compactarlo. Sin embargo, si el fluido fluye hacia arriba a través del lecho, la fuerza de arrastre, causará que las partículas tiendan a cambiar su arreglo dentro del lecho, para ofrecer menor resistencia al flujo del fluido, A menos de que el lecho este compuesto de partículas grandes el lecho se expandirá.

Con un mayor incremento en la velocidad del fluido, la expansión continúa y se alcanzará un estado, donde la fuerza de arrastre ejercidas en las partículas será suficiente para soportar el peso de la propia partícula. En este estado, el sistema partícula/fluido se comportará como fluido y fluirá bajo una cabeza hidrostática. Este es el estado de fluidización incipiente.

La técnica de fluidización es generalmente aplicable a materiales granulares; esto se refiere a sólidos dentro de un rango de tamaño entre 10 micras y 3 mm, lo que incluye dos clases principales, sólidos en polvo y granulares. Sólidos en polvo se refiere a sólidos compuesto de partículas de hasta 100 micras, con más subdivisiones tales como polvos ultra finos (0.-1.0 micras), superfinos (1-10 micras) o granulares (10-100 micras). Un sólido granular, este compuesto de material de entre 100 y 300 micras de tamaño.





#### **2.3.11.1.2 Unidades – galones por minuto**

La unidad con la que se mide el flujo de agua de fluidización o presión es GPM (Galones por minuto), la cual significa que cuantos galones de agua ingresa al Knelson en un tiempo de un minuto.

#### **2.3.11.1.3 Tipo de agua en la fluidización**

El suministro de agua de fluidización deberá ser relativamente limpio y libre de cantidades grandes de sedimentos suspendidos u orgánicos.

#### **2.3.11.1.4 Determinación del flujo de fluidización**

La determinación correcta de agua de fluidización o presión de operación para el concentrador Knelson es un proceso simple que se requiere para experimentaciones iniciales. El óptimo rango de agua de fluidización dependerá generalmente después de una serie de pruebas con esta variable.

Durante el ciclo de concentración, la presión de operación normalmente incrementara, es importante realizar el seguimiento de esta presión para prevenir cualquier centrifugación de elementos a la cavidad de agua del cono de concentración.

El siguiente procedimiento es más exacto para la determinación ideal de flujo de agua de fluidización:

- Ingresar el rango de flujo de agua de fluidización.
- Arrancar el concentrador Knelson siguiendo todos los procedimientos de arranque.
- Identificar o marcar los contenedores de muestras que corresponde a cada rango de flujo



- Cada 15 minutos tomar muestras de cabeza, asegurándose que no se contamine las muestras.
- Parar el concentrador después de un ciclo, y descargar el concentrado, muestrearlo mediante un procedimiento de muestreo más exacto “reducción por incrementos”.
- Mandar a análisis químico por la ley de oro, y analizar los resultados de la cabeza, concentrado y (relave) para cada flujo y/o presión de operación observando la mejor recuperación.

### **2.3.11.2 Duración del ciclo de concentración**

#### **2.3.11.2.1 Definición**

El tiempo es una magnitud física fundamental, el cual puede ser medido utilizando un proceso periódico, entendiéndose como un proceso que se repite de una manera idéntica e indefinidamente. Las unidades de tiempo son: segundo, min y horas.

Entonces el ciclo de concentración significa cuanto es el tiempo de proceso concentración en el Knelson.

#### **2.3.11.2.2 Unidades –minutos**

La unidad con la que se mide el ciclo de concentración son los (minutos), la cual significa que cuantos en cuantos minutos se realiza la descarga del concentrado en el Knelson.

#### **2.3.11.2.3 Determinación del ciclo de concentración**

La determinación del tiempo de ciclo de concentración involucra varias pruebas de intervalos de concentración durante el trabajo de la máquina. El ciclo de



concentración óptimo se determinará después de analizar las recuperaciones en cada intervalo de operación de prueba. Bajo ciertas condiciones, los niveles de recuperación pueden ocasionalmente caer ligeramente antes de tener un concentrado enriquecido a un grado aceptable.

## **2.4 CIRCUITO GRAVIMÉTRICO EN LA PLANTA CONCENTRADORA**

Tintaya (2002) cita, la planta concentradora cuenta con un Concentrador Knelson KC-XD48, cuya capacidad de tratamiento es de aprox. 100 TM/Hr. El flujo de alimentación en forma de pulpa ingresa a través de una canaleta de tipo “Cucharón” que toma un porcentaje de la carga circulante del molino (underflow ciclón) hacia una zaranda vibratoria Deister 8’x3’ de 100 TMS/Hr de tratamiento, cuya abertura de malla es de 3mm x 16 mm. El producto grueso (+3mm OVERSIZE) es descargado en el cajón de alimentación de carga al molino; el producto fino (UNDERSIZE –3mm) descarga directamente al concentrador Knelson. Los relaves de éste son retornados al cajón de descarga del molino, los cuales nuevamente son bombeados hacia los ciclones D-26 del molino. El concentrado final rougher se obtiene en forma intermitente por ciclos de concentración predeterminados en un tanque de almacenamiento primario para luego descargar en sacos de que permiten filtrar el agua remanente producto del lavado que realiza en forma automática el concentrador, éstos son transportados hacia una zona de almacenamiento general de concentrado gravimétrico, aquí se realiza el muestreo del concentrado por el método de “reducción por incrementos” para determinar la humedad y análisis químico del metal precioso, se muestra el diagrama de flujo en el anexo C.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL EXPERIMENTAL

##### 3.1.1 Materia prima

La materia prima usada en esta investigación para la optimización del concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 es procedente del yacimiento Anta del STOCK 3A y STOCK 3B, minerales sulfurados de Cobre como la Calcopirita ( $\text{FeS}_2\text{Cu}$ ) con presencia de oro nativo en su mineralogía y otros minerales como la Calaverita ( $\text{AuTe}_2$ ), Krennerita ( $(\text{Au, Ag})\text{Te}_2$ ), Silvanita ( $\text{AgAuTe}_4$ ), Estibina ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), con porcentajes de: Cu (56.23%), Au (8.05%), Ag (6.38%), Fe (4.40%) y otros como insoluble (24.94%).

#### 3.2 EQUIPOS Y MATERIALES

##### 3.2.1 Equipo

- Concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48.
- Balanza
- Horno de secado
- Divisor de pulpa
- Pulverizador
- Laptop



### **3.2.2 Materiales**

- Baldes de 20 l de capacidad.
- Saco de polipropileno de 50 kg de capacidad.
- Muestreador de cuchara de 500 ml de capacidad.
- Cachimbo de 500 ml de capacidad.
- Bandejas De Porcelana de 1000 g de capacidad.
- Brocha.
- Espátula.
- Sobres.
- Papel Craft tamaño A4
- Plumón.
- Lapicero.

### **3.2.3 Equipo de protección personal**

- Guantes De Cuero De Caña Larga.
- Guantes De Neopreno.
- Guantes De Nitrilo.
- Lentes De Seguridad.
- Casco 3M.
- Respirador contra polvo.



- Tapón se oídos.
- Zapatos de seguridad.

### **3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental, se basa en el diseño de pruebas experimentales mediante la toma de muestras representativas del concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para las variables identificadas, y luego ser analizadas en laboratorio químico de Tintaya.

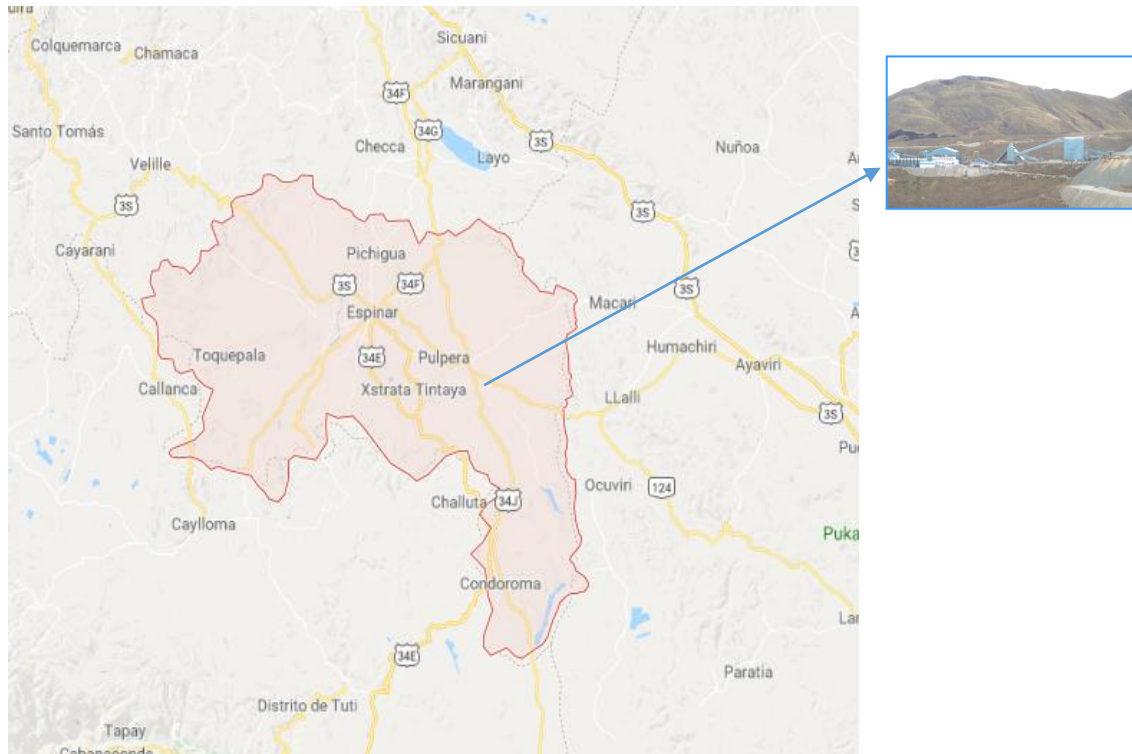
Como base estadística se utilizó Microsoft Excel y para el diseño de experimentos utilizamos Statgraphics Centurion XVI, con ello determinamos el comportamiento y efectos de cada variable permitiendo la elaboración de las conclusiones de la optimización del concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 para la obtención de concentrado de oro en la Planta Concentradora Tintaya.

#### **3.3.1 Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta concentradora Tintaya ubicada en la región de Cusco, distrito de Yauri, provincia de Espinar.

##### **3.3.1.1 Ubicación de la planta concentradora**

La planta concentradora TINTAYA está ubicado a 30 minutos del Distrito de Yauri, Provincia de Espinar, Departamento de Cusco, a una altitud promedio de 4 100 m.s.n.m.



**Figura 10.** Mapa de la Provincia de Espinar

Fuente: Google maps (2018).

### 3.3.2 Procedimiento experimental

Para el procedimiento experimental, identificamos las variables que afectan en la recuperación de oro en la planta concentradora Tintaya.

- Flujo de agua de fluidización.
- Flujo de alimentación.

### 3.3.3 Diseño de pruebas experimentales

#### 3.3.3.1 Pruebas para la determinación del flujo de agua de fluidización y ciclo de concentración

La determinación correcta de agua de fluidización o presión de operación para el concentrador Knelson KC-XD48 es un proceso simple. El óptimo rango de agua de fluidización dependerá generalmente después de una serie de pruebas con esta variable,



para ello realizamos pruebas para diferentes rangos de fluidización desde 160, 180, 200GPM combinando con diferentes ciclos de concentración 60, 120 y 180 min.

### **3.3.3.2 Procedimiento para determinación del flujo de agua de fluidización y ciclo de concentración**

- Ingresamos en el tablero de control del Knelson KC-XD48 el rango de flujo de agua de fluidización.
- Arrancamos el concentrador Knelson KC-XD48 siguiendo todos los procedimientos de arranque. (PET KNELSON)
- Identificamos y marcamos los contenedores de muestras (baldes para muestra de cabeza y relave y saco para el concentrado) que corresponde a cada rango de flujo, el procedimiento de rotulado se puede observar en el ANEXO D.
- Cada 15 minutos tomamos muestras de cabeza y relave, realizando movimientos de zigzag y asegurándonos que no se contaminen las muestras.
- Paramos el concentrador después de un ciclo, y descargamos el concentrado, luego muestreamos mediante un procedimiento de muestreo más exacto, el procedimiento reducción por incrementos se puede observar en el ANEXO E.
- Preparamos la muestra de cabeza, concentrado y relave. (Secado, pulverizado, homogenizado y toma de aprox. 200 g de muestra para cabeza y relave, y 20 g para concentrado, el procedimiento preparación de muestra se puede observar en el ANEXO F.





- Mandamos a análisis químico por la ley de oro, y analizar los resultados de la cabeza, concentrada y relave para cada flujo y/o presión de operación observando la mejor recuperación.

### 3.3.3.3 Deducción de la fórmula de recuperación para los balances metalúrgicos en base a leyes de cabeza, concentrado y relave

$$F = C + T$$

$$Ff = Cc + Tt$$

$$\begin{array}{r} Ff = Cc + Tt \quad (-t) \\ -Ff = Cc - Tt \\ \hline F(f-t) = C(c-t) \end{array}$$

$$\frac{C}{F} = \frac{(f-t)}{(c-t)}$$

$$\% \text{ Recuperacion} = \frac{Cc}{Ff} * 100$$

Reemplazamos y obtenemos la fórmula de recuperación en base a leyes.

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

Donde:

F : Alimentación total mineral (Cabeza)

C : Concentrado total mineral

T : Relave total mineral

f : Ley de cabeza



c : Ley de concentrado

t : Ley de relave

### 3.3.4 Prueba N° 1

#### 3.3.4.1 Rango de flujo de agua de fluidización 160 GPM Y Ciclo 60 minutos

- Se ingresó en el tablero de control del KNELSON KC-XD48 el rango de flujo de agua de fluidización 160 GPM.
- Arrancamos el concentrador KNELSON KC-XD48 controlando el ciclo concentración en este caso será 60 min. (7:00 a.m. - 8:00 a.m.)
- En baldes rotulados de 20 L tomamos muestras de cabeza y relave cada 15 minutos, realizando movimientos de zigzag y asegurándonos que no se contaminen las muestras.

**Tabla 2.** Tiempos de toma de muestra de cabeza y relave 60 min.

Tiempo de toma de muestra cabeza	Tiempo de toma de muestra relave
7:00 a.m.	7:00 a.m.
7:15 a.m.	7:15 a.m.
7:30 a.m.	7:30 a.m.
7:45 a.m.	7:45 a.m.
8: 00 a.m.	8: 00 a.m.

- Paramos el concentrador después de los 60 min, y descargamos el concentrado, luego muestreamos mediante un procedimiento de muestreo más exacto. (Procedimiento reducción por incrementos).



- Preparamos la muestra de cabeza, concentrado y relave. (Secado, pulverizado, homogenizado y toma de aprox. 200 g de muestra para cabeza y relave, y 20 g para concentrado. (Procedimiento preparación de muestra).
- Mandamos a laboratorio químico para análisis ley del oro, reporte de leyes de muestras cabeza, concentrado y relave, (ANEXO G).
- Con los reportes realizamos balance metalúrgico con leyes para obtener el % de recuperación de oro, con la fórmula de recuperación.

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

- Cuadro final recuperación de oro.

**Tabla 3.** Porcentaje recuperación prueba n°1

PRUEBA N°1		FLUJO 160 GPM; CICLO 60 MIN.	
FECHA: 10/10/2016			
MUESTRA	Leyes g Au/t	% Recuperación Au	
CABEZA	0.528		
CONCENTRADO	304.290	24.653	
RELAVE	0.398		

Fuente: Laboratorio químico Tintaya.

### 3.3.5 Prueba N° 2

#### 3.3.5.1 Rango de flujo de agua de fluidización 200 GPM y ciclo 60 minutos

- Se ingresó en el tablero de control del KNELSON KC-XD48 el rango de flujo de agua de fluidización 200 GPM.
- Arrancamos el concentrador KNELSON KC-XD48 controlando el ciclo concentración en este caso será 60 min. (8:00 a.m. - 9:00 a.m.)



- En baldes rotulados de 20 L tomamos muestras de cabeza y relave cada 15 minutos, realizando movimientos de zigzag y asegurándonos que no se contaminen las muestras.
- Paramos el concentrador después de los 60 min, y descargamos el concentrado, luego muestreamos mediante un procedimiento de muestreo más exacto. (Procedimiento reducción por incrementos).
- Preparamos la muestra de cabeza, concentrado y relave. (Secado, pulverizado, homogenizado y toma de aprox. 200 g de muestra para cabeza y relave, y 20 g para concentrado. (Procedimiento preparación de muestra).
- Mandamos a laboratorio químico para análisis ley del oro, reporte de leyes de muestras cabeza, concentrado y relave, (ANEXO H).
- Con los reportes realizamos balance metalúrgico con leyes para obtener el % de recuperación de oro, con la fórmula de recuperación.

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

- Cuadro final recuperación de oro.

**Tabla 4.** Porcentaje recuperación prueba n°2

PRUEBA N°2		FLUJO 200 GPM; CICLO 60 MIN.	
FECHA: 10/10/2016			
MUESTRA	Leyes g Au/t	% Recuperación Au	
CABEZA	0.519		
CONCENTRADO	218.640	21.427	
RELAVE	0.408		

Fuente: Laboratorio químico Tintaya.



### 3.3.6 Prueba N° 3

#### 3.3.6.1 Rango de flujo de agua de fluidización 160 GPM y ciclo 180 minutos

- Se ingresó en el tablero de control del KNELSON KC-XD48 el rango de flujo de agua de fluidización 160 GPM.
- Arrancamos el concentrador KNELSON KC-XD48 controlando el ciclo concentración en este caso será 180 min. (10:00 a.m. - 1:00 p.m.)
- En baldes rotulados de 20 L tomamos muestras de cabeza y relave cada 15 minutos, realizando movimientos de zigzag y asegurándonos que no se contaminen las muestras.
- Paramos el concentrador después de los 180 min, y descargamos el concentrado, luego muestreamos mediante un procedimiento de muestreo más exacto. (Procedimiento reducción por incrementos).
- Preparamos la muestra de cabeza, concentrado y relave. (Secado, pulverizado, homogenizado y toma de aprox. 200 g de muestra para cabeza y relave, y 20 g para concentrado. (Procedimiento preparación de muestra).
- Mandamos a laboratorio químico para análisis ley del oro, reporte de leyes de muestras cabeza, concentrado y relave, (ANEXO I).
- Con los reportes realizamos balance metalúrgico con leyes para obtener el % de recuperación de oro, con la fórmula de recuperación.

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

- Cuadro final recuperación de oro.

**Tabla 5.** Porcentaje recuperación prueba n°3

PRUEBA N°3	FLUJO 160 GPM; CICLO 180 MIN.	
	FECHA: 10/10/2016	
MUESTRA	Leyes g Au/t	% Recuperación Au
CABEZA	0.562	
CONCENTRADO	174.330	17.841
RELAVE	0.462	

Fuente: Laboratorio químico Tintaya.

### 3.3.7 Prueba N° 4

#### 3.3.7.1 Rango de flujo de agua de fluidización 200 GPM y ciclo 180 minutos

- Se ingresó en el tablero de control del KNELSON KC-XD48 el rango de flujo de agua de fluidización 200 GPM.
- Arrancamos el concentrador KNELSON KC-XD48 controlando el ciclo concentración en este caso será 180 min. (1:00 p.m. - 4:00 p.m.)
- En baldes rotulados de 20 L tomamos muestras de cabeza y relave cada 15 minutos, realizando movimientos de zigzag y asegurándonos que no se contaminen las muestras.
- Paramos el concentrador después de los 180 min, y descargamos el concentrado, luego muestreamos mediante un procedimiento de muestreo más exacto. (Procedimiento reducción por incrementos).
- Preparamos la muestra de cabeza, concentrado y relave. (Secado, pulverizado, homogenizado y toma de aprox. 200 g de muestra para cabeza y relave, y 20 g para concentrado. (Procedimiento preparación de muestra).



- Mandamos a laboratorio químico para análisis ley del oro, reporte de leyes de muestras cabeza, concentrado y relave, (ANEXO J).
- Con los reportes realizamos balance metalúrgico con leyes para obtener el % de recuperación de oro, con la fórmula de recuperación.

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

- Cuadro final recuperación de oro.

**Tabla 6.** Porcentaje recuperación prueba n°4

PRUEBA N°4		FLUJO 200 GPM; CICLO 180 MIN.	
FECHA: 10/10/2016			
MUESTRA	Leyes g Au/t	% Recuperación Au	
CABEZA	0.524		
CONCENTRADO	169.570	17.602	
RELAVE	0.432		

Fuente: Laboratorio químico Tintaya.

### 3.3.8 Prueba N° 5

#### 3.3.8.1 Rango de flujo de agua de fluidización 180 GPM y ciclo 120 minutos

- Se ingresó en el tablero de control del KNELSON KC-XD48 el rango de flujo de agua de fluidización 180 GPM.
- Arrancamos el concentrador KNELSON KC-XD48 controlando el ciclo concentración en este caso será 120 min. (4:00 p.m. - 6:00 p.m.)
- En baldes rotulados de 20 L tomamos muestras de cabeza y relave cada 15 minutos, realizando movimientos de zigzag y asegurándonos que no se contaminen las muestras.



- Paramos el concentrador después de los 120 min, y descargamos el concentrado, luego muestreamos mediante un procedimiento de muestreo más exacto. (Procedimiento reducción por incrementos).
- Preparamos la muestra de cabeza, concentrado y relave. (Secado, pulverizado, homogenizado y toma de aprox. 200 g de muestra para cabeza y relave, y 20 g para concentrado. (Procedimiento preparación de muestra).
- Mandamos a laboratorio químico para análisis ley del oro, reporte de leyes de muestras cabeza, concentrado y relave, (ANEXO K).
- Con los reportes realizamos balance metalúrgico con leyes para obtener el % de recuperación de oro, con la fórmula de recuperación.

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

- Cuadro final recuperación de oro.

**Tabla 7.** Porcentaje recuperación prueba n°5

PRUEBA N°5		FLUJO 180 GPM; CICLO 120 MIN.	
FECHA: 10/10/2016			
MUESTRA	Leyes g Au/t	% Recuperación Au	
CABEZA	0.501		
CONCENTRADO	449.012	36.952	
RELAVE	0.316		

Fuente: Laboratorio químico Tintaya.





### 3.3.9 Prueba N° 6

#### 3.3.9.1 Rango de flujo de agua de fluidización 180 GPM y ciclo 60 minutos

- Se ingresó en el tablero de control del KNELSON KC-XD48 el rango de flujo de agua de fluidización 180 GPM.
- Arrancamos el concentrador KNELSON KC-XD48 controlando el ciclo concentración en este caso será 60 min. (6:00 p.m. - 7:00 p.m.)
- En baldes rotulados de 20 L tomamos muestras de cabeza y relave cada 15 minutos, realizando movimientos de zigzag y asegurándonos que no se contaminen las muestras.
- Paramos el concentrador después de los 60 min, y descargamos el concentrado, luego muestreamos mediante un procedimiento de muestreo más exacto. (Procedimiento reducción por incrementos).
- Preparamos la muestra de cabeza, concentrado y relave. (Secado, pulverizado, homogenizado y toma de aprox. 200 g de muestra para cabeza y relave, y 20 g para concentrado. (Procedimiento preparación de muestra).
- Mandamos a laboratorio químico para análisis ley del oro, reporte de leyes de muestras cabeza, concentrado y relave, (ANEXO L).
- Con los reportes realizamos balance metalúrgico con leyes para obtener el % de recuperación de oro, con la fórmula de recuperación.

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

- Cuadro final recuperación de oro.

**Tabla 8.** Porcentaje recuperación prueba n°6

PRUEBA N°6	FLUJO 180 GPM; CICLO 60 MIN.	
	FECHA: 10/10/2016	
MUESTRA	Leyes g Au/t	% Recuperación Au
CABEZA	0.507	
CONCENTRADO	353.710	27.445
RELAVE	0.368	

Fuente: Laboratorio químico Tintaya.

### 3.3.10 Diseño experimental

En la presente investigación se realizó el Diseño Factorial  $2^2$  con dos puntos centrales con lo que se desea encontrar los parámetros adecuados de cada variable para obtener un porcentaje de recuperación óptimo en el KNELSON KC-XD48, manejando las siguientes variables: Flujo de fluidización y tiempo de concentración para lo cual se empleó el programa de simulación llamado “STATGRAPHICS XVI”. Para conocer el proceso experimental se procedió de la siguiente manera.

Se manejaron como variables.

**Tabla 9.** Cuadros de variables

VARIABLES	BAJO	ALTO	UNIDADES
FLUJO	160	200	GPM
TIEMPO	60	180	MIN

De acuerdo a las variables realizamos el diseño factorial  $2^2$  con dos puntos centrales, al trabajar con estos valores en el programa Statgraphics nos da el número de pruebas a ejecutar en este caso 6.

**Tabla 10.** Diseño factorial

PRUEBA	COMBINACIÓN	VARIABLES CODIFICADA		VARIABLES REALES		% RECUPERACIÓN
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	FLUJO	TIEMPO	
1	1	-	-	160	60	24.65
2	a	+	-	200	60	21.43
3	b	-	+	160	180	17.84
4	ab	+	+	200	180	17.6
5		o	o	180	120	36.95
6		o	o	180	60	27.45

### 3.3.10.1 Efectos estimados para la recuperación de oro (%)

**Tabla 11.** Statgraphics

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	24.32	4.39136	
A:FLUJO	-1.73	10.7566	1.0
B:TIEMPO	-5.32	10.7566	1.0
AB	1.49	10.7566	1.0

### 3.3.10.2 Análisis de varianza para recuperación

**Tabla 12.** Statgraphics

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	fo
A:FLUJO	2.9929	1	2.9929	0.03
B:TIEMPO	28.3024	1	28.3024	0.24
AB	2.2201	1	2.2201	0.02
Error total	231.408	2	115.704	
Total (corr.)	264.924	5		

### 3.3.10.3 Resultados estimados para recuperación

**Tabla 13.** Statgraphics

<b>Fila</b>	<b>y experimental</b>	<b>y calculada</b>	<b>Residuo</b>
1	24.65	27.845	-3.195
2	21.43	26.115	-4.685
3	17.84	22.525	-4.685
4	17.6	20.795	-3.195
5	36.95	24.32	12.63
6	27.45	24.32	3.13

### 3.3.10.4 Pendiente ascendente – descendente para recuperación de oro

**Tabla 14.** Statgraphics

<b>FLUJO</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>Predicción para RECUPERACION</b>
(GPM)	(MIN)	(%)
180	120	24.32
178.848	110	24.8203
177.564	100	25.3423
176.153	90	25.888
174.624	80	26.4593
172.983	70	27.058
171.237	60	27.6854

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES

##### 4.1.1 Flujo de agua de fluidización y ciclo de concentración

Se realizaron pruebas a diferentes rangos de agua de fluidización, desde 160, 180 y 200 GPM combinando con diferentes tiempos de concentración 60, 120 y 180 min, obteniendo como resultado:

**Tabla 15.** Recuperación pruebas Knelson

N° PRUEBA	VARIABLES		Ley g de Au / t			%RECUPERACION
	FLUJO GPM	CICLO MIN	CAB.	CONC.	RLV.	
PRUEBA N° 1	160	60	0.528	304.290	0.398	24.653
PRUEBA N° 2	200	60	0.519	218.640	0.408	21.427
PRUEBA N° 3	160	180	0.562	174.330	0.462	17.841
PRUEBA N° 4	200	180	0.524	169.570	0.432	17.602
PRUEBA N° 5	180	120	0.501	449.012	0.316	36.952
PRUEBA N° 6	180	60	0.507	353.710	0.368	27.445

Los resultados claramente nos indican que a menores flujos de agua de fluidización se obtienen mayores recuperaciones, teniendo en cuenta de que flujos menores a 180 GPM ocasionarían compactación del material por centrifugación, no permitiendo alcanzar el equilibrio entre las fuerzas que interactúan en el concentrador Knelson para una óptima recuperación. Se observa en el resultado de estas pruebas una marcada tendencia en donde la recuperación se mantiene constante a partir de los 60 min de ciclo de concentración, más allá de este tiempo de concentración es innecesario concentrar, ya que se observa recuperaciones bajas.

## DISCUSIÓN

## RECUPERACIÓN KNELSON ANTES DE LAS PRUEBAS METALURGICAS

**Tabla 16.** Recuperación antes de las pruebas Knelson

MUESTRA	Leyes g Au/t	% Recuperación Au
CABEZA	0.502	
CONCENTRADO	129.010	12.593
RELAVE	0.439	

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas experimentales, se observa claramente el aumento del % de recuperación controlando las variables de operación llegando hasta máximos de 36,952% y 27.445%, diferenciándose con el porcentaje de recuperación que tenía anteriormente del 12.593% trabajando a rangos de: flujo de agua de fluidización 200 GPM y ciclo de concentración de 120 MIN.

Las óptimas variables de operación las determinaremos con el programa de simulación “STATGRAPHICS XVI”.

## 4.2 ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

De acuerdo al diseño de experimentos en “STATGRAPHICS XVI”, analizamos los resultados:

### 4.2.1 Análisis de los efectos estimados para la recuperación de oro (%)

**Tabla 17.** Statgraphics

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	24.32	4.39136	
A:FLUJO	-1.73	10.7566	1.0
B:TIEMPO	-5.32	10.7566	1.0
AB	1.49	10.7566	1.0

### ANÁLISIS:

A: FLUJO: Se tiene un efecto negativo lo que significa que se debe trabajar cerca al rango mínimo.

B: TIEMPO: De la misma manera observamos un efecto negativo lo que significa que se debe trabajar cerca al rango mínimo.

AB: La interacción AB es positivo lo que significa que si existe interacción en las variables.

#### 4.2.2 Análisis de varianza para recuperación

Tabla 18. Statgraphics

Fuente	Suma Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	fo
A:FLUJO	2.9929	1	2.9929	0.03
B:TIEMPO	28.3024	1	28.3024	0.24
AB	2.2201	1	2.2201	0.02
Error total	231.408	2	115.704	
Total (corr.)	264.924	5		

### ANÁLISIS:

La manera precisa y estadística de medir la importancia de la variable es por el teorema de Cochran que se resume en la siguiente expresión.

$$F_o = \frac{MS \text{ efectos}}{MS \text{ error}}$$

MODELO MATEMÁTICO CON VARIABLES REALES.

$$RECUPERACION = 37.425 - 0.04325*FLUJO - 0.0443333*TIEMPO$$

### 4.2.3 ANÁLISIS DE RESIDUOS

Tabla 19. Statgraphics

Fila	y experimental	y calculada	Residuo	R <sup>2</sup>
1	24.65	27.845	-3.195	10.208025
2	21.43	26.115	-4.685	21.949225
3	17.84	22.525	-4.685	21.949225
4	17.6	20.795	-3.195	10.208025
5	36.95	24.32	12.63	159.5169
6	27.45	24.32	3.13	9.7969
				233.6283

#### ANÁLISIS:

#### SUMA DE CUADROS DEL RESIDUO

$$SSMR = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{exp.} - Y_{calc})^2}{N - tm}$$

Donde:

SSMR : Suma de cuadrados de residuos

N : Numero de pruebas

Y<sub>exp.</sub> : % recuperación experimental

Y<sub>calc.</sub> : % recuperación de acuerdo al modelo matemático

tm : Número de términos del modelo

Reemplazamos los datos en la fórmula de suma de cuadros de residuo para determinar si el modelo matemático se ajusta a los datos experimentales.





$$SSMR = \frac{233.6283}{6 - 3} = 77.88$$

VARIABLE Fo

$$F_o = \frac{SSMR}{MS \text{ error}}$$

Reemplazamos datos en la fórmula:

$$F_o = \frac{77.88}{115.704} = 0.67$$

GRADOS DE LIBERTAD DEL RESIDUO

$$gl_R = N - tm$$

Reemplazamos datos en la formula.

$$gl_R = 6 - 3 = 3$$

El modelo es adecuado si:  $F_o < F(\alpha; gl_R; gl_E)$ .

Donde:

Fo : Variable.

$\alpha$  : 95% de significancia.

gl<sub>R</sub> : Grados de libertad del residuo.

gl<sub>E</sub> : Grados de libertad del error.

Reemplazamos datos de la investigación; ( $\alpha=0.05$ ; gl<sub>R</sub>=3; gl<sub>E</sub>=2)

$$0.67 < F(0.05; 3; 2)$$

$$0.67 < 19.2$$



Se concluye que el modelo matemático se ajusta a los datos experimentales.

#### 4.2.4 Análisis pendiente ascendente – descendente para recuperación de oro

**Tabla 20.** Statgraphics

<b>FLUJO (GPM)</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>Predicción para RECUPERACION (%)</b>
180	120	24.32
178.848	110	24.8203
177.564	100	25.3423
176.153	90	25.888
174.624	80	26.4593
172.983	70	27.058
171.237	60	27.6854

#### ANÁLISIS

Aplicando la pendiente descendente obtenemos 27.685% de recuperación de oro trabajando con un flujo de 171.24 GPM y un tiempo de 60 MIN.

Estos % de recuperación de la pendiente ascendente – descendente se obtienen reemplazando en el modelo matemático con variables reales obtenida en el análisis de varianza para recuperación del programa. Ejemplo:

#### MODELO MATEMÁTICO CON VARIABLES REALES.

$$\% \text{ RECUPERACION} = 37.425 - 0.04325 * \text{FLUJO} - 0.0443333 * \text{TIEMPO}$$

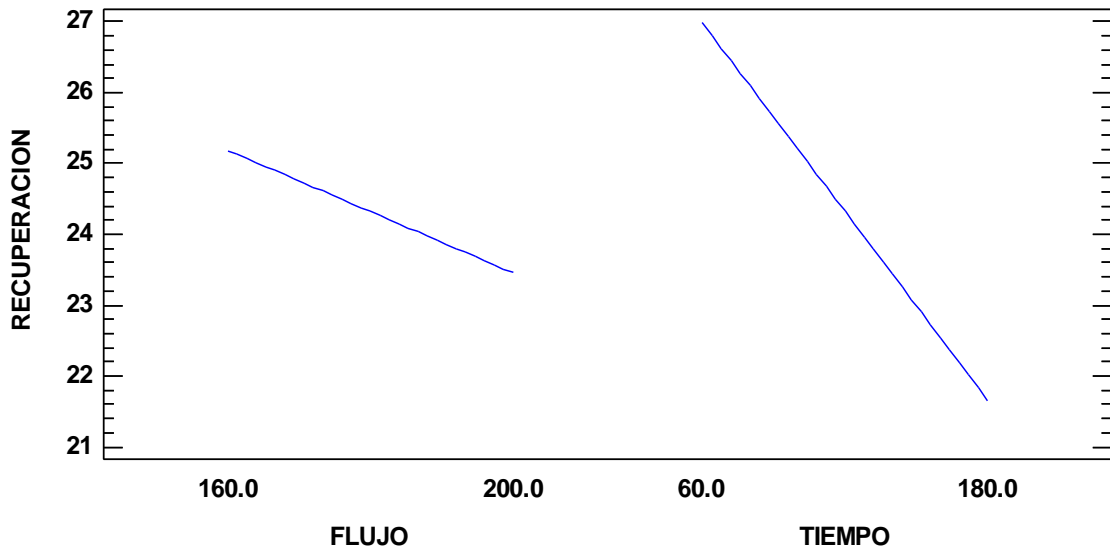
Reemplazamos:

$$\% \text{ RECUPERACION} = 37.425 - 0.04325 * 180 - 0.0443333 * 120$$

% RECUPERACION = 24.32 %

#### 4.2.5 Análisis de gráficos

##### 4.2.5.1 Gráfico de efectos principales para la recuperación



**Figura 11.** Gráfico de efectos principales para la recuperación - Statgraphics

#### ANÁLISIS

De acuerdo al gráfico de recuperación se puede concluir que se obtiene mayor recuperación si trabajamos a un tiempo mínimo de 60 minutos.

#### 4.2.5.2 Gráfico de interacción para la recuperación

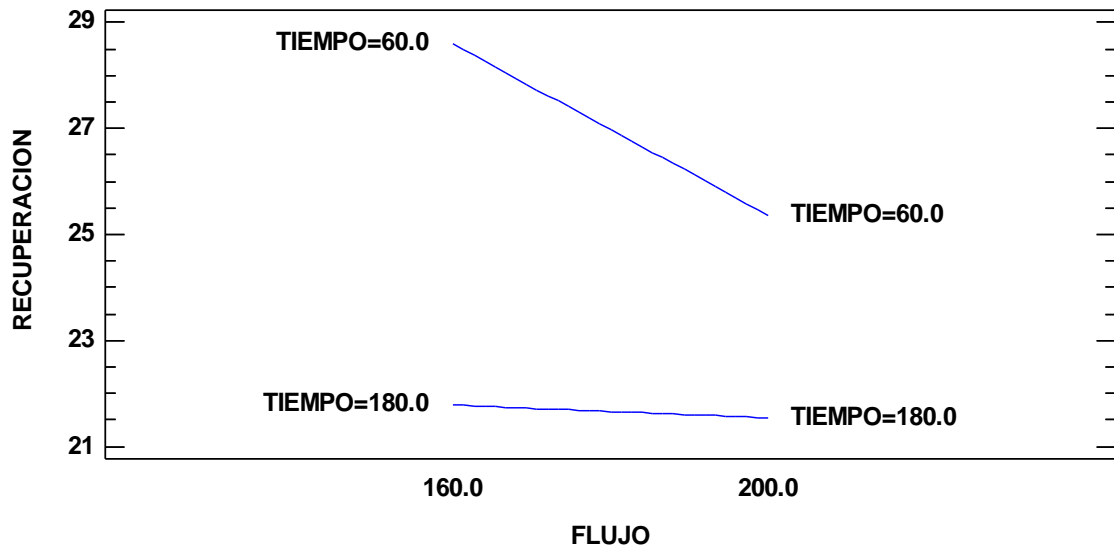


Figura 12. Gráfico de interacción para la recuperación – Statgraphics

#### ANÁLISIS

De acuerdo al gráfico de interacción para la recuperación se puede concluir que a menor tiempo 60 minutos y un flujo de 171 GPM se obtiene mejores recuperaciones.

#### 4.2.5.3 Gráfico de superficie estimada

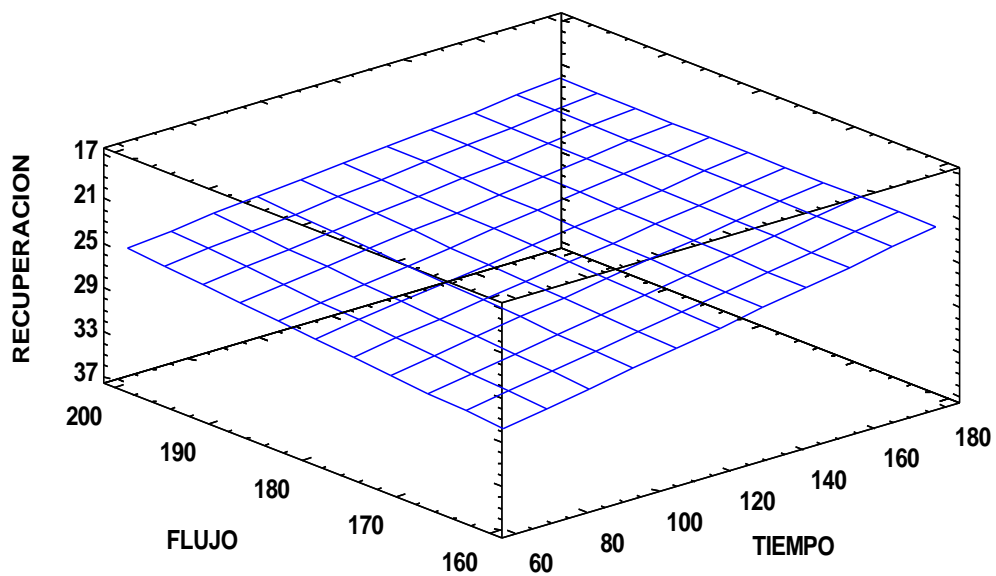


Figura 13. Gráfico de superficie estimada - Statgraphics



## **DISCUSION FINAL**

Según los antecedentes en la planta concentradora Tintaya se tiene una recuperación de oro de 51.76% y optimizando el concentrador gravimétrico KNELSON KC-XD48 aumentamos un 27.69% de recuperación de oro teniendo un total de 79.443%, trabajando a un flujo de fluidización de 171.24 GPM, en un ciclo de concentración de 60 minutos.



## V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los estudios realizados se obtienen resultados en las pruebas experimentales para lo cual podemos determinar que, si es posible optimizar el concentrador gravimétrico Knelson KC-XD48, con ayuda del programa de simulación Statgraphics obtenemos un máximo de 27.69% de recuperación de oro, aumentado un 15.10% de recuperación a diferencia del 12.59 % que se obtenía a rangos inadecuados.
- Se realizaron pruebas a distintos rangos de agua de fluidización 160, 180 y 200 GPM, introduciendo los datos al programa de simulación Statgraphics, se obtuvieron resultados óptimos trabajando a 171.246 GPM teniendo mayor recuperación a 27.69 %, a diferencia de lo que se obtenía trabajando a 200 GPM teniendo un porcentaje deficiente de 12.59%.
- Asimismo, se realizaron pruebas a diferentes ciclos de concentración de 60, 120 y 180 min, se obtuvo un óptimo ciclo de concentración trabajando a un tiempo de 60 minutos, obteniendo una máxima recuperación 27.69% a diferencia de lo que se trabajaba anteriormente con un ciclo de 120 minutos teniendo un porcentaje deficiente de 12.59%.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con la investigación, continuar realizando pruebas a los parámetros del KNELSON KC-XD48.
- Respecto al flujo de fluidización se recomienda no manejar rangos de alimentación encima de lo sugerido ya que resultara perdidas en la recuperación durante el periodo de sobrealimento, si se desea cambiar rangos se recomienda realizar pruebas.
- Durante el ciclo de concentración, la presión de operación normalmente incrementara, se recomienda realizar seguimiento de esta presión para prevenir cualquier centrifugación de elementos a la cavidad de agua del cono de concentración.
- Se recomienda ver la dureza del mineral para evitar atoros en la zaranda del KNELSON KC-XD48.
- Para las pruebas de toma de muestra tener cuidado con contaminar la muestra, siempre usar los accesorios destinados para la preparación de muestra.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A. (2006). *Tecnología de la concentración centrífuga*. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Bolivia.
- Bustamante, Á. (2012). *Lixiviación de cobre con EDTA en minerales oxidados de cobre de la Compañía Minera Tintaya Antapaccay*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Bustamante, O., Gaviria, A. C. y Restrepo, O. J. (2008). *Concentración de minerales*. Instituto de Minerales Cimex, Colombia.
- Canahui, A. E. (2014). *Recuperación de mineral oxidado valioso del relave de la planta concentradora de Tiquillaca – Puno*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Carbajal, M. y Chávez, B. (2015). *Estudio del concentrador gravimétrico helicoidal hecho con fibra de vidrio y sus parámetros de funcionamiento*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Choquenaira, V. (1999). *Gold gravity recovery in copper circuits BHP Tintaya*. Investigación presentada en el VIII National Metallurgical Convention, Perú.
- Concha, H. I. (2017). *Estudio de la concentración gravimétrica de minerales auríferos en un Jig de Laboratorio*. (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Edgardo, R. (2015). *Recuperación gravimétrica de Au en el proceso de flotación de sulfuros masivos*. (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México.





- Enríquez, Y. M. (2015). *Recuperación de oro por gravimetría del mineral proveniente del Distrito Minero Nambija-Condominio Norte*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- Hinojosa, O. (2016). Concentración gravimétrica de menas auríferas. *Revista Metalúrgica*. (38), 38-50.
- Julca, V. y Ortiz, B. (2017). *Recuperación de oro en minerales sulfurados de baja ley en la provincia de Casma*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Peru.
- Llampi, S. L. (2013). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta gravimétrica de concentración de oro aluvial en Tingo María*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Muños, J. E. (2015). *Influencia de la fuerza de rotación gravimétrica del mineral con alta concentración de alabandita de la U.P.Uchuzchacua*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Navarro, M. G. (2017). *Estudio de la recuperación de oro aluvial en concentrador Falcon en la cooperativa minera Limata Ananea – Puno*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- Nuñez, C. (2018). *Optimización de la flotación del cobre - oro utilizando el colector Mbt en la planta de tratamiento de minerales Corporación Agrominero San Hilarion SAC. - Nazca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.



- Palomino, Á. E. y Ramos, O. R. (2008). *Evaluación en la recuperación del oro y plata a partir de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo*. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor De San Marcos, Perú.
- Parillo, M. A. (2014). *Estudio metalúrgico de minerales de oro del sector Limbani – Región Puno*. (Tesis de pregrado). Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Patiño, C. A. (2003). *Mejoramiento del control químico analítico en la extracción metalúrgica del oro y de la plata en los Laboratorios del Grupo de Investigación en Minerales Biohidrometalurgia y Ambiente de la UIS*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Quintuña, J. C. (2014). *Enriquecimiento de pasivos ambientales del distrito minero Portovelo-Zaruma, sector “El Pache”, mediante concentración gravimétrica centrífuga*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- Tintaya (2002). *Manual de operación de procesos-sub fase molienda sulfuros*. Sección 3000 Descripción del proceso. Cuzco, Perú.
- Tobón, C. M. (2013). *Estudio de la hidrofobicidad de oro nativo y su efecto en la flotación espumante directa*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia
- Valderrama, L., Santander, M., Ossandon, J. y Olguín, D. (2012). Recuperación de oro grueso en concentrador centrífugo Knelson. *Revista de la Facultad de Ingeniería*. (28), 35-41.



Vilcapoma, J. Johnathan, R. y Chavez, P. Z. (2012). *Pruebas experimentales a nivel de laboratorio de concentración gravimétrica y flotación de minerales de oro en la planta concentradora "Caselita" en Condoroma - Cuzco.* (Tesis de pregrado).  
Universidad Nacional del Centro del Perú.



# ANEXOS



## LISTA DE ANEXOS


- ANEXO A : Reporte análisis oro planta concentradora Tintaya (cabeza, concentrado y relave)
- ANEXO B : Reporte análisis oro Knelson planta concentradora Tintaya antes de las pruebas (cabeza, concentrado y relave)
- ANEXO C : Diagrama de flujo del concentrador Knelson.
- ANEXO D : Procedimiento rotulado.
- ANEXO E : Procedimiento reducción por incrementos.
- ANEXO F : Procedimiento preparación de muestras.
- ANEXO G : Reporte de leyes laboratorio químico - Prueba 1
- ANEXO H : Reporte de leyes laboratorio químico - Prueba 2
- ANEXO I : Reporte de leyes laboratorio químico - Prueba 3
- ANEXO J : Reporte de leyes laboratorio químico - Prueba 4
- ANEXO K : Reporte de leyes laboratorio químico - Prueba 5
- ANEXO L : Reporte de leyes laboratorio químico - Prueba 6
- ANEXO M : Vistas fotográficas.



ANEXO A

REPORTE ANALISIS ORO PLANTA CONCENTRADORA TINTAYA

(CABEZA, CONCENTRADO Y RELAVE)


 <p>Laboratorio Químico      Campamento Minero Tintaya s/n Cuzco Tel: +51-84-30160 A Anexo - 2438</p>		<p><b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>N° SGC-INF-MS-00001-15</b></p>	
<b>Ciente:</b>	Metallurgia	<b>Cantidad de Muestras</b>	<b>3</b>
<b>Dirección:</b>	Campamento Minero Tintaya	<b>Fecha de Recepción:</b>	<b>29/08/2016</b>
<b>Solicitado por:</b>	Laboratorio Metallurgico	<b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>08/09/2016</b>
<b>Tipo de muestra:</b>	Concentrado, Cabeza, Relave Planta Tya	<b>N° IA:</b>	<b>6212</b>
<b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b>	Muestras en sobre de papel		
<b>N° de Orden de Trabajo:</b>	<b>PI TIN-0086</b>		
<b>Item</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Au g/TM</b>	
1	CABEZA/PLANTA TYA/28-08-16	0.511	
2	CONCENTRADO/PLANTA TYA/28-08-16	3.994	
3	RELAVE/PLANTA TYA/28-08-16	0.264	



**ANEXO B**

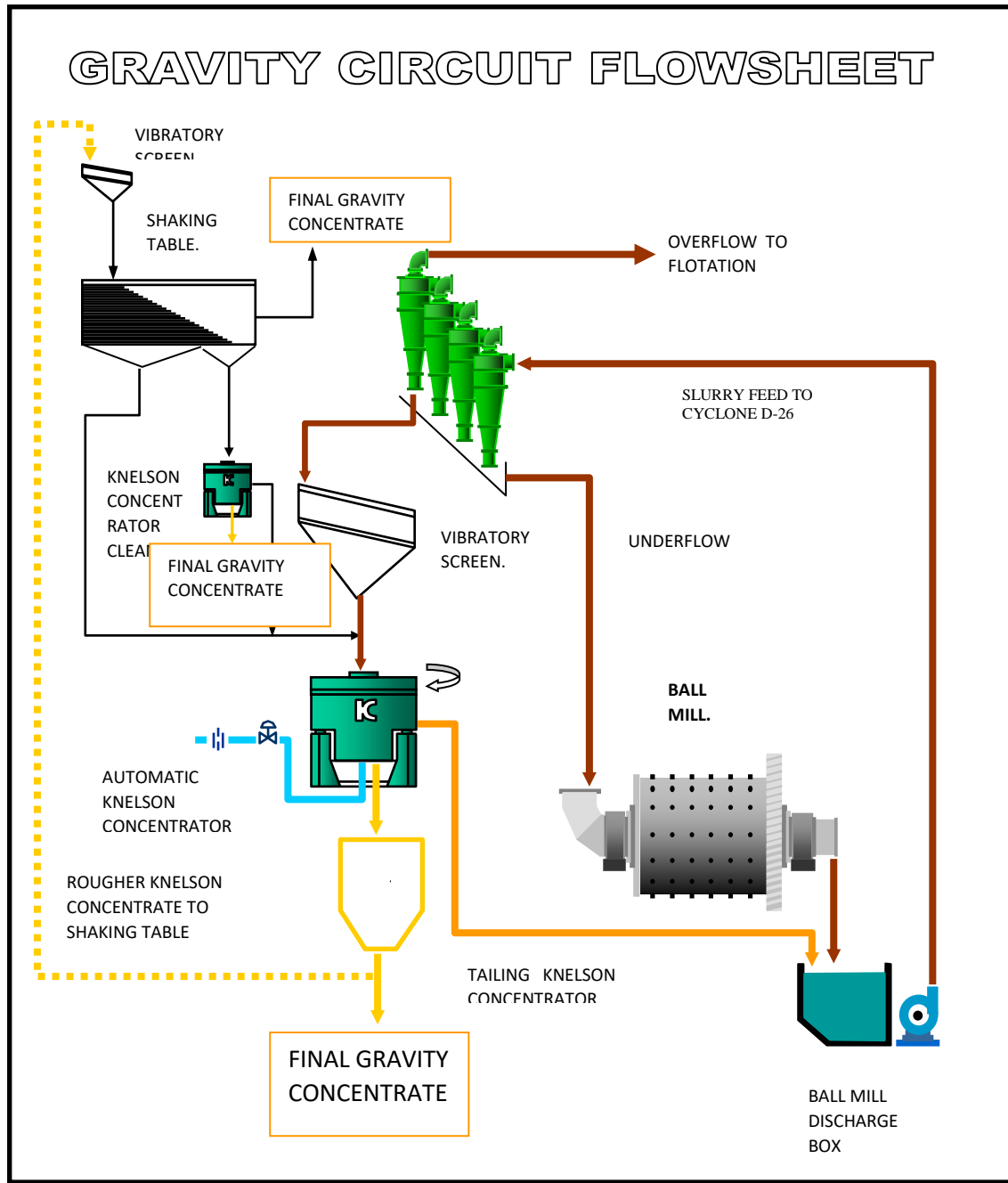
**REPORTE ANALISIS ORO KNELSON PLANTA CONCENTRADORA**

**TINTAYA ANTES DE LAS PRUEBAS (CAB, CONC Y RELAVE)**

 Laboratorio Químico Campamento Minero Tintaya s/n Cuzco Tel: +5184-301150 Anexo - 2438		<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>N° SGC-INF-MS-00001-21</b>													
<b>Cliente:</b> <b>Dirección:</b> <b>Solicitado por:</b> <b>Tipo de muestra:</b> <b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b> <b>N° de Orden de Trabajo:</b>	Metalurgia Campamento Minero Tintaya Laboratorio Metalurgico Concentrado, Cabeza, Relave Knelson Muestras en sobre de papel <b>PI TIN-0088</b>	<b>Cantidad de Muestras</b> <b>3</b> <b>Fecha de Recepción:</b> 08/09/2016 <b>Fecha de Ensayo:</b> 26/09/2016 <b>N° IA:</b> 7015													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Código de muestra</th> <th>Au g/TM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CABEZA/KNELSON/08-09-16 CABEZA</td> <td>0.502</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>CONCENTRADO/KNELSON/08-09-16 CONCENTRADO</td> <td>129.010</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>RELAVE/KNELSON/08-09-16 RELAVE</td> <td>0.439</td> </tr> </tbody> </table>	Item	Código de muestra	Au g/TM	1	CABEZA/KNELSON/08-09-16 CABEZA	0.502	2	CONCENTRADO/KNELSON/08-09-16 CONCENTRADO	129.010	3	RELAVE/KNELSON/08-09-16 RELAVE	0.439			
Item	Código de muestra	Au g/TM													
1	CABEZA/KNELSON/08-09-16 CABEZA	0.502													
2	CONCENTRADO/KNELSON/08-09-16 CONCENTRADO	129.010													
3	RELAVE/KNELSON/08-09-16 RELAVE	0.439													

## ANEXO C

### DIAGRAMA DE FLUJO DEL CONCENTRADOR KNELSON





## ANEXO D

### PROCEDIMIENTO ROTULADO

Para el rotulado de los contenedores de muestra requerimos de plumón resistente al agua para que no se borre mientras tomamos las muestras.

Primero: Rotulamos los baldes de 20 L para las muestras de cabeza y relave del mismo modo el ciclo que corresponda.

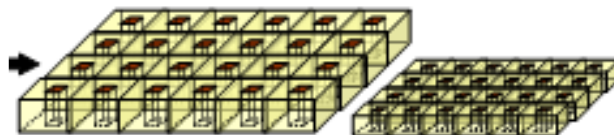
Segundo: Rotulamos el saco de polipropileno de 50 kg de capacidad del mismo modo el ciclo que corresponda.

## ANEXO E

### PROCEDIMIENTO REDUCCIÓN POR INCREMENTOS

Homogenizar las muestras

Hacer en forma de torta y se procede al cuarteo por el método de reducción por incrementos. Hasta obtener 2kg. Aprox.



homogenizar y  
cuartear



## ANEXO F

### PROCEDIMIENTO PREPARACIÓN DE MUESTRAS


Una vez que tenemos las muestras en laboratorio Metalúrgico se procede a:

1. Pesar las muestras en húmedo.
2. Secar las muestras en el horno 24 horas.
3. Pesar las muestras en seco.
4. Con la ayuda de un rodillo se procede a deshacer los aglomerados para luego homogenizar durante 10 min.
5. Cuartear por el método de reducción por incrementos hasta aprox. 400 g
6. Pulverizar la muestra entre 120 seg.
7. Homogenizar la muestra pulverizada en papel craf y cuartear aprox 200 g para muestra de cabeza y relave, y 20 gramos para concentrado.
8. Ensobrar cada muestra en 2 sobres una para lab. Químico y la otra queda como testigo en lab. Metalúrgico.



ANEXO G


REPORTE DE LEYES LABORATORIO QUIMICO - PRUEBA 1

 Laboratorio Químico Campamento Minero Tintaya s/n Cuzco Tel: +5184-30160 Anexo - 2438		<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>N° SGC-INF-MS-00001-31</b>	
<b>Cliente:</b>	Metallurgia	<b>Cantidad de Muestras</b>	<b>3</b>
<b>Dirección:</b>	Campamento Minero Tintaya	<b>Fecha de Recepción:</b>	<b>10/10/2016</b>
<b>Solicitado por:</b>	Laboratorio Metallurgico	<b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>29/10/2016</b>
<b>Tipo de muestra:</b>	Concentrado, Cabeza, Relave Knelson P1		
<b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b>	Muestras en sobre de papel		
<b>N° de Orden de Trabajo:</b>	<b>PI TIN-0090</b>		
<b>Item</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Au g/TM</b>	
1	CABEZA/KNELSON P1/10-10-16	0.528	
2	CONCENTRADO/KNELSON P1/10-10-16	304.290	
3	RELAVE/KNELSON P1/10-10-16	0.398	



## ANEXO H


### REPORTE DE LEYES LABORATORIO QUIMICO - PRUEBA 2

 <p>Laboratorio Químico      Campamento Minero Tintaya s/n Cuzco Tel: +5184-301150 Anexo - 2438</p>		<p><b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>N° SGC-INF-MS-00001-32</b></p>																																					
<p><b>Cliente:</b> Metalurgia</p> <p><b>Dirección:</b> Campamento Minero Tintaya      <b>Cantidad de Muestras:</b> <b>3</b></p> <p><b>Solicitado por:</b> Laboratorio Metalurgico      <b>Fecha de Recepción:</b> <b>10/10/2016</b></p> <p><b>Tipo de muestra:</b> Concentrado, Cabeza, Relave Knelson P2      <b>Fecha de Ensayo:</b> <b>29/10/2016</b></p> <p><b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b> Muestras en sobre de papel</p> <p><b>N° de Orden de Trabajo:</b> <b>PI TIN-0091</b></p>																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Código de muestra</th> <th>Au g/TM</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CABEZA/KNELSON P2/10-10-16</td> <td>CABEZA</td> <td>0.519</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>CONCENTRADO/KNELSON P2/10-10-16</td> <td>CONCENTRADO</td> <td>218.640</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>RELAVE/KNELSON P2/10-10-16</td> <td>RELAVE</td> <td>0.408</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Item	Código de muestra	Au g/TM							1	CABEZA/KNELSON P2/10-10-16	CABEZA	0.519						2	CONCENTRADO/KNELSON P2/10-10-16	CONCENTRADO	218.640						3	RELAVE/KNELSON P2/10-10-16	RELAVE	0.408								
Item	Código de muestra	Au g/TM																																					
1	CABEZA/KNELSON P2/10-10-16	CABEZA	0.519																																				
2	CONCENTRADO/KNELSON P2/10-10-16	CONCENTRADO	218.640																																				
3	RELAVE/KNELSON P2/10-10-16	RELAVE	0.408																																				



ANEXO I


REPORTE DE LEYES LABORATORIO QUIMICO - PRUEBA 3

 Laboratorio Químico Campamento Minero Tintaya s/n Cuzco Tel: +5184-301150 Anexo - 2438	<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>N° SGC-INF-MS-00001-33</b>																
<b>Cliente:</b> Metalurgia <b>Dirección:</b> Campamento Minero Tintaya <b>Solicitado por:</b> Laboratorio Metalurgico <b>Tipo de muestra:</b> Concentrado, Cabeza, Relave Knelson P3 <b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b> Muestras en sobre de papel <b>N° de Orden de Trabajo:</b> <b>PI TIN-0092</b>	<b>Cantidad de Muestras</b> <b>3</b> <b>Fecha de Recepción:</b> <b>10/10/2016</b> <b>Fecha de Ensayo:</b> <b>29/10/2016</b>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">Item</th> <th style="width: 60%;">Código de muestra</th> <th style="width: 15%;">Au</th> <th style="width: 20%;">g/TM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>CABEZA/KNELSON P3/10-10-16 CABEZA</td> <td style="text-align: center;">0.562</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>CONCENTRADO/KNELSON P3/10-10-16 CONCENTRADO</td> <td style="text-align: center;">174.330</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>RELAVE/KNELSON P3/10-10-16 RELAVE</td> <td style="text-align: center;">0.462</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Item	Código de muestra	Au	g/TM	1	CABEZA/KNELSON P3/10-10-16 CABEZA	0.562		2	CONCENTRADO/KNELSON P3/10-10-16 CONCENTRADO	174.330		3	RELAVE/KNELSON P3/10-10-16 RELAVE	0.462		
Item	Código de muestra	Au	g/TM														
1	CABEZA/KNELSON P3/10-10-16 CABEZA	0.562															
2	CONCENTRADO/KNELSON P3/10-10-16 CONCENTRADO	174.330															
3	RELAVE/KNELSON P3/10-10-16 RELAVE	0.462															



ANEXO J


REPORTE DE LEYES LABORATORIO QUIMICO - PRUEBA 4

 <p>Laboratorio Químico      Campamento Minero Tintaya s/n Cuzco Tel: +5194-30160 A nexa - 2438</p>		<p><b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>N° SGC-INF-MS-00001-34</b></p>	
<b>Cliente:</b>	Metallurgia	<b>Cantidad de Muestras</b>	<b>3</b>
<b>Dirección:</b>	Campamento Minero Tintaya	<b>Fecha de Recepción:</b>	<b>10/10/2016</b>
<b>Solicitado por:</b>	Laboratorio Metallurgico	<b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>29/10/2016</b>
<b>Tipo de muestra:</b>	Concentrado, Cabeza, Relave Knelson P4		
<b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b>	Muestras en sobre de papel		
<b>N° de Orden de Trabajo:</b>	<b>PI TIN-0093</b>		
<b>Item</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Au g/TM</b>	
1	CABEZA/KNELSON P4/10-10-16 CABEZA	0.524	
2	CONCENTRADO/KNELSON P4/10-10-16 CONCENTRADO	169.570	
3	RELAVE/KNELSON P4/10-10-16 RELAVE	0.432	



ANEXO K


REPORTE DE LEYES LABORATORIO QUIMICO - PRUEBA 5

 Laboratorio Químico Campamento Minero Tintaya s/n Cuzco Tel: +61-84-301150 Anexo - 2438		<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>N° SGC-INF-MS-00001 -35</b>	
<b>Cliente:</b>	Metallurgia	<b>Cantidad de Muestras</b>	<b>3</b>
<b>Dirección:</b>	Campamento Minero Tintaya	<b>Fecha de Recepción:</b>	<b>10/10/2016</b>
<b>Solicitado por:</b>	Laboratorio Metallurgico	<b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>29/10/2016</b>
<b>Tipo de muestra:</b>	Concentrado, Cabeza, Relave Knelson P5		
<b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b>	Muestras en sobre de papel		
<b>N° de Orden de Trabajo:</b>	<b>PI TIN-0094</b>		
<b>Item</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Au g/TM</b>	
1	CABEZA/KNELSON P5/10-10-16 CABEZA	0.501	
2	CONCENTRADO/KNELSON P5/10-10-16 CONCENTRADO	449.012	
3	RELAVE/KNELSON P5/10-10-16 RELAVE	0.316	



ANEXO L

REPORTE DE LEYES LABORATORIO QUIMICO - PRUEBA 6

 Laboratorio Químico Campamento Minero Tintaya s/n Cuzco Tel: +51-84-301150 Anexo - 2438		<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>N° SGC-INF-MS-00001-36</b>													
<b>Cliente:</b> <b>Dirección:</b> <b>Solicitado por:</b> <b>Tipo de muestra:</b> <b>Descripción del Estado y Condición de la Muestra:</b> <b>N° de Orden de Trabajo:</b>	Metalurgia Campamento Minero Tintaya Laboratorio Metalurgico Concentrado, Cabeza, Relave Knelson P6 Muestras en sobre de papel <b>PI TIN-0095</b>	<b>Cantidad de Muestras</b> <b>Fecha de Recepción:</b> <b>Fecha de Ensayo:</b>	<b>3</b> <b>10/10/2016</b> <b>29/10/2016</b>												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Código de muestra</th> <th>Au g./TM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>CABEZA/KNELSON P6/10-10-16 CABEZA</td> <td>0.507</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>CONCENTRADO/KNELSON P6/10-10-16 CONCENTRADO</td> <td>353.710</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>RELAVE/KNELSON P6/10-10-16 RELAVE</td> <td>0.368</td> </tr> </tbody> </table>	Item	Código de muestra	Au g./TM	1	CABEZA/KNELSON P6/10-10-16 CABEZA	0.507	2	CONCENTRADO/KNELSON P6/10-10-16 CONCENTRADO	353.710	3	RELAVE/KNELSON P6/10-10-16 RELAVE	0.368			
Item	Código de muestra	Au g./TM													
1	CABEZA/KNELSON P6/10-10-16 CABEZA	0.507													
2	CONCENTRADO/KNELSON P6/10-10-16 CONCENTRADO	353.710													
3	RELAVE/KNELSON P6/10-10-16 RELAVE	0.368													



## ANEXO M

### VISTAS FOTOGRAFICAS



E1: Vista general circuito Knelson.



E2: Concentrador Knelson KC-XD48.



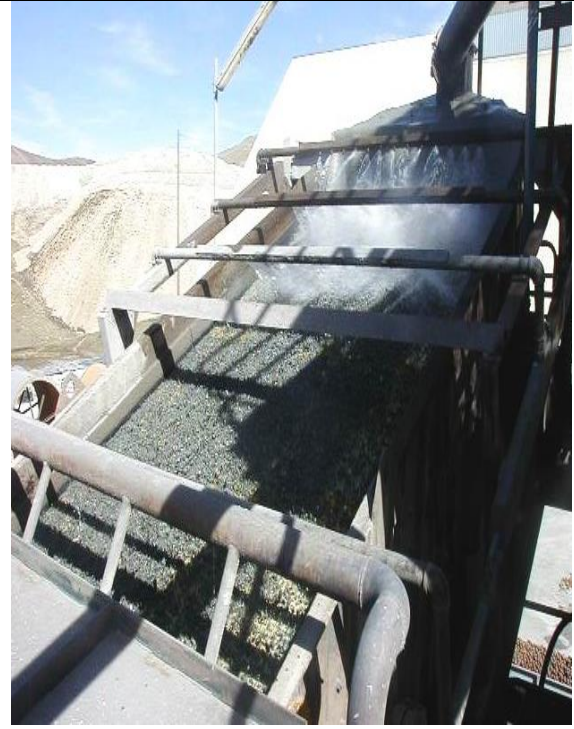
E3: Concentrador Knelson.



E4: Ciclón D-26 del molino.



E5: Molino Tintaya.



E6: Zaranda vibratoria concentrador  
Knelson.



E7: Alimentación del ciclón a la zaranda.



E8: Zaranda vibratoria.



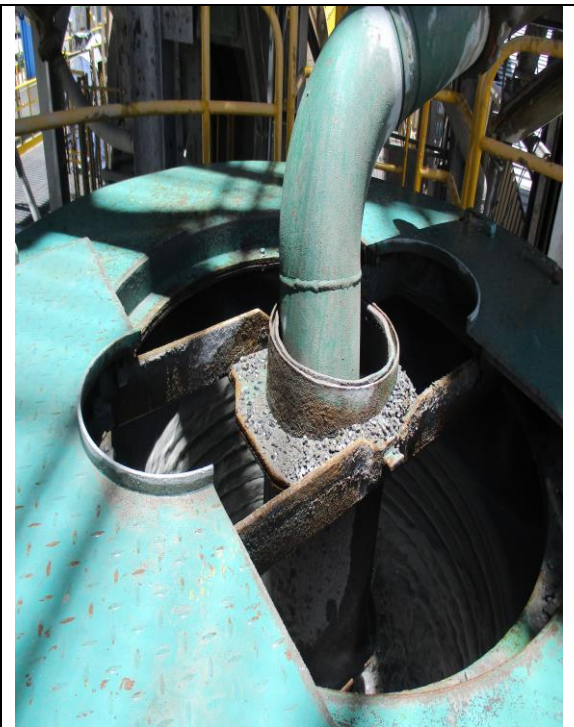
E9: Zaranda vibratoria.



D10: Carga en la zaranda vibratoria.



E11: Camino de ingreso de la zaranda al concentrador.



E12: Ingreso de pulpa al concentrador.



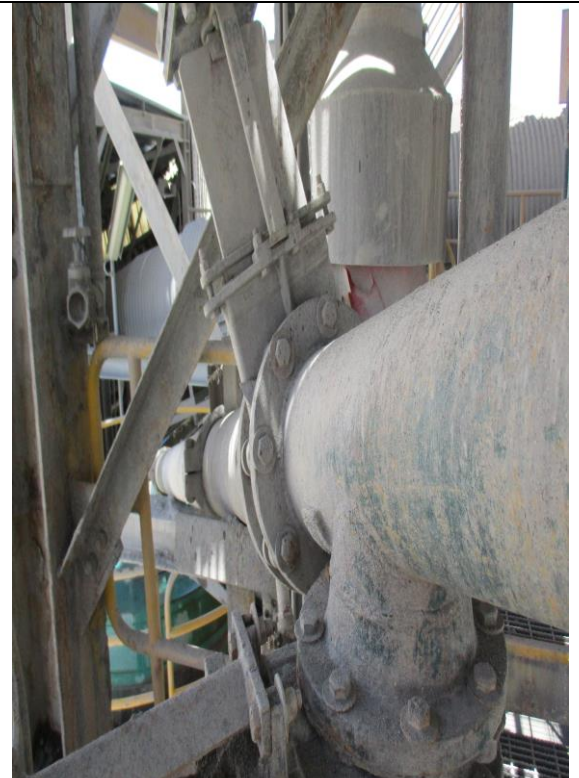
E13: Cono del concentrador.



E14: Descarga de relave del concentrador.



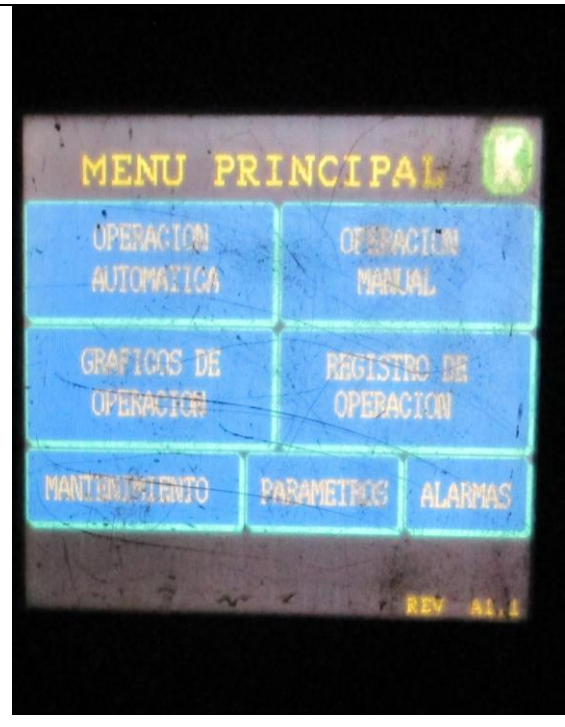
E15: Camino de carga recirculante de relave del Knelson al molino.



E16: Camino de carga recirculante de relave del Knelson al cajón del molino.



E17: Tablero de control del concentrador.



E18: Menú principal del tablero



E20: Estado del ciclo de concentración. de control.



E21: Controles automáticos.



E22: Estado del concentrador.



E23: Estado del flujo de agua de fluidización.



E26: Divisor de pulpa para el concentrado.



E26: Pulverizadora.



E28: Área preparación de muestras.



E29: Horno eléctrico.



E30: Balanza analítica.



E31: Secado de muestras.



E32: Muestras de las pruebas.



E33: Secado de muestras.