



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA DE MINAS

“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL METIL ISOBUTIL CARBINOL Y GRANULOMETRÍA SOBRE LA RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA DE UNA PIRITA DE LA ZONA DE OTUZCO, MEDIANTE FLOTACIÓN BULK-2017”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Wily Maicol Mendoza Cercado
Bach. Hender Samuel Teran Espinoza

Asesor:

Mg. Ing. Gary Christiam. Farfán Chilicaus

Cajamarca – Perú
2017

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres Wily Maicol Mendoza Cercado & Hender Samuel Teran Espinoza, denominada:

“INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DEL METIL ISOBUTIL CARBINOL Y GRANULOMETRÍA SOBRE LA RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA DE UNA PIRITA DE LA ZONA DE OTUZCO, MEDIANTE FLOTACIÓN BULK-2017.”

Mg. Ing. Gary Christiam Farfán Chilicaus.
ASESOR

Ing. Vladimir Héctor Yataco Dueñas
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Jorge Luis Salazar Ríos
JURADO

Ing. Wilmer Alejandro Salcedo Rebaza
JURADO

DEDICATORIA

Agradecer a Dios, por acompañarme y ayudarme durante toda mi carrera y permitirme concluir mis estudios y a todas esas personas que de una u otra forma me orientaron y apoyaron a lo largo del camino.

A mi familia por estar allí compartiendo mi entusiasmo en los momentos de felicidad y brindarme su soporte y colaboración en los momentos difíciles. Mis padres Santos y Exgma que son mi mayor inspiración y mis pilares incondicionales. La adoro.

Wily Mendoza.

DEDICATORIA

Agradecer a Dios, por acompañarme y ayudarme durante toda mi carrera y permitirme concluir mis estudios y a todas esas personas que de una u otra forma me orientaron y apoyaron a lo largo del camino.

A mis padres y hermanos, que ha estado en los momentos más difíciles y me ha servido de apoyo incondicional, brindándome todo su aprecio y consideración. Los quiero.

Hender Teran.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al Mg. Ing. Gary Christiam Farfán Chilicaus, por su asesoramiento en la ejecución del proyecto de investigación.

A la plana docente de la Universidad Privada del Norte que gracias a sus enseñanzas hicieron posible mi formación profesional.

Wily Mendoza & Hender Teran.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE FOTOS.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Limitaciones	16
1.5. Objetivos	17
1.5.1. Objetivo General.....	17
1.5.2. Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Bases Teóricas.....	22
2.2.1. Generalidades	22
2.2.2. Producción minero metalúrgica de oro, cobre y plata.....	22
2.2.3. Oro	27

2.2.4.	Plata	30
2.2.5.	Ambientes de formación de los elementos nativos oro y plata	32
2.2.6.	Ambientes de formación del oro	33
2.2.7.	Ambientes de formación de la plata	34
2.2.8.	Principales características de los elementos nativos.....	34
2.2.9.	Principales yacimientos en el mundo	34
2.2.10.	Metalurgia del oro y la plata	39
2.2.11.	Flotación	40
2.2.12.	Naturaleza física de superficies	43
2.2.13.	Adsorción.....	44
2.2.14.	Termodinámica de la flotación	45
2.2.15.	Cinética de la flotación.....	46
2.2.16.	Variables de la flotación.....	48
2.2.17.	Reactivos de flotación.....	50
2.3.	Definición de términos básicos	51
2.4.	Hipótesis	53
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA		54
3.1.	Operacionalización de variables	54
3.2.	Diseño de investigación.....	55
3.2.1.	Según el propósito: Aplicada	55
3.2.2.	Según el diseño de investigación: Experimental	55
3.2.3.	Según el tipo de investigación experimental: Experimental pura.....	55
3.3.	Unidad de estudio	56
3.4.	Población	56
3.5.	Muestra	56
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	57
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos.....	57
3.6.2.	Instrumentos y materiales.....	57
3.6.3.	Procedimiento de recolección de datos	60

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	62
CAPÍTULO 4. DESARROLLO	63
4.1. Protocolo de flotación.....	63
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	70
5.1. Para el oro.....	70
5.2. Para la plata	72
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN.....	74
6.1. Para el oro.....	74
6.2. Para la plata	76
CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS.....	80
LINKOGRAFÍA	82

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 01. Producción de los principales metales en el Perú 2005 - 2014.....	24
TABLA N° 02. Producción Mundial del oro y plata 2010.....	26
TABLA N° 03. Propiedades químicas del oro	29
TABLA N° 04. Propiedades químicas de la plata.....	31
TABLA N° 05. Definición operacional de las variables.....	54
TABLA N° 06. Esquema del proceso experimental - puro	56
TABLA N° 07. Leyes del mineral de estudio.....	56
TABLA N° 08. Ley de oro en el relave después de realizar los ensayos ($Ley_i = 10.40 \text{ g Au/TM}$)	70
TABLA N° 09. Porcentaje de recuperación de oro después de realizar los ensayos ($Ley_i = 10.40 \text{ g Au/TM}$)	71
TABLA N° 10. Ley de plata en el relave después de realizar los ensayos ($Ley_i = 710 \text{ g/TM}$).....	72
TABLA N° 11. Porcentaje de recuperación de plata después de realizar los ensayos ($Ley_i = 710 \text{ g/TM}$).....	73
TABLA I. Resultados de la ley de relave de oro después de realizar los ensayos ($Ley_i = 10.4 \text{ g/TM}$).....	84
TABLA II. Tabla resumen del Porcentaje (%) de recuperación de oro por la influencia de la dosificación de MIBC y granulometría	87
TABLA III. Recuperación de oro a diferentes dosificaciones de Metil Isobutil Carbinol y granulometría	91
TABLA IV. Cuadro resumen del análisis de varianza para la recuperación de oro	96

TABLA V Resultados de la ley de relave de plata después de realizar los ensayos (Ley _i = 710 g/TM).....	98
TABLA VI. Tabla resumen del Porcentaje (%) de recuperación de plata por la influencia de la dosificación de MIBC y granulometría.....	101
TABLA VII. Recuperación de plata a diferentes dosificaciones de Metil Isobutil Carbinol y granulometría.	105
TABLA VIII. Cuadro resumen del análisis de varianza para la recuperación de plata....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N° 01. Producción Metálica de Cu, Ag y Au por empresas mineras 2016	25
FIGURA N° 02. Precios diarios de oro y plata del 2006 al 2015 (nov), expresado en dólares americanos por onza troy	27
FIGURA N°03: Adsorción de un colector en la superficie de un espumante	41
FIGURA N° 04: Acción de un espumante.....	41
FIGURA N° 05. Mecanismo de flotación por espuma	42
FIGURA N° 06. Angulo de contacto en un sólido.....	46
FIGURA N° 07. Curva: % de Recuperación vs. Tiempo de flotación	47
FIGURA N° 08. Procedimiento experimental de flotación de mineral.....	61
FIGURA N° 09. Resultados de la Ley de oro del relave después de realizar los ensayos (Ley _i = 10.40 g/TM) con la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200	74
FIGURA N° 10. Resultados del porcentaje de recuperación de oro después de realizar los ensayos (Ley _i = 10.40g/TM) con la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200.....	75
FIGURA N° 11. Resultados de la Ley de plata del relave después de realizar los ensayos (Ley _i = 710 g/TM) con la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200.	76
FIGURA N° 12. Resultados del porcentaje de recuperación de plata después de realizar los ensayos (Ley _i = 710 g/TM) con la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200	77

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
FOTO N°01. Ubicación de Otuzco, La Libertad.	108
FOTO N°02. Mineral polimetálico del noreste de trujillo en Otuzco, La Libertad.....	109
FOTO N° 03. Cabando para la toma de muestra.....	110
FOTO N°04. El mineral.....	111
FOTO N°05: Molienda del mineral.....	111
FOTO N°06. Secado del mineral	112
FOTO N°07: Extracción del concentrado de oro y plata en celda DENVER	112
FOTO N°08. Extracción del concentrado de oro y plata	113
FOTO N°09: Ensayo de espectrofotometría	113

RESUMEN

Se estudió la influencia de la dosificación de Metil Isobutil Carbinol sobre la recuperación de oro y plata en una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación Bulk.

El estudio experimental se realizó en una celda de flotación de laboratorio, modelo Denver D-12, utilizando mineral con diferentes granulometrías, con una ley de 10.4 g Au/TM y 710 g Ag/TM.

El resultado del estudio de la flotación concluyó que la recuperación de oro a 40% - m 200 y 10 g/TM de Metil Isobutil Carbinol fue de 15.03 % y a medida que ambas variables aumentaban, la recuperación también aumentaban, es así que se llegó a obtener una recuperación de 81.33 % a 60% - m 200 y 60 g/TM de Metil Isobutil Carbinol.

Así mismo se pudo apreciar que a 40% - m 200 y 10 g/TM de Metil Isobutil Carbinol se recuperó un promedio de 18.51 % de plata y la mayor recuperación se obtuvo a 70% - m 200 y 60 g/TM de Metil Isobutil Carbinol, obteniéndose un 89.45%.

Los resultados son confirmados mediante análisis de varianza para un nivel de confianza de 95%. De esto se concluye que la recuperación de oro por la influencia de la granulometría, el $F_0 = 35\ 202.5305$ es mayor al $F_{0.05,2,18} = 1.927$, y la influencia de la dosificación de MIBC es de $F_0 = 15700.1183$ es mayor al $F_{0.05,81,200} = 1.927$ y con la influencia de la granulometría y la dosificación de MIBC es de $F_0 = 111.3468$ es mayor al $F_{0.05,81,200} = 1.345$, obtenido de manera tabular. Esto confirma la aceptación de la hipótesis alterna, por lo tanto, la influencia de la granulometría y la dosificación de MIBC de manera individual como en conjunto si afectan significativamente en la recuperación de oro.

Con respecto a la recuperación de plata por la influencia de la granulometría, el $F_0 = 10614.8056$ es mayor al $F_{0.05,2,18} = 1.927$, y la influencia de la dosificación de MIBC es de $F_0 = 6348.2191$ es mayor al $F_{0.05,81,200} = 1.927$ y con la influencia de la granulometría y la dosificación de MIBC es de $F_0 = 61.0369$ es mayor al $F_{0.05,81,200} = 1.345$, obtenido de manera tabular. Esto confirma la aceptación de la hipótesis alterna, por lo tanto, la influencia de la granulometría y la dosificación de MIBC de manera individual como en conjunto si afectan significativamente en la recuperación de plata.

ABSTRACT

The influence of Methyl Isobutyl Carbinol dosification on the recovery of gold and silver in a pyrite from the Otuzco area was studied by Bulk flotation.

The experimental study was carried out in a laboratory flotation cell, Denver D-12 model, using a mineral with different granulometries, with a law of 10.4 g Au / TM and 710 g Ag / TM.

The result of the flotation study concluded that the recovery of gold to 40% - m 200 and 10 g / MT of Methyl Isobutyl Carbinol was 15.03% and as both variables increased, the recovery also increased, A recovery from 81.33% to 60% - m 200 and 60 g / MT of Methyl Isobutyl Carbinol.

It was also observed that 40% - m 200 and 10 g / MT of Methyl Isobutyl Carbinol recovered an average of 18.51% of silver and the highest recovery was obtained at 70% - m 200 and 60 g / MT of Methyl Isobutyl Carbinol, obtaining a 89.45%

The results are confirmed by analysis of variance for a confidence level of 95%. From this it is concluded that the gold recovery by the influence of the granulometry, $F_0 = 35\ 202.5305$ is greater than $F_{0.05; 2; 18} = 1,927$, and the influence of the MIBC dosage is $F_0 = 15700.1183$ is greater than $F_{0.05; 81,200} = 1,927$ and with influence the granulometry and the MIBC dosage is $F_0 = 111.3468$ is greater than $F_{0.05,81,200} = 1,345$, obtained in a tabular manner. This confirms the acceptance of the alternate hypothesis, therefore, the influence of the granulometry and the MIBC dosage individually as a whole if they significantly affect gold recovery.

With respect to silver recovery by the influence of grain size, $F_0 = 10614.8056$ is greater than $F_{0.05, 2, 18} = 1,927$, and the influence of the MIBC dosage is $F_0 = 6348.2191$ greater than $F_{0.05,81, 200} = 1,927$ and with influence the granulometry and the MIBC dosage is $F_0 = 61.0369$ is greater than $F_{0.05,81,200} = 1,345$, obtained in a tabular manner. This confirms the acceptance of the alternate hypothesis, therefore, the influence of granulometry and MIBC dosage individually as a whole if they significantly affect silver recovery.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El consumo creciente de metales ha llevado al agotamiento de los yacimientos ricos y a la necesidad de tratar menas con leyes cada más baja. Ante esta situación fue necesario desarrollar métodos que mejorasen la economía de los procesos.

El proceso de beneficio del mineral extraído de cualquier yacimiento comprende una serie de etapas que suponen inversiones y gastos de operación, que tienen que ser soportados por el valor del producto obtenido, y que sirven para determinar una ley de corte del mineral por debajo de la cual no resulta económicamente su tratamiento. El valor de esta ley de corte cambia con el tiempo en función del precio del metal y del desarrollo de la tecnología que continuamente va proporcionando métodos cada vez más económicos.

El proceso de flotación de minerales constituye el principal método de concentración de minerales actualmente en uso. En Perú se utiliza principalmente para el tratamiento de minerales sulfurados, de los cuales es posible obtener otros subproductos del proceso de flotación (Astucuri, 2014).

Dado que de las especies de cobre, oro y plata, las de mayor abundancia son los sulfuros, los procesos asociados a su concentración son de una importancia crucial y cualquier mejora que se pueda incorporar redundaría en un significativo aumento de las utilidades en la minería (Bravo, 2012).

La concentración por flotación es el resultado de la interacción de muchas variables, que involucran factores fisicoquímicos, operacionales y mecánicos. La velocidad de agitación, el flujo de aire y el diseño de la celda crean las condiciones hidrodinámicas, régimen de flujos, mezclamiento, granulometría, dispersión de gas, interacción burbuja-partícula, pH, concentración de reactivos, son parámetros que gobiernan el rendimiento del proceso de flotación (Astucuri, 2014).

Es vital mencionar que el estudio de la granulometría de un mineral es muy importante. Esta granulometría adecuada permitirá evaluar el costo beneficio determinado por % de malla vs liberación del material valioso & porcentaje de recuperación óptima (Porrás, 2012).

Así mismo, la dosificación de reactivos, dentro de ellos el espumante Metil Isobutil Carbinol (MIBC) es una de las variables de control más utilizadas en la flotación, ya que resulta

fundamental en la recuperación y selectividad, así como, en la depresión de minerales. En la flotación es sumamente sensible al MIBC, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Los reactivos de flotación, principalmente los colectores, operan mejor en ciertos rangos de MIBC. La regulación del MIBC en la flotación de oro y plata se realiza con dosificaciones adecuadas.

Ante las situaciones planteadas, se pretende estudiar mediante el presente trabajo experimental de laboratorio y análisis teórico de los fundamentos del fenómeno, la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y la granulometría sobre la recuperación de oro y plata de una pirita proveniente de Otuzco, mediante flotación bulk, buscando de esta manera generar un mayor conocimiento con miras al análisis y optimización del proceso.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influye la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y granulometría sobre la recuperación de oro y plata de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk?

1.3. Justificación

La necesidad de contar con herramientas y metodologías basadas en el conocimiento de parámetros de optimización del proceso de flotación de minerales tipo sulfuro permitirá conocer termodinámicamente los mecanismos del proceso, y así realizar una evaluación pertinente y adecuada de la dosificación apropiada de Metil Isobutil Carbinol y granulometría del mineral a tratar.

El presente trabajo de investigación permitirá a las empresas e interesados en contar con una herramienta básica para la comprensión de la relación entre la dosificación del espumante para el mineral tipo sulfuro y la granulometría de trabajo; que ayudara a proponer una metodología de trabajo pertinente en la flotación de oro y plata.

1.4. Limitaciones

El presente trabajo involucra una serie de etapas, desde un trabajo de gabinete y laboratorio a un trabajo de campo. En el trabajo de campo se deberá solicitar la debida autorización de los comuneros de la zona para la obtención del mineral sulfurado; así mismo, no existen carreteras asfaltadas para llegar a la zona, solo existen trochas en mal

estado, los cuales se deberá tomar las medidas pertinentes en temas climatológicas que puedan limitar la extracción de la muestra como lluvias excesivas ya que estos eventos inesperados podrían interrumpir las actividades de muestreo y así aplazar el cronograma de trabajo ya establecido

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar cómo influye la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y la granulometría sobre la recuperación de oro y plata de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar la dosificación del Metil Isobutil Carbinol óptima en la recuperación de oro y plata de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.
- Evaluar la influencia de la granulometría en la flotación de un mineral tipo sulfuro de Otuzco, para obtener una adecuada flotación de oro y plata.
- Determinar la interacción de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y la granulometría en la flotación de un mineral tipo sulfuro de Otuzco, La libertad.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En los últimos años, se han realizado varios estudios orientados a resolver limitaciones en los parámetros de trabajo en flotación por efecto de la flotación de oro y plata. De la misma manera se ha intentado mejorar los procesos por medio de predicciones a través de modelos matemáticos (Domic, 2012).

Según Laiza y Zegarra (2016), en la tesis denominada “Influencia del potencial de hidrógeno (pH) y la granulometría sobre el ratio de concentración y el porcentaje de recuperación de oro (Au), Plata (Ag) y cobre (Cu) en la flotación de un mineral tipo sulfuro con alto contenido de plata”, menciona que el pH influye significativamente en los porcentajes de recuperación de Cu, Au, Ag y en el ratio de concentración con un nivel de confianza de 95%. Obteniéndose las más altas recuperaciones con las siguientes condiciones de operación: para el cobre 61.67 %, con pH de 11.5 y granulometría de 65 % - #200. Para el oro 59.51 % con pH 8.5 y granulometría de 60 % - #200. Para la plata 79.45% con pH de 8.5 y granulometría de 65 % - #200.

En la tesis denominada “Influencia de la distribución de tamaño de burbujas en la recuperación de la flotación para minerales de cobre”, determina que al variar el P_{80} , la recuperación global y del tamaño medio presenta una parábola invertida, en donde al engrosar o afinar la granulometría del mineral, baja la recuperación. Por otro lado para los tamaños extremos de mineral al aumentar el P_{80} aumenta la recuperación. Este último efecto hay que entenderlo dentro del marco de condiciones en que se dieron las pruebas, ya que en aquellas con mineral fino, P_{80} bajo, la flotación se desarrolló en condiciones adversas para la flotación de mineral fino y grueso, mientras que las flotaciones de mineral grueso, fueron desarrolladas en condiciones muy favorables para la recuperación de mineral fino y grueso. En función de lo anterior, al aumentar el P_{80} aumenta la recuperación por tamaños, sobre todo para minerales finos y gruesos, producto que el aumento de granulometría, a iguales condiciones de flujo de aire y agitación, impacta en la distribución de tamaño de burbujas, mejorando el marco para la recuperación de mineral de los tamaños descritos. Al aumentar la agitación en la celda, aumenta la recuperación, ya sea global como por tamaños. Se aprecia que el efecto es mayor a medida que aumenta el tamaño de partículas, esto podría deberse a que a medida que aumenta la agitación, los agregados de burbuja-

partícula más finos se vuelven más inestables. El aumento de superficie total disponible para la flotación, impacta positivamente en la recuperación de minerales de todos los tamaños, T1 (gruesos), T2 (medios) y T3 (finos), en donde se generan condiciones más favorables para que estas partículas puedan ser recuperadas. Esto es absolutamente lógico, desde el punto de vista que en flotación uno de los puntos importantes es la superficie disponible para la adherencia de la partícula, ya que la burbuja funciona como vehículo transportador de la partícula. Si se separa el mineral en gruesos y finos, tal vez con un ciclón previo a la flotación, y se modifican las condiciones de flotación, agitación y caudal de gas, es posible aumentar la flotabilidad de las partículas extremas, la fracción más gruesa de bajo tamaño del ciclón, y la fracción más fina del sobretamaño del ciclón, sin perjudicar la flotabilidad del rango medio de partículas (la fracción fina del bajo tamaño y la fracción gruesa del sobretamaño), aumentando la recuperación global (Barona, 2016).

Según Tobón (2013), en su tesis denominada “Estudio de la hidrofobicidad de oro nativo y su efecto en la flotación espumante directa”, menciona que Mediante la flotación espumante como proceso de separación del oro presente en los depósitos aluviales, se presenta la alternativa de eliminar el uso de mercurio en las plantas metalúrgicas. La flotación espumante es más selectiva que los procesos gravitacionales utilizados en la actualidad para la recuperación de oro nativo. Además, Mejora la eficiencia de recuperación en rangos de tamaño más grandes que los actuales, y es posible recuperar oro de tamaño fino. Gracias a la variedad de tecnologías disponibles para el proceso de flotación espumante y a las variables de operación de estas tecnologías, se puede conseguir altos porcentajes de recuperación, inclusive procesando minerales con rangos de tamaño diferentes. En esta investigación se obtuvo 97.5% de recuperación de oro para el mineral del depósito aluvial, con un proceso de concentración en celda flash seguido por celda en columna. Para que sea factible la flotación de partículas más densas que el líquido, es preciso que la adherencia de las partículas a las burbujas de gas sea mayor que la tendencia a establecer un contacto entre las partículas y el líquido. Este contacto entre un sólido y un líquido se determinó mediante la medida del ángulo. El mayor valor de ángulo de contacto (95°), para la superficie de oro modificada con colector, se consiguió con DTPI y un tiempo de acondicionamiento de 20 minutos. Esto concuerda con los resultados de las pruebas de flotación, en las cuales se obtuvo las recuperaciones más altas usando el DTPI como colector y con un tiempo de acondicionamiento de 20 minutos.

La actividad de una superficie mineral con relación a los reactivos de flotación en el agua depende de las fuerzas que actúan en la superficie. Con las medidas de AFM, se comprobó que el DTPI, modifica la energía superficial del oro, disminuyéndola.

En la tesis denominada “Estudio electroquímico de la interacción de superficies de cobre y enargita con colectores del tipo Tiol: Etilxantato y Dibutilditiocarbamato” se estudió y caracterizó la interacción de superficies electroquímicas de cobre y enargita natural con agentes colectores del tipo Tiol en medios electrolitos de acidez variable. Los agentes colectores considerados fueron etilxantato de potasio (KX) y dibutilditiocarbamato de potasio (DBDTCK). Para la interfase Cu/tampón borato pH 9.2, 1 mmx, se estudió el proceso de electro adsorción/electrodesorción de etilxantato, en un intervalo de potencial comprendido entre -1.1 v y -0.6 v. se determinó mediante estudios potenciodinámicos y de espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) que, durante el proceso de electroadsorción de xantato, tiene lugar en forma simultánea la reacción de evolución de hidrogeno (REH). De las medidas de ángulo de contacto de la interface, fue posible establecer que la electroadsorción de la especie xantato otorga un leve grado de hidrofobicidad a la superficie electroquímica. Del mismo modo, se estudió la interfase Cu/tampón fosfato pH 6.8, 1 mm dibutilditiocarbamato (DBDTC). El estudio potenciodinámico estuvo comprendido en un intervalo de potencial entre -1.0 v y 0.50 v, mostrando la formación de Cu (DBDTC) 2, (DBDTC)2 y de especies de cobre que contienen oxígeno (oxo hidroxo compuestos). La presencia de unos u otros, sobre la superficie electroquímica es dependiente del valor de potencial aplicado a la interfase. Estos resultados fueron confirmados, complementariamente, con medidas espectroscópicas uv-vis, impedancia electroquímica y medidas de hidrofobicidad (ángulos de contacto). Para la interfase enargita / tampón borato pH 9.2, 1 mm etilxantato (x) se realizó un estudio potenciodinámico en un intervalo de potencial comprendido entre -0.1 v a 0.6 v. En esta región de potencial tienen lugar los procesos de electroadsorción (XADS), electroformación de la superficie dimerica (x₂) y la electroformación del compuesto metal - colector (CuX₂). la presencia de estas especies, al valor de potencial aplicado a la interface (0.015 v, 0,36 v y 0.55 v), fue confirmada por medidas de espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS) determinación por espectroscopia de absorción atómica (EAA) de las especies que pasan a la solución [Cu (ii) y As (v)], y de la carga eléctrica involucrada durante la polarización de esta interfase, permitió proponer una estequiometria para las reacciones electroquímicas de formación de las películas superficiales que contienen

a los compuestos arriba indicados. En forma adicional, se realizó un estudio espectroscopia de impedancia electroquímica (EIE) a los potenciales de polarización que permitieron estabilizaciones superficiales. De las medidas de ángulo de contacto de la interfase, fue posible establecer que la presencia de la especie electroadsorbida otorga un alto grado de hidrofobicidad a la superficie electródica. Un estudio similar al descrito anteriormente se realizó con la interfase enargita / tampón fosfato pH 6.8, 1 mm DBDTC, en el intervalo de potencial de -0.3 v a 0.7 v. en este intervalo de potencial, tienen lugar la electroformación de las especies $\text{Cu}(\text{DBDTC})_2$ y $(\text{DBDTC})_2$. Los parámetros potenciodinámico de estos procesos permitieron establecer un mecanismo de electroformación para estas especies. A potenciales más positivos que 0.50 v se forman compuestos de cobre y arsénico que contienen oxígeno (oxo-hidroxo compuestos). Los resultados potenciodinámico se complementaron con experiencias de XPS, EAA, EIE y medidas de hidrofobicidad. Todo lo anterior permitió proponer una estequiometría para las reacciones electroquímicas de formación de las películas superficiales y un circuito eléctrico equivalente, acorde con los procesos electroquímicos interfaciales. Además se estableció, que la presencia de la especie colectora (X o DBDTC) en la solución electrolítica favorecen los procesos de oxidación de cobre y enargita, desplazándoles hacia potenciales menos positivos. También se estableció que en todos aquellos procesos electroquímicos que involucran a la especie colectora, la enargita se comportó como un sustrato electródica más noble que cobre (Grež, 2013).

Según el libro escrito por Chia, J. (2012), en su presentación: “Molienda y Clasificación en la Flotación de minerales” indica que el conocimiento de la característica de humectación de las superficies minerales es primordial para mejorar la eficiencia de separación de minerales valiosos de ganga, usando flotación espumante. El valor del ángulo de contacto es un indicador útil que proporciona la característica hidrofóbica en las superficies sólidas minerales, debido a una estrecha relación entre este parámetro y la flotabilidad de los minerales.

En la presentación del libro Flotación de minerales, escrito por Sutulov, A. (2013), menciona que el éxito de la medida del ángulo de contacto sobre superficie planas, depende en gran medida de la calidad de la superficie y de su limpieza, en general estas medidas son difíciles e inciertas cuando el ángulo es menor a 20° , debido a la alta sensibilidad al error experimental.

En el libro introducción a la flotación de minerales, escrito por Astucuri (2014), indica que para superficies planas y sólidas, la técnica más utilizada para la medición del ángulo de contacto es una medida directa del ángulo, viendo el perfil de la gota. Un telescopio goniómetro se puede utilizar para ver la gota puesta en superficie plana y medir el perfil del contacto. Una imagen de la gota en reposo o de la adhesión de la burbuja se puede proyectar en una pantalla y trazar los contornos, midiéndose el ángulo con un transportador, esto se debe ir registrando permanentemente. La precisión se refuerza por el uso de aumentos relativamente altos (hasta 50 veces) que permiten el examen detallado de la intersección del perfil de caída y la superficie sólida.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Generalidades

La minería es uno de los sectores más importantes de la economía peruana y representa normalmente más del 50% de las exportaciones peruanas con cifras alrededor de los 14 mil millones de dólares al año (Azañero, 2016).

Los principales minerales que exporta nuestro país son: cobre, oro, hierro, plata, zinc y plomo entre otros. Actualmente todos ellos son fuertemente demandados como insumos para procesos industriales de alto nivel tecnológico. El Perú posee el 16% de las reservas de minerales conocidas, incluyéndole 15% de las de cobre y el 7% de las de zinc. Se estima que hasta el día de hoy el Perú únicamente ha extraído el 12% de sus recursos minerales y que con tecnología adecuada puede triplicar su actual producción, especialmente en metales básicos. Con la sostenible alza de los precios de los metales el Perú se ha posicionado ventajosamente en la minería mundial, manteniendo un liderazgo minero en Latinoamérica y una sólida historia y trayectoria minera (Cáceres, 2012).

2.2.2. Producción minero metalúrgica de oro, cobre y plata

La producción de cobre durante el año 2010 fue de 1'247,126 T.M.F., disminuyendo en 2.28% con relación a la del año 2009 (1'276,249 T.M.F). Esto se explica por las menores cifras reportadas por las empresas Xstrata, Tintaya,

Antamina y Southern, cuya producción descendió en 13.26%, 5.63% y 5.54%, respectivamente, en comparación al 2009 (Herrerros & Medina, 2012).

Es de destacar el aumento de la producción que dieron cuenta Sociedad Minera El Brocal, Compañía Minera Milpo, Minera Pampa de Cobre y Gold Fields La Cima, cuya producción se incrementó en 84.33%, 18.04%, 15.01% y 12.97%, respectivamente. En diciembre, la producción fue de 115,171 T.M.F., mayor en 2.89% a la de similar mes del año 2009 (111,939 T.M.F.). Las cifras del año 2009 mostraron que Perú desplazó a Estados Unidos del segundo puesto en la clasificación mundial de producción de cobre que lidera Chile. Sin embargo con la próxima apertura de la minas Toromocho, Las Bambas y Anta pacay el Perú cuadruplicara su producción de Cobre en los próximos años consolidara como un país líder y acortando distancia con el primer productor Chile. Con los ingentes recursos de cobre que posee el Perú, cuya exportación producirá la mayor cantidad de divisas para Perú, es la piedra angular de su crecimiento económico y desarrollo (Ballester, 2012).

El CEO de Compañía de Minas Buenaventura, Roque Benavides, informó que la cartera de proyectos mineros de oro y plata en el Perú representará la ejecución de inversiones por US\$ 2,657 millones.

Durante su participación en el 12° Simposium Internacional del Oro y la Plata, precisó que dos de esos proyectos comenzarán a operar en diciembre del 2016, los cuales son Tambomayo de Buenaventura en las alturas de Arequipa, y Shahuindo de la empresa del mismo nombre en Cajamarca.

“En Tambomayo tenemos una mina pequeña de 150,000 onzas de oro por año y 3.5 millones de onzas de plata, entrará en producción hacia finales de este año y el otro año estará en full producción”, anotó.

Para abril del 2017 se espera el inicio de la producción en el proyecto Ollaechea de la empresa Kuri Kullu en Puno, que ya tiene el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) aprobado.

En el 2018 comenzará la producción del proyecto San Gabriel de Buenaventura en la región Moquegua, el cual ya tiene EIA aprobado. Además comenzará la producción de la mina Corani de Bear Creek en Puno.

Mientras que para el año 2020 se espera el inicio de la producción del proyecto Conga de Yanacocha, el cual ya tiene el EIA aprobado, aunque sobre este

proyecto Benavides consideró que “se nos pasó un poquito la oportunidad”, ya que con la caída del precio del oro ya no es lo rentable que se pensaba.

Ya para el año 2021 se espera la puesta en marcha de los proyectos de ampliación de Lagunas Norte de Barrick y de Galeno de Lumina Copper, el cual está en exploración.

Aún no tiene fecha de inicio de producción el proyecto Santa Ana de Bear Creek, el cual ya tiene su EIA presentado.

“El Perú es uno de los países más importantes en la producción de oro, siendo el quinto en el mundo, y segundos en plata en el mundo después de México pero somos los primeros productores en América Latina.” dijo.

Sin embargo, lamentó que eso no sea lo suficientemente valorado en el Perú, ya que el país “ha sido bendecido con recursos naturales”.

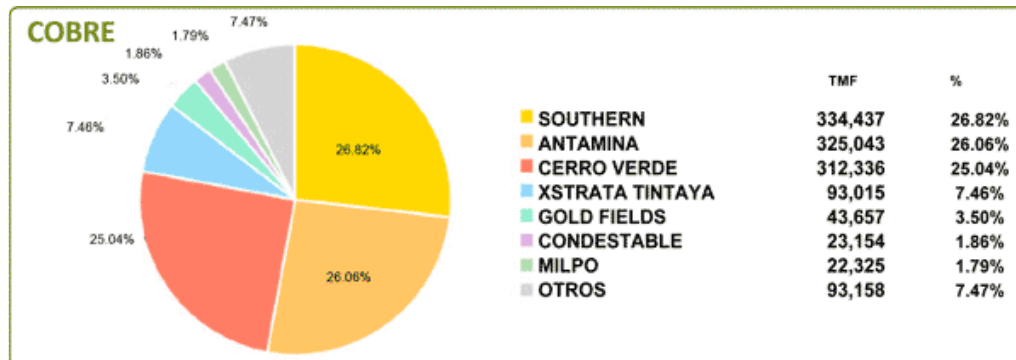
“Es por eso que tenemos hoy en nuestro país a las grandes empresas mineras explorando, buscando nuevos yacimientos, construyendo, y por supuesto produciendo”, detalló (Dipromin, 2016).

TABLA N° 01. Producción de los principales metales en el Perú 2005 - 2014

Producto / Product	Unidad / Unit	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cobre	Miles de TMF	1,010	1,048	1,190	1,268	1,268	1,247	1,235	1,299	1,376	1,380
Oro	Miles de OzF	6,687	6,521	5,473	5,783	5,919	5,275	5,343	5,194	5,024	4,500
Zinc	Miles de TMF	1,202	1,203	1,444	1,603	1,513	1,470	1,256	1,281	1,351	1,319
Plata	Miles de OzF	103,064	111,584	112,574	118,505	126,118	117,043	109,919	111,912	115,935	121,459
Plomo	Miles de TMF	319	313	329	345	302	262	230	249	266	278
Hierro	Miles de TMF	4,565	4,785	5,104	5,161	4,419	6,043	7,011	6,685	6,681	7,193
Estaño	Miles de TMF	42	38	39	39	38	34	29	26	24	23
Molibdeno	Miles de TMF	18	18	16	16	12	17	19	17	18	17

Fuente: (Luna, 2016)

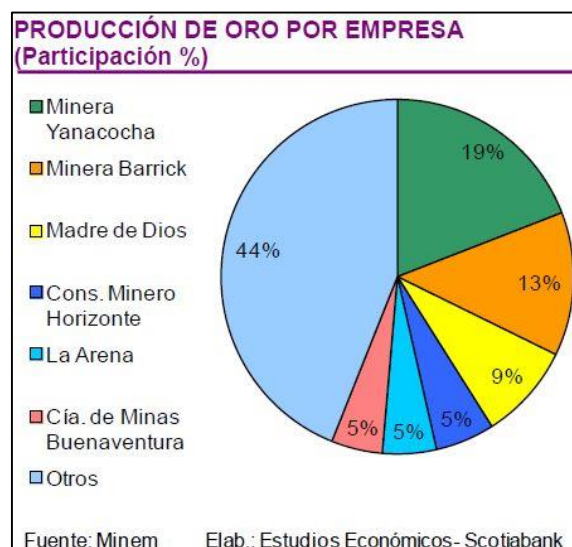
FIGURA N° 01. Producción Metálica de Cu, Ag y Au por empresas mineras 2016.



PRODUCCION DE PLATA PERIODO ENERO-ABRIL 2016/KILOGRAMOS FINOS

PRODUCTO/EMPRESA	2016	PARTICIACION %
Compañía de Minas Buenaventura A.A.A.	237,473	16.72%
Compañía de Minas Buenaventura A.A.A.	228,463	16.09%
Volcan Compañía Minera S.A.A.	132,906	9.36%
Compañía Minera Ares S.A.C.	130,557	9.20%
Empresa Administradora Chungar S.A.C.	43,811	3.09%
Minera Chinalco Perú S.A.	42,817	3.02%
Empresa Administradora Cerro S.A.C	42,756	3.01%
Compañía Minera Milpo S.A.A.	41,912	2.95%
Pan American Silver Huaron S.A.	40,191	2.83%
Southern Perú Copper Corporation	39,022	2.75%
Otros	439,963	30.99%
Total	1419,872	100%

FUENTE: MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS



Fuente: (Luna, 2016), (Ampudia, 2016), (Gestión, 2016)

TABLA N° 02. Producción Mundial del oro y plata 2010.

Producción Mundial Oro - 2010

(Millones de onzas/Toneladas finas)

Ranking	País	Moz	t	%
1	China	11	345	14
2	Australia	8	255	10
3	Estados Unidos	7	230	9
4	Sudáfrica	6	190	8
5	Rusia	6	190	8
6	Perú	5	163	7
7	Indonesia	4	120	5
8	Gana	3	100	4
9	Canada	3	90	4
	Otros	26	815	33
TOTAL		79	2 498	100

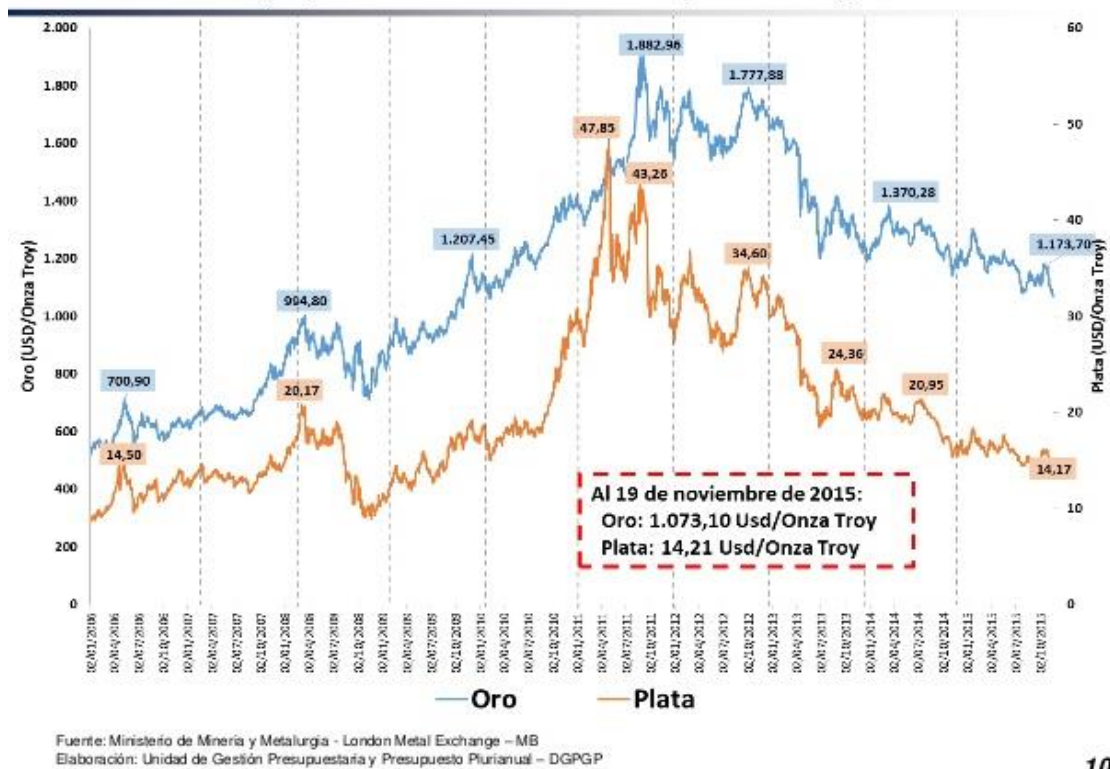
Producción Mundial Plata - 2010

(Millones de onzas/Toneladas finas)

Ranking	País	Moz	t	%
1	Perú	117	3 637	17
2	México	113	3 500	16
3	China	97	3 000	14
4	Australia	55	1 700	8
5	Chile	48	1 500	7
6	Rusia	45	1 400	6
7	Bolivia	44	1 360	6
8	United State	41	1 280	6
9	Polonia	39	1 200	5
	Otros	84	3 300	15
Total		683	21 877	100

Fuente: (Acosta, 2011)

FIGURA N° 02. Precios diarios de oro y plata del 2006 al 2015 (nov), expresado en dólares americanos por onza troy.



10

Fuente: (EFIPU-Bolivia, 2015)

2.2.3. Oro

Elemento químico, símbolo Au, número atómico 79 y peso atómico 196.967; es un metal muy denso, blando y de color amarillo intenso. El oro se clasifica como metal pesado y noble; en el comercio es el más común de los metales preciosos. El cobre, la plata y el oro están en el mismo grupo en la tabla periódica. La fuente del símbolo químico, Au, es su nombre en latín aurum (amanecer radiante). Hay sólo un isótopo estable del oro, con número de masa 197.

Usos: Cerca de tres cuartas partes de la producción mundial del oro se consumen en joyería. Sus aplicaciones industriales, especialmente en electrónica, consumen 10-15%. El remanente está dividido entre los empleos médicos y dentales, acuñación y reservas para el gobierno y particulares. Las monedas y demás objetos decorativos de oro son en realidad aleaciones

porque el metal es muy blando (2.5-3 en la escala de Mohs) para ser útil con un manejo frecuente.

El Au radiactivo se utiliza en radiaciones medicinales, en diagnóstico y en algunas aplicaciones industriales como trazador. También se usa como trazador en el estudio del movimiento de sedimentos sobre el fondo oceánico y en los alrededores de los puertos. Las propiedades del oro hacia la energía radiante han permitido el desarrollo de reflectores eficientes para calentadores infrarrojos y hornos, así como para retención y enfoque de calor en procesos industriales.

Localización: El oro se encuentra distribuido por todo el mundo, pero es muy escaso, de tal suerte que es un elemento raro. El agua de mar contiene concentraciones bajas de oro del orden de 10 partes de oro por billón de partes de agua. En el plancton o en el fondo marino se acumulan concentraciones superiores. En la actualidad, no existen procesos económicos adecuados para la extracción del oro marino. El oro metálico, o natural, y varios minerales telúricos son las únicas formas de oro presentes en la Tierra. El oro natural existe en las rocas y minerales de otros metales, especialmente en el cuarzo y la pirita, o puede estar disperso en arenas y gravas (oro de aluvión).

Propiedades: La densidad del oro es 19,3 veces la del agua a 20°C (68°F), tal que 1 m³ de oro pesa cerca de 19 000 kg (1 pie³, unas 1200 libras). Las masas del oro, al igual que otros metales preciosos, se miden en la escala Troy, la cual contiene 12 onzas por libra. Se funde a 1063°C (1947.97°F) y ebulle a 2970°C (5180°F). Es algo volátil por debajo de su punto de ebullición. Es un buen conductor de calor y electricidad. Es el metal más dúctil y maleable. Pueden hacerse láminas transparentes, con espesor de 0.00001 mm con facilidad o estirarlo en alambres con pesos de 0.5 mg/m. Su calidad se expresa en la escala de finura como partes de oro puro por mil partes de metal total, o en la escala de quilate como partes de oro puro por 24 partes de metal total. El oro se disuelve con facilidad en mercurio para formar amalgamas. Es uno de los metales menos reactivos químicamente. No pierde lustre, ni se quema al aire. Es inerte en soluciones fuertemente alcalinas y en todos los ácidos puros, menos el ácido selénico.

Compuestos: El oro puede tener valencia 1+ o 3+ en sus compuestos. La tendencia a formar complejos es tan fuerte que todos los compuestos de oxidación 3+ son complejos. Los compuestos del estado de oxidación 1+ no son muy estables y tienden a oxidarse al estado 3+ o reducirse a oro metálico. Todos los compuestos de cualquier estado de oxidación se reducen con facilidad.

En sus complejos el oro forma enlaces más fácilmente y más estables con los halógenos y el azufre, menos estables con oxígeno y fósforo y muy débiles con nitrógeno. Los enlaces entre oro y carbono son normalmente estables, como en los complejos de cianuro y varios compuestos orgánicos (Lenntech-Au, 2017).

TABLA N° 03. Propiedades químicas del oro

Nombre	Oro
Número atómico	79
Valencia	1,3
Estado de oxidación	+1
Electronegatividad	2,4
Radio covalente (Å)	1,50
Radio iónico (Å)	1,37
Radio atómico (Å)	1,44
Configuración electrónica	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹
Primer potencial de ionización (eV)	9,29
Masa atómica (g/mol)	196,967
Densidad (g/ml)	19,3

Punto de ebullición (°C)	2970
Punto de fusión (°C)	1063
Descubridor	3000 AC

Fuente: (Lenntech-Au, 2017).

2.2.4. Plata

Elemento químico, símbolo Ag, número atómico 47 y masa atómica 107.870. Es un metal lustroso de color blanco-grisáceo. Desde el punto de vista químico, es uno de los metales pesados y nobles; desde el punto de vista comercial, es un metal precioso. Hay 25 isótopos de la plata. Sus masas atómicas fluctúan entre 102 y 117.

En la mayor parte de sus aplicaciones, la plata se alea con uno o más metales. La plata, que posee las más altas conductividades térmica y eléctrica de todos los metales, se utiliza en puntos de contactos eléctricos y electrónicos. También se emplea mucho en joyería y piezas diversas. Entre las aleaciones en que es un componente están las amalgamas dentales y metales para cojinetes y pistones de motores.

La plata es un elemento bastante escaso. Algunas veces se encuentra en la naturaleza como elemento libre (plata nativa) o mezclada con otros metales. Sin embargo, la mayor parte de las veces se encuentra en minerales que contienen compuestos de plata. Los principales minerales de plata son la argentita, la cerargirita o cuerno de plata y varios minerales en los cuales el sulfuro de plata está combinado con los sulfuros de otros metales. Aproximadamente tres cuartas partes de la plata producida son un subproducto de la extracción de otros minerales, sobre todo de cobre y de plomo.

La plata pura es un metal moderadamente suave (2.5-3 en la escala de dureza de Mohs), de color blanco, un poco más duro que el oro. Cuando se pule adquiere un lustre brillante y refleja el 95% de la luz que incide sobre ella. Su densidad es 10.5 veces la del agua. La calidad de la plata, su pureza, se

expresa como partes de plata pura por cada 1000 partes del metal total. La plata comercial tiene una pureza del 999 (ley 0.999).

Aunque la plata es el metal noble más activo químicamente, no es muy activa comparada con la mayor parte de los otros metales. No se oxida fácilmente (como el hierro), pero reacciona con el azufre o el sulfuro de hidrógeno para formar la conocida plata deslustrada. El galvanizado de la plata con rodio puede prevenir esta decoloración. La plata no reacciona con ácidos diluidos no oxidantes (ácidos clorhídrico o sulfúrico) ni con bases fuertes (hidróxido de sodio). Sin embargo, los ácidos oxidantes (ácido nítrico o ácido sulfúrico concentrado) la disuelven al reaccionar para formar el ion positivo de la plata, Ag^+ . Este ion, que está presente en todas las soluciones simples de compuestos de plata solubles, se reduce fácilmente a metal libre, como sucede en la deposición de espejos de plata por agentes reductores orgánicos. La plata casi siempre es monovalente en sus compuestos, pero se conocen óxidos, fluoruro y sulfuro divalentes. Algunos compuesto de coordinación de la plata contienen plata divalente y trivalente. Aunque la plata no se oxida cuando se calienta, puede ser oxidada química o electrolíticamente para formar óxido o peróxido de plata, un agente oxidante poderoso. Por esta actividad, se utiliza mucho como catalizador oxidante en la producción de ciertos materiales orgánicos (*Lenntech-Ag, 2017*).

TABLA N° 04. Propiedades químicas de la plata

Nombre	Plata
Número atómico	47
Estado de oxidación	+1
Electronegatividad	1.9
Radio iónico (nm)	0.126
Radio atómico (nm)	0,144
Configuración electrónica	[Kr] $4d^{10} 5s^1$
Primer potencial de ionización (kj/mol)	758

Segundo potencial de ionización (kJ/mol)	2061
Potencial estándar	0,779 V (Ag ⁺ / Ag)
Masa atómica (g/mol)	107,87 g.mol ⁻¹
Densidad (g/cm ³ a 20°C)	10,5
Punto de ebullición (°C)	2212 °C
Punto de fusión (°C)	962 °C

Fuente: (Lenntech-Ag, 2017)

2.2.5. Ambientes de formación de los elementos nativos oro y plata

Para una mejor comprensión se enunciara los diferentes ambientes de formación. El proceso de formación de minerales y su cristalización está ligado a varios tipos de ambientes geológicos, donde existen diferentes condiciones termodinámicas:

a) Ambiente magmático

En el que ocurren principalmente dos tipos de procesos:

- Solidificación del magma por enfriamiento al ascender éste a través de grietas (filones) o en grandes masas (plutones). Una solidificación rápida, como ocurre por ejemplo en las erupciones volcánicas, dificultará el proceso de cristalización. Al abundar en los magmas la sílice y óxidos metálicos, se originan principalmente silicatos.
- Por sublimación de gases volcánicos al enfriarse, como ocurre por ejemplo para el azufre.

b) Ambiente metamórfico

Donde el principal proceso es la recristalización de rocas sedimentarias al sufrir un aumento de temperatura. En ciertas rocas los granos minerales funcionan como núcleos de cristalización aumentando ésta. Dos ejemplos típicos son las areniscas, que pueden transformarse en cuarcitas, y las rocas carbonatadas, que se transforman en mármoles.

c) Ambiente sedimentario.

En él puede ocurrir un proceso de precipitación química del soluto, generalmente por evaporación del agua. Este será el caso de los minerales evaporíticos, como el yeso o los cloruros (halita, silvita, carnalita) o un fenómeno de precipitación bioquímica, por ejemplo por la acción de bacterias reductoras que convierten sulfatos solubles en sulfuros insolubles. Otro caso típico es el de las tobas calizas o calcáreas, que se originan por precipitación del carbonato cálcico alrededor de vegetales que absorben el dióxido de carbono disuelto en el agua cargada de bicarbonato (Cornelis & Hurlbut, 2012).

2.2.6. Ambientes de formación del oro

Su origen primario está unido a FILONES HIDROTERMALES de cuarzo, pizarra, rocas metamórficas y depósitos aluviales (PLACERES) originados de estas fuentes siempre de media a elevada temperatura.

El oro está ampliamente distribuido y a menudo se encuentra asociado a los minerales cuarzo y pirita en rocas eruptivas, frecuentemente se presenta en aleación natural con la plata, en menor cantidad con el paladio, el rodio, en la zona de sedimentación de los depósitos de sulfuros, selenuros y telururos en los minerales calaverita, silvanita y otros formados a elevada temperatura en condiciones hidrotermales. Sudáfrica es el principal productor de oro cubriendo aproximadamente dos tercios de la demanda global. Los romanos extraían mucho oro de las minas españolas, pero hoy en día muchas de las minas de este país están agotadas.

Las vetas de cuarzo que contienen oro se encuentran generalmente relacionadas con intrusivos ácidos. En este tipo de vetas el oro se encuentra asociado con otros metales como: cobre cinc plomo y plata, formando de esta manera un depósito polimetálico.

La erosión de los productos de alteración ha acumulado en los sedimentos aluviales, glaciales u otros el oro metálico, mientras que los otros metales se han disuelto. Como conclusión se puede decir que el oro se extrae de dos tipos de depósitos, en forma de vetas y en depósitos en forma de placeres (depósitos aluviales) (Fuentes, 2012).

2.2.7. Ambientes de formación de la plata

Se forma por reducción de los sulfuros en la parte baja de la montera de los yacimientos de plomo-zinc-plata, algunas veces se encuentra.

- Como elemento primario en los filones hidrotermales de baja temperatura, asociado a la calcita.
- En los filones de alta temperatura como elemento asociado a los sulfuros de níquel, cobalto y la uraninita, frecuentemente se presenta asociada al cobre.

2.2.8. Principales características de los elementos nativos

En su mayoría son metales poco oxidantes pero también hay no metálicos como azufre. De acuerdo con su naturaleza química, se diferencian elementos metálicos (Au, Ag, Cu, etc.), semimetálicos o metaloides (As, Sb, Te), y elementos no metálicos (C, S, Se).

Esta clase se caracteriza por una escasa diversidad mineralógica debido a que solamente unos 20 elementos se encuentran en la naturaleza en estado nativo (exceptuando los gases libres de la atmósfera). Su abundancia es insignificante (representan menos de 0,15% de la masa de la corteza terrestre), y algunos como el diamante y el oro alcanzan un gran valor económico por su rareza y propiedades (Cornelis & Hurlbut, 2012).

2.2.9. Principales yacimientos en el mundo

A. Yacimientos de Oro

En esta lista se recopilan los 10 mayores productores mundiales de oro del año 2011. El top ten de países productores de oro lo encabezan China, Australia y Estados Unidos. Sudáfrica que lideró durante más de un siglo la producción mundial de oro, en la actualidad ocupa el quinto lugar. A continuación se enumeran las formaciones de las 10 mayores mineras áuricas del mundo.

A.1. Minería oro en Uzbekistán

Uzbekistán decimo productor mundial de oro en 2011

Producción minera de oro Uzbekistán 2011: 90 toneladas

Producción minera de oro Uzbekistán 2010: 90 toneladas

Uzbekistán en 2011 se situó como décimo productor mundial de oro, su producción se ha mantenido estable desde hace una década. La mina de oro 'Muruntau' en el desierto de Kyzylkum es uno de los mayores yacimientos de oro a cielo abierto del mundo y responsable del 70% de la producción de oro del país.

A.2. Minería oro en Indonesia

Indonesia noveno productor mundial de oro en 2011

Producción minera de oro Indonesia 2011: 100 toneladas

Producción minera de oro Indonesia 2010: 120 toneladas

Las reservas de oro de Indonesia principalmente se concentran en los distritos de Grasberg, Batu Hijau, Tujuh Bukit, y Ertsberg. La mina de oro de Grasberg situada en la provincia de Papua es la mayor del mundo. Su producción alcanzó máximos de 93 toneladas (2.6 millones de onzas) en 1999.

A.3. Minería oro en Ghana

Ghana octavo productor mundial de oro en 2011

Producción minera de oro Ghana 2011: 100 toneladas

Producción minera de oro Ghana 2011: 82 toneladas

Ghana es el segundo productor de oro de África después de Sudáfrica y el oro representa más del 90% de sus exportaciones de minerales. La producción de oro en Ghana ha mantenido un crecimiento constante en los últimos años y sus recursos auríferos se concentran principalmente en el noroeste, oeste y suroeste del país.

A.4. Minería oro en Canadá

Canadá séptimo productor mundial de oro en 2011

Producción minera de oro Canadá 2011: 110 toneladas

Producción minera de oro Canadá 2010: 91 toneladas

De las provincias de Ontario, Quebec y British Columbia proviene el 86% de la producción de oro canadiense. La mina 'Red Lake Mine' en Ontario, es la mina de oro más grande de Canadá y de ella se extrae más de la mitad de la producción del país.

A.5. Minería oro en Perú

Perú sexto productor mundial de oro en 2011

Producción minera de oro Perú 2011: 150 toneladas

Producción minera de oro Perú 2010: 164 toneladas

Las reservas de oro probadas del Perú ascienden a 590 toneladas que se concentran principalmente en las provincias de Cajamarca, La Libertad, Apurímac y Arequipa. La mina de oro 'Yanacocha' en Cajamarca es la mayor de Sudamérica y produjo 42.5 toneladas (1.5 millones de onzas) de oro en 2010. El yacimiento de oro Lagunas Norte es el segundo productor de oro del Perú, y en 2010 se extrajeron 23 toneladas (808,000 onzas) del metal.

A.6. Minería oro en Sudáfrica

Sudáfrica quinto productor mundial de oro en 2011

Producción minera de oro Sudáfrica 2011: 190 toneladas

Producción minera de oro Sudáfrica 2010: 189 toneladas

Las mayores minas de oro de Sudáfrica están situadas en Witwatersrand Basin, y se han extraído hasta la fecha más de 41,000 toneladas de oro. Sudáfrica fue el mayor productor mundial de oro desde el año 1896 y a lo largo de todo el siglo XX hasta que en 2008 China se posicionó en el primer puesto. Desde entonces la producción minera sudafricana se encuentra en declive.

A.7. Minería oro en Rusia

Rusia cuarto productor mundial de oro en 2011

Producción minera oro Rusia 2011: 200 toneladas

Producción minera oro Rusia 2010: 192 toneladas

Los depósitos de oro de Rusia se concentran principalmente en Siberia y en la parte oriental. Las mayores minas de oro son Kupol en Chukotka, Olimpiada en Krasnoyarsk, Voro en Sverdlovsk, y Khakanja en Khabarovsk.

A.8. Minería oro en Estados Unidos

Estados Unidos tercer productor mundial de oro en 2011

Producción minera oro EEUU 2011: 237 toneladas

Producción minera oro EEUU 2010: 231 toneladas

Los yacimientos de oro de Estados Unidos se concentran principalmente en los estados de Nevada, Alaska, Utah, y Colorado. Del estado de Nevada se extrae el 75 por ciento de la producción anual de oro estadounidense.

A.9. Minería oro en Australia

Australia segundo productor mundial de oro en 2011

Producción minera oro Australia 2011: 270 toneladas

Producción minera oro Australia 2010: 261 toneladas

Las reservas de oro de Australia se encuentran a lo largo de todo el continente pero se concentran principalmente en el oeste de Australia, en el sur y en Nueva Gales del Sur.

Los mayores yacimientos de oro en Australia son Super Pit en Kalgoorlie de donde se extraen 24 toneladas (850,000 onzas) de oro anuales, Telfer en la región de Pilbara, Boddington y Sunrise Dam en Yilgarn Craton, Cadia-Ridgeway en Nueva Gales del Sur, y Tanami en los territorios del norte.

A.10. Minería oro en China

China primer productor mundial de oro en 2011

Producción minera de oro China 2011: 355 toneladas

Producción minera de oro China 2010: 345 toneladas

China fue el mayor productor de oro en 2011 con 355 toneladas extraídas, un aumento del 2.9% comparado con el año anterior. En el año 2008 China reemplazó a Sudáfrica como el mayor productor mundial de oro. Los yacimientos de oro en China se concentran mayormente en las regiones al este del país, pero en los últimos años las provincias de Guizhou y Yunnan también han visto aumentar su producción aurífera anual (Fuentes, 2012).

B. Yacimientos de Plata

En 2006, los 5 primeros países productores de plata producen un 60% de la producción mundial de plata.

- Perú (111,6 millones de onzas de plata)
- México (96,4 millones de onzas de plata)
- China (75.4 millones de onzas de plata)
- Australia (55,6 millones de onzas de plata)
- Chile (51,5 millones de onzas de plata)

En 1935 solamente México y Perú pertenecen parte de las cinco primeras naciones productoras de plata. Perú y México representan aún hoy por sí solos el día 1/3 de la producción mundial de plata. China es un caso separado, gran productora y consumidora de plata desde siglos, la producción de plata tiende a entrar en el país más bien por salir, para ejemplo México ya exportaba de plata hacia China al tiempo de los conquistadores. La producción china de plata es muy difícilmente identificable, es muy difícil conocer las estadísticas exactas de esta producción (Cornelis & Hurlbut, 2012).

2.2.10. Metalurgia del oro y la plata

A pesar de las intensas investigaciones que se hacen a nivel mundial para aplicar la hidrometalurgia en la extracción del cobre. La mayoría de los intentos que se han hecho en este sentido no ha obtenido éxito significativo con la finalidad de disolverlo a la temperatura y presión ambiental; igualmente se han aplicado las variables de presión y temperatura últimamente sin llegar a conclusiones industriales masivas. Mientras que los procesos Hidrometalúrgicos en los últimos 30 años han tenido impresionantes avances, tanto con fines de minimizar costos y la polución ambiental (Bray, 2015).

A. Pirometalurgia

A.1. El convencional o general (Tostación-fundición-conversión electrorefinación).

B. Hidrometalurgia

B.1. Lixiviación con soluciones de ácido sulfúrico con variantes:

B.1.1. Natural

B.1.2. In situ

B.1.3. En montones y pilas (Heap Leaching)

B.1.4. En percoladores

B.1.5. En agitadores mecánicos y neumáticos.

B.2. Lixiviación con soluciones.

B.3. Lixiviación – precipitación – flotación (LPF).

B.4. Extracción por solventes

B.5. Bio-lixivación

B.6. A temperaturas moderadas y a presión (en investigación para minerales específicos)

B.7. Con cianuro (en investigación) (Dixon, Baxter, & Sylwestrzak, 2014)

2.2.11. Flotación

La concentración por flotación es una técnica que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral, o especies de valor, y la ganga. Se basa en la adhesión de algunos sólidos a burbujas de gas generadas en la pulpa por algún medio externo, en la celda de flotación.

Las burbujas de aire transportan los sólidos a la superficie donde son recolectados y recuperados como concentrado. La fracción que no se adhiere a las burbujas permanece en la pulpa y constituye la cola o relave (Reyes, 2015).

La flotación de minerales, es usada para separar o concentrar minerales y otras especies químicas. La separación por flotación es el resultado de fenómenos fisicoquímicos complejos que ocurren en las interfases sólido/líquido, líquido/gas y sólido/gas. La flotación depende de la probabilidad de unión de la partícula a la burbuja en la celda de flotación, la cual es determinada por la capacidad de los sólidos (reducidos en tamaño) de hidratarse (condiciones eléctricas por polaridad). Como ejemplo vamos a explicar uno de los fenómenos, las superficies de las partículas sólidas sumergidas en el agua son objeto de hidratación, por las características eléctricas que existen en la superficie, después de su creación, se ha comprobado que las trizaduras y desórdenes iónicos aumentan la hidratación.

Al contrario de con los que se rompen según el plano de clivaje y donde en consecuencia no hay rompimiento de enlaces químicos, por ejemplo la molibdenita (Pavez, 2016).

Así mismo, entre la superficie del mineral y el agua se formará una capa eléctrica, cuyo nombre es el Potencial Electroquímico.

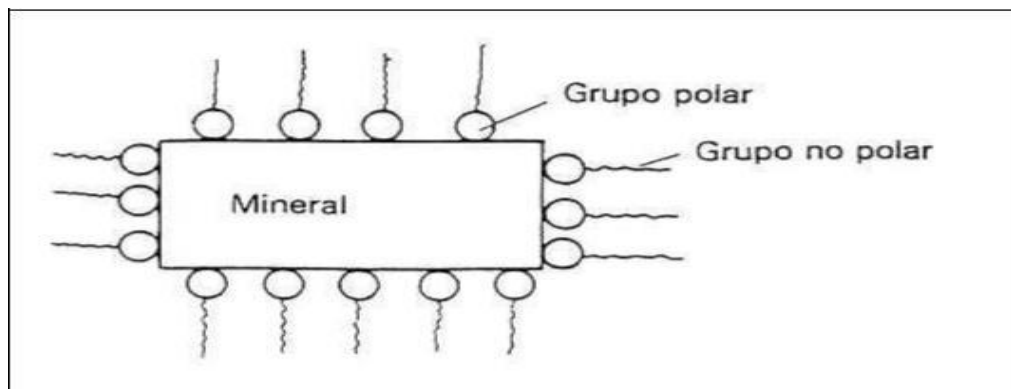
De esta manera se forma la doble capa de cargas eléctricas. ¿Por qué es importante la doble capa de cargas eléctricas en los fenómenos de la flotación? Porque influye directamente en la absorción de los reactivos sobre la superficie del mineral. Su existencia no solo dirige los fenómenos de hidratación, sino que también la absorción de líquidos orgánicos que sirven como colectores y espumante (Concentración de minerales, 2013).

La condición de flotabilidad es una fuerte adhesión entre las partículas útiles y las burbujas, las cuales deben ser capaces de soportar la agitación y

turbulencia en la celda. Estas partículas se dice incorrectamente que son repelentes al agua, debido a su capacidad de hidratarse y formar su doble capa eléctrica, dichas partículas polarizadas en su superficie interactúan por medio de las fuerzas de Van der Waals y de London con la parte polar de los colectores, y estos colectores a su vez por medio de su composición apolar forma y da estabilidad a las burbujas conjuntamente con los espumantes, ocasionado que las burbujas transporten a la superficie a los colectores unidos por medio de las fuerzas de Van der Waals a las partículas de valor. Al contrario de las partículas que constituyen el relave o cola, que no tienen la capacidad de formar su doble capa eléctrica.

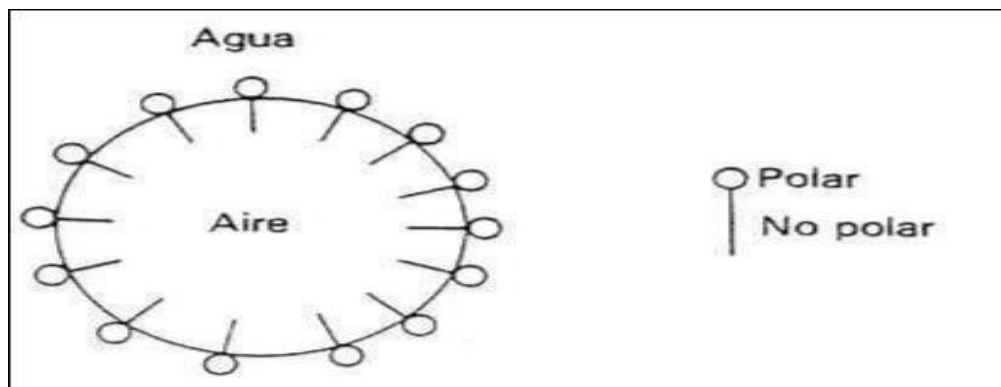
En la figura 03 se muestra la adsorción del colector sobre la superficie de un mineral, mientras que, la acción de un espumante se presenta en la figura 05.

FIGURA N° 03. Adsorción de un colector en la superficie de un espumante



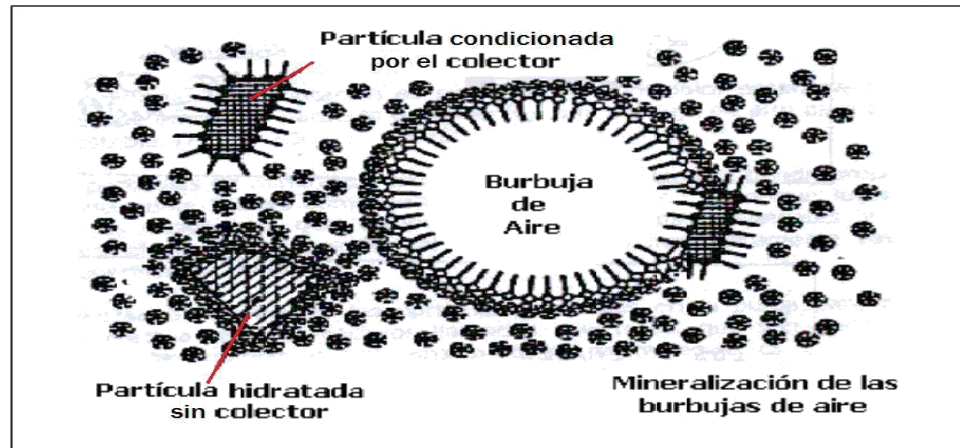
Fuente: (Pavez, 2016).

FIGURA N° 04. Acción de un espumante



Fuente: (Pavez, 2016)

FIGURA N° 05. Mecanismo de flotación por espuma



Fuente: (Pavez, 2016).

Para lograr una buena concentración en la etapa de limpieza del concentrado se requiere que las especies útiles que constituyen la mena estén separadas o liberadas, esta liberación de las partículas útiles no es necesaria en la etapa primaria de flotación (etapa Rougher). La liberación de las partículas se consigue con etapas de molienda o remolienda. Para la mayoría de los minerales se alcanza un adecuado grado de liberación moliendo la mena a tamaños del orden de $-100\ \mu\text{m}$ o $-74\ \mu\text{m}$.

La flotación, de esta forma, está gobernado por una gran cantidad de variables las que interactúan entre sí, y cuyo conocimiento contribuirá a comprender mejor esta técnica en sí y obtener finalmente un mejor rendimiento en las aplicaciones prácticas.

Al contrario de otros métodos de concentración, en la flotación es posible variar la diferencia entre las propiedades útiles y la ganga, modificando el ambiente químico y electroquímico del sistema mediante la adecuada selección de los reactivos químicos adicionados: colectores, espumantes, activadores, depresores o modificadores de pH.

2.2.12. Naturaleza física de superficies

En toda porción de materia existen fuerzas intermoleculares que en cierta forma mantienen unidas las moléculas que la componen. Si se considera una molécula ubicada en el seno de un líquido, ésta estará rodeada de moléculas de su misma naturaleza, por lo cual las fuerzas de atracción intermoleculares se compensan produciéndose un equilibrio energético. Es decir, las moléculas superficiales tienen una mayor energía que aquellas ubicadas en el seno del líquido. La magnitud del desbalance de energía que se produce depende de la naturaleza de las interacciones moleculares. A este exceso de energía se denomina energía libre superficial. Por lo tanto, aumentar el área superficial de una cierta masa de líquido significa, entregar energía al sistema en forma de trabajo. Así, la expresión de la tensión superficial será la siguiente:

$$\gamma = \left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{p,T,n} \longrightarrow \gamma = G^S$$

Donde:

γ : Tensión superficial, con unidades de energía/área o fuerza/longitud

G^S : Energía libre superficial

A: área interfacial

p: Presión

T: Temperatura

n: Numero de moles presentes en el sistema

En consecuencia, la tensión superficial es la medida del trabajo requerido para aumentar la superficie en una unidad de área, a presión, temperatura y masa constantes.

La magnitud de la tensión superficial está directamente relacionada con la magnitud de las fuerzas intermoleculares. Por lo tanto, si se conoce la naturaleza química del líquido, es posible estimar el orden de magnitud de su tensión superficial.

Las interacciones moleculares más frecuentes, en orden creciente de su unión, son: fuerzas de London, fuerzas de Van der Waals o fuerzas de dispersión; interacciones dipolo-dipolo inducido, interacciones dipolo-dipolo, enlace de hidrógeno.

Las fuerzas de dispersión son fuerzas atractivas débiles existentes en toda materia, independiente de su naturaleza química y tienen su origen en los llamados dipolos inducidos

2.2.13. Adsorción

La flotación es un fenómeno físico químico que involucra el estudio de las propiedades de las interfases. Una de las formas de caracterizar una interfase es por la medida de la adsorción.

La adsorción puede definirse como la concentración de una entidad química (iones y moléculas) en una interfase. Generalmente se expresa en moles o moléculas de adsorbido por área de interfase. Es un fenómeno espontáneo y exotérmico. Es común la clasificación de la adsorción, con base en la naturaleza de la interacción adsorbido/adsorbente, en adsorción física (fisorción) y adsorción química (quimisorción).

La adsorción física es resultante de interacciones químicas secundarias o residuales (tipo Van der Waals), caracterizándose por un bajo calor de interacción, ninguna o casi ninguna acción de selección entre el adsorbente y el adsorbido, siendo posible la formación de multicapas. La adsorción química se debe a interacciones químicas primarias (por ejemplo, covalentes) entre el adsorbente y el adsorbido. Existe selectividad, formándose compuestos de superficie. Apenas una camada puede ser adsorbida.

La adsorción puede caracterizarse en relación a la especificidad entre el adsorbido y el adsorbente. Adsorción no específica ocurre en respuesta a la atracción puramente electrostática. Es rápida y rápidamente reversible, no pudiendo revertir el signo de la carga original del adsorbente. En la adsorción específica, la contribución electrostática puede ser irrelevante y especies adsorbidas específicamente pueden aumentar, reducir, anular o revertir la carga original del adsorbente. Es relativamente lenta e irreversible.

Varios factores pueden contribuir al proceso de adsorción, tales como, atracción electrostática, enlace covalente, enlace puente hidrógeno, interacciones no polares entre el adsorbato y especies interfaciales, interacciones laterales entre las especies adsorbidas (Pavez, 2016).

2.2.14. Termodinámica de la flotación

Para que en la práctica ocurra la adhesión entre una burbuja y una partícula mineral, deben cumplirse condiciones termodinámicas a la vez que hidrodinámicas.

En primer lugar debe ocurrir un encuentro físico entre la partícula y la burbuja (colisión). Para que dicha colisión sea exitosa se requiere que durante el corto tiempo que dura la colisión, tenga lugar el adelgazamiento y ruptura del film de líquido que los separa y se forme una nueva interfase mineral/aire. Tanto la espontaneidad con que ocurra esta etapa, así como, la estabilidad en el tiempo de esta adhesión, dependen de la capacidad de la partícula de mineral de hidratarse y formar su doble capa eléctrica, para así poder unirse (por fuerzas de van der Waals) a los colectores y lograr la flotación.

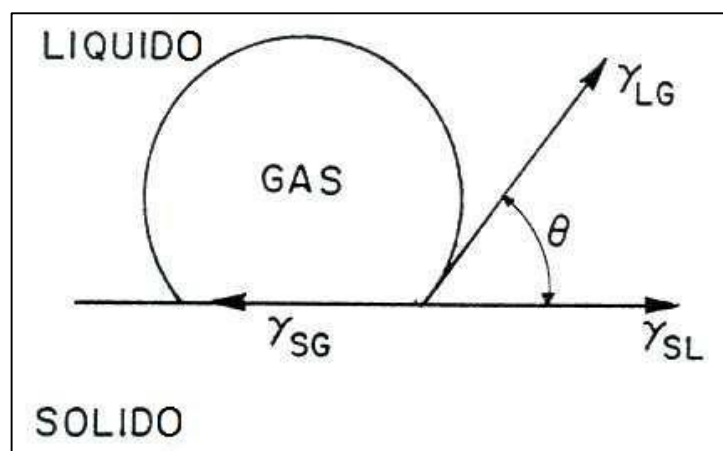
Durante la adhesión hay un efecto cinético importante. Hay un tiempo mínimo necesario para que ocurra una adhesión estable, llamado tiempo de inducción. Lógicamente, en la flotación se requiere que el tiempo de inducción sea menor que el tiempo de duración de la colisión. Durante este corto lapso de tiempo debe ocurrir el reemplazo de la interfase mineral/solución por la interfase mineral/gas, lo cual involucra vencer ciertas fuerzas de oposición que surgen de la energía superficial del agua dispersa en un film muy delgado que a su vez es función de la afinidad con la superficie mineral. La flotación es básicamente la adhesión de una partícula mineral, con bajas condiciones de flotabilidad, a una burbuja de gas por medio de colectores. La propiedad que impide que el tiempo de inducción (adhesión estable) sea menor al tiempo que dura la colisión es la tensión superficial.

Para el análisis de la espontaneidad de la adhesión y ante la falta de técnicas adecuadas para medir experimentalmente las tensiones interfaciales sólido/gas y sólido/líquido, se recurre a la ecuación de Young. Esto último define un

parámetro medible vinculado a la adhesión estable entre partícula y burbuja de aire, que es el ángulo de contacto, en función de las tensiones interfaciales.

En el año 1805 Thomas Young propuso tratar el ángulo de contacto de una gota de líquido colocada sobre una superficie sólida plana, como un equilibrio mecánico de las tensiones interfaciales sólido/líquido, sólido/gas y líquido/gas (Rubio, 2013)

FIGURA N° 06. Angulo de contacto en un sólido



Fuente: (Chía, 2012).

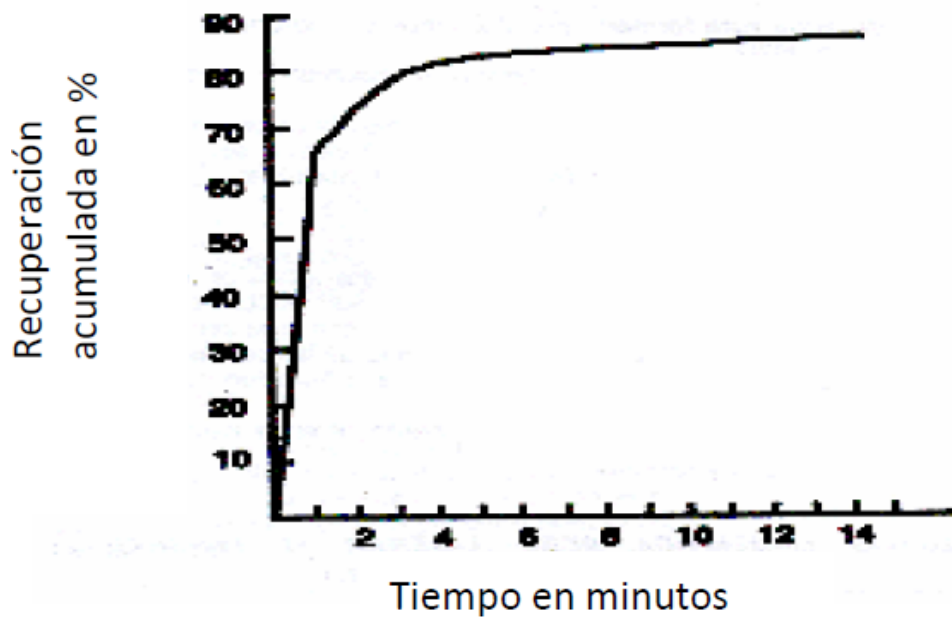
2.2.15. Cinética de la flotación

Ya que en la flotación estamos en presencia de fenómenos físico-químicos, conviene tener presente que tanto las reacciones de acondicionamiento (mineral versus reactivos colectores/modificadores) como las de flotación propiamente tales (superficies acondicionadas de mineral versus burbujas de aire) tienen cinética definida, por ejemplo requieren de un lapso de tiempo más o menos prolongado para llevarse a cabo.

En los dos casos, la cinética se expresa por la ley de acción de las masas (o principio de Gulderg y Waage). Que a su vez se basa en el concepto probabilístico de calcular la probabilidad de que una partícula de mineral se encuentre respectivamente con una molécula de reactivo colector, o con una burbuja de aire, según sea el caso.

Para apreciar la eficiencia de la flotación es necesario determinar su velocidad y selectividad, con que flotan las partículas minerales, o sea, es la recuperación de especies minerales en la espuma en relación con el tiempo.

FIGURA N° 07. Curva: % de Recuperación vs. Tiempo de flotación.



Fuente: (Concentración de minerales, 2013)

Una de las técnicas más precisas está basada en la determinación de la velocidad de flotación de resultados de flotación parcial, en que las espumas producidas se captan luego de intervalos de tiempo iguales y se transfieren a vasos separados.

Luego se pesan las porciones de espuma de cada vaso lo que permitirá calcular una serie de resultados. Los resultados de flotación fraccional se llevan a un gráfico de coordenadas que muestran los cambios de las cantidades de partículas que pasan a las espumas en cada intervalo de tiempo con relación a las partículas sujetas a la flotación, presentes en la pulpa al comienzo del proceso (Concentración de minerales, 2013).

2.2.16. Variables de la flotación

Las variables que más afectan la flotación de los minerales son las siguientes: granulometría de la mena, tipo y dosificación de reactivos de flotación, densidad de la pulpa o porcentaje de sólidos, pH.

A) Densidad de pulpa o porcentaje de sólidos

La densidad de la pulpa o porcentaje de sólidos en la flotación de minerales viene determinada desde la etapa de molienda/clasificación. Es raro que la pulpa se ajuste en su porcentaje de sólidos antes de entrar a la etapa de flotación, sin embargo, es un factor importante, ya que la flotación de los minerales ocurre en forma eficiente cuando la pulpa presenta un valor adecuado de porcentaje de sólidos.

La densidad de pulpa afecta el tiempo de residencia del mineral en las etapas de flotación, y de esta forma en la capacidad del circuito. En general, la etapa de flotación rougher de las plantas concentradoras de cobre opera con un porcentaje de sólidos comprendido entre 30% y 45%, mientras que, las etapas de limpieza (cleaner y recleaner) trabajan con un porcentaje de sólidos menor (Pavez, 2016).

B) Potencial de hidrógeno o pH

El pH es la variable de control más utilizada en la flotación, ya que resulta fundamental en la recuperación y selectividad, así como, en la depresión de minerales. En la flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Los reactivos de flotación, principalmente los colectores, operan mejor en ciertos rangos de pH. La regulación del pH en la flotación de cobre se realiza con cal. Este reactivo es importante, ya que, además de actuar como modificador de pH, es un depresor de pirita en la flotación selectiva de minerales de cobre en la etapa de limpieza.

La flotación se hace generalmente en disoluciones ligeramente ácidas o alcalinas, con un pH comprendido entre 4 y 11 y es muy difícil mantener constante el valor del pH porque es imposible en la práctica regular

exactamente las adiciones ácidas o bases, bastando muy pequeñas cantidades de reactivos ácidos o bases para cambiar considerablemente el pH.

La influencia es debido a su acción sobre las sales disueltas en la pulpa de flotación o procedente de disolución del mineral, cambiando completamente la reacción entre ellos o alterando la solubilidad de los minerales y de sus productos de descomposición, o modificando las reacciones entre minerales y reactivos alterando la acción superficial y la adsorción de los reactivos.

Se han hecho innumerables investigaciones sobre la influencia del pH en la flotación de los minerales, sin que se haya podido establecer reglas de carácter general, pues se ha comprobado que un mineral puede flotar bien lo mismo en una pulpa ácida o básica, o en una u otra.

A veces como ocurre con el carbón y el azufre, la flotación se hace mejor en la pulpa neutra, por lo tanto pues conviene indagarse, con ensayos y pruebas de investigación cuál es el pH más conveniente y su exacta determinación depende que el rendimiento sea mayor. No solo interesa el pH sino el reactivo que ha producido ese pH (Rubio, 2013).

C) Granulometría de la Mena.

Existe un tamaño de partícula que presenta una mayor recuperación metalúrgica, observándose, en general, una disminución de ésta para tamaños más gruesos y más finos de la mena. La recuperación disminuye para tamaños pequeños, lo cual se relaciona con la dificultad de adhesión partícula/burbuja, dado a que éstas no adquieren la energía cinética suficiente para producir un agregado partícula/burbuja estable. Por otra parte, las partículas pequeñas son arrastradas más fácilmente a la espuma, ya que el drenaje a la pulpa se favorece con el incremento de la velocidad de sedimentación.

Es importante destacar que, en la etapa de flotación primaria (etapa rougher) la flotación se realiza con una granulometría de mena en la cual no es necesaria la liberación de la partícula, sin embargo, en la etapa de limpieza donde es necesaria la selectividad de las partículas útiles, es fundamental realizar una remolienda del concentrado de la etapa rougher para la liberación de las especies útiles de la mena.

De esta manera, el tamaño de partícula es la variable sobre la cual debe ponerse más énfasis en su control, debido a su efecto en la recuperación metalúrgica y en la selectividad del concentrado final, así como, por la alta incidencia que tiene en los costos de operación del proceso global de concentración (Chía, 2012).

D) Tipo y dosificación de los reactivos en la flotación.

La función del colector es adherir la partícula de mineral a la burbuja mediante enlaces de van der Waals y de London por lo cual, es el reactivo químico más importante utilizado en la flotación. La amplia experiencia existente en la flotación de minerales permite usar con eficiencia determinados tipos de colectores dependiendo de los tipos de minerales y asociaciones mineralógicas presentes.

Por otro lado, la elección de un espumante determina las características de la espuma, que contribuye a la selectividad de la operación. La altura de la espuma y el flujo de aire a la celda afectan el tiempo de retención de las partículas en la espuma. La estabilidad de la espuma depende principalmente de la dosificación del espumante.

Se debe tener en cuenta, que los reactivos de flotación requieren de un cierto tiempo de acondicionamiento para estar en contacto con la pulpa y de esa forma poder actuar en forma eficiente sobre las especies útiles de la mena. Así, la etapa de acondicionamiento adquiere mucha importancia, ya que algunos reactivos se deben adicionar en la etapa de molienda para tener mayor contacto con la mena, mientras que otros, se adicionan directamente al cajón de descarga de los molinos de bolas o al acondicionador (Pavez, 2016).

2.2.17. Reactivos de flotación

Los reactivos de flotación juegan un papel importante en este proceso. Estos al ser añadidos al sistema cumplen determinadas funciones que hacen posible la separación de los minerales valiosos de la ganga. Sin embargo la aplicación adecuada de estos reactivos no siempre resulta una tarea fácil debido a una serie de dificultades técnicas que se presentan durante el proceso. En flotación

el rendimiento de los reactivos, sean colectores o espumantes, depende mucho de la composición y constitución mineralógica de la mena. Los reactivos utilizados para el acondicionamiento favorable del proceso, constituyen los llamados Agentes de Flotación. La selección y combinación apropiada de los mismos para cada tipo de mineral particular, constituye precisamente el principal problema del metalurgista a cargo de la operación

A) Clasificación de los reactivos

Los reactivos o agentes de flotación se clasifican en:

- **Espumante**

Tienen como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de la máquina de flotación (celdas).

- **Colector**

Es el reactivo fundamental del proceso de flotación puesto que produce la película hidrofóbica sobre la partícula del mineral.

- **Modificadores**

Actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc. Facilitando la acción del colector para flotar el mineral de valor, evitando su acción a todos los otros minerales como es la ganga (Bravo, 2012)

2.3. Definición de términos básicos

Pirometalurgia: Es una rama de la metalurgia extractiva en la que se emplean procesos para obtención y refinado o refinación de metales utilizando calor, como en el caso de la fundición. Es la técnica más antigua para extracción de metales. Permite obtener metales a partir de sus menas, directamente o después de concentradas, por medio de calor. Se trata principalmente de extraer –del mineral– el metal, mediante

separación –de la ganga– del mineral y purificación de los metales. El rango de temperaturas suele superar los 950 °C (Allibert, 2014).

Hidrometalurgia: Es la rama de la metalurgia que cubre la extracción y recuperación de metales usando soluciones líquidas, acuosas y orgánicas. Se basa en la concentración de soluciones en uno a varios elementos de interés metales, presentes como iones, que por reacciones reversibles y diferencias físicas de las soluciones son separados y aislados de forma específica. Como resultado se obtiene una solución rica en el ion de interés y con características propicias para la próxima etapa productiva (Domic, 2012).

Colector: Son compuestos químicos orgánicos que actúan selectivamente en la superficie de ciertos minerales.

Espumante: Es un surfactante que se adiciona a la pulpa con el objetivo de estabilizar la espuma, en la cual se encuentra el mineral de interés. Por otra parte, los reactivos modificadores se usan para intensificar o reducir la acción de los colectores sobre la superficie mineral.

Tensión interfacial: Es la energía de Gibbs por unidad de área de interfaz a temperatura y presión fijas. La tensión interfacial se produce porque una molécula cerca de una interfaz tiene interacciones moleculares diferentes de una molécula equivalente dentro del fluido estándar. Las moléculas surfactantes se sitúan preferentemente en la interfaz y por lo tanto disminuyen la tensión interfacial.

Reactivos químicos de flotación: Son los compuestos usados en cada una de las etapas del proceso de flotación, teniendo dentro de ellos a los colectores, espumantes, activadores, depresores y modificadores de pH.

Componentes del equipo de flotación: Diseño de la celda, sistema de agitación, forma en que se dispersa el flujo de aire, configuración de los bancos de celdas, control de los bancos de celdas.

Componentes de la operación: Flujo de alimentación, mineralogía de la mena, granulometría de la mena, densidad de la pulpa, temperatura.

Granulometría de la mena: Es el tamaño de la partícula a ser sometida a proceso de investigación y/o análisis.

Densidad de pulpa: Es la cantidad de sólidos en la flotación de minerales, la cual viene determinada desde la etapa de molienda/ clasificación.

Potencial de hidrógeno: También denominado pH, es el grado de acidez o basicidad que manifiesta el mineral disuelto en solución acuosa (Porrás, 2012).

Hidrofobicidad: El efecto hidrófobo representa la tendencia del agua a excluir moléculas no polares. El efecto se origina a partir de la ruptura de los enlaces de hidrógeno altamente dinámicas entre moléculas de agua líquida. Grupos químicos polares, tales como grupo OH en metanol no causan el efecto hidrófobo. Sin embargo, una molécula de hidrocarburo puro, por ejemplo hexano, no puede aceptar o donar enlaces de hidrógeno con el agua. Introducción de hexano en el agua provoca la interrupción de la red de enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua. Los enlaces de hidrógeno son parcialmente reconstruidos mediante la construcción de un agua "jaula" alrededor de la molécula de hexano, similar a la de hidratos de clatrato formadas a temperaturas más bajas. La movilidad de las moléculas de agua en la "jaula" está fuertemente restringida. Esto conduce a pérdidas significativas en la entropía traslacional y rotacional de las moléculas de agua y hace que el proceso desfavorable en términos de energía libre del sistema. La hidrofobicidad del mineral es la que permite la adherencia de las partículas sólidas a las burbujas de aire provenientes del proceso de flotación (Chau, Bruckard, Koh, & Nguyen, 2012).

2.4. Hipótesis

A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol y disminuye la granulometría, se incrementará el porcentaje de recuperación de oro y plata de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

- Variable independiente:

A: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM): 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100.

B: Granulometría (% pasante de malla 200): 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85.

- Variable dependiente:

Recuperación de oro y plata.

TABLA N° 05. Definición operacional de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VI: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol	<p>“Proporción o relación que hay entre las materias orgánicas de carácter “heteropolar”, capaces de absorberse en la interfase aire - agua. Se orienta con su grupo no polar hacia el aire y el grupo polar hacia el agua” (Bravo, 2012).</p>	Cantidad de Metil Isobutil Carbinol dentro del proceso de flotación.	Parámetros físicos.	Cantidad de reactivo de 10 a 100 g/TM.
VI: Granulometría	<p>“Medición y graduación de los granos de un mineral, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los</p>	Tamaño de la partícula mineral.	Parámetros físicos.	Análisis físico del mineral (medición en el rango de 40% a 85 % pasante de malla 200).

	correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica” (Bravo, 2012).			
VD: Recuperación de oro y plata	Concentración cuantitativa del elemento metálico dentro de la mena investigada y/o analizada” (Bravo, 2012).	Cantidad en porcentaje de oro y plata (ley de oro y plata).	Cantidad de oro y plata.	Porcentaje de recuperación de oro y plata (ley de oro y plata).

Fuente: Elaboración propia

3.2. Diseño de investigación.

3.2.1. Según el propósito: Aplicada

Fue aplicada ya que se utilizaron los conocimientos en la práctica, para aplicarlos en provecho de la sociedad. Se tuvo como propósito dar solución a una situación o problema concreto e identificable como es la optimización del proceso de flotación de oro y plata.

3.2.2. Según el diseño de investigación: Experimental

Fue experimental, debido a que es una situación de control en la cual se manipula de manera intencional las dos variables independientes de trabajo (dosificación del Metil Isobutil Carbinol y granulometría) para analizar las consecuencias sobre la variable dependiente (recuperación de oro y plata).

3.2.3. Según el tipo de investigación experimental: Experimental pura

Fue experimental pura ya que reunió dos requisitos:

- Control: Se formaron grupos de comparación (en uno de ellos se manipuló la variable).
- Validez interna: Los grupos se formaron aleatoriamente.

En este diseño se llegó a evaluar dos variables independientes y una dependiente. Así mismo se utilizaron pre pruebas y post pruebas para analizar

la evolución de los grupos antes y después del tratamiento experimental de flotación de oro y plata.

TABLA N° 06. Esquema del proceso experimental - puro

Grupo	Asignación	Pre Prueba	Post Prueba
Grupo estudio	R	Pre test 1	Post test 2
Grupo control	R	Pre test 3	Post test 4

Fuente: Elaboración propia

3.3. Unidad de estudio

Mineral sulfurado.

3.4. Población

Mineral sulfurado proveniente de Otuzco, departamento de La Libertad.

3.5. Muestra

La muestra estuvo constituida por 50 kg de mineral sulfurado proveniente de Otuzco, departamento de La Libertad.

TABLA N° 07. Leyes del mineral de estudio.

Propiedad	Valor
Ley de oro	10.40 g/TM
Ley de plata	710 g/TM
Ley de cobre	3.9 % (0.039 g/TM)

Fuente: Laboratorio de análisis químicos de la Universidad Nacional de Trujillo

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Se empleó la técnica de espectrofotometría, la cual es un método de análisis químico cuantitativo en el laboratorio que se utiliza para determinar la concentración desconocida de oro y plata presente en la solución.

3.6.2. Instrumentos y materiales

A. Instrumentos y equipos:

A.1. Espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu 8800.

Equipo que se basa en la Ley de Beer para cuantificar la concentración de la muestra, la cual nos dice que la concentración es proporcional a la absorbancia ($C=kA$). En Absorción Atómica la función de la llama es atomizar la muestra que luego es absorbida por una lámpara de cátodo hueco, específico para cada elemento.

Uso: Determinación de metales pesados a nivel de pequeñas concentraciones (ppm, ppb) en fluidos, aire, y alimentos.

Aplicación: Determinación de metales pesados en residuos y/o relaves mineros, alimentos, aguas contaminadas, aire contaminado, etc.

A.2. Celda de flotación DENVER

En la celda de flotación DENVER, se genera la presión negativa por la fuerza centrífuga durante la velocidad del impulsor. Al mismo tiempo la pulpa arriba de la placa se aspira por los hoyos de circulación a la cámara del impulsor formando la circulación superior. Su parte inferior de la pulpa se añade a la central, formando de esta manera una pasta de la siguiente ciclo. La pulpa se lanza por la paleta inferior y se añade al centro formando un círculo inferior. El aire se aspira por el tubo de succión y el tanque central mezclando con la pulpa y formando burbujas finas pasando por la placa y extendido uniformemente en el tanque con forma de burbujas mineralizadas. Después de subir a la capa de burbuja se raspan para tener el producto de burbujas.

Tipo:	Tanque cilíndrico
Tamaño:	300 mm diámetro y 400 mm de altura
Revoluciones:	950 rpm
Material:	Acero de medio carbono
Motor:	1.50 Kw 4P motor enjaulado
Accesorios:	Faja en V con cobertura de seguridad Tubería de 1/4" para aire a baja presión Sistema para ducha de agua Válvula de desagüe Canaleta de recepción de concentrados Patas de soporte
Tiempo de flotación:	22.5 minutos para alimentación de 30 kph 13.5 minutos para alimentación de 50 kph.

A.6. pH metro Hanna modelo HI 8424.

Equipo cuyo principio es la medición de milivoltajes, el cual mediante una conversión se determina la diferencia de potencial Ion hidronio.

Uso: Determinación de pH de una muestra para análisis utilizando un electrodo adecuado.

Aplicación: Determinación de PH en soluciones acuosas, alimentos, relaves mineros, bebidas, etc.

A.5. Equipo de filtración.

Consta de un embudo cerámico con un soporte para filtro, trampa de succión y bomba de vacío.

Uso: Acelerar la separación de un sólido (soluto) y un solvente de una solución.

Aplicación: Separación de solutos que no reaccionan con el solvente, separación de carbón activado, tierra de diatomeas y otros tipos de adsorbentes.

A.6. Balanza analítica.

Equipo cuyo principio es una bobina centrada en el que su movimiento genera una carga eléctrica que es procesada, derivada y transformada a una unidad de peso.

Uso: Medir el peso de materiales.

Aplicación: Medir pesos, pesar solutos, calibrar materiales de vidrio volumétrico.

B. Materiales y reactivos

- Fiolas de 100 ml, Clase A
- Vasos de precipitado de 100,400,1000 mL
- Matracas erlenmeyer de 100,250 mL
- Pipetas volumétricas (5mL,10mL, 15mL y 25 mL) Clase A
- Baguetas de vidrio
- Embudos de vidrio de vástago largo
- Espatula de acero inoxidable
- Piscetas
- Buretas
- Papel filtro Whatman N 40
- Cinta de pH.
- Soporte de madera para embudos
- Aerofloat: A-31: 16g/TM
- Aerofloat: A-238: 48g/TM
- Aerofloat: A-404: 32g/TM
- Xantato: Z-11: 30g/TM
- Porcentaje de sólidos: 33 %
- Espumante Metil Isobutil Carbinol (g/TM): 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
- Temperatura: 25°C

3.6.3. Procedimiento de recolección de datos

El presente estudio se desarrolló siguiendo el siguiente procedimiento experimental:

1°. La muestra de 50 kg de mineral, fue homogenizada y cuarteada, sacando una muestra de 1 kg de mineral, la cual se chancó y pulverizó a malla - #100, obteniendo una muestra de 20g de mineral que fue secada y posteriormente enviada al laboratorio para su análisis químico por oro y plata.

2°. El mineral restante se trituró y se tamizó por la malla #10, luego a 1 Kg de este mineral se hace la molienda respectiva por 20 minutos, hasta obtener 40% - #200.

3°. Luego se repite los pasos anteriores hasta obtener las granulometrías de 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, y 85% - #200.

4°. Se pesó 1.0 Kg de mineral 100% - #10, se colocó dentro del molino de bolas de laboratorio, seguido se agregó 0.82 litros de agua, para obtener una pulpa con % de sólidos en el molino. Se agregó 1.6 g cal (1.6g Kg/TM para obtener pH igual a 9.0), 1 gota de A-31(16g/TM), y moler por 20 minutos.

5°. Se retiró la pulpa del molino con cuidado y se lavó agregando agua sin pasar al 33% de sólidos, luego se llevó hacia el vaso de la celda de flotación.

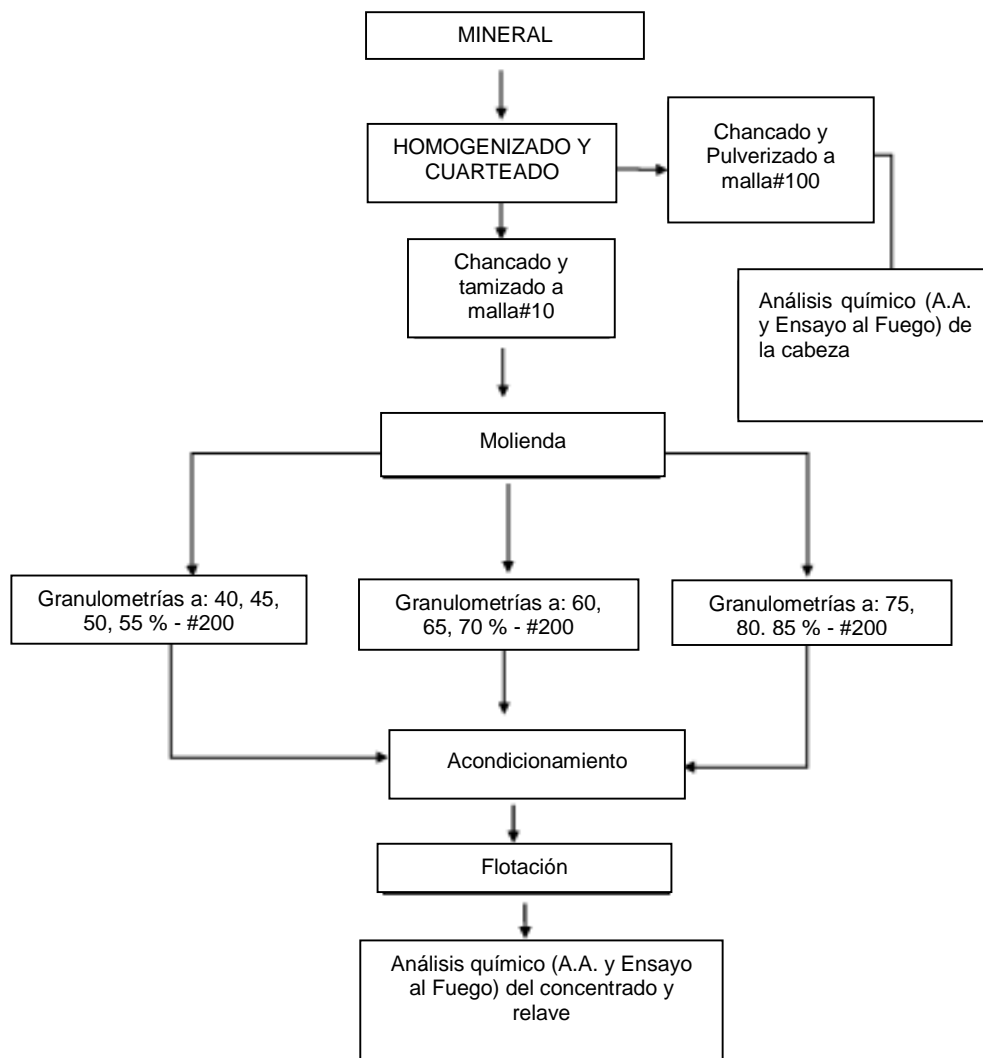
6°. Se agregó agua, la necesario para llegar al 33% de sólidos, durante el acondicionamiento por 4 minutos de la pulpa agregando los reactivos: 3 gotas de A- 238 (48g/TM), 2 gotas de A-404 (32 g/TM), 3 ml de Z-11 (1%) y 10 g/TM de Metil Isobutil Carbinol.

7°. Flotación, después de acondicionar con los reactivos se abrió ligeramente la válvula de aire y flotar durante 3 minutos, retirando las espumas, luego se procedió a secar el concentrado (espumas), se pesó y analizó por Oro y plata. De la misma forma se procedió con el relave de la flotación.

8°. Se repitió los paso 4, 5 y 6 y 7, variando la dosificación de Metil Isobutil Carbinol (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 g/TM).

Terminado las pruebas y obtenido los datos de pesos de concentrados y leyes de oro y plata, se procedió a realizar los balances metalúrgicos, donde se obtiene el ratio de concentración y las recuperaciones para el oro y la plata, así como la interpretación de los resultados.

FIGURA N° 08: Procedimiento experimental de flotación de mineral.



Fuente: Elaboración propia

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Los instrumentos que se utilizaron fueron tablas de Excel, gráficos y Cálculos de análisis de varianza los cuales sirvieron para recopilar y analizar la información, de los resultados de la recuperación de oro y plata con los diferentes parámetros de dosificación de Metil Isobutil Carbinol y granulometrías.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO

4.1. Protocolo de flotación.

1. Primer Etapa.

En esta primera etapa se ha considerado realizar 10 flotaciones, evaluando la recuperación de los valores metálicos del oro y la plata.

Prueba de Flotación N° 01

Esta prueba de flotación se realizó a 40% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral	:	1.0 kg
% sólidos	:	33 %
Tiempo de molienda	:	20 minutos
Cal Hidratada	:	Apropiada para llevar al pH deseado (pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento	:	4´
A-238	:	48 g/TM
A-31	:	16 g/TM
A-404	:	32 g/TM
Z-11	:	30 g/TM
Espumante Metil Isobutil Carbinol	:	10 g/TM
pH	:	9
Flotación	:	3´

Prueba de Flotación N° 02

Esta prueba de flotación se realizó a 45% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral	:	1.0 kg
% sólidos	:	33 %
Tiempo de molienda	:	20 minutos
Cal Hidratada	:	Apropiada para llevar al pH deseado (pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento	:	4´
A-238	:	48 g/TM
A-31	:	16 g/TM
A-404	:	32 g/TM
Z-11	:	30 g/TM
Espumante Metil Isobutil Carbinol	:	20 g/TM
pH	:	9
Flotación	:	3´

Prueba de Flotación N° 03

Esta prueba de flotación se realizó a 50% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral	:	1.0 kg
% sólidos	:	33 %
Tiempo de molienda	:	20 minutos
Cal Hidratada	:	Apropiada para llevar al pH deseado (pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento	:	4´
A-238	:	48 g/TM
A-31	:	16 g/TM

A-404	:	32 g/TM
Z-11	:	30 g/TM
Espumante Metil Isobutil Carbinol	:	30 g/TM
pH	:	9
Flotación	:	3´

Prueba de Flotación N° 04

Esta prueba de flotación se realizó a 55% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral	:	1.0 kg
% sólidos	:	33 %
Tiempo de molienda	:	20 minutos
Cal Hidratada	:	Apropiada para llevar al pH deseado (pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento	:	4´
A-238	:	48 g/TM
A-31	:	16 g/TM
A-404	:	32 g/TM
Z-11	:	30 g/TM
Espumante Metil Isobutil Carbinol	:	40 g/TM
pH	:	9
Flotación	:	3´

Prueba de Flotación N° 05

Esta prueba de flotación se realizó a 60% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral	:	1.0 kg
------------------	---	--------

% sólidos	:	33 %
Tiempo de molienda	:	20 minutos
Cal Hidratada	:	Apropiada para llevar al pH deseado (pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento	:	4´
A-238	:	48 g/TM
A-31	:	16 g/TM
A-404	:	32 g/TM
Z-11	:	30 g/TM
Espumante Metil Isobutil Carbinol	:	50 g/TM
pH	:	9
Flotación	:	3´

Prueba de Flotación N° 06

Esta prueba de flotación se realizó a 65% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral	:	1.0 kg
% sólidos	:	33 %
Tiempo de molienda	:	20 minutos
Cal Hidratada	:	Apropiada para llevar al pH deseado (pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento	:	4´
A-238	:	48 g/TM
A-31	:	16 g/TM
A-404	:	32 g/TM
Z-11	:	30 g/TM

Espumante Metil Isobutil Carbinol	:	60 g/TM
pH	:	9
Flotación	:	3´

Prueba de Flotación N° 07

Esta prueba de flotación se realizó a 70% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral	:	1.0 kg
% sólidos	:	33 %
Tiempo de molienda	:	20 minutos
Cal Hidratada	:	Apropiada para llevar al pH deseado (pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento	:	4´
A-238	:	48 g/TM
A-31	:	16 g/TM
A-404	:	32 g/TM
Z-11	:	30 g/TM
Espumante Metil Isobutil Carbinol	:	70 g/TM
pH	:	9
Flotación	:	3´

Prueba de Flotación N° 08

Esta prueba de flotación se realizó a 75% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral	:	1.0 kg
% sólidos	:	33 %
Tiempo de molienda	:	20 minutos

Cal Hidratada : Apropiaada para llevar al pH deseado
(pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento : 4´

A-238 : 48 g/TM

A-31 : 16 g/TM

A-404 : 32 g/TM

Z-11 : 30 g/TM

Espumante Metil Isobutil Carbinol : 80 g/TM

pH : 9

Flotación : 3´

Prueba de Flotación N° 09

Esta prueba de flotación se realizó a 80% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral : 1.0 kg

% sólidos : 33 %

Tiempo de molienda : 20 minutos

Cal Hidratada : Apropiaada para llevar al pH deseado
(pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento : 4´

A-238 : 48 g/TM

A-31 : 16 g/TM

A-404 : 32 g/TM

Z-11 : 30 g/TM

Espumante Metil Isobutil Carbinol : 90 g/TM

pH : 9

Flotación : 3´

Prueba de Flotación N° 10

Esta prueba de flotación se realizó a 85% - 200 mallas

MOLIENDA

Peso del mineral : 1.0 kg
% sólidos : 33 %
Tiempo de molienda : 20 minutos
Cal Hidratada : Apropiaada para llevar al pH deseado (pH = 9.0)

FLOTACIÓN

Acondicionamiento : 4´
A-238 : 48 g/TM
A-31 : 16 g/TM
A-404 : 32 g/TM
Z-11 : 30 g/TM
Espumante Metil Isobutil Carbinol : 100 g/TM
pH : 9
Flotación : 3´

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

Los resultados de las diferentes pruebas experimentales para hallar la recuperación de oro y plata, variando la dosificación del Metil Isobutil Carbinol (MIBC) y la granulometría, se muestra a continuación.

5.1. Para el oro

TABLA N° 08. Ley de oro en el relave después de realizar los ensayos ($Ley_i = 10.40 \text{ g Au/TM}$)

Diseño	A: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
40 %	8.837	8.560	8.239	7.700	7.499	7.173	6.942	7.410	7.660	7.753
45 %	7.680	7.126	6.505	5.980	5.351	5.044	5.342	5.642	5.940	6.203
50 %	7.303	6.679	5.996	5.326	4.598	4.333	4.601	4.870	5.139	5.330
55 %	5.319	5.153	5.356	4.654	3.916	3.201	3.440	3.681	3.920	4.134
60 %	4.653	4.113	4.316	3.354	2.292	1.942	2.236	2.530	2.826	3.083
65 %	5.119	4.643	4.394	3.489	2.444	2.124	2.398	2.674	2.948	3.131
70 %	5.240	5.152	4.495	3.540	2.678	2.447	2.720	2.991	3.264	3.520
75 %	5.761	5.641	4.732	3.822	2.875	2.487	2.775	3.063	3.352	3.541
80 %	6.141	5.772	4.788	4.020	3.058	2.742	3.019	3.295	3.571	3.822
85 %	6.256	6.366	5.046	4.186	3.292	2.929	3.210	3.492	3.774	3.975

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 09. Porcentaje de recuperación de oro después de realizar los ensayos ($Ley_i = 10.40 \text{ g Au/TM}$)

Diseño	A: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
40 %	15.03%	17.69%	20.78%	25.96%	27.89%	31.03%	33.25%	28.75%	26.35%	25.45%	
45 %	26.15%	31.48%	37.45%	42.50%	48.55%	51.50%	48.63%	45.75%	42.88%	40.36%	
50 %	29.78%	35.78%	42.35%	48.79%	55.79%	58.34%	55.76%	53.17%	50.59%	48.75%	
55 %	48.86%	50.45%	48.50%	55.25%	62.35%	69.22%	66.92%	64.61%	62.31%	60.25%	
B: % Granulometría - # 200	60 %	55.26%	60.45%	58.50%	67.75%	77.96%	81.33%	78.50%	75.67%	72.83%	70.36%
	65 %	50.78%	55.36%	57.75%	66.45%	76.50%	79.58%	76.94%	74.29%	71.65%	69.89%
	70 %	49.62%	50.46%	56.78%	65.96%	74.25%	76.47%	73.85%	71.24%	68.62%	66.15%
	75 %	44.61%	45.76%	54.50%	63.25%	72.36%	76.09%	73.32%	70.55%	67.77%	65.95%
	80 %	40.95%	44.50%	53.96%	61.35%	70.60%	73.63%	70.97%	68.32%	65.66%	63.25%
	85 %	39.85%	38.79%	51.48%	59.75%	68.35%	71.84%	69.13%	66.42%	63.71%	61.78%

Fuente: Elaboración Propia

En el resultado se puede apreciar que a 40% - m 200 y 10 g/TM de Metil Isobutil Carbinol se recuperó un promedio de 15.03 % de oro y la mayor recuperación se obtuvo a 60% - m 200 y 60 g/TM de Metil Isobutil Carbinol, obteniéndose un 81.33%.

5.2. Para la plata

TABLA N° 10. Ley de plata en el relave después de realizar los ensayos ($Ley_i = 710 \text{ g/TM}$)

Diseño	A: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
40 %	578.579	554.510	530.370	506.230	482.090	447.229	459.370	471.440	483.581	495.722	
45 %	523.767	482.019	440.200	398.381	356.562	337.605	356.562	375.590	394.547	413.575	
50 %	497.142	454.258	440.555	368.490	325.606	284.284	300.614	316.944	333.345	349.675	
55 %	492.882	443.111	393.269	343.427	293.585	275.835	293.372	340.090	328.517	346.125	
B: % Granulometría - # 200	60 %	417.835	367.425	353.438	299.407	245.305	213.284	231.318	249.423	267.457	285.562
	65 %	427.704	361.745	342.575	229.685	163.655	145.479	163.868	182.257	200.646	219.035
	70 %	392.417	319.003	245.589	170.755	98.690	74.905	90.312	105.648	121.055	136.462
	75 %	387.163	363.875	311.335	194.327	124.605	127.090	111.825	126.735	141.645	156.555
	80 %	411.374	343.853	276.332	208.811	141.290	112.748	132.273	151.798	171.323	190.848
	85 %	425.219	361.603	297.916	234.229	170.542	140.509	159.608	178.707	197.806	216.905

Fuente: Elaboración Propia

TABLA N° 11. Porcentaje de recuperación de plata después de realizar los ensayos (Ley_i = 710 g/TM)

Diseño	A: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
40 %	18.51	21.90	25.30	28.70	32.10	37.01	35.30	33.60	31.89	30.18
45 %	26.23	32.11	38.00	43.89	49.78	52.45	49.78	47.10	44.43	41.75
50 %	29.98	36.02	37.95	48.10	54.14	59.96	57.66	55.36	53.05	50.75
55 %	30.58	37.59	44.61	51.63	58.65	61.15	58.68	52.10	53.73	51.25
60 %	41.15	48.25	50.22	57.83	65.45	69.96	67.42	64.87	62.33	59.78
B: % Granulometría - # 200	39.76	49.05	51.75	67.65	76.95	79.51	76.92	74.33	71.74	69.15
70 %	44.73	55.07	65.41	75.95	86.10	89.45	87.28	85.12	82.95	80.78
75 %	45.47	48.75	56.15	72.63	82.45	82.10	84.25	82.15	80.05	77.95
80 %	42.06	51.57	61.08	70.59	80.10	84.12	81.37	78.62	75.87	73.12
85 %	40.11	49.07	58.04	67.01	75.98	80.21	77.52	74.83	72.14	69.45

Fuente: Elaboración Propia

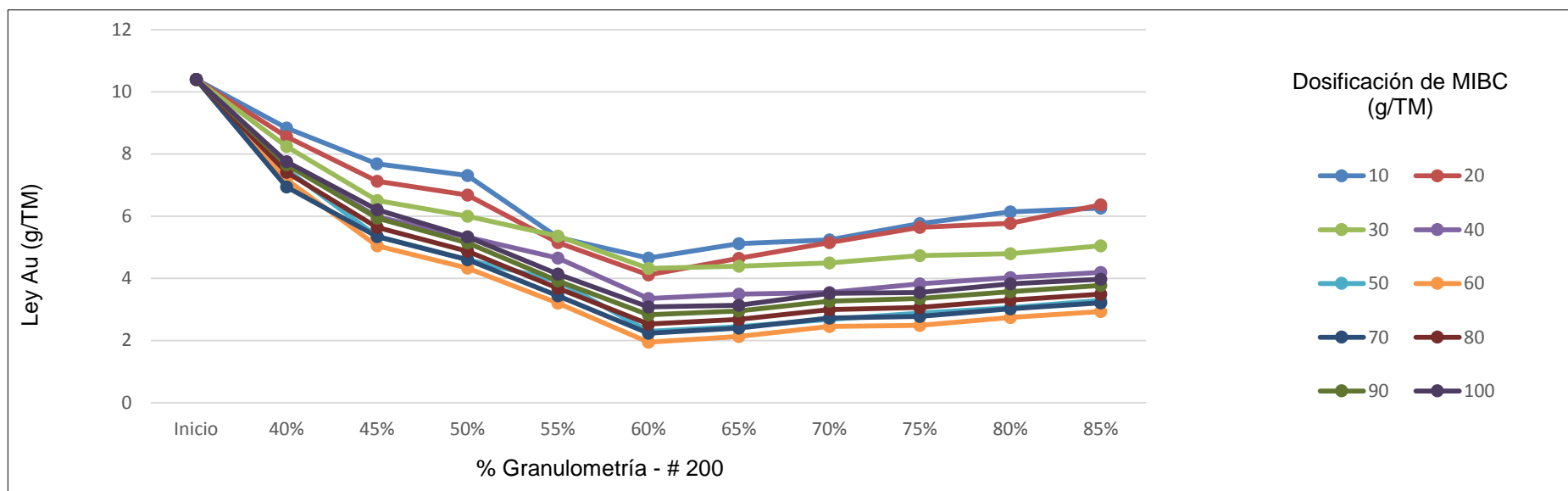
En el resultado se puede apreciar que a 40% - m 200 y 10 g/TM de Metil Isobutil Carbinol se recuperó un promedio de 18.51 % de plata y la mayor recuperación se obtuvo a 70% - m 200 y 60 g/TM de Metil Isobutil Carbinol, obteniéndose un 89.45%.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

Se observa que existen variables que son posibles de manipular de tal manera que se obtiene altos niveles de recuperación de oro y plata y está directamente relacionado con la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200.

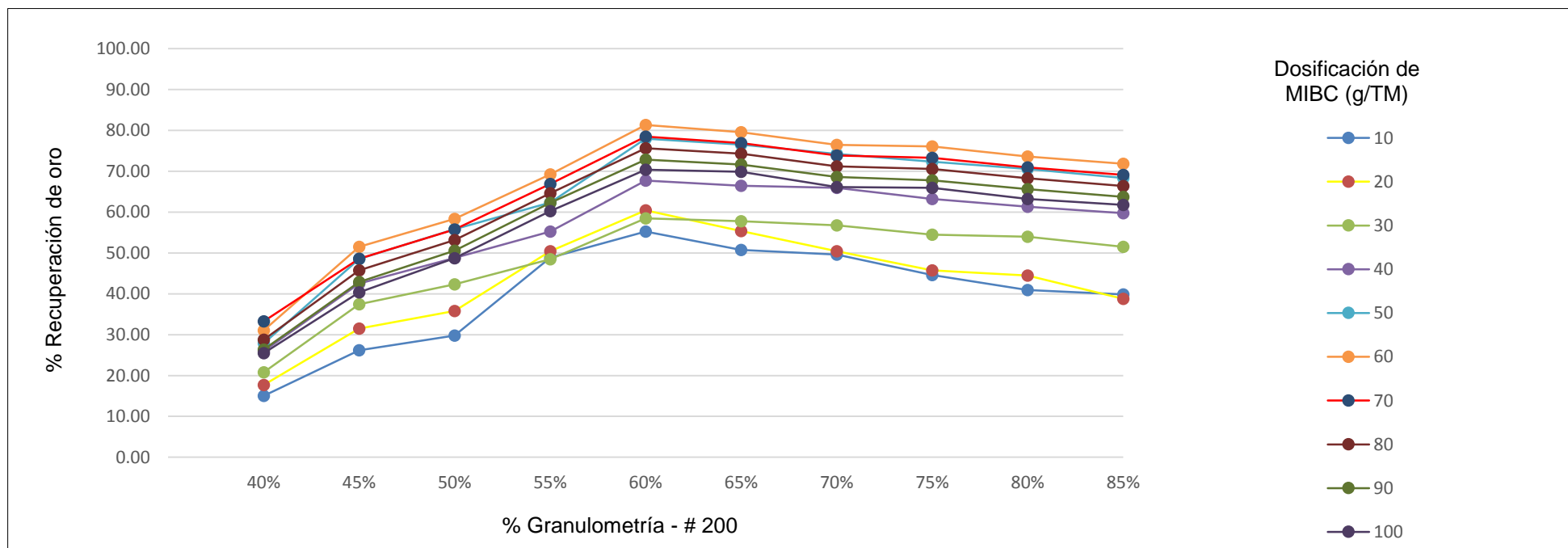
6.1. Para el oro

FIGURA N° 09. Resultados de la Ley de oro del relave después de realizar los ensayos (Ley_i = 10.40 g/TM) con la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200.



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 10: Resultados del porcentaje de recuperación de oro después de realizar los ensayos ($Ley_i = 10.40g/TM$) con la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200.

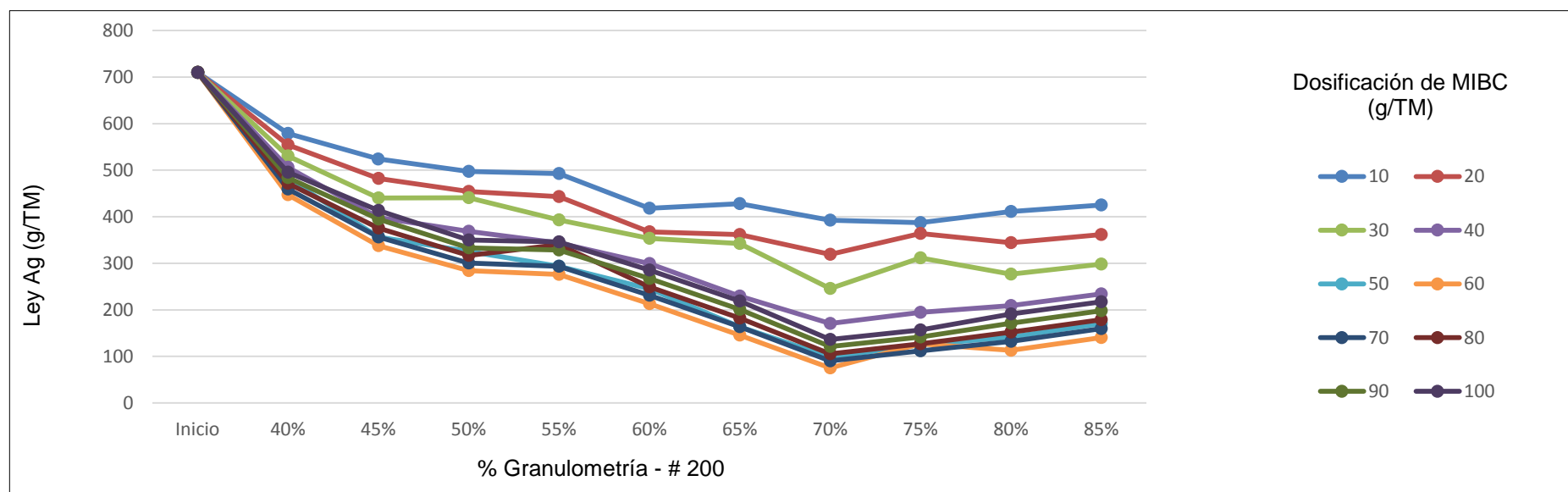


Fuente: Elaboración propia

En este estudio podemos observar que la recuperación de oro está directamente relacionada con la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200. A mayor dosificación del Metil Isobutil Carbinol y aumento del % de granulometría - # 200 (menor tamaño de grano) mayor será la recuperación de oro.

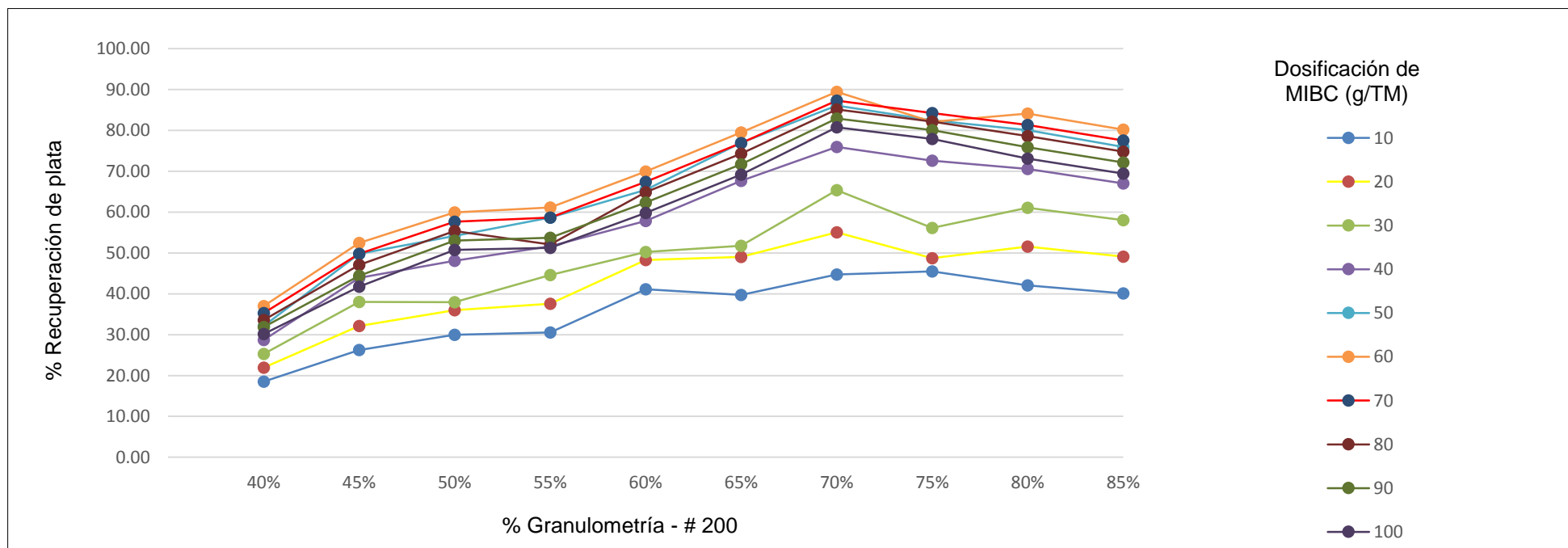
6.2. Para la plata

FIGURA N° 11. Resultados de la Ley de plata del relave después de realizar los ensayos ($Ley_i = 710$ g/TM) con la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200.



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA N° 12: Resultados del porcentaje de recuperación de plata después de realizar los ensayos ($Ley_i = 710 \text{ g/TM}$) con la influencia de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200.



Fuente: Elaboración propia

En este estudio podemos observar que la recuperación de plata está directamente relacionada con la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y el % de granulometría - # 200. A mayor dosificación del Metil Isobutil Carbinol y aumento del % de granulometría - # 200 (menor tamaño de grano) mayor será la recuperación de plata.

CONCLUSIONES

Se concluye que existe influencia significativa de la dosificación del Metil Isobutil Carbinol y de la granulometría sobre el porcentaje de recuperación de oro y plata de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación Bulk.

Se determinó la dosificación del Metil Isobutil Carbinol óptima en la flotación de oro el cual fue de 60 g/TM de MIBC y para la plata también fue de 60 g/TM.

Con respecto a la granulometría, el parámetro más adecuado para el oro se obtuvo a 60% - m 200 y para la plata a 70% - m 200, obteniéndose un valor de recuperación de 81.33 % para el oro y 89.45% para la plata.

Finalmente se concluye que mediante el análisis de varianza a un nivel de significancia de 95%, la dosificación de Metil Isobutil Carbinol y la granulometría influyen significativamente en la recuperación de oro y plata, tanto de manera individual como en su interacción.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una investigación abordando otras variables como uso de otros colectores, así como de espumantes y depresores.

Trabajar con otros parámetros de ejecución para identificar puntos de quiebre que nos permita determinar optimización de procesos desde diferentes factores técnico económico.

Realizar un análisis minerográfico para determinar donde se encuentra el oro y la plata, que posiblemente este encapsulado en el mineral sulfurado

Realizar otros tipos de análisis espectrofotométricos o químicos para determinar qué otros elementos metálicos contiene y predecir de mejor manera el posible comportamiento fisicoquímico de la prueba.

REFERENCIAS

- Allibert, M. (2014). *Pyrometallurgy Fundamentals*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Ampudia, M. (14 de junio de 2016). *Buenaventura supera a Antamina “por una nariz” en producción de plata gracias a Uchucchahua*. Obtenido de <http://proactivo.com.pe/buenaventura-supera-a-antamina-por-una-nariz-en-produccion-de-plata-gracias-a-uchucchahua/>
- Astucuri, V. (2014). *Introducción a la flotación de minerales*. Lima: Universidad de Lima.
- Ballester, A. (2012). *Metalurgia Extractiva. Volumen I*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Barona, F. (2016). *Influencia de la distribución de tamaño de burbujas en la recuperación de la flotación para minerales de cobre*. Santiago de Chile: Univeridad de Chile (Tesis para optar el grado de magíster en Ciencias de la Ingeniería con mención en Metalúrgica Extractiva).
- Bartlett, R. (2012). *Solution Mining, Leaching and Fluid Recovery of Materials*. New York: Gordon and Breach.
- Biswas, A., & Davenport, W. (2012). *Extractive Metallurgy of Copper*. New York: Elsevier Science Press.
- Bray, J. (2015). *Metalurgia Extractiva de Metales no ferrosos*. Madrid: Mc Graw – Hill.
- Cáceres, G. (2012). *Hidrometalurgia y Electrometalurgia*, .
- Chau, T., Bruckard, P., Koh, L., & Nguyen, V. (2012). *A review of factors that affect contact angle and implications for flotation practice*. New York: Advances in colloid and interface science.
- Chía, J. (2012). *Influencia de molienda y clasificación en la flotación de minerales sulfurados*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Concentración de minerales. (2013). *Flotación de minerales*. Lima: Tecsup.
- Cornelis, K., & Hurlbut, S. (2012). *Mineralogía del oro y plata*. Madrid: Reverte.
- Cuadros, J. (2012). *Fuerzas intermoleculares. Fuerzas de Van der Waals*. México.
- Dixon, D., Baxter, K., & Sylwestrzak, L. (2014). *Galvanox™ Treatment of Au and Ag Concentrates*. Australia: Proceedings.

- Domic, E. (2012). *Hidrometalurgia: Fundamentos, procesos y aplicaciones*. Santiago de Chile: Adventures Works.
- Fuentes, O. (2012). *Manual de mineralogía*. Madrid: Mc.Graw Hill.
- Garrels, R., & Christ, C. (2015). *Solutions, Minerals and Equilibria*. California: Freeman Cooper & Co.
- Grez, P. (2013). *Estudio Electroquímico de la interacción de superficies de cobre y enargita con colectores del tipo Tiol: Etilxantato y Dibutilditiocarbamato*. Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Tesis: Doctor en Ciencias - Mención en Química).
- Guzmán, M. (2013). *Hidrometalurgia del Cobre*.
- Herreros, O., & Medina, J. (2012). *Proceso de lixiviación de crisocola – Estudio cinético en reactor agitado*. Cusco: IV Latinometalurgia.
- Laiza, f., & Zegarra, T. (2016). *Influencia del potencial de hidrógeno (pH) y la granulometría sobre el ratio de concentración y el porcentaje de recuperación de oro (Au), Plata (Ag) y cobre (Cu) en la flotación de un mineral tipo sulfuro con alto contenido de plata*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo (Tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista).
- Pérez, N. (2014). *Electrochemistry and Corrosion Science*. New York: Kluwer Academic Publishers.
- Porras, D. (2012). *Concentración de minerales*. Lima: Tecsup.
- Posadas, D. (2014). *Introducción a la Electroquímica*.
- Reyes, I. (2015). *Procesamiento de Minerales II*. Trujillo: Universidad nacional de Trujillo.
- Rubio, J. (2013). *Nuevas tecnologías para el tratamiento de partículas minerales finas y ultrafinas*. Atacama: Universidad de Atacama.
- Sutulov, A. (2013). *Flotación de minerales*. Santiago de Chile: Edit.
- Tantalean, G. (2013). *Introducción a la Metalurgia*.
- Terkel, R. (2012). *Fundamentos de Metalurgia Extractiva*. México: Limusa.
- Tobón, M. (2013). *Estudio de la hidrofobicidad de oro nativo y su efecto en la flotación espumante directa*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia (Tesis para Doctorado en Ingeniería, ciencia y Tecnología de Materiales).
- Zbigniew, S. (2014). *Metalurgia No Ferrosa*. México: Limusa.

LINKOGRAFÍA

- Acosta, J. (10 de noviembre de 2011). *Producción y recursos de oro, plata y cobre en las franjas metalogénicas del Perú*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/ingemmet/potencial-minero-del-per-produccion-y-recursos-de-oro-plata-y-cobre-en-las-franjas-metalogenticas-del-per>
- Azañero, O. (15 de agosto de 2016). *Producción de sulfato de cobre pentahidratado a partir de cemento de cobre*. Perú: TECSUP. Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8_n15/a02.pdf.
- Bravo, A. (2012). *Manual de flotación de minerales*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/manual-flotacion-minerales/manual-flotacion-minerales2.shtml>
- Chaicha, M. (s.f.). *La producción y demanda de la plata del Perú*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos58/produccion-plata-peru/produccion-plata-peru2.shtml>
- Dipromin. (18 de Mayo de 2016). *Diario Digital de minería, energía y construcción*. Obtenido de <http://www.dipromin.com/noticias/roque-benavides-cartera-proyectos-mineros-oro-plata-peru-suma-us-2657-millones/>
- EFIPU-Bolivia. (Noviembre de 2015). *Proyecto presupuesto general del estado gestión 2016*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/EconomiaBo/presentacin-del-presupuesto-general-del-estado-2016>
- Gestión, D. (12 de abril de 2016). *Scotiabank: Producción de oro subió 13% en febrero por minería informal e ilegal*. Obtenido de <http://gestion.pe/economia/scotiabank-produccion-oro-subio-13-febrero-mineria-informal-ilegal-2158245>
- Infomine. (03 de marzo de 2017). *investmentmine*. Obtenido de <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/copper/5-year/>
- Lenntech-Ag. (2017). *Propiedades químicas de la Plata - Efectos de la Plata sobre la salud - Efectos ambientales de la Plata*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ag.htm>

- Lenntech-Au. (2017). *Propiedades químicas del Oro - Efectos del Oro sobre la salud - Efectos ambientales del Oro*. Obtenido de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/au.htm>
- Luna, H. (15 de noviembre de 2016). *Balance y análisis de la minería en el Perú 2014-2015*. Obtenido de http://www.tecnologiaminera.com/tm/biblioteca/pdfart/150714045343_BALANCE.pdf
- Pavez, O. (2016). *Apuntes de concentración de minerales*. Atacama: Universidad de Atacama.

APÉNDICE

Apéndice I: Resultados de las pruebas de recuperación de oro.

TABLA I. Resultados de la ley de relave de oro después de realizar los ensayos ($Ley_i = 10.4 \text{ g/TM}$)

DISEÑO	B: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)																			
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
40%	8.86		8.40		8.22		7.68		7.48		7.21		6.95		7.33		7.71		7.73	
	8.82	8.84	8.66	8.56	8.31	8.24	7.78	7.70	7.55	7.50	7.13	7.17	6.99	6.94	7.48	7.41	7.61	7.66	7.78	7.75
	8.83		8.62		8.19		7.64		7.47		7.18		6.89		7.42		7.66		7.75	
45%	7.66		7.11		6.50		6.03		5.30		5.01		5.31		5.61		5.91		6.15	
	7.75	7.68	7.15	7.13	6.54	6.51	5.97	5.98	5.37	5.35	5.08	5.04	5.38	5.34	5.66	5.64	5.98	5.94	6.23	6.20
	7.63		7.12		6.48		5.94		5.38		5.04		5.34		5.66		5.93		6.23	
50%	7.26		6.62		5.97		5.30		4.58		4.31		4.61		4.83		5.12		5.32	
	7.33	7.30	6.73	6.68	6.04	6.00	5.35	5.33	4.63	4.60	4.35	4.33	4.57	4.60	4.91	4.87	5.16	5.14	5.34	5.33
	7.32		6.69		5.98		5.33		4.58		4.34		4.62		4.87		5.14		5.33	
55%	5.29		5.12		5.32		4.68		3.88		3.17		3.40		3.69		3.86		4.15	
	5.33	5.32	5.19	5.15	5.39	5.36	4.61	4.65	3.91	3.92	3.21	3.20	3.46	3.44	3.65	3.68	3.91	3.92	4.09	4.13
	5.34		5.15		5.36		4.67		3.96		3.22		3.46		3.70		3.99		4.16	
60%	4.66		4.10		4.26		3.31		2.31		1.95		2.21		2.51		2.81		3.06	
	4.61	4.65	4.14	4.11	4.33	4.32	3.40	3.35	2.25	2.29	1.93	1.94	2.27	2.24	2.56	2.53	2.85	2.83	3.12	3.08

	4.69	4.10	4.36	3.35	2.32	1.95	2.23	2.52	2.82	3.07										
	5.12	4.62	4.38	3.52	2.45	2.15	2.43	2.61	2.93	3.10										
65%	5.10	5.12	4.67	4.64	4.43	4.39	3.41	3.49	2.38	2.44	2.09	2.12	2.38	2.40	2.69	2.67	2.98	2.95	3.15	3.13
	5.14	4.64	4.37	3.54	2.50	2.13	2.38	2.72	2.94	3.14										
	5.21	5.13	4.47	3.56	2.66	2.43	2.71	2.95	3.26	3.48										
70%	5.27	5.24	5.18	5.15	4.52	4.49	3.52	3.54	2.71	2.68	2.48	2.45	2.75	2.72	3.03	2.99	3.25	3.26	3.55	3.52
	5.24	5.15	4.49	3.54	2.66	2.43	2.70	2.99	3.28	3.53										
	5.72	5.60	4.71	3.81	2.86	2.46	2.78	3.01	3.33	3.51										
75%	5.79	5.76	5.65	5.64	4.75	4.73	3.86	3.82	2.89	2.87	2.52	2.49	2.69	2.77	3.08	3.06	3.38	3.35	3.59	3.54
	5.77	5.67	4.74	3.80	2.87	2.48	2.85	3.10	3.35	3.52										
	6.10	5.72	4.77	4.01	3.01	2.71	3.01	3.26	3.56	3.81										
80%	6.16	6.14	5.81	5.77	4.83	4.79	4.06	4.02	3.08	3.06	2.78	2.74	3.05	3.02	3.31	3.29	3.63	3.57	3.86	3.82
	6.16	5.79	4.76	3.99	3.08	2.74	3.00	3.31	3.52	3.80										
	6.21	6.32	5.01	4.10	3.22	2.90	3.18	3.50	3.71	3.96										
85%	6.28	6.26	6.41	6.37	5.09	5.05	4.23	4.19	3.31	3.29	2.96	2.93	3.25	3.21	3.49	3.49	3.86	3.77	3.94	3.97
	6.28	6.37	5.04	4.23	3.34	2.93	3.20	3.49	3.75	4.02										

Fuente: Elaboración propia

Se aplicó la siguiente fórmula, a los datos de las leyes encontradas en las muestras de la solución de estudio, después del proceso de flotación, a fin de obtener valores de los porcentajes de eficiencia de recuperación.

$$\eta = \frac{Li - Lf}{Li} * 100$$

Donde:

η = porcentaje de recuperación de oro (%).

Li = Ley inicial de oro.

Lf = Ley final de oro.

Ejemplo de cálculo:

Li = 10.40 g/TM

Lf = 8.86 g/TM

$$\eta = \frac{10.40 - 8.86}{10.40} \times 100$$

$$\eta = 14.81 \%$$

De la misma manera se procedió al cálculo de todos los porcentajes de recuperación de oro a partir de los datos promedio de las leyes finales tal como se muestra a continuación

TABLA II. Tabla resumen del Porcentaje (%) de recuperación de oro por la influencia de la dosificación de MIBC y granulometría

DISEÑO	B: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)																																							
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100																				
A: % Granulometría - # 200	14.81	19.23	20.96	26.15	28.08	30.67	33.17	29.52	25.87	25.67	15.19	15.03	16.73	17.69	20.10	20.78	25.19	25.96	27.40	27.89	31.44	31.03	32.79	33.25	28.08	28.75	26.83	26.35	25.19	25.45										
	15.09	17.11	21.28	26.53	28.19	30.97	33.79	28.65	26.36	25.48	26.35	31.63	37.50	42.02	49.04	51.83	48.94	46.06	43.17	40.87	25.48	26.15	31.25	31.48	37.12	37.45	42.60	42.50	48.37	48.55	51.15	51.50	48.27	48.63	45.58	45.75	42.50	42.88	40.10	40.36
	26.62	31.56	37.73	42.88	48.25	51.52	48.68	45.62	42.97	40.12	30.19	36.35	42.60	49.04	55.96	58.56	55.67	53.56	50.77	48.85	29.52	29.78	35.29	35.78	41.92	42.35	48.56	48.79	55.48	55.79	58.17	58.34	56.06	55.76	52.79	53.17	50.38	50.59	48.65	48.75
	29.63	35.71	42.53	48.77	55.93	58.29	55.55	53.16	50.62	48.75	49.13	50.77	48.85	55.00	62.69	69.52	67.31	64.52	62.88	60.10	48.75	48.86	50.10	50.45	48.17	48.50	55.67	55.25	62.40	62.35	69.13	69.22	66.73	66.92	64.90	64.61	62.40	62.31	60.67	60.25
	48.70	50.48	48.48	55.08	61.95	69.01	66.72	64.41	61.64	59.98	55.19	60.58	59.04	68.17	77.79	81.25	78.75	75.87	72.98	70.58	55.67	55.26	60.19	60.45	58.50	67.75	77.96	77.96	81.33	78.50	75.67	75.67	72.83	72.83	70.36					
	55.19	60.58	59.04	68.17	77.79	81.25	78.75	75.87	72.98	70.58	55.67	60.19	58.37	67.31	78.37	81.44	78.17	75.38	72.60	70.00	55.67	60.19	58.37	67.31	78.37	81.44	78.17	75.38	72.60	70.00										

	54.91	60.58	58.10	67.77	77.73	81.30	78.58	75.76	72.91	70.50										
	50.77	55.58	57.88	66.15	76.44	79.33	76.63	74.90	71.83	70.19										
65%	50.96	50.78	55.10	55.36	57.40	57.75	67.21	66.45	77.12	76.50	79.90	79.58	77.12	76.94	74.13	74.29	71.35	71.65	69.71	69.89
	50.61	55.41	57.96	65.98	75.94	79.51	77.07	73.83	71.78	69.77										
	49.90	50.67	57.02	65.77	74.42	76.63	73.94	71.63	68.65	66.54										
70%	49.33	49.62	50.19	50.46	56.54	56.78	66.15	65.96	73.94	74.25	76.15	76.47	73.56	73.85	70.87	71.24	68.75	68.62	65.87	66.15
	49.63	50.51	56.78	65.96	74.38	76.62	74.05	71.22	68.46	66.05										
	45.00	46.15	54.71	63.37	72.50	76.35	73.27	71.06	67.98	66.25										
75%	44.33	44.61	45.67	45.76	54.33	54.50	62.88	63.25	72.21	72.36	75.77	76.09	74.13	73.32	70.38	70.55	67.50	67.77	65.48	65.95
	44.50	45.45	54.46	63.50	72.37	76.15	72.56	70.21	67.83	66.12										
	41.35	45.00	54.13	61.44	71.06	73.94	71.06	68.65	65.77	63.37										
80%	40.77	40.95	44.13	44.50	53.56	53.96	60.96	61.35	70.38	70.60	73.27	73.63	70.67	70.97	68.17	68.32	65.10	65.66	62.88	63.25
	40.73	44.37	54.19	61.65	70.36	73.68	71.18	68.13	66.11	63.50										
	40.29	39.23	51.83	60.58	69.04	72.12	69.42	66.35	64.33	61.92										
85%	39.62	39.85	38.37	38.79	51.06	51.48	59.33	59.75	68.17	68.35	71.54	71.84	68.75	69.13	66.44	66.42	62.88	63.71	62.12	61.78
	39.65	38.77	51.56	59.35	67.84	71.87	69.22	66.47	63.92	61.30										

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento estadístico de datos

1. Cálculos para el análisis de varianza (ANVA)

Permite determinar si las medias de cada nivel o tratamiento son estadísticamente diferentes. Para su determinación se procedió como se indica a continuación.

1.1. Datos previos

1.1.1. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Nula ($T H_0$): A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol, no afecta el incremento de recuperación de oro, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Nula ($T H_1$): A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol, afecta el incremento de recuperación de oro, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Nula (βH_0): A medida que disminuye la granulometría, no afecta el incremento de recuperación de oro, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Alterna (βH_1): A medida que disminuye la granulometría, afecta el incremento de recuperación de oro, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Nula ($T\beta H_0$): A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol y disminuye la granulometría, no afecta el incremento de recuperación de oro, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Alterna ($T\beta H_1$): A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol y disminuye la granulometría, afecta el incremento de recuperación de oro, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

1.1.2. Nivel de significancia

En ingeniería se trabaja con un 95 % de confianza ($\alpha=0.05$)

1.1.3. Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$, donde el F_0 se obtiene experimentalmente y el F_{α, v_1, v_2} se obtiene de tablas (Anexo 5).

1.2. Cálculos para el ANVA de la recuperación de oro

1.2.1. Presentación de datos

En la Tabla III se presentan los datos individuales de la recuperación de oro en la medida de %, que permiten realizar el análisis de varianza respectivo.

Tabla III. Recuperación de oro a diferentes dosificaciones de Metil Isobutil Carbinol y granulometría.

DISEÑO	B: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)																											ΣYi	Yi, prom			
	10			20			30			40			50			60			70			80			90					100		
A: % Granul - m 200	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	ΣYi	Yi, prom
40%	14.81	15.19	15.09	19.23	16.73	17.11	20.96	20.10	21.28	26.15	25.19	26.53	28.08	27.40	28.19	30.67	31.44	30.97	33.17	32.79	33.79	29.52	28.08	28.65	25.87	26.83	26.36	25.67	25.19	25.48	756.54	25.22
45%	26.35	25.48	26.62	31.63	31.25	31.56	37.50	37.12	37.73	42.02	42.60	42.88	49.04	48.37	48.25	51.83	51.15	51.52	48.94	48.27	48.68	46.06	45.58	45.62	43.17	42.50	42.97	40.87	40.10	40.12	1245.75	41.53
50%	30.19	29.52	29.63	36.35	35.29	35.71	42.60	41.92	42.53	49.04	48.56	48.77	55.96	55.48	55.93	58.56	58.17	58.29	55.67	56.06	55.55	53.56	52.79	53.16	50.77	50.38	50.62	48.85	48.65	48.75	1437.30	47.91
55%	49.13	48.75	48.70	50.77	50.10	50.48	48.85	48.17	48.48	55.00	55.67	55.08	62.69	62.40	61.95	69.52	69.13	69.01	67.31	66.73	66.72	64.52	64.90	64.41	62.88	62.40	61.64	60.10	60.67	59.98	1766.16	58.87
60%	55.19	55.67	54.91	60.58	60.19	60.58	59.04	58.37	58.10	68.17	67.31	67.77	77.79	78.37	77.73	81.25	81.44	81.30	78.75	78.17	78.58	75.87	75.38	75.76	72.98	72.60	72.91	70.58	70.00	70.50	2095.83	69.86
65%	50.77	50.96	50.61	55.58	55.10	55.41	57.88	57.40	57.96	66.15	67.21	65.98	76.44	77.12	75.94	79.33	79.90	79.51	76.63	77.12	77.07	74.90	74.13	73.83	71.83	71.35	71.78	70.19	69.71	69.77	2037.57	67.92
70%	49.90	49.33	49.63	50.67	50.19	50.51	57.02	56.54	56.78	65.77	66.15	65.96	74.42	73.94	74.38	76.63	76.15	76.62	73.94	73.56	74.05	71.63	70.87	71.22	68.65	68.75	68.46	66.54	65.87	66.05	1960.20	65.34
75%	45.00	44.33	44.50	46.15	45.67	45.45	54.71	54.33	54.46	63.37	62.88	63.50	72.50	72.21	72.37	76.35	75.77	76.15	73.27	74.13	72.56	71.06	70.38	70.21	67.98	67.50	67.83	66.25	65.48	66.12	1902.48	63.42
80%	41.35	40.77	40.73	45.00	44.13	44.37	54.13	53.56	54.19	61.44	60.96	61.65	71.06	70.38	70.36	73.94	73.27	73.68	71.06	70.67	71.18	68.65	68.17	68.13	65.77	65.10	66.11	63.37	62.88	63.50	1839.57	61.32
85%	40.29	39.62	39.65	39.23	38.37	38.77	51.83	51.06	51.56	60.58	59.33	59.35	69.04	68.17	67.84	72.12	71.54	71.87	69.42	68.75	69.22	66.35	66.44	66.47	64.33	62.88	63.92	61.92	62.12	61.30	1773.30	59.11
ΣYj	1202.67			1292.16			1446.15			1671.03			1903.80			2007.09			1941.81			1856.31			1777.11			1716.57			16814.7	
	45.09	146.58	148.86	53.07	151.35	151.38	62.34	145.50	170.34	77.88	165.75	197.88	83.67	187.05	222.75	93.09	207.66	229.41	99.75	200.76	221.55	86.25	193.83	213.72	79.05	186.93	205.86	76.35	180.75	198.45		
	78.45	165.78	133.83	94.44	181.35	137.28	112.35	175.50	163.50	127.50	203.25	189.75	145.65	233.88	217.08	154.50	243.99	228.27	145.89	235.50	219.96	137.25	227.01	211.65	128.64	218.49	203.31	121.08	211.08	197.85		
ΣYij	89.34	152.34	122.85	107.34	166.08	133.50	127.05	173.25	161.88	146.37	199.35	184.05	167.37	229.50	211.80	175.02	238.74	220.89	167.28	230.82	212.91	159.51	222.87	204.96	151.77	214.95	196.98	146.25	209.67	189.75		
	119.55			116.37			154.44			179.25			205.05			215.52			207.39			199.26			191.13			185.34				

Fuente: Elaboración propia

1.2.2. Cálculo del término de corrección

$$C = \frac{Y^2}{N}$$

$$\frac{Y^2}{N} = \frac{[(14.81)+(15.19)+(15.09)...+(61.30)]^2}{10*10*3} = \frac{28273413609^2}{300}$$

$$\frac{Y^2}{N} = 942447.1203$$

1.2.3 Cálculo de la suma del total de cuadrados (SST)

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y^2_{ijk} - \frac{y^2}{N}$$

$$SST = [(14.81)^2 + (15.19)^2 + (15.09)^2 \dots + (61.30)^2] - 942\,447.1203$$

$$SST = 77\,226.2324$$

1.2.4. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SSA)

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{br} - \frac{y^2}{N}$$

$$SSA = \frac{(756.54)^2 + (1245.75)^2 + \dots + (1773.30)^2}{10*3} - 942447.1203$$

$$SSA = 52\,353.4807$$

1.2.5. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SS_B)

$$SS_B = \sum_{j=1}^a \frac{y_j^2}{ar} - \frac{y^2}{N}$$

$$SSB = \frac{(1202.07)^2 + (1292.16)^2 + \dots + (1716.57)^2}{10 * 3} - 942447.1203$$

$$SSB = 23\,349.3395$$

1.2.6. Cálculo de (SS_{Sub totales})

$$SS_B = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y^2 i}{r} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{Sub\ totales} = \frac{(45.09)^2 + (146.58)^2 + (148.86)^2 \dots + (185.34)^2}{3} - 942447.1203$$

$$SS_{sub\ totales} = 77193.1833$$

1.2.7. Cálculo de la suma de cuadrados debido al error (SS_E)

$$SSE = SST - SS_{sub\ totales}$$

$$SS_E = 77226.2324 - 77193.1833$$

$$SS_E = 33.0491$$

1.2.8. Cálculo de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (SS_{AB})

$$SS_{AB} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_E$$

$$SS_{AB} = 77226.2324 - 52353.4807 - 23349.3395 - 33.0491$$

1.2.9. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos (MS_A)

$$MS_A = \frac{SS_A}{A - 1}$$

$$MS_A = \frac{52353.4807}{10-1}$$

$$MS_A = 5817.0534$$

1.2.10. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MS_B)

$$MS_B = \frac{SS_B}{B - 1}$$

$$MS_B = \frac{23349.3395}{10-1}$$

$$MS_B = 2594.3711$$

1.2.11. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido a los tratamientos de (MS_{AB})

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{((A-1)(B-1))}$$

$$MS_{AB} = \frac{1490.3631}{((10-1))(10-1)}$$

$$MS_{AB} = 18.3995$$

1.2.12. Cálculo de la media de la suma de cuadrados debido al error (MS_E)

$$MS_E = \frac{SS_E}{(AB(r-1))}$$

$$MS_E = \frac{33.0491}{((10*10))(3-1)}$$

$$MS_E = 0.1652$$

1.2.13. Cálculo de la función Fo

$$F_{0A} = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_{0A} = \frac{5817.0534}{0.1652}$$

$$F_{0A} = 35202.5305$$

$$F_{0B} = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_{0B} = \frac{2594.3711}{0.1652}$$

$$F_{0B} = 15700.1183$$

$$F_{0AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$$

$$F_{0AB} = \frac{18.3995}{0.1652}$$

$$F_{0AB} = 111.3468$$

Tabla IV. Cuadro resumen del análisis de varianza para la recuperación de oro.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F ₀	F _α , v1,v2
Tratamiento A (% Granulometría - m 200)	9	52353.4807	5817.0534	35202.5305	1.927
Tratamiento B (Dosificación MIBC)	9	23349.3395	2594.3711	15700.1183	1.927
Interacción AB	81	1490.3631	18.3995	111.3468	1.345
Error	200	33.0491	0.1652		
Total	299	77193.1833			

1.3. Decisión

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de oro por la influencia de la granulometría, el $F_0 = 35\ 202.5305$ es mayor a $F_{0.05,9,200} = 1.927$, obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alterna. Esto indica, por lo tanto, que la influencia de la granulometría si afecta significativamente en la recuperación de oro.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de oro con la influencia de la dosificación de MIBC, el $F_0 = 15700.1183$ es mayor a $F_{0.05,9,200} = 1.927$, obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alterna. Esto indica, por lo tanto, que la influencia de la dosificación de MIBC si afecta significativamente en la recuperación de oro.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de oro por la influencia de la granulometría y la dosificación de MIBC, el $F_0 = 111.3468$ es mayor a $F_{0.05,81,200} = 1.345$, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la granulometría y la dosificación de MIBC sí afectan significativamente en la recuperación de oro.

Apéndice II: Resultados de las pruebas de recuperación de plata.

TABLA V. Resultados de la ley de relave de plata después de realizar los ensayos (Ley_i = 710 g/TM)

DISEÑO	B: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)																				
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100											
A: % Granulometría - # 200	572.58	548.23	528.35	499.58	481.10	442.58	452.25	469.95	486.10	485.10											
	586.00	578.58	560.75	554.51	537.58	530.37	506.23	487.45	482.09	447.23	451.59	466.91	459.37	478.86	471.44	483.58	477.85	483.58	501.75	495.72	
	577.16	554.55	525.18	511.16	477.72	447.52	458.95	465.51	486.79	500.32											
	526.78	475.45	443.57	391.25	351.45	335.56	362.85	377.14	391.58	410.15											
	518.45	523.77	490.75	482.02	436.96	440.20	403.85	398.38	366.25	356.56	337.61	341.12	348.48	356.56	375.59	394.55	401.25	394.55	418.87	413.58	
	526.07	479.86	440.07	400.04	351.99	336.14	358.36	379.67	390.81	411.71											
	492.23	450.78	436.79	362.12	318.14	281.31	297.14	312.10	326.26	344.45											
	501.86	497.14	460.45	454.26	442.91	440.56	373.25	368.49	333.25	325.61	284.28	288.96	303.25	300.61	319.95	316.94	333.35	333.35	352.98	349.68	
	497.34	451.54	441.97	370.10	325.43	282.58	301.45	318.78	337.23	351.60											
	485.47	440.10	392.75	350.89	287.15	268.85	291.15	338.10	322.10	342.95											
	499.75	492.88	451.75	443.11	396.47	393.27	337.84	343.43	301.14	293.59	275.84	281.14	295.85	293.37	342.96	340.09	331.85	328.52	352.54	346.13	
	493.43	437.48	390.59	341.55	292.47	277.52	293.12	339.21	331.60	342.89											
415.90	365.45	347.14	285.95	239.74	210.15	235.10	244.65	266.69	284.83												
423.89	417.84	371.47	367.43	353.44	303.45	299.41	299.41	245.31	245.31	213.28	219.85	225.89	231.32	252.10	249.42	267.46	267.46	291.15	285.56		
413.72	365.36	353.85	308.82	248.06	209.85	232.96	251.52	262.93	280.71												
418.86	355.35	338.85	221.15	159.15	144.32	158.85	181.10	195.58	216.89												
431.75	427.70	367.12	361.75	346.89	342.58	235.95	229.69	168.89	163.66	145.48	148.09	166.65	163.87	186.65	182.26	200.65	200.65	225.45	219.04		
432.50	362.77	341.99	231.96	162.93	144.03	166.10	179.02	199.81	214.77												
386.75	392.42	320.45	319.00	241.62	245.59	168.12	170.76	96.66	98.69	73.10	74.91	85.10	90.31	101.90	105.65	117.95	121.06	131.95	136.46		
402.89	314.15	249.75	174.56	101.25	76.05	97.71	111.45	125.25	141.35												

	387.61	322.41	245.40	169.59	98.16	75.56	88.13	103.59	119.97	136.09								
	385.10	358.75	305.88	189.85	121.45	121.10	106.58	120.14	138.89	155.25								
75%	387.16	363.88	311.34	194.33	124.61	127.09	111.83	126.74	141.65	156.56								
	392.75	371.49	316.22	197.26	130.25	133.25	115.13	131.45	142.10	161.95								
	383.64	361.39	311.91	195.87	122.12	126.92	113.77	128.62	143.95	152.47								
	402.69	338.98	275.95	201.45	136.95	108.85	128.83	148.85	168.96	185.10								
80%	411.37	343.85	276.33	208.81	141.29	112.75	132.27	151.80	171.32	190.85								
	415.85	347.25	281.45	212.89	145.43	116.96	133.30	155.75	176.06	199.85								
	415.58	345.33	271.60	212.09	141.49	112.43	134.69	150.79	168.95	187.59								
	421.23	355.12	292.26	231.48	165.65	131.15	156.69	179.95	191.72	215.10								
85%	425.22	361.60	297.92	234.23	170.54	140.51	159.61	178.71	197.81	216.91								
	428.96	365.96	301.25	239.25	175.75	142.09	162.25	171.10	197.73	221.25								
	425.47	363.73	300.24	231.96	170.23	148.29	159.88	185.07	203.97	214.37								

Fuente: Elaboración propia

Se aplicó la siguiente fórmula, a los datos de las leyes encontradas en las muestras de la solución de estudio, después del proceso de flotación, a fin de obtener valores de los porcentajes de eficiencia de recuperación.

$$\eta = \frac{Li - Lf}{Li} * 100$$

Donde:

η = porcentaje de recuperación de plata (%).

Li = Ley inicial de plata.

Lf = Ley final de plata.

Ejemplo de cálculo:

Li = 710.00 g/TM

Lf = 572.58 g/TM

$$\eta = \frac{710.00 - 578.58}{710.00} \times 100$$

$$\eta = 19.35 \%$$

De la misma manera se procedió al cálculo de todos los porcentajes de recuperación de plata a partir de los datos de las leyes finales tal como se muestra a continuación

TABLA VI. Tabla resumen del Porcentaje (%) de recuperación de plata por la influencia de la dosificación de MIBC y granulometría

DISEÑO	B: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)																				
	10		20		30		40		50		60		70		80		90		100		
A: % Granulometría - # 200	19.35		22.78		25.58		29.64		32.24		37.66		36.30		33.81		31.54		31.68		
	40%	17.46	18.51	21.02	21.90	24.28	25.30	28.46	28.70	31.35	32.10	36.40	37.01	34.24	35.30	32.55	33.60	32.70	31.89	29.33	30.18
	18.71		21.89		26.03		28.01		32.72		36.97		35.36		34.44		31.44		29.53		
	25.81		33.04		37.53		44.89		50.50		52.74		48.89		46.88		44.85		42.23		
	45%	26.98	26.23	30.88	32.11	38.46	38.00	43.12	43.89	48.42	49.78	51.95	52.45	50.92	49.78	47.89	47.10	43.49	44.43	41.00	41.75
	25.91		32.41		38.02		43.66		50.42		52.66		49.53		46.53		44.96		42.01		
	30.67		36.51		38.48		49.00		55.19		60.38		58.15		56.04		54.05		51.49		
	50%	29.32	29.98	35.15	36.02	37.62	37.95	47.43	48.10	53.06	54.14	59.30	59.96	57.29	57.66	54.94	55.36	52.60	53.05	50.28	50.75
	29.95		36.40		37.75		47.87		54.17		60.20		57.54		55.10		52.50		50.48		
	31.62		38.01		44.68		50.58		59.56		62.13		58.99		52.38		54.63		51.70		
	55%	29.61	30.58	36.37	37.59	44.16	44.61	52.42	51.63	57.59	58.65	60.40	61.15	58.33	58.68	51.70	52.10	53.26	53.73	50.35	51.25
	30.50		38.38		44.99		51.89		58.81		60.91		58.72		52.22		53.30		51.71		
41.42		48.53		51.11		59.73		66.23		70.40		66.89		65.54		62.44		59.88			
60%	40.30	41.15	47.68	48.25	49.39	50.22	57.26	57.83	65.05	65.45	69.04	69.96	68.18	67.42	64.49	64.87	61.58	62.33	58.99	59.78	
41.73		48.54		50.16		56.50		65.06		70.44		67.19		64.57		62.97		60.46			
65%		41.01	39.76	49.95	49.05	52.27	51.75	68.85	67.65	77.58	76.95	79.67	79.51	77.63	76.92	74.49	74.33	72.45	71.74	69.45	69.15

	39.19	48.29	51.14	66.77	76.21	79.14	76.53	73.71	70.91	68.25										
	39.08	48.91	51.83	67.33	77.05	79.71	76.61	74.79	71.86	69.75										
	45.53	54.87	65.97	76.32	86.39	89.70	88.01	85.65	83.39	81.42										
70%	43.25	44.73	55.75	55.07	64.82	65.41	75.41	75.95	85.74	86.10	89.29	89.45	86.24	87.28	84.30	85.12	82.36	82.95	80.09	80.78
	45.41	54.59	65.44	76.11	86.17	89.36	87.59	85.41	83.10	80.83										
	45.76	49.47	56.92	73.26	82.89	82.94	84.99	83.08	80.44	78.13										
75%	44.68	45.47	47.68	48.75	55.46	56.15	72.22	72.63	81.65	82.45	81.23	82.10	83.78	84.25	81.49	82.15	79.99	80.05	77.19	77.95
	45.97	49.10	56.07	72.41	82.80	82.12	83.98	81.89	79.73	78.53										
	43.28	52.26	61.13	71.63	80.71	84.67	81.85	79.04	76.20	73.93										
80%	41.43	42.06	51.09	51.57	60.36	61.08	70.02	70.59	79.52	80.10	83.53	84.12	81.23	81.37	78.06	78.62	75.20	75.87	71.85	73.12
	41.47	51.36	61.75	70.13	80.07	84.16	81.03	78.76	76.20	73.58										
	40.67	49.98	58.84	67.40	76.67	81.53	77.93	74.65	73.00	69.70										
85%	39.58	40.11	48.46	49.07	57.57	58.04	66.30	67.01	75.25	75.98	79.99	80.21	77.15	77.52	75.90	74.83	72.15	72.14	68.84	69.45
	40.08	48.77	57.71	67.33	76.02	79.11	77.48	73.93	71.27	69.81										

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento estadístico de datos

1. Cálculos para el análisis de varianza (ANVA)

Permite determinar si las medias de cada nivel o tratamiento son estadísticamente diferentes. Para su determinación se procedió como se indica a continuación.

1.1. Datos previos

1.1.1. Planteamiento de hipótesis

Hipótesis Nula ($T H_0$): A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol, no afecta el incremento de recuperación de plata, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Nula ($T H_1$): A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol, afecta el incremento de recuperación de plata, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Nula (βH_0): A medida que disminuye la granulometría, no afecta el incremento de recuperación de plata, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Alterna (βH_1): A medida que disminuye la granulometría, afecta el incremento de recuperación de plata, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Nula ($T\beta H_0$): A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol y disminuye la granulometría, no afecta el incremento de recuperación de plata, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

Hipótesis Alterna ($T\beta H_1$): A medida que aumenta la dosificación de Metil Isobutil Carbinol y disminuye la granulometría, afecta el incremento de recuperación de plata, de una pirita de la zona de Otuzco, mediante flotación bulk.

1.1.2. Nivel de significancia

En ingeniería se trabaja con un 95 % de confianza ($\alpha=0.05$)

1.1.3. Criterio de rechazo

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$, donde el F_0 se obtiene experimentalmente y el F_{α, v_1, v_2} se obtiene de tablas (Anexo 5).

1.2. Cálculos para el ANVA de la recuperación de oro

1.2.1. Presentación de datos

En la Tabla III se presentan los datos individuales de la recuperación de oro en la medida de %, que permiten realizar el análisis de varianza respectivo.

Tabla VII. Recuperación de plata a diferentes dosificaciones de Metil Isobutil Carbinol y granulometría.

DISEÑO	B: Dosificación del Metil Isobutil Carbinol (g/TM)																											ΣY _i	Y _{i, prom}									
	10			20			30			40			50			60			70			80			90					100								
A: % Granul - m 200	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	ΣY _i	Y _{i, prom}			
40%	19.35	17.46	18.71	22.78	21.02	21.89	25.58	24.28	26.03	29.64	28.46	28.01	32.24	31.35	32.72	37.66	36.40	36.97	36.30	34.24	35.36	33.81	32.55	34.44	31.54	32.70	31.44	31.68	29.33	29.53	883.47	29.45						
45%	25.81	26.98	25.91	33.04	30.88	32.41	37.53	38.46	38.02	44.89	43.12	43.66	50.50	48.42	50.42	52.74	51.95	52.66	48.89	50.92	49.53	46.88	47.89	46.53	44.85	43.49	44.96	42.23	41.00	42.01	1276.56	42.55						
50%	30.67	29.32	29.95	36.51	35.15	36.40	38.48	37.62	37.75	49.00	47.43	47.87	55.19	53.06	54.17	60.38	59.30	60.20	58.15	57.29	57.54	56.04	54.94	55.10	54.05	52.60	52.50	51.49	50.28	50.48	1448.91	48.30						
55%	31.62	29.61	30.50	38.01	36.37	38.38	44.68	44.16	44.99	50.58	52.42	51.89	59.56	57.59	58.81	62.13	60.40	60.91	58.99	58.33	58.72	52.38	51.70	52.22	54.63	53.26	53.30	51.70	50.35	51.71	1499.91	50.00						
60%	41.42	40.30	41.73	48.53	47.68	48.54	51.11	49.39	50.16	59.73	57.26	56.50	66.23	65.05	65.06	70.40	69.04	70.44	66.89	68.18	67.19	65.54	64.49	64.57	62.44	61.58	62.97	59.88	58.99	60.46	1761.78	58.73						
65%	41.01	39.19	39.08	49.95	48.29	48.91	52.27	51.14	51.83	68.85	66.77	67.33	77.58	76.21	77.05	79.67	79.14	79.71	77.63	76.53	76.61	74.49	73.71	74.79	72.45	70.91	71.86	69.45	68.25	69.75	1970.43	65.68						
70%	45.53	43.25	45.41	54.87	55.75	54.59	65.97	64.82	65.44	76.32	75.41	76.11	86.39	85.74	86.17	89.70	89.29	89.36	88.01	86.24	87.59	85.65	84.30	85.41	83.39	82.36	83.10	81.42	80.09	80.83	2258.52	75.28						
75%	45.76	44.68	45.97	49.47	47.68	49.10	56.92	55.46	56.07	73.26	72.22	72.41	82.89	81.65	82.80	82.94	81.23	82.12	84.99	83.78	83.98	83.08	81.49	81.89	80.44	79.99	79.73	78.13	77.19	78.53	2135.85	71.20						
80%	43.28	41.43	41.47	52.26	51.09	51.36	61.13	60.36	61.75	71.63	70.02	70.13	80.71	79.52	80.07	84.67	83.53	84.16	81.85	81.23	81.03	79.04	78.06	78.76	76.20	75.20	76.20	73.93	71.85	73.58	2095.50	69.85						
85%	40.67	39.58	40.08	49.98	48.46	48.77	58.84	57.57	57.71	67.40	66.30	67.33	76.67	75.25	76.02	81.53	79.99	79.11	77.93	77.15	77.48	74.65	75.90	73.93	73.00	72.15	71.27	69.70	68.84	69.81	1993.08	66.44						
ΣY _j	1075.74									1288.14									1465.53									1751.94										
	55.53	91.74	134.19	65.70	112.77	165.21	75.90	133.83	196.23	86.10	154.89	227.85	96.30	175.95	258.30	111.03	183.45	268.35	105.90	176.04	261.84	100.80	156.30	255.36	95.67	161.19	248.85	90.54	153.75	242.34								
	78.69	123.45	136.41	96.33	144.75	146.25	114.00	150.66	168.45	131.67	173.49	217.89	149.34	196.35	247.35	157.35	209.88	246.30	149.34	202.26	252.75	141.30	194.61	246.45	133.29	186.99	240.15	125.25	179.34	233.85								
ΣY _{ij}	89.94	119.28	126.18	108.06	147.15	154.71	113.85	155.25	183.24	144.30	202.95	211.77	162.42	230.85	240.30	179.88	238.53	252.36	172.98	230.76	244.11	166.08	222.99	235.86	159.15	215.22	227.61	152.25	207.45	219.36								
	120.33									147.21									174.12									201.03										

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento para obtener el $F_{=A}$, $F_{=B}$, $F_{=AB}$, fue el mismo que para el oro, obteniéndose el siguiente cuadro resumen del análisis de varianza

Tabla VIII. Cuadro resumen del análisis de varianza para la recuperación de plata.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F_0	$F_{\alpha, v1, v2}$
Tratamiento A (% Granulometría - m 200)	9	58659.3908	6517.7101	10614.8056	1.927
Tratamiento B (Dosificación MIBC)	9	35081.4401	3897.9378	6348.2191	1.927
Interacción AB	81	3035.7131	37.4779	61.0369	1.345
Error	200	122.8041	0.6140		
Total	299	96776.5440			

1.3. Decisión

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de oro por la influencia de la granulometría, el $F_0 = 10614.8056$ es mayor a $F_{0.05,9,200} = 1.927$, obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la influencia de la granulometría si afecta significativamente en la recuperación de plata.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de oro con la influencia de la dosificación de MIBC en % de sólido, el $F_0 = 6348.2191$ es mayor a $F_{0.05,9,200} = 1.927$, obtenido de manera tabular, afirmando de este modo

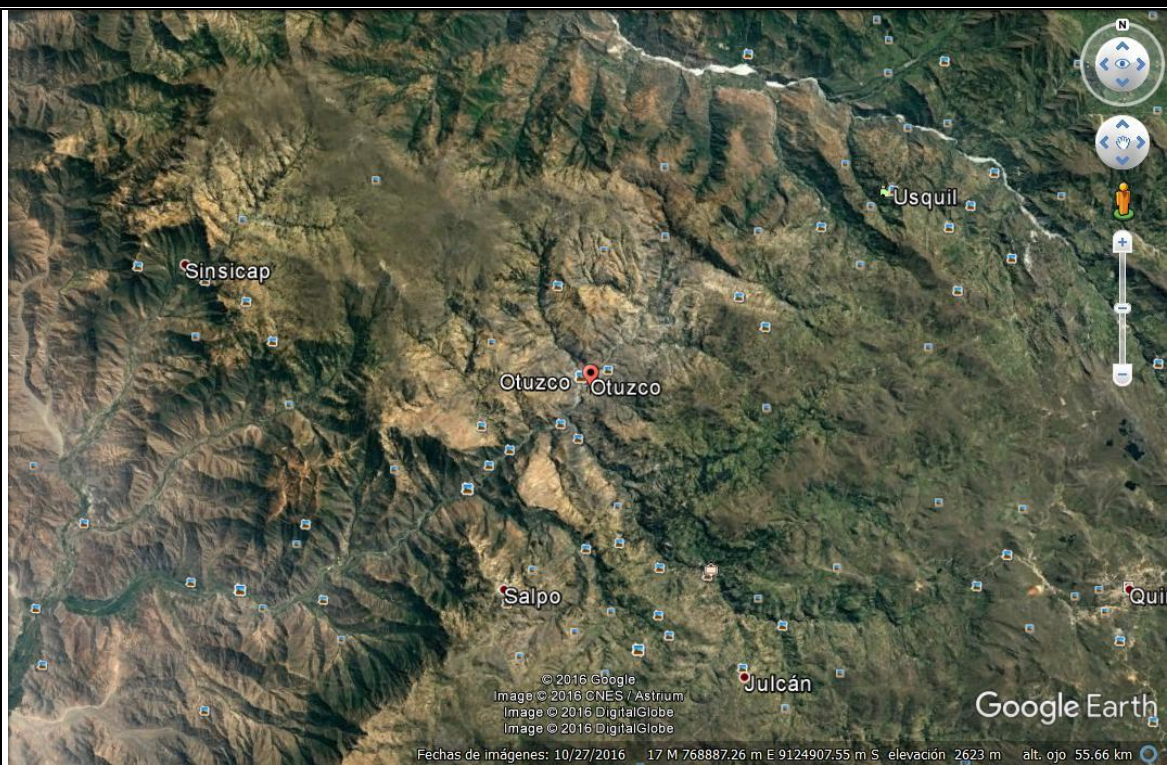
la hipótesis Alterna. Esto indica, por lo tanto, que la influencia de la dosificación de MIBC si afecta significativamente en la recuperación de plata.

Para un nivel de significancia del 95 %, se observa que experimentalmente para los datos de recuperación de oro por la influencia de la granulometría y la dosificación de MIBC, el $F_0 = 61.0369$ es mayor a $F_{0.05,81,200} = 1.345$, afirmando de este modo la hipótesis Alterna. Esto indica, por lo tanto, que la granulometría y la dosificación de MIBC si afectan significativamente en la recuperación de plata.

ANEXOS

Anexo N° 1.- Fotos de la de Ubicación Geográfica de Otuzco, La Libertad

Foto N°01 Ubicación de Otuzco, La Libertad.



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Anexo N°02. Ubicación del mineral

Foto N°02. Mineral polimetálico del noreste de trujillo en Otuzco, La Libertad



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Anexo N° 03. Muestreo

Foto N°03 Cabando para la toma de muestra



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Anexo N°04. Procedimiento en el laboratorio

Foto N°04. El mineral



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Foto N°05: Molienda del mineral



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Foto N°06: Secado del mineral



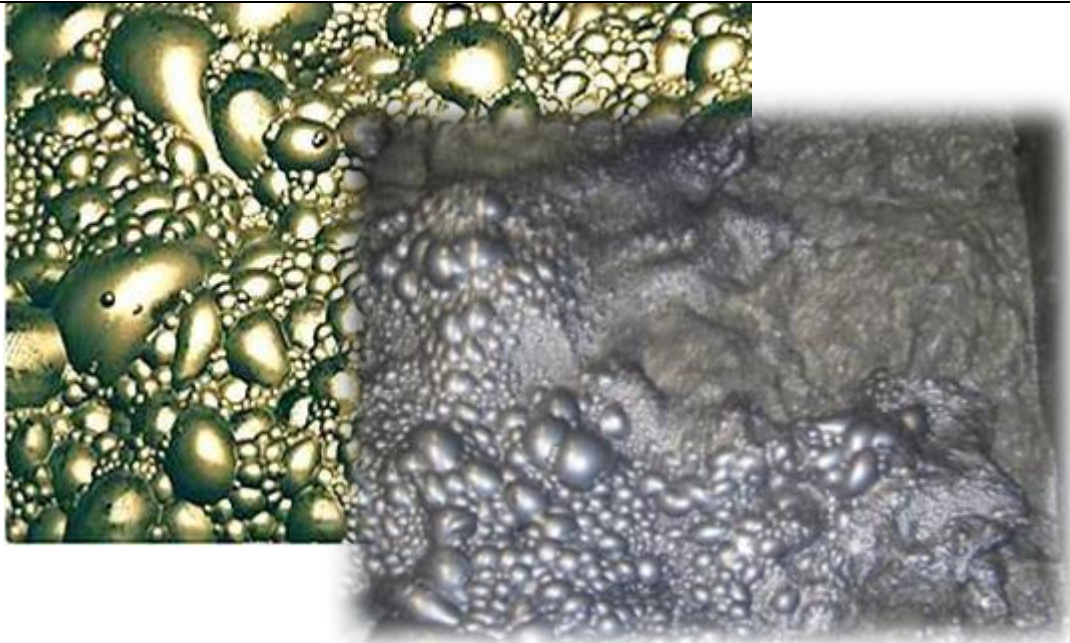
Fuente: Elaboración Propia, 2017

Foto N°07: Extracción del concentrado de oro y plata en celda DENVER



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Foto N°08. Extracción del concentrado de oro y plata



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Foto N°09: Ensayo de espectrofotometría



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Anexo N°05: Puntos porcentuales de la distribución F0.05, v1, v2

v ₂ \ v ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	80	90
1	161.446	199.499	215.707	224.583	230.160	233.988	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.949	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016	252.723	252.898
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.329	19.353	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446	19.483	19.485
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660	8.561	8.557
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.936	5.912	5.891	5.873	5.858	5.844	5.832	5.821	5.811	5.803	5.673	5.668
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.604	4.590	4.579	4.568	4.558	4.415	4.409
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874	3.722	3.716
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494	3.480	3.467	3.455	3.445	3.286	3.280
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150	2.986	2.980
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989	2.974	2.960	2.948	2.936	2.768	2.761
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774	2.601	2.594
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.739	2.719	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646	2.469	2.462
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599	2.583	2.568	2.555	2.544	2.363	2.356
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459	2.275	2.267
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388	2.201	2.193
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328	2.137	2.130
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333	2.317	2.302	2.288	2.276	2.083	2.075
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.289	2.272	2.257	2.243	2.230	2.035	2.027
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.250	2.233	2.217	2.203	2.191	1.993	1.985
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.234	2.215	2.198	2.182	2.168	2.155	1.955	1.947
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184	2.167	2.151	2.137	2.124	1.922	1.913
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096	1.891	1.883
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071	1.864	1.856
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.204	2.175	2.150	2.128	2.109	2.091	2.075	2.061	2.048	1.839	1.830
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.088	2.070	2.054	2.040	2.027	1.816	1.808
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.198	2.165	2.136	2.111	2.089	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007	1.796	1.787
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990	1.776	1.767
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974	1.758	1.749
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959	1.742	1.733
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945	1.726	1.717
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.995	1.976	1.960	1.945	1.932	1.712	1.703
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904	1.885	1.868	1.853	1.839	1.608	1.597
50	4.034	3.183	2.790	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850	1.831	1.814	1.798	1.784	1.544	1.534
60	4.001	3.150	2.758	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.952	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815	1.796	1.778	1.763	1.748	1.502	1.491
70	3.978	3.128	2.736	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.928	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790	1.771	1.753	1.737	1.722	1.471	1.459
80	3.960	3.111	2.719	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772	1.752	1.734	1.718	1.703	1.448	1.436
90	3.947	3.098	2.706	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757	1.737	1.720	1.703	1.688	1.429	1.417
100	3.936	3.087	2.696	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746	1.726	1.708	1.691	1.676	1.415	1.402
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694	1.674	1.656	1.639	1.623	1.346	1.332
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664	1.643	1.625	1.607	1.592	1.303	1.288
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654	1.633	1.614	1.597	1.581	1.289	1.273