

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Procesamiento de relaves de cianuración mediante flotación para la  
recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. –**

**Barranca-Paramonga - 2021**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autor:**

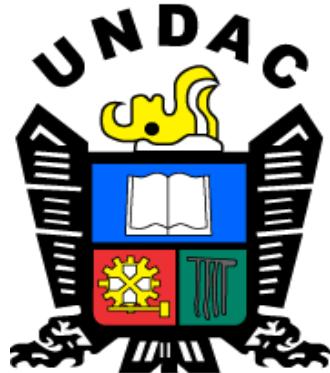
**Bach. Becker Jhon GIRON FLORES**

**Asesor:**

**Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO**

**Cerro de Pasco - Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Procesamiento de relaves de cianuración mediante flotación para la  
recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. –**

**Barranca-Paramonga - 2021**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. Cayo PALACIOS ESPÍRITU**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Uldarico USURIAGA LÓPEZ**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 028-2023-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23º del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, El borrador de tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Título

**“Procesamiento de Relaves de Cianuración Mediante Flotación para la Recuperación del Carbón Activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca-Paramonga - 2021”**

Apellidos y nombres de los tesistas

Bach. GIRON FLORES Becker Jhon

Escuela de Formación Profesional  
**Ingeniería Metalúrgica**

Indice de Similitud  
**18 %**

**APROBADO**

Se informa al decanato para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 16 de mayo del 2023

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión  
Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación  
  
Dr. Sc. Hildebrando A. Cóndor García  
Director

## **DEDICATORIA**

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

## **AGRADECIMIENTO**

Al todo poderoso, por mantenerme de una salud buena todos los días.

Mi reconocimiento invaluable a mis padres por sus apoyos incondicionales en mis estudios superiores.

A la docencia universitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por impartir sus conocimientos en mi formación profesional.

## **RESUMEN**

Después de haber realizado el análisis del relave de la lixiviación del oro con presencia de carbón activado, se encontró que la presencia oro en las diferentes mallas es considerable, tabla 1; en tal sentido el propósito del trabajo de investigación fue la recuperación del carbón activado con contenido de oro mediante flotación directa experimental, para lo cual en un principio se usó el diseño factorial fraccionado logrando una recuperación de promedio de 75%; en seguida , para mejorar se usó el diseño compuesto central, teniendo como base fundamental los factores más significativos del proceso; pH, 8 y densidad de la pulpa 35%, obteniendo una recuperación final del carbón activado en un 91%, tabla 12; finalmente los valores de Valor-P de la tabla 14 son menores al valor  $\alpha$  prefijado del 5%, por lo tanto, se rechaza a la hipótesis nula.

**Palabras claves:** Procesamiento, flotación, recuperación, factores.

## ABSTRACT

After having carried out the analysis of the tailings from the leaching of gold with the presence of activated carbon, it was found that the presence of gold in the different meshes is considerable, table 1; In this sense, the purpose of the research work was the recovery of activated carbon with gold content by direct experimental flotation, for which the fractional factorial design was initially used, achieving an average recovery of 75%; then, to improve, the central composite design was used, having as a fundamental basis the most significant factors of the process; pH, 8 and pulp density 35%, obtaining a final recovery of activated carbon in 91%, table 12; Finally, the P-Value values in table 14 are less than the predetermined  $\alpha$  value of 5%, therefore, the null hypothesis is rejected.

**Keywords:** Processing, flotation, recovery, factors.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos más importantes para la extracción del oro es la lixiviación hidrometalúrgica más conocido haciendo uso del cianuro, en seguida recuperar el oro solubilizado mediante el carbón activado o mezclando durante el proceso; el problema principal es la pérdida del oro en el relave del carbón activado; la finalidad es la recuperación del carbón activado con contenido de oro , mediante el método de la flotación directa.

En el presente caso de investigación, la etapa muy importante fue la identificación de las variables y sus operacionalizaciones respectivamente, determinado los factores más significativos del proceso tales como la granulometría del relave de cianuración, densidad de la pulpa, dosificación de Z-11, dosificación del MIBC, acondicionamiento y pH de la pulpa; a estos factores son acompañados por un colector asistente, a continuación se realizó la investigación preliminar para determinar los valores de las dosificaciones. En seguida se describe la fundamentación científica del contenido de la tesis:

Capítulo I: Problema de investigación, en esta parte se logró identificar el problema de investigación, cumpliendo con la descripción, interpretación y se planteó la posible solución problemas de investigación; a continuación se realizó las delimitaciones correspondientes para poder representar en forma específica el problema de investigación o recuperación del oro; en seguida se realizó las formulaciones del problema general y problemas específicos relacionando a las variables y los factores controlables, aspectos que ayudan a las otras formulaciones de los objetivos e hipótesis; finalmente se describió la justificación del problema de investigación, llegando a la conclusión que el problema importante.

Capítulo II: Marco teórico, en esta parte se trató de recopilar los antecedentes del problema en mención, no se encontró, entonces las bases teóricas fueron direccionadas a los temas de flotación de los polimetálicos y flotación inversa de los minerales no metálicos, recopilados las informaciones, se tomó la decisión por la flotación directa. En seguida definió los términos fundamentales relacionados a tema de investigación, con la finalidad de aplicar e interpretar las tablas y figuras que resultan del procesamiento de los datos resultantes.

A continuación, se realizó las formulaciones de las hipótesis, para ello previamente se identificó y se operacionalizó las variables para obtener los factores experimentales del tema de investigación, llegando a formular la hipótesis general y las específicas, siendo éstos posibles soluciones al problema planteado.

Capítulo III: Metodología de la investigación, habiendo realizado las pruebas preliminares en el laboratorio, se determinó usar el método de la flotación directa, para cumplir con este método se usó el diseño factorial fraccionado por tener varios factores controlables durante el proceso, que permite ensayos experimentales económicos, tanto en tiempo y económico (dinero) para los análisis químicos correspondientes, todo ello significa que el presente trabajo es una investigación aplicada. Para la recolección de los datos se usó la técnica experimental usando la observación directa científica, haciendo uso de los instrumentos del laboratorio de la empresa validados; por último, se usó el programa estadístico para procesar y analizar de datos primarios, dando como resultado tablas y figuras que deben ser interpretados por el investigador y determinar sus propias conclusiones.

Capítulo IV: Resultados y discusión, inicialmente se realizaron los análisis de mallas del relave, en seguida se realizaron los análisis químicos, teniendo como resultado que el relave de carbón activado tiene buena cantidad de oro, ver tabla 2, en

consecuencia se justifica continuar con el trabajo de investigación, para realizar la parte experimental para flotar directamente el carbón activado con contenido de oro, haciendo uso de los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias sobre temas de flotación directa de polimetálicos.

Primero se cumplió con las pruebas metalúrgicas preliminares, que fueron cumplidos con diversos valores de los factores experimentales seleccionados teóricamente: densidad de la pulpa; colector Z-11; colector asistente; MIBC; pH; tiempos de acondicionamiento, obteniendo como resultados positivos, datos que sirvieron para la formulación definitiva diseño factorial fraccionado; con este diseño se cumplió las corridas experimentales, con la finalidad de seleccionar a los factores más significativos del proceso de investigación, se llegó obtener resultados halagadoras cuya recuperación del carbón activado fue del, ver tabla 5; también se llegó obtener ANOVA no satisfactorio, ver tabla 6; en esta tabla se realizó la eliminación de las interacciones confundidas, obteniendo la tabla 7 y la figura 11, los cuales indican a los factores más significativos del proceso de flotación, son: densidad de la pulpa y pH.

Con los factores más significativos del proceso, se pasó a una segunda etapa de investigación experimental mediante el diseño compuesto central (DCC) con la finalidad de mejorar la recuperación del carbón activado, para las corridas experimentales se formuló el diseño factorial con los factores más significativos, densidad y pH de la pulpa, ver tabla 11; realizadas los ensayos experimentales en el orden señalado en la tabla 11 y cumplidos con los análisis químicos respectivos se obtiene la tabla 12, se llegó obtener 90.5% de recuperación de carbón activado.

Habiendo cumplido con el procesamiento de los datos primarios, tabla 14; se obtiene la tabla 14 (ANOVA), analizada la tabla se observa claramente que los valores de la columna Valor-P es menor al 5% de nivel de significancia pre fijada al inicio del

trabajo de investigación; en la figura 12 los signos de las curvaturas son positivos y la figura 15 presenta una curvatura ascendente, hiperboloide con tan clara; afirmaciones que significan que se deben seguir con la investigación, para mejorar la recuperación del carbón activa.

Finalmente se hizo el análisis de la prueba de hipótesis, cumplido el análisis o interpretación de tabla 14, se rechaza a la hipótesis nula ( $H_0$ ) por presentar valores de los factores valores menor al 5% de nivel de significancia, además el cuadrado medio es menor a la unidad, 0,722341; este valor indica que los datos están ubicados dentro de la curva de Gauss, esta afirmación y otras son confirmadas en la figura 15.

## **ÍNDICE**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

### **CAPÍTULO I**

#### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

1.1.	IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.2.1.	Delimitación teórica .....	2
1.2.2.	Delimitación espacial .....	3
1.2.3.	Delimitación temporal .....	4
1.3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.3.1.	Problema general .....	4
1.3.2.	Problemas específicos.....	4
1.4.	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS .....	5
1.4.1.	Objetivo general .....	6
1.4.2.	Objetivos específicos .....	6
1.5.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.6.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7

### **CAPÍTULO II**

#### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	9
------	------------------------------	---

2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS .....	10
2.2.1. Carbón activado .....	10
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	11
2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	12
2.4.1. Hipótesis general .....	12
2.1.1. Hipótesis específicas.....	13
2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	13
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	14

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	15
3.1.1. Investigación aplicada .....	15
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	16
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	16
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	17
3.6. TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	18
3.6.1. Técnicas de recolección de datos.....	18
3.6.2. Instrumentos de recolección de datos .....	18
3.7. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN .....	19
3.7.1. Selección de los instrumentos de investigación .....	19
3.7.2. Validación de los instrumentos de investigación. ....	19
3.7.3. Confiabilidad de los instrumentos de investigación .....	20
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	20

3.8.1. Técnicas de procesamientos de datos .....	20
3.8.2. Técnicas de análisis de datos .....	20
3.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	21
3.10. ORIENTACIÓN ÉTICA Y FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA .....	21

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	23
4.1.1. Análisis de malla del relave de carbón activado con oro.....	23
4.1.2. Análisis químico del relave con contenido de oro.....	24
4.1.3. Descripción del trabajo en el laboratorio.....	25
4.1.4. Flotación por espumas .....	25
4.1.5. Descripción breve de los factores de flotación controlables .....	26
4.1.6. Preparación del diseño factorial fraccionado.....	29
4.1.7. Corridas experimentales en el laboratorio.....	30
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	32
4.2.1. Presentación de los resultados .....	32
4.2.2. Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados.....	32
4.2.3. Mejoramiento de la recuperación mediante el diseño compuesto central (DCC) 38	
4.2.4. Presentación del mejoramiento de la recuperación del carbón activado mediante del DCC. ....	41
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	44
4.3.1. Principios de rechazo estadístico de la hipótesis nula .....	44
4.3.2. Rechazo estadístico de la hipótesis nula experimental .....	45
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	46

4.4.1. Comparación de los antecedentes con resultados obtenidos .....	46
4.4.2. Contrastación de los factores más significativos del proceso de flotación del carbón activado.....	46

## CONCLUSIONES

## RECOMENDACIONES

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## ANEXOS

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Análisis de malla del carbón activado con contenido de oro.....	23
Tabla 2. Análisis valorado del contenido de oro en el carbón activado .....	24
Tabla 3. Factores más significativos del proceso.....	30
Tabla 4. Diseño factorial fraccionado con valores reales .....	31
Tabla 5. Resultados de los análisis químicos de la recuperación de carbón activado .	32
Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para recuperación de carbón activado .....	33
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) para la recuperación de carbón activado ....	34
Tabla 8. Coeficiente de regresión para la recuperación del carbón activado.....	36
Tabla 9. Valores optimizados de los factores .....	38
Tabla 10. Factores significativos del proceso de recuperación.....	39
Tabla 11. Diseño Compuesto Central ortogonal.....	39
Tabla 12. Resultados de los ensayos experimentales de maximización .....	40
Tabla 13. Efectos estimados para recuperación de carbón activado.....	42
Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) de la recuperación.....	43
Tabla 15. Coeficiente de regresión de la recuperación .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Vista del tamaño de los poros del carbón activado .....	11
<b>Figura 2.</b> Análisis valorado del contenido de oro en el carbón activado .....	24
<b>Figura 3.</b> Reacción del mineral con el colector .....	26
<b>Figura 4.</b> Acción física del espumante con las burbujas de aire .....	27
<b>Figura 5.</b> Adhesión del espumante hacia el aire .....	27
<b>Figura 6.</b> Diagrama de Pareto para recuperar carbón activado.....	33
<b>Figura 7.</b> Probabilidad normal para la recuperación del carbón activado. ....	34
<b>Figura 8.</b> Diagrama de Pareto estandarizada para recuperación de carbón activado..	35
<b>Figura 9.</b> Efectos principales para recuperación de carbón activado.....	36
<b>Figura 10.</b> Superficie de respuesta estimada.....	37
<b>Figura 11.</b> Dosificación de reactivos de flotación .....	40
<b>Figura 12.</b> Carbón activado recuperado .....	40
<b>Figura 13.</b> Diagrama de Pareto del mejoramiento de la recuperación de carbón activado .....	41
<b>Figura 14.</b> Efectos principales para recuperación .....	42
<b>Figura 15.</b> Superficie respuesta estimada .....	43
<b>Figura 16.</b> Zona de rechazo de la hipótesis nula.....	45

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

“Plantear el problema es encontrar los rasgos problemáticos del tema, descubrir cuáles son los aspectos del tema que resultan inquietantes, extraños, novedosos, incomprendidos o mal comprendidos” (Campos Ocampo, 2017, pág. 28)

Actualmente los residuos sólidos de la minería se direccionan al aprovechamiento de los relaves mediante tratamientos metalúrgicos, actividad que son considerados como constante en la minería.

Después de la operación de filtración del carbón activado cargado de oro, pasan los más finos al filtro, por esta razón hay una gran cantidad de relaves de carbón activado cargado con oro.

Surge la necesidad de realizar el tratamiento del relave, mediante la flotación, usando reactivos convencionales y controlando adecuadamente a los factores del proceso de flotación, tales como: granulometría; densidad de la pulpa; dosificación de reactivos orgánicos e inorgánico; pH y otros.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

La delimitación del tema de investigación científica es muy importante señalar, para que el investigador pueda circunscribirse a un ámbito relacionado al problema en estudio: teórico, espacial y temporal.

El nombre general de una propuesta surge no solo de la revisión de fuentes, también de la creatividad y capacidad explicativa de quien investiga, así como de un ejercicio de delimitaciones, ya que el nombre de la obra puede permitir incluso advertir límites de la investigación, a saber la delimitación espacial, en la cual se detalla el lugar, ya se trate de una investigación global, regional, nacional o local, incluso circunscrita a espacios institucionales y por otro lado, la delimitación temporal, la cual señala la extensión de tiempo que cubre el estudio, sea de meses o incluso años, de manera constante u observando intervalos de tiempo (Chaverri Chavez, 2017, pág. 190)

Entonces la amplitud del tema origina que la investigación no pueda ser terminada en el tiempo preestablecido por la institución educativa, en tal sentido trae como consecuencia frustración y cansancio por parte de los estudiantes, razón por la cual terminan abandonando la investigación y no logrando culminar con éxito su trabajo de grado (Carrero, 2021, pág. 1).

### **1.2.1. Delimitación teórica**

El marco teórico (dominio teórico) se establecido en correlación al problema de investigación, es decir el dominio teórico debe circunscribirse a las variables o factores del problema de investigación, en el presente caso, debe circunscribirse al “Procesamiento de relaves de cianuración mediante flotación”.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se tomó en cuenta aspectos tales como:

- Usos del carbón activado
- Características del relave después de la recuperación del oro.
- Lixiviación de oro y plata
- Métodos de cianuración
- Procesamiento de relaves
- Reactivos de flotación
- Flotación de carbón activado
- Diversos factores de procesamiento de flotación, etc.

Internet es una fuente muy amplia, da aforo también para informaciones erróneas, a las que en ocasiones es necesario oponer las fuentes físicas y desplazarse al lugar de origen de la información, o contrastar con el idioma original de la fuente citada, cuando es el caso que no se cuente con traducciones apropiadas (Chaverri Chavez, 2017, pág. 189)

### **1.2.2. Delimitación espacial**

Se refiere al lugar o área geográfica y/o espacial en el cual se desarrollará el trabajo de investigación.

Empresa	: Empresa Paltarumi S.A.C.
Distrito	: Barranca
Provincia	: Lima
Departamento	: Lima
Región	: Lima

### **1.2.3. Delimitación temporal**

En ciencias sociales, se debe indicar el periodo de tiempo con relación a los hechos, que pueden 2 o más años; en caso contrario la investigación resulta imposible de realizarlo. En ingeniería solamente se señala el año de desarrollo del proceso de investigación:

Delimitación temporal: “2021”

## **1.3. Formulación del problema**

El presente trabajo de investigación es descriptiva, experimental y explicativa, por lo tanto, para realizar las formulaciones de los problemas, objetivos e hipótesis generales y específicas; en primer término, se debe identificar las variables y factores o indicadores experimentales del proceso de investigación.

### **1.3.1. Problema general**

El problema principal guía al tesista en las formulaciones del objetivo general; hipótesis general y en la elección del título definitivo del trabajo de investigación o tesis, el problema principal es:

¿Cómo es el procesamiento de relaves de cianuración mediante flotación para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barraca – Paramonga – 2021?

### **1.3.2. Problemas específicos**

Las formulaciones se realizaron previa operacionalización de la variable independiente, para poder determinar a los factores experimentales del proceso de flotación del activado, estos son:

- a. Densidad de la pulpa
- b. Dosificación de Z-11

- c. Dosificación del MIBC
- d. Acondicionamiento
- e. pH de la pulpa

En función a los factores o indicadores experimentales seleccionados cuidadosamente, después de los ensayos preliminares de flotación, se formularon a los problemas específicos siguientes:

- a. ¿De qué manera influye la densidad de la pulpa para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021?
- b. ¿Cómo la dosificación del colector Z-11 interviene en la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021?
- c. ¿Cómo influye la dosificación del MIBC para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021?
- d. ¿En qué medida el acondicionamiento influye para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021?
- e. ¿En qué medida el control del pH influye para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021?

#### **1.4. Formulación de objetivos**

“El objetivo es la exposición clara y precisa del logro que se desea obtener con la realización de la investigación, los objetivos siguen las mismas proposiciones de la formulación del problema solo que se antepone el verbo”.

(Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2020, pág. 49)

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

“Un objetivo es la manifestación de un propósito, una finalidad, y está dirigido a alcanzar un resultado una meta o un logro, en ese sentido los objetivos representan el para qué de una acción” (Hurtado de Barrera, 2005, pág. 19).

“Como consecuencia de lo anterior, durante un tiempo en algunas instituciones educativas se distinguieron las investigaciones que se hacían por objetivos y las investigaciones que se hacían por hipótesis” (Hurtado de Barrera, 2005, pág. 13)

“Los objetivos generales exponen las metas globales que se buscan con la investigación. Deben contener lo que se pretende demostrar a partir del problema propuesto. Plantean de manera clara y precisa la dirección global de la investigación” (Campos Ocampo, 2017, pág. 30)

El objetivo general en el presente es: “Comprobar y describir el procesamiento de relaves de cianuración mediante flotación para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021”

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

“Los objetivos específicos abordan los diferentes aspectos del problema y van marcando los distintos pasos mediante los cuales se obtendrá el cumplimiento de los objetivos generales” (Campos Ocampo, 2017, pág. 30). Los objetivos específicos son:

- a. Determinar la densidad de la pulpa para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021
- b. Determinar la dosificación del colector Z-11 para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021

- c. Establecer la dosificación del MIBC para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021
- d. Determinar el tiempo de acondicionamiento para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021
- e. Establecer el pH para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021

### **1.5. Justificación de la investigación**

La investigación consiste en la posibilidad del tratamiento de los relaves de filtración del carbón activado cargado de oro, según los análisis químicos en el relave hay suficiente cantidad de carbón activado cargado oro que pasa al filtro, es la razón fundamental del tratamiento de este residuo sólido mediante el método experimental de flotación del carbón activado, haciendo uso de reactivos convencionales.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Son dificultades que se presentaron durante el desarrollo del trabajo de investigación científica, las más frecuentes fueron:

- La limitación del tema de tesis de investigación en función a la experiencia. son las asesorías de tesis de grado que se convierten es uno de los factores que afecta a que fracasen los investigadores con su tesis de grado.
- Carencia de datos secundarios disponibles
- Carencia de informaciones bibliográficas especializadas, para poder entender el proceso de investigación experimental para la recuperación del carbón activado.
- Falta de estudios previos de investigación (antecedentes)
- Efectos longitudinales, tiempo disponible

- Problema del COVID-10.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Los antecedentes de toda investigación son denominados también trabajos preliminares, está referido a los estudios o investigaciones previas relacionadas al tema materia de investigación; tesis de postgrado, investigaciones institucionales, ponencias, conferencias o revistas especializadas, a nivel nacional e internacional que han sido realizadas anteriormente y que guardan relación con el problema planteado; los antecedentes o trabajos previos deben ser realizados conforme al enfoque de investigación cuantitativa o cualitativo (deductivo o inductivo) (Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2020, pág. 50).

En el presente trabajo de investigación no existen flotación del carbón activado, por lo tanto, no hay antecedentes, por ser tesis prototipo.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Carbón activado**

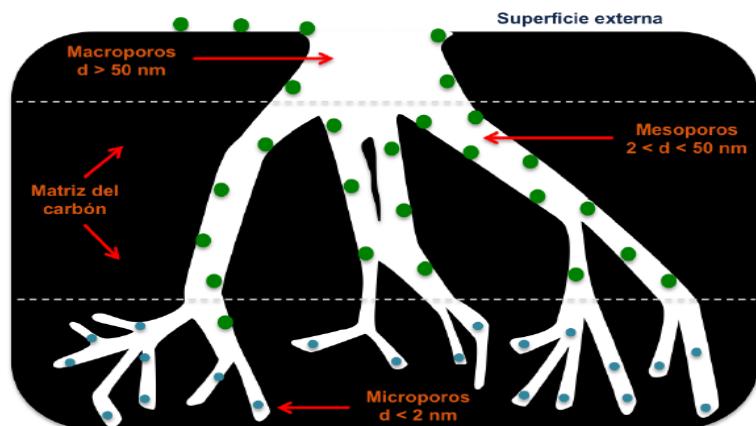
El oro puede ser recuperado mediante del proceso de adsorción en el carbón activado; los complejos de oro ya sea con cloro o cianuro son fuertemente adsorbidos por el carbón activado.

“La adsorción de complejos de cianuro de oro en las partículas porosas de carbón implica la difusión en los poros y la atracción en los sitios activos” (Gasca Torres, 2016, pág. 29).

La adsorción consiste en la concentración de un soluto (oro) en la superficie de un sólido, llamado carbón activado; este fenómeno físico ocurre cuando se coloca dicha superficie en contacto con una solución, capa de moléculas de soluto se acumula en la superficie del sólido debido al desequilibrio de las fuerzas superficiales; cabe indicar que el interior del sólido, las moléculas están rodeadas totalmente por moléculas similares, por lo tanto, sujetas a fuerzas equilibradas. “Debido a que estas fuerzas residuales son suficientemente elevadas, pueden atrapar moléculas de un soluto que se halle en contacto con el sólido” (Ruiz Valles & Orbegoso Alvarez, 2019, pág. 18).

La adsorción suele ser definido como el proceso de transferencia de masa desde la fase líquida llamado adsorbato hacia la superficie de una fase sólida, el proceso surge como resultado de las fuerzas moleculares insaturadas y no balanceadas que están presentes en cada superficie sólida (Gasca Torres, 2016, pág. 31)

**Figura 1.** Vista del tamaño de los poros del carbón activado.



FUENTE: Adaptado de Prías Barragán et al., 2011

Los poros son importantes durante del proceso de adsorción. Los microporos, son constituyentes del área específica (aproximadamente el 95%) y volumen de poro. Por otro lado, los mesoporos contribuyen un aproximado del 5% del total del área específica, y finalmente, los macroporos aunque no son considerados dentro del proceso de adsorción debido a su aportación no rebasa los 0.5 m<sup>2</sup>/g, sin embargo actúan como conductos para el paso de las moléculas del adsorbato hacia los microporos-mesoporos (Gasca Torres, 2016, p. 38)

El carbón activado produce un material poroso con una gran superficie específica (de 500 a 1500 m<sup>2</sup>/g) y una capacidad de adsorción alta de compuestos orgánicos. El agua por el carbón activado se depura principalmente por la adsorción, es decir, la captación de sustancias soluble presentes en el líquido por parte de la superficie del sólido, por tanto, cuanto mayor sea la superficie específica, mayor será la eficiencia del mismo (Ruiz Valles & Orbegoso Alvarez, 2019, p. 19).

### 2.3. Definición de términos básicos

**Pulpa:** Mezcla de mineral y agua cuya finalidad es hacerla fluida.

**Flotación por espumas:** Flotación directa, cuando en la espuma se tiene al mineral valioso concentrado y en la pulpa el mineral de ganga relave.

**Carbón activado:** Son materiales carbonosos amorfos que muestran un alto grado de porosidad y una amplia área específica.

**Delimitar:** Determinar con precisión los límites de investigación.

**Observar:** examinar atentamente o mirar con atención y recato.

**Nanómetro** (Nm o nm): Unidad de longitud, representa una mil millonésima parte de un metro (o millonésima parte de un milímetro).

**Factor:** Características de una cosa, junto con otras, causa un efecto

**Confirmar:** corroborar la verdad, certeza o el grado de probabilidad de algo

**Describir:** explicar sus distintas partes, cualidades o circunstancias de algo.

**Determinar:** señalar, fijar algo para algún efecto

**Interpretar:** explicar acciones, dichos o sucesos que pueden ser entendidos de diferentes modos. Concebir, ordenar o expresar de un modo personal la realidad.

## 2.4. Formulación de la hipótesis

“La formulación de la hipótesis, es una actividad importante y común en las investigaciones cuantitativas, que consiste en redactar la respuesta tentativa o preliminar a un problema determinado; esta respuesta puede ser afirmativa o negativa” (Dirección General de Servicio Civil, 2018, pág. 7).

### 2.4.1. Hipótesis general

Según el tema de estudios, la hipótesis principal de la investigación conveniente desarrollada es:

“El procesamiento de relaves de cianuración mediante flotación permite la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021”

### **2.1.1. Hipótesis específicas**

- a. La densidad de la pulpa interviene directamente en la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021
- b. La dosificación del colector Z-11 predomina en la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021
- c. La dosificación del MIBC participa directamente para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021
- d. El acondicionamiento influye en la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021
- e. El control del pH influye directamente para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021

### **2.5. Identificación de variables**

El título del trabajo de tesis es: Procesamiento de relaves de cianuración mediante flotación para la recuperación del carbón activado en la Empresa Paltarumi S.A.C. – Barranca – Paramonga – 2021; entonces las variables son:

- a. Variable independiente:  
“Procesamiento de relaves de cianuración mediante flotación”
- b. Variable dependiente:

“Recuperación del carbón activado”

## **2.6. Definición operacional de variables e indicadores**

La actividad de operacionalización de la variable independiente fue realizada, previo conocimiento de los fundamentos teóricos de flotación del carbón activado cargado del mineral precioso, para determinar a los factores o indicadores experimentales del proceso de flotación del carbón activado:

- a. Granulometría del relave de cianuración
- b. Densidad de la pulpa
- c. Dosificación de Z-11
- d. Dosificación del MIBC
- e. Acondicionamiento
- f. pH de la pulpa

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

##### **3.1.1. Investigación aplicada**

La investigación aplicada, por su parte, concentra su atención en las posibilidades concretas de llevar a la práctica las teorías generales, y destina sus esfuerzos a resolver las necesidades que se plantean la sociedad y los hombres (Baena Paz, 2017, pág. 33)

La presente investigación está relacionada con el nivel experimental, se busca producir cambios cuantitativos y cualitativos de la materia prima, carbón activado cargado de oro, mediante la aplicación de nuevas técnicas de flotación. Por lo tanto, se soluciona problemas prácticos.

#### **3.2. Nivel de investigación**

En el presente caso de investigación científica será el **nivel experimental y correlacional**, por ser un tema desconocido, en este caso la metodología es amplia que necesita mucha paciencia y serenidad en el momento de desarrollar el trabajo de tesis en el laboratorio aplicando el nivel correlacional, es decir se

manipula intencionalmente variables o factores de entrada durante el proceso experimental; finalmente los datos primarios serán procesados, explicados o analizados las causas.

### **3.3. Métodos de investigación**

Arias (2012, p.8) afirma que, el método científico “es el conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas de investigación mediante la prueba o verificación de hipótesis”. (Cabezas Mejía y otros, 2018, pág. 16).

“Métodos empíricos: Son aquellos que permiten el conocimiento directo de los objetos o hechos, mediante el uso de la experiencia, verificando y comprobando las concepciones teóricas. Entre ellos pueden citarse: La observación, la medición, la experimentación” (Dirección General de Servicio Civil, 2018, pág. 17).

Durante el desarrollo del trabajo de investigación se usó el método científico, utilizando las informaciones teóricas relacionados a la tesis académica; con la finalidad de realizar una serie de experimentos o corridas experimentales en el laboratorio ejecutados para comprobar la hipótesis plateada. Por lo tanto, la teoría conjuga con la práctica.

### **3.4. Diseño de investigación**

Método cuantitativo; utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis, con base en la medición numérica y análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. (Cabezas Mejía y otros, 2018, pág. 19).

La metodología ejerce el papel de ordenar, se apoya en los métodos, como sus caminos y éstos en las técnicas como los pasos para transitar por esos caminos del pensamiento a la realidad y viceversa. (Baena Paz, 2017, pág. 51)

En consecuencia, el método son los procedimientos para realizar el proceso de investigación y las técnicas son las actividades que se deben cumplir para alcanzar los objetivos, usando los instrumentos de campo o laboratorio, con la finalidad de recolectar datos primarios.

### **3.5. Población y muestra**

Entonces al tomar varias definiciones de lo que es la población según distintos autores se puede dar a notar que todas llegan a la misma ideología donde se deduce que la población es un conjunto de elementos con fines comunes de los cuales resulta las conclusiones más relevantes de una investigación. (Cabezas Mejía y otros, 2018, pág. 89).

*Muestra*, es un subconjunto de la población a la cual se le efectúa la medición con el fin de estudiar las propiedades del conjunto del cual es obtenida. (Guarin S., s/f, pág. 11)

La población del proceso de investigación son los relaves de la filtración de la solución rica en oro **aproximadamente 1 200 toneladas** y las muestras son las partes más representativas de toda la población, se muestreó un total de 10 muestras.

Los muestreos fueron realizados mediante la técnica de muestreo probabilístico aleatorio simple, cuya característica fue la elección de las muestras al azar, de tal manera que las muestras sean los más representativos o contener todas las características de toda la población, para que los resultados experimentales sean inferenciados o generalizados a todo el universo.

### **3.6. Técnica e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas de recolección de datos**

Es la etapa más importante en todo proceso de investigación cuantitativo o experimental que requiere inversión económica en análisis químicos; recursos humanos; materiales tiempo y otras necesidades del momento; resultando la etapa más costosa en el desarrollo del trabajo de tesis.

“En la recolección de datos se hace uso de las técnicas e instrumentos establecidos previamente y este es el momento donde se aplican para obtener los datos y alcanzar en el objetivo del estudio” (Arias Gonzales, 2020, pág. 14).

En el desarrollo se usaron: la técnica documental para recopilar datos secundarios y para la elaboración del marco teórico; la técnica experimental y observación científica, para recopilar datos primarios mediante diseños experimentales del tipo diseño factorial fraccionado  $2^{k-p}$ , en seguida se usó el diseño central compuesto y los modelos matemáticos empíricos de primer orden y segundo orden.

#### **3.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

“Las técnicas deben ser instrumentalizadas, de manera que puedan aplicarse en forma particular, según la necesidad de la investigación” (Dirección General de Servicio Civil, 2018, pág. 18).

Los instrumentos utilizados durante las etapas experimentales en el laboratorio para manipular intencionalmente a los indicadores o factores experimentales, fueron elegidos mediante la operacionalización de la variable independiente, son:

- Molino de bolas
- Cuarteador

- Secadora
- Mallas ASTM
- Potenciómetro
- Equipo de celda de flotación
- Bandejas para la recepción de los elementos flotados
- Paleta para la separación de los elementos flotados
- Goteros
- Materiales de vidrio diversos.

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

#### **3.7.1. Selección de los instrumentos de investigación**

Los instrumentos principales seleccionados para el desarrollo de la investigación científica, se encuentran nominados en los ítems 3.5.2.; 3.6. y 3.7.

#### **3.7.2. Validación de los instrumentos de investigación.**

Para definir de una manera sencilla la validez de un instrumento, vamos a decir que existe una validez hacia adentro y una validez hacia afuera; la validez hacia adentro es la validez interna y la validez hacia afuera es la validez de criterio. (Supo, 2013, pág. 31).

En consecuencia, los instrumentos de investigación deben ser validados, si el instrumento elaborado no tiene validez, los datos primarios recolectados y los resultados obtenidos no son válidos o consistentes. En este sentido, la validación del instrumento no se realiza teóricamente, en el presente caso la validación se realizó en forma experimental, entonces los instrumentos son válidos cuando mide al factor o variables que requiere medir durante el proceso experimental.

### **3.7.3. Confiabilidad de los instrumentos de investigación**

“La confiabilidad tiene que ver con la exactitud y precisión del procedimiento de medición” (Corral, 2009, pág. 3).

La confiabilidad del instrumento de investigación significa, cuando se realiza las réplicas o repeticiones al mismo sujeto, se obtiene resultados iguales o muy semejantes consistentes y coherentes.

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

### **3.8.1. Técnicas de procesamientos de datos**

Una información estadística adquiere más claridad cuando se presenta en la forma adecuada: las tablas y figuras que facilitan el análisis o interpretación de los datos, no es aconsejable saturar un informe con tablas y figuras redundantes, crean confusión; demás, la elección de determinadas tablas o imágenes para mostrar los resultados, deben ser realizados en función de las variables relacionados entre si (Guarín S., s/f, pág. 13).

Para procesar los datos primarios encontrados experimentalmente, se realizó usando el programa estadístico, Statgraphics Centurión, como consecuencia resultó las tablas y figuras para su posterior análisis.

### **3.8.2. Técnicas de análisis de datos**

Una vez recopilada la información, se procede a analizar los resultados, exponiendo y explicando los hallazgos más relevantes en relación con el problema que originó la investigación y, en referencia a cada uno de los aspectos consultados por medio del instrumento o los instrumentos de recolección de datos aplicados. (Dirección General de Servicio Civil, 2018, pág. 19).

El tratamiento estadístico de los datos permite un análisis adecuado que puede tener diversos alcances, los cuales dependen de los objetivos de la investigación y de las hipótesis formuladas (Alva Santos, 2021).

Después del procesamiento de los datos mediante el paquete estadístico, statgraphics centurión; resultaron las tablas y figuras para ser analizados e interpretados haciendo uso de las bases teóricas de flotación.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

Las técnicas estadísticas, por tanto, son métodos para resumir, organizar y analizar datos cuantitativos y, en consecuencia, utilizan la información numérica de las variables que se han medido en una determinada investigación. (Navarro Asencio & et.al., 2017, pág. 41)

En el presente trabajo de investigación de tesis, los datos primarios recolectados procesados estadísticamente y analizados; fueron importantes para continuar con el proceso experimental de investigación, con la finalidad de continuar y mejorar los resultados, buena recuperación del carbón activado.

El enfoque general para el análisis estadístico del diseño factorial fraccionado y otros diseños, se usan el programa estadístico, denominado en forma general Statgraphics en sus diferentes versiones; para estimar los efectos e interacciones de los factores, luego examinar en base parámetros estadísticos y los modelos matemáticos.

### **3.10. Orientación ética y filosófica y epistémica**

“Un nuevo concepto o propuesta de investigación debe incluir una breve explicación que identifique las principales consideraciones éticas asociadas con la investigación propuesta” (Brown & Sugarman, 2020, pág. 13).

“Uno de los componentes esenciales de la realización responsable de la investigación es la supervisión de la investigación. La mayoría de los reglamentos y pautas actuales requieren la revisión y aprobación por parte de comités de ética independiente” (Alvarez Viera, 2018, pág. 10)

El cumplimiento de la ética en la investigación científica es de carácter obligatorio para los estudiantes, egresados, docentes, asesores, tutores de colaboración docente y no docentes que realizan la actividad de investigación en la preparación de sus trabajos de tesis académico en las universidades, en el cumplimiento de las actividades de I+D+i.

En el presente trabajo de investigación experimental se practica la filosofía positivista, comprobado a través de la experiencia del investigador, aplicando la observación científica, entonces los factores son medibles durante el proceso de investigación para obtener resultados confiables que contribuye al desarrollo de la ciencia blanda.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción del trabajo de campo

##### 4.1.1. Análisis de malla del relave de carbón activado con oro

Habiendo realizado los muestreos de los relaves filtrados mediante filtros prensa, se obtiene el siguiente resultado, ver tabla 1.

**Tabla 1.** *Análisis de malla del carbón activado con contenido de oro*

malla	micrones	Peso gr.	% en Peso	% Retenido	% Acumulado pasante
45	355	0.15	0.01	0.01	99.99
60	250	0.90	0.04	0.05	99.95
100	150	15.67	0.71	0.75	99.25
140	106	90.67	4.09	4.84	95.16
200	75	143.42	6.46	11.30	88.70
270	53	245.21	11.05	22.35	77.65
325	45	24.70	1.11	23.46	76.54
400	38	16.82	0.76	24.22	75.78
-400		1681.88	75.78	100.00	0.00
		2219.42	100.00		

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.1.2. Análisis químico del relave con contenido de oro

Cumplido con analizar el relave de carbón activado con contenido de oro, se concluye, que en la malla -400 se encuentra la mayor cantidad de oro, 0.004037 g/t de oro; en las demás mallas el contenido de oro también es considerable, en porcentaje equivale al 75.62%. Ver tabla 2 y la figura 2.

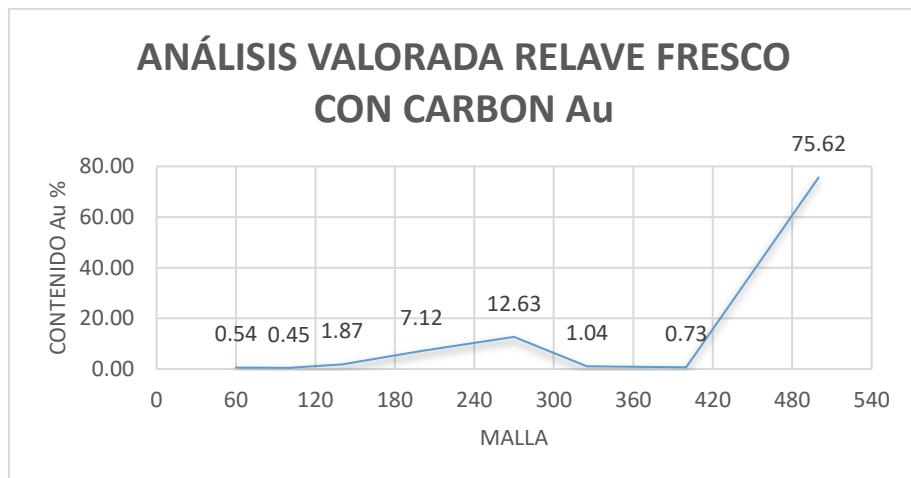
**Tabla 2.** Análisis valorado del contenido de oro en el carbón activado

ANÁLISIS VALORADA RELAVE FRESCO CON CARBON Au					
Malla	Peso Retenido (gr.)	% Peso	Ley Lab Au g/t	Contenido metálico Au gr por malla	Contenido Au %
#60	1.05	0.05	27.451	0.000029	0.54
#100	15.67	0.71	1.534	0.000024	0.45
#140	90.67	4.09	1.1	0.000100	1.87
#200	143.42	6.46	2.65	0.000380	7.12
#270	245.21	11.05	2.75	0.000674	12.63
#325	24.7	1.11	2.25	0.000056	1.04
#400	16.82	0.76	2.327	0.000039	0.73
#-400	1681.88	75.78	2.4	0.004037	75.62
TOTAL	2219.42	100.00	2.405	0.005338	100.00

Ley de Cabeza calculada de Au	2.405
Ley analizada laboratorio Au	2.150

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 2.** Análisis valorado del contenido de oro en el carbón activado



FUENTE: Elaboración propia

#### **4.1.3. Descripción del trabajo en el laboratorio**

El proceso de flotación por espumas, es la técnica más importante, para el tratamiento de concentración de minerales de baja ley de cabeza, además para procesar minerales no metálicos, aprovechando las propiedades fisicoquímicas de las partículas minerales para realizar la selección, tales como las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales valiosos. Por lo tanto, todo proceso de flotación contempla tres fases fundamentales: sólido, líquido y gas.

En el presente trabajo de investigación, se usó la flotación directa, en este caso se flotó al carbón activado con contenido de oro, a partir de este proceso metalúrgico se logró recuperar el carbón activado, haciendo uso de los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias sobre temas de flotación directa de polimetálicos.

En una investigación muy seria, primero se cumplió con una serie de pruebas metalúrgicas preliminares, que fueron cumplidos con diversos valores de los factores experimentales seleccionados teóricamente: densidad de la pulpa; sulfato de cobre; colector Z-11; colector asistente; MIBC; tiempos de acondicionamiento y otros; tiempos de acondicionamiento; obteniendo como resultados positivos.

#### **4.1.4. Flotación por espumas**

La flotación es uno de los procesos metalúrgicos que incluye un proceso físico - químico trifásico (solido, líquido y gas) que tiene por objetivo principal la separación del mineral específico, mediante la adhesión selectiva de las partículas minerales a las burbujas de aire generadas por el aire; para la ingeniería química o metalúrgica, es una mezcla heterogénea (molecular o iónica), de dos o más especies químicas que no reaccionan entre sí, cuyos componentes están en

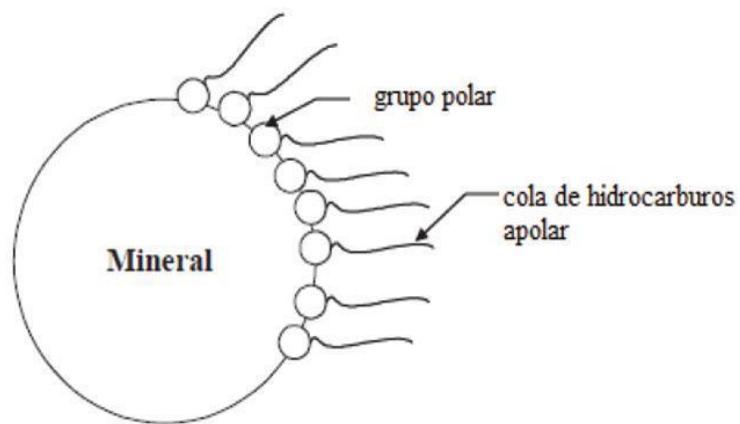
una proporción que varían tanto en el concentrado como en los subproductos o fondos (Carhuachín Rojas, pág. 22)

#### 4.1.5. Descripción breve de los factores de flotación controlables

##### a. Colectores

Los colectores usados en la metalurgia son reactivos orgánicos heteropolares cuyo anión o catión tienen una parte polar y otra apolar respectivamente; la parte polar del colector reacciona con la superficie del mineral para dotar al carbón activado la propiedad hidrofóbica; la parte no apolar está constituida por una cadena de hidrocarburos, llamados radicales quedan orientadas hacia la fase acuosa de la pulpa, dando el carácter hidrófobo al carbón activado. La reacción química del colector con el mineral es más fuerte, por esa razón el mineral adquiere la propiedad hidrofóbica y logra flotar. En la presente investigación se usó al xantato Z-11. Para mayor ilustración ver la figura.

**Figura 3. Reacción del mineral con el colector**

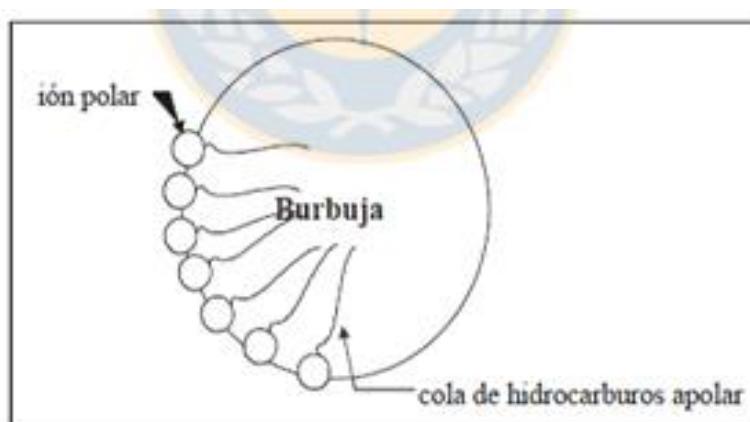


Fuente: Yianatos

## b. Espumantes

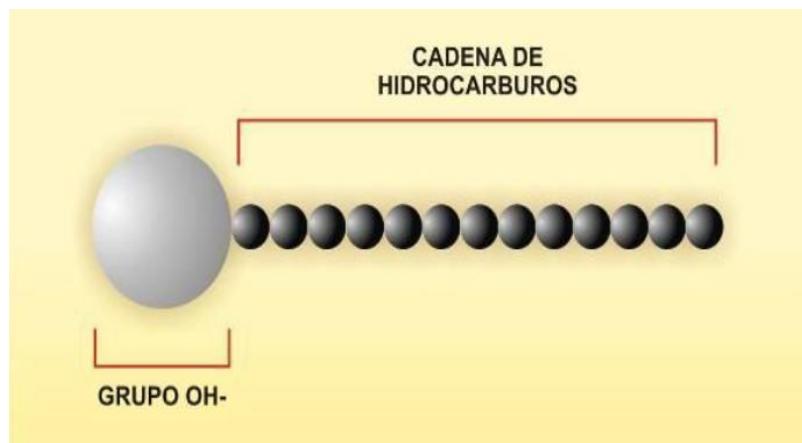
Los espumantes son compuestos de superficie heteropolar que son adsorbidos en la interfase líquido-gas llamados espumantes, por esa razón se modifican las propiedades superficiales de la burbuja para reducir su coalescencia (disminuir la tensión superficial). La parte polar del espumante es orientada hacia la fase líquida, mientras que la cola (hidrocarburo) se orienta hacia la fase gaseosa, la función principal es la estabilización de las espumas de gas producidos en las celdas de flotación. Ver figura 4.

**Figura 4.** Acción física del espumante con las burbujas de aire



Fuente: Yianatos

**Figura 5.** Adhesión del espumante hacia el aire.

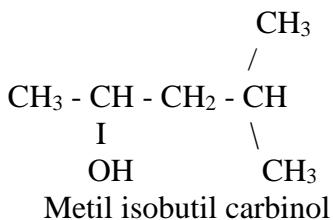


Fuente: Taggart.

Los espumantes más usados son: Aceite de pino y el metil isobutil carbinol (MIBC).

Para la selección de un espumante idóneo y estable, debemos considerar lo siguiente:

- La dosificación es en pocas cantidades.
- Las espumas cargadas de minerales deben auto destruirse fácilmente a la salida de las celdas de flotación para facilitar la posterior manipulación de los concentrados de minerales
- El precio debe ser accesible al empresariado.
- La propiedad colectora del espumante debe ser lo más débil posible.
- La sensibilidad a las variaciones del pH debe ser baja.
- La eficacia de los espumantes es medido a partir de las recuperaciones y contenidos de minerales valiosos en el concentrado.



### c. Reguladores de pH

El pH de la pulpa es controlado mediante un potenciómetro, en el presente caso de procesamiento del carbón activado el pH debe ser ligeramente ácido o alcalino durante la flotación. Para regular el pH se usó durante las pruebas experimentales el ácido sulfúrico y la cal.

#### **d. Activador – oxígeno**

El oxígeno disuelto en la pulpa, de acuerdo a las teorías de procesamiento por flotación de minerales, activa a los minerales sulfurados y no sulfurados logrando flotar; para este efecto se debe acondicionado por un tiempo aproximado de 3 minutos antes de dosificar los reactivos.

#### **e. Agitación mecánica**

La agitación debe siempre ser moderada, cuando es en exceso la pulpa rebalsa de las celdas y si es insuficiente las burbujas no se forman las espumas; además:

- Permite la formación de espumas de aire estables para la flotación.
- Permite la obtención de la reacción química uniforme o completa con las partículas minerales en la celda.
- Evita el asentamiento o precipitación física de los sólidos de la pulpa.

##### **4.1.6. Preparación del diseño factorial fraccionado**

El objetivo importante de los diseños factoriales es el tratado de los efectos de los factores o indicadores experimentales sobre los efectos una o varias respuestas o calidad de los productos que se obtiene, es decir se busca las relaciones existentes entre los factores y la respuesta(s) que mejoren el desempeño del proceso de flotación del carbón activado.

Las ventajas de los diseños experimentales son:

- a. Se realizan corridas experimentales mediante diseños factoriales fraccionados, cuando existen en la investigación muchos factores; con la

finalidad de seleccionar a los factores más significativos del proceso de investigación.

- b. Se pueden correr diseños factoriales de segundo orden, aprovechando los diseños factoriales fraccionado.
- c. El procesamiento de los datos determinados se procesa mediante programas estadísticos; en seguida se realizan las interpretaciones y los análisis a los resultados.

Habiendo realizado los ensayos experimentales preliminares en el laboratorio de la empresa, se llegó obtener a los factores más importantes del proceso de investigación de la flotación del carbón activado, ver tabla 3.

**Tabla 3. Factores más significativos del proceso**

FACTORES	NIVEL (-)	NIVEL (+)
A= Densidad pulpa (%)	25	35
B= Z-11 (gotas)	2	3
C= MIBC (gotas)	2	3
D= Acondicionamiento (min)	2	5
E= pH (unidad)	6	8

FUENTE: Elaboración propia

La preparación se realizó con el software estadístico Statgraphics, la tabla 3 indica el orden aleatorio de los ensayos experimentales que se debe realizar en el laboratorio; con la finalidad de controlar parcialmente la intervención de los factores intervenientes del proceso; el formato se gravó o se guardó en el mismo paquete estadístico, para su posteriormente análisis de los datos obtenidos en el gabinete de procesamiento. Ver tabla 4.

#### **4.1.7. Corridas experimentales en el laboratorio.**

Para el procedimiento de la flotación rougher, se tomó en cuenta las consideraciones siguientes:

- Peso de muestra que contiene carbón activado, 500 g.
- Se controla la densidad de la pulpa al 35%

- La RPM de la celda de flotación: 1250
- En pleno funcionamiento de la celda de flotación, se dosificó 3 gotas de Z-11.

**Tabla 4. Diseño factorial fraccionado con valores reales**

	BLOQUE	Densidad de Min	Acondicionamiento	Z-11 Gotas	MIBC Gotas	pH Unidades	Recuperación %
1	1	35.0	5.0	3.0	3.0	8.0	
2	1	30.0	4.0	2.5	2.5	7.0	
3	1	35.0	5.0	2.0	3.0	6.0	
4	1	35.0	3.0	3.0	2.0	8.0	
5	1	25.0	5.0	3.0	2.0	6.0	
6	1	25.0	3.0	3.0	3.0	6.0	
7	1	25.0	3.0	2.0	3.0	8.0	
8	1	30.0	4.0	2.5	2.5	7.0	
9	1	35.0	3.0	2.0	2.0	6.0	
10	1	25.0	5.0	2.0	2.0	8.0	
11							

FUENTE: Elaboración propia

- En seguida se agregó 3 gotas de MIBC
- Con la válvula cerrada de ingreso de aire, se realizó el acondicionamiento durante 3 minutos.
- Acto seguido, se controla el pH de la pulpa a 8 unidades.
- Finalmente, se regula la válvula de ingreso de aire, para la correcta formación de espumas estabilizadas.
- Se realizó la prueba del plateo, se notó que flota poca cantidad de carbón activado; en este caso agregó el colector asistente, finalmente se hizo el ensayo del plateo, resultó correcto.
- El tiempo de flotación fue de 10 minutos
- El concentrado de carbón activado es analizado químicamente.

De forma similar se cumplió con las demás corridas experimentales de flotación rougher, cumpliendo el orden aleatorio formulado por el paquete estadístico, tal como indica la tabla 4.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de los resultados

### 4.2.1. Presentación de los resultados

Habiendo cumplido con los 10 ensayos experimentales en el **Laboratorio de la Empresa Paltarumi** en el orden indicado en la tabla 4 y realizados los análisis químicos a los resultados de los 10 ensayos experimentales respectivamente, se llegó obtener los resultados, ver la tabla 5.

**Tabla 5.** *Resultados de los análisis químicos de la recuperación de carbón activado*

Corridas experimentales preliminar FINAL.sfx							
	BLOQUE	Densidad de pulpa	Acondicionamiento	Z-11	MIBC	pH	Recuperación
		8	Min	Gotas	Gotas	Unidades	8
1	1	35	5	3	3	8	55
2	1	30	4	2.5	2.5	7	70
3	1	35	5	2	3	6	77
4	1	35	3	3	2	8	65
5	1	25	5	3	2	6	55
6	1	25	3	3	3	6	56
7	1	25	3	2	3	8	70
8	1	30	4	2.5	2.5	7	75
9	1	35	3	2	2	6	76
10	69	25	5	2	2	8	56
11							

FUENTE. Autoría propia.

### 4.2.2. Procesamiento, análisis e interpretación de los resultados.

Los resultados de la tabla 5, fueron procesados estadísticamente haciendo uso del Statgraphics Centurion; se llegó obtener la tabla 6 y las figuras 8 y 9.

#### Análisis de la tabla 5:

Realizado el análisis de los resultados obtenidos, tabla 5, e nota claramente que en las corridas 3; 8 y 9 se obtienen las mejores recuperaciones de carbón activado; cuyos valores son 77%; 75% y 76% respectivamente, estos resultados significan continuar con la investigación.

### Análisis de la tabla 6 (ANOVA):

La última columna de la tabla, Valor-P, presenta valores mayores al 5% de nivel de significancia prefijado, significa que se tiene que continuar con la investigación; esta interpretación es ratificada mediante la figura 8, allí se nota claramente que hay efectos confundidos que tienen que ser eliminados, para las acciones de eliminación se tomó en cuenta la figura 9. Una vez eliminados los factores confundidos se obtienen las tablas 7 y 8 y las figuras 10; 11 y 12.

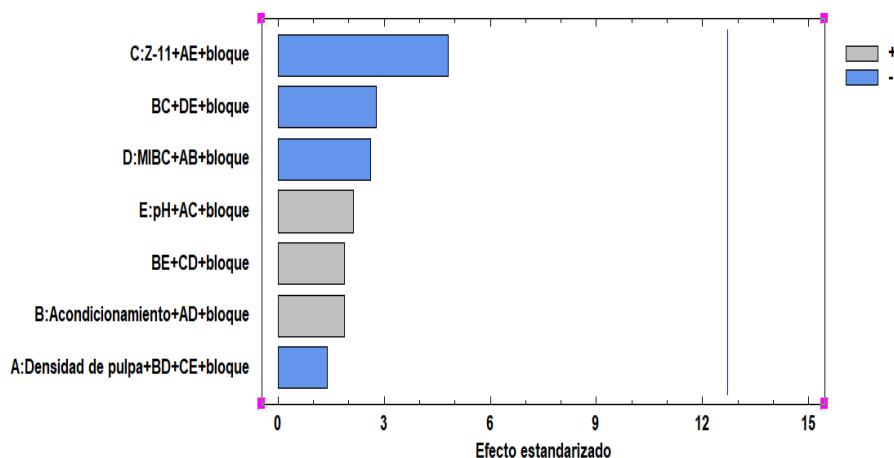
**Tabla 6.** Análisis de varianza (ANOVA) para recuperación de carbón activado

Análisis de Varianza para Recuperación - Recuperación de carbón activado					
Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Densidad de pulpa+BD+CE+bloque	24.0833	1	24.0833	1.93	0.3974
B:Acondicionamiento+AD+bloque	44.0833	1	44.0833	3.53	0.3115
C:Z-11+AE+bloque	290.083	1	290.083	23.21	0.1303
D:MIBC+AB+bloque	85.3333	1	85.3333	6.83	0.2327
E:pH+AC+bloque	56.3333	1	56.3333	4.51	0.2803
BC+DE+bloque	96.3333	1	96.3333	7.71	0.2201
BE+CD+bloque	44.0833	1	44.0833	3.53	0.3115
bloques	122.5	1	122.5	9.80	0.1968
Error total	12.5	1	12.5		
Total (corr.)	774.5	9			

R-cuadrada = 98.3861 porcentaje  
 R-cuadrada (ajustada por g.1.) = 92.7372 porcentaje  
 Error estándar del est. = 3.53553  
 Error absoluto medio = 0.5  
 Estadístico Durbin-Watson = 2.0  
 Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0

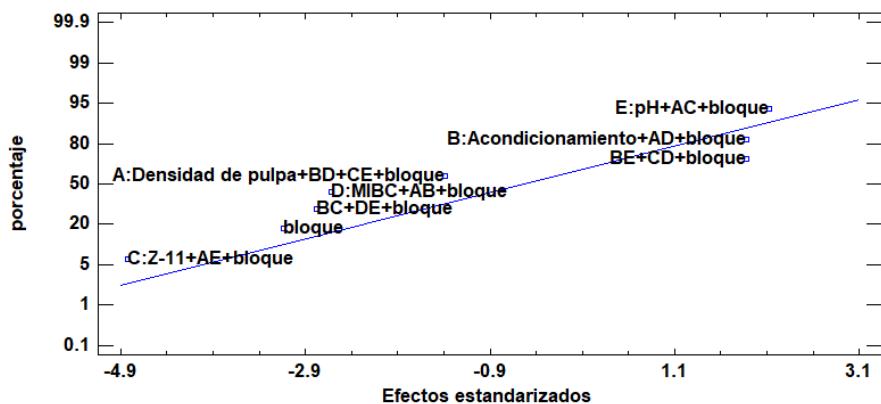
FUENTE: Elaboración propia

**Figura 6.** Diagrama de Pareto para recuperar carbón activado



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 7.** Probabilidad normal para la recuperación del carbón activado.



FUENTE: Elaboración propia

#### Análisis de la tabla 7:

El análisis es de modo semejante a la tabla 6. Una vez eliminados a las interacciones confundidas y visto la última columna de la tabla 7 se observa claramente que los valores de Valor-P son mayores al 0,05 de nivel de significancia prefijado estadísticamente. Significa que, se tiene que continuar con el proceso de investigación científica, es decir se tiene cumplir obligatoriamente una segunda etapa de un conjunto de corridas experimentales mediante diseños experimental, estas afirmaciones son ratificadas en la figura 10.

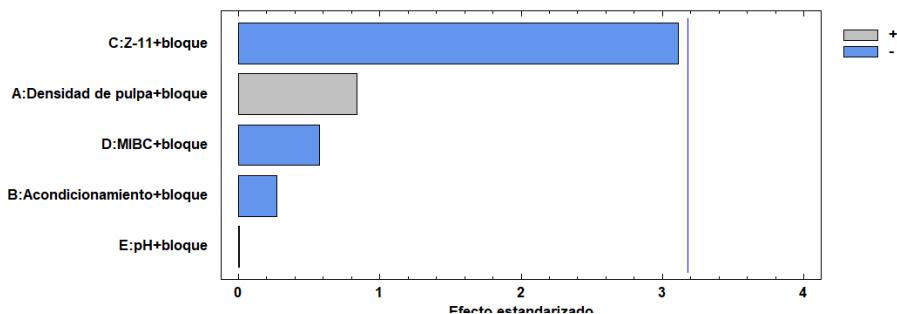
**Tabla 7.** Análisis de varianza (ANOVA) para la recuperación de carbón activado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Densidad de pulpa+bloque	27.2841	1	27.2841	0.70	0.4636
B:Acondicionamiento+bloque	2.90909	1	2.90909	0.07	0.8022
C:Z-11+bloque	376.409	1	376.409	9.69	0.0528
D:MIBC+bloque	12.7528	1	12.7528	0.33	0.6069
E:pH+bloque	0.00284091	1	0.00284091	0.00	0.9937
bloques	90.9091	1	90.9091	2.34	0.2236
Error total	116.591	3	38.8636		
Total (corr.)	774.5	9			

R-cuadrada = 84.9463 porciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 66.1292 porciento

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 8.** Diagrama de Pareto estandarizada para recuperación de carbón activado



FUENTE: Elaboración propia

#### Análisis de los efectos de los factores en la figura 11:

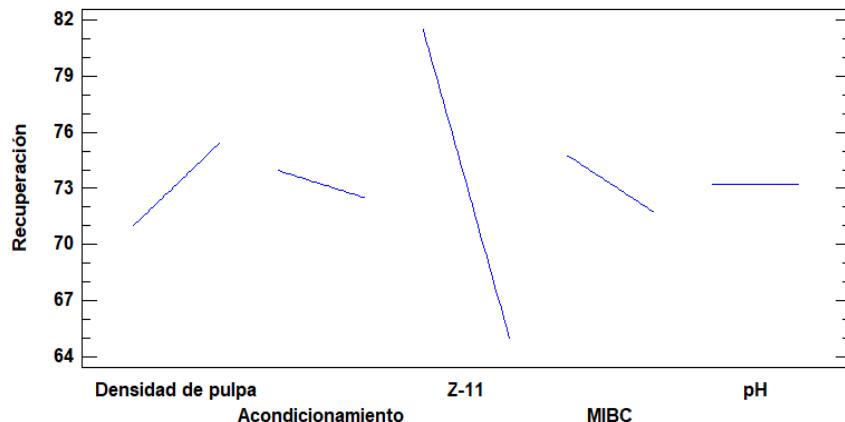
En la figura 11 y tabla 8, se observa:

- Las pendientes de los factores acondicionamiento; Z-11 y MIBC son negativos, los cuales indican que están en su nivel máximo, es decir en el punto óptimo, entonces en los ensayos posteriores fueron considerados como constantes durante el proceso de maximización de los efectos o resultados.
- Las pendientes de los factores densidad de la pulpa y pH son positivos, por tanto, están en su nivel mínimo, significan que deben ser maximizados, para establecer sus rangos de trabajo óptimo y obtener la mejor recuperación de carbón activado.

La tabla 8, confirma las afirmaciones realizadas mediante la figura 11, esta tabla indica que los factores B; C y D tienen signos negativos, significan que los factores están en su nivel máximo, entonces son considerados como constantes durante el proceso de concentración o purificación del carbón activado. Además, los signos de los factores A y E son positivos, en consecuencia, están en su nivel mínimo, siendo las causantes de la variabilidad de la recuperación del carbón activado.

Por lo tanto, al haber identificado a los factores más significativos para la recuperación del carbón activado, se pasó a una segunda etapa de tratamiento mediante el diseño compuesto central, para mejorar la recuperación, los valores de los factores que son considerados como constantes tales como el acondicionamiento; Z-11 y MIBC permanecen constantes; lo que varían son los valores de los factores pulpa y pH.

**Figura 9.** Efectos principales para recuperación de carbón activado



FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 8.** Coeficiente de regresión para la recuperación del carbón activado

Coefficiente	Estimado
constante	96.5909
A:Densidad de pulpa	0.445455
B:Acondicionamiento	-0.727273
C:Z-11	-16.5455
D:MIBC	-3.04545
E:pH	0.0227273

FUENTE: Elaboración propia

#### Análisis del modelo matemático de primer orden

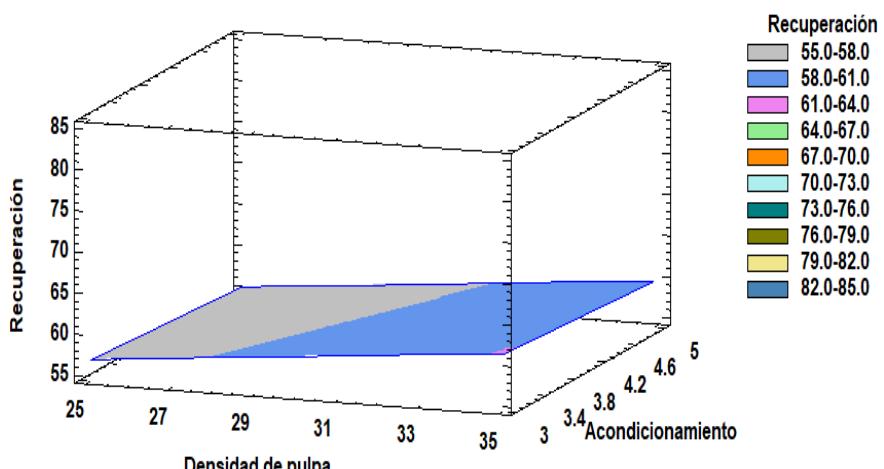
$$\text{Recuperación} = 96.5909 + 0.445455 * \text{Densidad de pulpa} - 0.727273 * \text{Acondicionamiento} - 16.5455 * \text{Z-11} - 3.04545 * \text{MIBC} + 0.0227273 * \text{pH}$$

La constante del modelo matemático es positivo (96.5909), significa que se encuentra en el mínimo, si es así, debe ser maximizado hasta su valor óptimo para obtener mayor recuperación de carbón activado; en el presente caso el factor de mayor significancia en el proceso es el factor densidad de la pulpa, seguido por el factor pH; según tabla 8 y figura 11.

#### **Análisis del gráfico de superficie respuesta.**

La figura 12 simboliza al modelo matemático de primer orden y se observa que la superficie de respuesta es un hiperplano, es decir no tiene términos cuadráticos, es decir no existe curvatura. En consecuencia, el modelo matemático es muy adecuado para continuar el proceso de investigación con modelo matemático de segundo orden. Además esta figura indica claramente que los factores más significativos del proceso para su mayor recuperación del carbón activado son el acondicionamiento y la densidad de la pulpa, entonces la investigación hay continuar con estos factores para mejorar el efecto.

**Figura 10.** Superficie de respuesta estimada



FUENTE: Elaboración propia

#### **4.2.3. Mejoramiento de la recuperación mediante el diseño compuesto central (DCC)**

Después de los resultados y los análisis respectivamente, para mejorar la ley de la sílice, se optó por el diseño compuesto central (DCC), también denominado Diseño Estadístico de Experimentos (DEE), es el diseño más utilizado en la etapa de búsqueda del modelo matemático de segundo orden, debido a su gran flexibilidad, se construye a partir de un diseño factorial fraccionado (Blas Arauco, pág. 105).

Habiendo analizado la tabla 8 y las figuras 11 y 12; en las cuales se observa claramente que los factores más significativos del proceso son la densidad y el pH de la pulpa, estos factores que tienen valores mínimos se formuló el diseño compuesto central con la finalidad de mejorar la recuperación del carbón activado; para lo cual se utilizó los valores optimizados de los factores líneas arriba mencionados. Ver tabla 9.

**Tabla 9. Valores optimizados de los factores**

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Densidad de pulpa	25.0	35.0	34.9921
Acondicionamiento	3.0	5.0	3.0014
Z-11	2.0	3.0	2.00002
MIBC	2.0	3.0	2.0
pH	6.0	8.0	7.99998

FUENTE: Elaboración propia

Como consecuencia de la tabla 9 se obtienen la tabla 10; tomando en cuenta a los factores más significativos del proceso para continuar con la investigación mediante los ensayos experimentales; también para la elección de los niveles se debe tomar en cuenta la tabla 5; fundamentalmente las corridas 3 y 9.

**Tabla 10.** Factores significativos del proceso de recuperación

VARIABLES	NIVEL (-)	NIVEL (+)
Densidad de la pulpa (%)	30	35
pH (unidades)	6	8

FUENTE: Elaboración propia

Usando la tabla 10 se construye el DCC completo con una réplica mediante el programa estadístico anteriormente usado; ver tabla 11.

**Tabla 11.** Diseño Compuesto Central ortogonal

	BLOQUE	Densidad de la Unidad	pH	Recuperación %
1	1	32.5	7.0	
2	1	32.5	5.92191	
3	1	30.0	8.0	
4	1	32.5	7.0	
5	1	35.0	8.0	
6	1	35.0	6.0	
7	1	30.0	6.0	
8	1	29.8048	7.0	
9	1	35.1952	7.0	
10	1	32.5	8.07809	

FUENTE: Elaboración propia

### Ensayos experimentales.

Los ensayos experimentales se realizaron en el orden aleatorio establecido en la tabla 11, siempre acompañando con los valores máximos de los factores considerados constantes ver figura 11 y la tabla 5; siendo el valor del acondicionamiento de 5 minutos; Z-11 2 ,0 gotas (preparado al 10%) y del MIBC 3,0 gotas.

Realizados los análisis químicos se obtiene el siguiente resultado, ver tabla 12; además las evidencias de la demostración experimental ver figuras 6 y

**Tabla 12. Resultados de los ensayos experimentales de maximización**

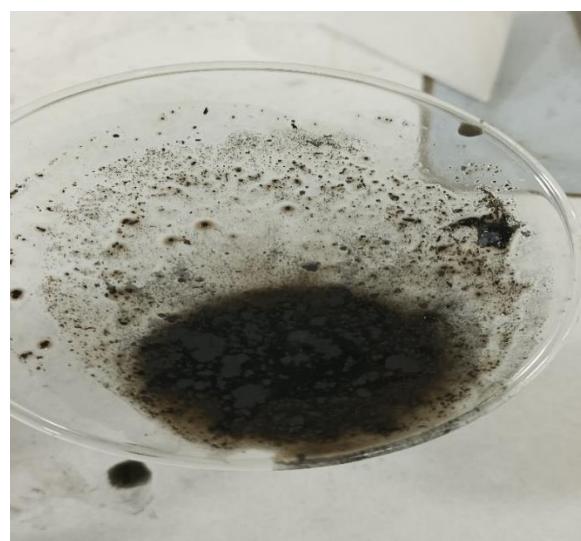
BLOQUE		Densidad de la pulpa	pH	Recuperación
		%	Unidades	%
1	1	32.5	7	90
2	1	32.5	5.92191	75
3	1	30	8	80
4	1	32.5	7	90
5	1	35	8	91
6	1	35	6	77
7	1	30	6	75
8	1	29.8048	7	89
9	1	35.1952	7	90
10	1	32.5	8.07809	82

**Figura 11. Dosificación de reactivos de flotación**



FUENTE: Elaboración propia

**Figura 12. Carbón activado recuperado**



FUENTE: Elaboración propia

#### **4.2.4. Presentación del mejoramiento de la recuperación del carbón activado mediante del DCC.**

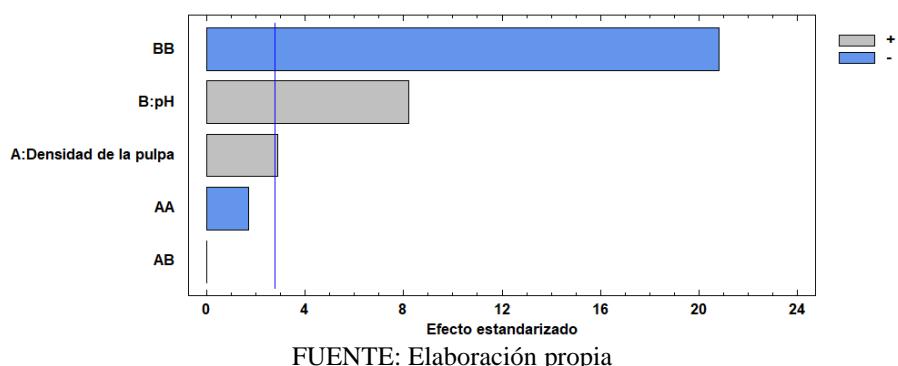
Realizados las corridas experimentales en el laboratorio en el orden indicado en la tabla 12 y cumplidos con los análisis químicos correspondientes, resultó la tabla 12.

Realizado el análisis de la tabla, los mejores resultados se obtienen en las corridas experimentales números 1; 4; 5; 8 y 9, obteniendo el mejor resultado en la corrida 5 con una recuperación del 91% de carbón activado.

#### **Análisis de la figura 13.**

- f. Los factores A y B tienen signos positivos, significan que estos indicadores, están en su nivel mínimo, aún necesita realizar más ensayos experimentales para la máxima recuperación del carbón activado, esta afirmación es confirmada en la tabla 13 y figura 14.
- g. Las cuadraturas AA y BB tienen signos negativos, entonces están en su nivel máximo, en este caso son constantes en la investigación, estas afirmaciones son confirmadas en la tabla 13.
- h. No existe interacciones entre los factores A y B.

**Figura 13. Diagrama de Pareto del mejoramiento de la recuperación de carbón activado**



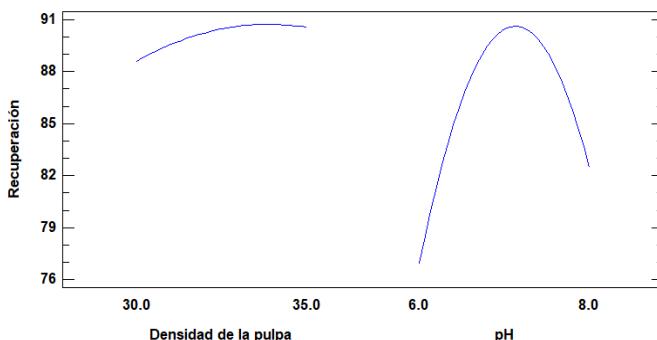
FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 13.** Efectos estimados para recuperación de carbón activado

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	90.4629	+/- 1.48513	
A:Densidad de la pulpa	1.94676	+/- 1.87663	1.0
B:pH	5.54873	+/- 1.87662	1.0
AA	-1.74745	+/- 2.87125	1.0
AB	0.0	+/- 2.35973	1.0
BB	-21.5361	+/- 2.87122	1.0

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 14.** Efectos principales para recuperación



FUENTE: Elaboración propia

#### Análisis de la Tabla 14 (ANOVA)

Analizado ANOVA, tabla 14, solamente tomar en cuenta la última de la tabla, por tener el 5% de margen de error prefijado en el presente trabajo de investigación:

- a. El Valor-P de los factores más significativos del proceso son menores al 5% de margen de error prefijado; por lo tanto, la hipótesis nula es rechazada.
- b. El signo de la cuadratura AA es positivo, significa que se encuentra en su rango mínimo, por lo tanto, debe ser maximizados.
- c. El signo de la cuadratura BB es negativo, indica que está en su valor máximo, entonces dicha cuadratura es constante en el proceso.
- d. El coeficiente de correlación es 99.2252%; significa que el modelo matemático se ajusta al proceso de recuperación del carbón activado; además el cuadrado medio es menor a la unidad (0,722341), razón por la cual

significa que los datos están ubicados dentro de la curva de Gauss, esta afirmación y otras son confirmadas en la figura 15.

**Tabla 14.** Análisis de varianza (ANOVA) de la recuperación

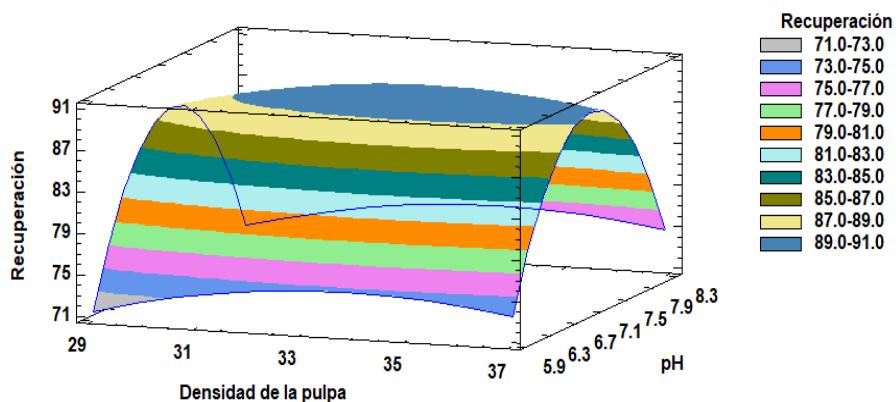
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Densidad de la pulpa	5.99229	1	5.99229	8.30	0.0450
B:pH	48.6808	1	48.6808	67.39	0.0012
AA	2.0625	1	2.0625	2.86	0.1663
AB	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
BB	313.275	1	313.275	433.69	0.0000
Error total	2.88937	4	0.722341		
Total (corr.)	372.9	9			

R-cuadrada = 99.2252 porciento

R-cuadrada (ajustada por gl.) = 98.2566 porciento

FUENTE: Elaboración propia

**Figura 15.** Superficie respuesta estimada



FUENTE: Elaboración propia

### Análisis del modelo matemático de segundo orden de la recuperación del carbón activado.

Realizada la regresión matemática, se llegó obtener la tabla 15 y el modelo matemático correspondiente; como resultado se llegó obtener el coeficiente -616.907; el cual indica que la recuperación del carbón activado está en su máximo. Pero, los signos de los factores son positivos, significa que aún debemos maximizar la recuperación.

Los factores cuadráticos tienen signos negativos y con constantes diferentes, en consecuencia, se establece que la figura de curva ascendente una

ellipse (hiperboloido) o cascara de huevo en el espacio, entonces estaremos ante una posibilidad de una máxima recuperación de carbón activado, ver figura 15.

Para maximizar la recuperación de carbón activado, se observa claramente que los factores densidad de la pulpa y pH de la pulpa, son positivos, en consecuencia, continuar trabajando con estos factores para mejorar la recuperación; ver figuras 13 y 14, además tabla 13.

**Tabla 15. Coeficiente de regresión de la recuperación**

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-616.907
A:Densidad de la pulpa	9.47611
B:pH	153.527
AA	-0.139796
AB	0.0
BB	-10.7681

FUENTE: Elaboración propia

$$\text{Recuperación} = -616.907 + 9.47611 * \text{Densidad de la pulpa} + 153.527 * \text{pH}$$

$$- 0.139796 * \text{Densidad de la pulpa}^2 + 0.0 * \text{Densidad de la pulpa} * \text{pH} - 10.7681 * \text{pH}^2$$

#### 4.3. Prueba de hipótesis

##### 4.3.1. Principios de rechazo estadístico de la hipótesis nula

Según las informaciones de los libros de estadística y los libros de diseños experimentales, los criterios fundamentales para rechazar la hipótesis nula en un proceso de investigación científica (Sáez Castillo, 2012, págs. 153 - 157), son:

- Cuando F calculado es mayor a P calculado, se rechaza a la  $H_0$ ; en caso contrario se acepta a la  $H_0$
- Cuando F calculado es mayor al F tabulado (uso de tabla de F) se rechaza a la  $H_0$ ; en caso contrario se acepta a la  $H_0$
- Si el valor de  $P > \alpha$ ; es aceptada la  $H_0$
- Si el valor de  $P < \alpha$ ; es rechazada la  $H_0$

#### 4.3.2. Rechazo estadístico de la hipótesis nula experimental

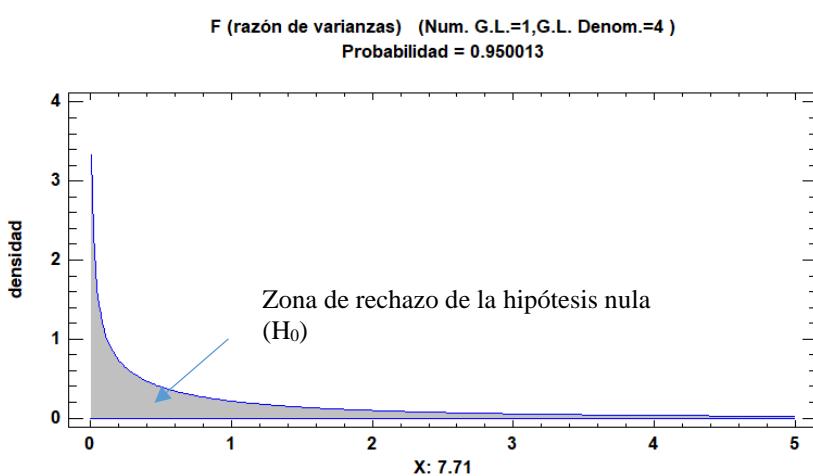
- a. Analizadas los valores de P-Valor calculado son menores a F calculado, en este caso, la hipótesis nula del proceso ( $H_0$ ) es rechazada.

En el presente trabajo de investigación científica se analiza la tabla 14, la cual indica que los factores densidad y pH de la pulpa son los más significativos del proceso de flotación, para la recuperación del carbón activado, presentan valores menores al 5% de nivel de significancia prefijado al inicio del presente trabajo de investigación, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula contundentemente.

- b. Rechazo de la  $H_0$  gráficamente:

Calculado el valor crítico F de Fisher en las tablas correspondientes, se obtiene, 7.71; con este valor se realiza la prueba de hipótesis en forma gráfica:

**Figura 16. Zona de rechazo de la hipótesis nula**



- c. Tomando en cuenta la teoría de la hipótesis de trabajo, ver figura 7.



#### **4.4. Discusión de resultados**

##### **4.4.1. Comparación de los antecedentes con resultados obtenidos**

En el presente trabajo de investigación no existen antecedentes de flotación del carbón activado, por lo tanto, en este caso no se puede realizar la discusión correspondiente, por ser trabajo de investigación original o prototípico.

##### **4.4.2. Contrastación de los factores más significativos del proceso de flotación del carbón activado.**

El método adecuado en el presente trabajo de investigación para la recuperación del carbón activado cargado de oro, es la flotación directa, teniendo como factores más significativos del proceso al pH y la densidad de la pulpa: los valores de 7-8 de pH y 35% de la densidad de la pulpa; llegando obtener una recuperación del 90.5% en promedio, ver tabla 12.

## **CONCLUSIONES**

1. Inicialmente habiendo realizado las corridas experimentales, controlando todos los factores, densidad de pulpa 35% y pH 7 de la pulpa, se llegó obtener 77% de recuperación de carbón activado, según la tabla 7.
2. Cumplido con el desarrollo del trabajo de investigación con una serie de pruebas experimentales en el laboratorio de la empresa mediante el diseño compuesto central (DCC), se obtiene una recuperación máxima de carbón activado controlando y manipulando en forma adecuada a los principales factores más significativos del proceso de flotación; pH, 8 y densidad de la pulpa 35%, obteniendo un promedio de recuperación del 91% de carbón activado, manteniendo a los demás factores constantes, ver tabla 12.

## **RECOMENDACIONES**

1. Continuar con el trabajo de investigación, para mejorar la recuperación del carbón activado cargado de oro, mediante el diseño de compuesto central y valores optimizados del proceso, estos valores son calculados por el programa estadístico.
2. Realizar las investigaciones en pH ácido, si es así, continuar el proceso mediante el método de flotación inversa.
3. Evaluar constantemente los reactivos flotación para obtener mejores resultados y mitigar el medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alva Santos, A. (06 de Septiembre de 2021). *Análisis de los datos e interpretación de los resultados.* Obtenido de Análisis de los datos e interpretación de los resultados:

[https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1177276899217\\_1477413697\\_5143/analisisdatosinterpretac-1.pdf](https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1177276899217_1477413697_5143/analisisdatosinterpretac-1.pdf)

Alvarez Viera, P. (2018). *Ética e investigación.* Colombia: Universidad de Santiago de Cali.

Arias Gonzales, J. L. (2020). *Métodos de investigación online.* Arequipa - Perú: Autor-Editor.

Baena Paz, G. (2017). *Metodología d ela investigación.* México: Grupo Editorial Patria.

Blas Arauco, A. F. (s.f.). Flotación de la Sílice Dentro del LMP de pH a Nivel Laboratorio para Prevenir el Impacto Ambiental en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa – Pasco – 2015. *[Tesis Doctoral].* Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco - Perú.

Brown, B., & Sugarman, J. (2020). *Orientación ética para la investigación.* California: HPTN.

Cabezas Mejía, E. D., Andrade Naranjo, D., & Torres Santa María, J. (2018). *Introducción a la Metología de la Investigación Científica.* Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.

Campos Ocampo, M. (2017). *Métodos de investigación académica.* Universidad de Costa Rica. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.kerwa.ucr.ac.cr%2Fbitstream%2Fhandle%2F10669%2F767

83%2FCampos%2520Ocampo%2C%2520Melvin.%25202017.%2520M%25C3%25A9todos%2520de%2520Investigaci%25C3%25B3n%2520acad%25C3%25A9

3

Carhuachín Rojas, K. O. (s.f.). Formulación de un proceso de flotación de minerales Mina Servilleta-Las Lomas Piura en el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Piura. [*Título Profesional de Ingeniero Químico*]. Universidad Nacional de Piura, Piura-Perú.

Carrero, E. (26 de OCTUBRE de 2021). *TODOSOBRETESIS*. Obtenido de Delimitación del tema de tesis: <https://todosobretesis.com/delimitacion-del-tema-de-tesis-te-explicamos-como-hacerla/>

Chaverri Chavez, D. (2017). Delimitación y justificación de problemas de investigación en ciencia sociales. *Revista de Ciencias Sociales*, 3(157), 185-193. <https://doi.org/10.15517/rcs.v0i157.32189>

Corral, Y. (2009). Validéz y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. *Ensayo*, 19(33), 229-247.

Dirección General de Servicio Civil. (2018). *Guía Metodológica para el diseño y desarrollo de investigaciones*. Costa Rica: DGSC.

Gasca Torres, J. A. (2016). Carbón activado de carácter básico para recuperar oro de lixiviados cianurados. [*Grado de Maestro en Ciencias Aplicadas*]. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C., San Luís de Potosí-México.

Guarin S., N. (s/f). *Estadística Aplicada*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Guarín S., N. (s/f). *Estadística Aplicada*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Hurtado de Barrera, J. (2005). *Cómo formular objetivos de investigación*. Ediciones

Quirón S.A. Obtenido de chrome-  
extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3  
A%2F%2Fabacoenred.com%2Fwp-  
content%2Fuploads%2F2015%2F10%2FComo-Formular-Objetivos-de-  
Investigacion-Hurtado-2005-1.pdf&clen=988227&chunk=true

Navarro Asencio, E., & et.al. (2017). *Fundamentos de la investigación y la innovación  
educativa*. Ecuador: UNIR.

Ruiz Valles, L., & Orbegoso Alvarez, K. Y. (2019). Eficiencia del carbón activado  
obtenido a partir del endocarpo de “coco” (*Cocos nucifera*) y semilla de  
“aguaje” (*Mauritia flexuosa*), en la remoción de la DBO5 de las aguas  
residuales domésticas en el Distrito de Habana-Moyobamba-2018. [*Tesis para  
optar el título profesional de Ingeniero Sanitario*]. UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO, Moyobamba - Perú.

Sáez Castillo, A. (2012). *Apuntes de Estadística para Ingenieros*. España: Universidad  
de Jaén.

Supo, J. (2013). *Como validar un instrumento*. Lima-Perú: ISBN: 1492278904.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (2020). *Guía para el procedimiento de  
la elaboración de la tesis para la obtención del grado de magister o doctor*.  
Lima-Perú: DIRECCIÓN UPG-FE.

## **ANEXOS**

## Instrumentos de recolección de datos

*Análisis de malla del carbón activado con contenido de oro*

malla	micrones	Peso gr.	% en Peso	% Retenido	% Acumulado pasante
45	355	0.15	0.01	0.01	99.99
60	250	0.90	0.04	0.05	99.95
100	150	15.67	0.71	0.75	99.25
140	106	90.67	4.09	4.84	95.16
200	75	143.42	6.46	11.30	88.70
270	53	245.21	11.05	22.35	77.65
325	45	24.70	1.11	23.46	76.54
400	38	16.82	0.76	24.22	75.78
-400		1681.88	75.78	100.00	0.00
		2219.42	100.00		

*Análisis valorado del contenido de oro en el carbón activado*

ANÁLISIS VALORADA RELAVE FRESCO CON CARBON Au					
Malla	Peso Retenido (gr.)	% Peso	Ley Lab Au g/t	Contenido metálico Au gr por malla	Contenido Au %
#60	1.05	0.05	27.451	0.000029	0.54
#100	15.67	0.71	1.534	0.000024	0.45
#140	90.67	4.09	1.1	0.000100	1.87
#200	143.42	6.46	2.65	0.000380	7.12
#270	245.21	11.05	2.75	0.000674	12.63
#325	24.7	1.11	2.25	0.000056	1.04
#400	16.82	0.76	2.327	0.000039	0.73
#-400	1681.88	75.78	2.4	0.004037	75.62
TOTAL	2219.42	100.00	2.405	0.005338	100.00

*Factores más significativos del proceso*

FACTORES	NIVEL (-)	NIVEL (+)
A= Densidad pulpa (%)	25	35
B= Z-11 (gotas)	2	3
C= MIBC (gotas)	2	3
D= Acondicionamiento (min)	2	5
E= pH (unidad)	6	8