

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESORCIÓN EN LA
EXTRACCIÓN DE ORO A PARTIR DEL CARBÓN ACTIVADO
CARGADO EN LA MINERA FIDAMI S.A.
SANCOS-AYACUCHO**

PRESENTADO POR:

Br. YAXS WILDER QUISPE MENDOZA

Br. ROLY CCAHUANA CCAHUAYA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO METALURGICO**

ASESOR:

Ing. PORFIRIO CARRASCO TAPIA

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor PORFIRIO CARRASCO TAPIA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESORCIÓN
EN LA EXTRACCIÓN DE ORO A PARTIR DEL CARBÓN ACTIVADO
CARGADO EN LA MINERA FIDAMI S.A. SANCOS - AYACUCHO

Presentado por: YAXS WILDER QUISPE MENDOZA DNI N° 70794801;
presentado por: ROLY CCAHUANA CCAHUAYA DNI N°: 45986275
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO METALÚRGICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 08 de SEPTIEMBRE de 2026

Firma

Post firma PORFIRIO CARRASCO TAPIA

Nro. de DNI 24002881

ORCID del Asesor 0000-0002-4360-9866

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:621544784

Roly Ccahuana Ccahuaya Yaxs Wilder Quispe Mend...

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE DESORCION EN LA EXTRACCION DE ORO A PARTIR DEL CARBON ACTIVADO CA...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:621544784

Fecha de entrega

7 sep 2026, 9:08 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

7 sep 2026, 9:12 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE DESORCION EN LA EXTRACCION DE ORO A PARTIR DEL CARBON.....pdf

Tamaño del archivo

3.1 MB

130 páginas

25.774 palabras

151.791 caracteres

4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas e Ingeniería Metalúrgica.

Señores Docentes Miembros del Jurado:

A fin de cumplir con las regulaciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, ofrecemos a usted la tesis titulada:

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESORCIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ORO A PARTIR DEL CARBÓN ACTIVADO CARGADO EN LA MINERA FIDAMI S.A. SANCOS-AYACUCHO”.

El presente trabajo se realizó con el propósito de optimizar el porcentaje de extracción del oro en el proceso de desorción de carbón activado cargado en la minera FIDAMI S.A. Es necesario la determinación de los parámetros operativos óptimos ya que los costos en la minería poseen un rol preponderante.

Br. Ccahuana Ccahuaya Roly

Br. Quispe Mendoza Yaxs Wilder

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por mostrarme el camino que me llevó al final de mi carrera académica. Superé desafíos y logré este importante logro gracias a su poder y guía.

También quiero manifestar mi abierto agradecimiento a Julián e Hilaria, mis padres, cuyas enseñanzas de tenacidad y fortaleza me llevaron a afrontar cada obstáculo con calma y determinación, este logro es prueba de su constante aliento, apoyo y fe a lo largo de mi camino.

A Carmen, mi compañera de vida. Tú, eres mi mayor motivación y la razón por la que logre este sueño, el sueño de haber logrado culminar mi ansiada tesis, sé que este reconocimiento no hace justicia a todo lo que has hecho; Tu apoyo, tu paciencia y tu amor incondicional no tiene nombre.

A mi hija Alejandra por constituir el motor de mi superación y de mi lucha constante, por ser mejor cada día.

Daniel, eres como mi hermano, no solo un amigo. Te agradezco que me hayas apoyado durante este viaje y que te hayas mantenido firme en todo momento. Tu confianza nunca flaqueó cuando la mía lo hizo. No hay palabras para expresar lo mucho que tu apoyo incondicional y desinteresado ha significado para mí, pero espero que este mensaje, al menos en parte, transmita mi cariño y agradecimiento.

A Dios por darme esta maravillosa oportunidad de vivir con salud, experimentando errores y logros durante este camino de sendas, nada difícil pero no imposible, por la bendición de despertar a un nuevo día lleno de oportunidades y esperanza.

Dedico con mucho cariño y amor a mis padres Jose Quispe Astocahuana y Nery Mendoza Nina, que con su apoyo incondicional lograron uno de mis objetivos soñados, este título es tan mío como la de ustedes, así como también a mis hermanos, Vanessa Quispe Mendoza, Edison Quispe Mendoza, Elizabeth Quispe Mendoza, Angel Quispe Mendoza, familiares y amistades por brindarme su respaldo moral que fue de mucha importancia para mí.

YAXS WILDER QUISPE MENDOZA

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por direccionarnos por el camino correcto de la vida y por permitirnos a seguir logrando objetivos día tras día.

Damos a todas las gracias a nuestros profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica por su ardua dedicación y compromiso que tienen con sus estudiantes.

A la Minera Fidami S.A. por facilitarnos sus áreas y concedernos las licencias para realizar las pruebas experimentales necesarias para esta investigación.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco en especial a nuestra escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica, por la oportunidad de la enseñanza, crecimiento profesional, competitividad y aporte a la sociedad.

A nuestro asesor de tesis Ing. Porfirio Carrasco Tapia por el esfuerzo y paciencia de contribuir con sus conocimientos y orientación para concluir esta investigación.

Los tesistas

INTRODUCCIÓN

La recuperación de oro mediante procesos hidrometalúrgicos constituye una actividad de importancia para la industria minera, debido a la necesidad de aprovechar eficientemente el metal contenido en los minerales auríferos. Entre las tecnologías empleadas se encuentran los procesos de carbón en columna, carbón en pulpa y carbón en lixiviación, mediante los cuales el oro disuelto es adsorbido en el material absorbente de carbón. Posteriormente, el carbón cargado es sometido a la fase de desadsorción o elución, en la que el oro es transferido hacia una solución concentrada para continuar con la electrodeposición y la fundición. La efectividad del procedimiento de desorción depende de la supervisión de diferentes condiciones activas, como la temperatura, el tiempo, la composición de la solución eluyente, la dosificación de reactivos y la velocidad de circulación de la solución. La adecuada regulación de estos parámetros permite disminuir la cuantía de oro excedente en el carbón activado y mejorar su transferencia hacia la fase líquida. En consecuencia, la optimización de esta etapa representa una alternativa para incrementar la eficiencia metalúrgica y establecer condiciones operativas técnicamente sustentadas.

En la planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A., localizada en Sancos, Ayacucho, el proceso convencional de desorción alcanzaba aproximadamente una eficiencia de extracción de oro del 85 % durante un periodo de operación de 24 horas. Esta situación evidenciaba que una proporción del oro permanecía adsorbida en el carbón al finalizar el proceso. Asimismo, no se había establecido experimentalmente la combinación óptima entre la rapidez de flujo de la combinación eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, factores que influyen en el contacto entre la solución y el carbón y, por tanto, en la eficiencia de la desorción.

Frente a esta situación, el estudio tuvo como objetivo optimizar el procedimiento de desadsorción de oro del carbón activado cargado mediante la determinación de la combinación óptima de la rapidez de crecimiento de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico

industrial, con el propósito de incrementar la eficiencia de obtención de oro en la Minera FIDAMI S.A. Para ello, se desarrolló una investigación de ruta cuantitativa, tipo aplicada, nivel explicativo y diseño experimental. Se empleó un Diseño Central Compuesto integrado por trece corridas experimentales, cuyos resultados fueron procesados mediante regresión de superficie de respuesta, análisis de varianza y optimización en el software Minitab 21. La temperatura, el tiempo de operación, la cantidad de carbón y las concentraciones de los demás reactivos se mantuvieron como condiciones controladas.

La tesis se encuentra organizada en seis capítulos. El Capítulo I, Contexto del problema, presenta la situación problemática, determinación de los problemas, los objetivos, la justificación, la importancia y las delimitaciones del trabajo. El Capítulo II, Marco teórico, desarrolla los antecedentes, los enfoques teóricos relacionadas con la extracción de oro, la adsorción, la desorción, los componentes que impactan en el procedimiento, los reactivos y el diseño experimental. El Capítulo III, Hipótesis y variables, contiene las hipótesis, la detección de las variables y su operacionalización. El Capítulo IV, Metodología, detalla el ámbito de estudio, el tipo y diseño de trabajo, el procedimiento metodológico, la población, la muestra, las tácticas de compilación y sistematización de datos, así como los equipos, materiales y reactivos empleados. El Capítulo V, Desarrollo y resultados experimentales, expone la ejecución de las corridas, la preparación de la solución eluyente, el acondicionamiento del carbón, los balances metalúrgicos y los hallazgos establecidos. Finalmente, el Capítulo VI, Análisis y discusión de hallazgos, presenta la aplicación del Diseño Central Compuesto, el análisis estadístico, las ecuaciones de regresión, la optimización del proceso y la discusión de los hallazgos; posteriormente, se manifiestan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	i
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
INTRODUCCIÓN	vi
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática.....	1
1.2. Formulación de Problema	4
1.2.1. <i>Problema General</i>	4
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i>	4
1.3. Objetivos de la investigación	4
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4. Justificación de la investigación.....	5
1.4.1. <i>Conveniencia económica</i>	5
1.4.2. <i>Relevancia tecnológica</i>	6
1.4.3. <i>Relevancia Ambiental</i>	6
1.4.4. <i>Relevancia Social</i>	7
1.4.5. <i>Valor Teórico</i>	7
1.4.6. <i>Utilidad Metodológica</i>	7
1.5. Importancia de la Investigación	8
1.6. Delimitaciones de la investigación.....	9

1.6.1.	<i>Delimitación Espacial</i>	9
1.6.2.	<i>Delimitación Temporal</i>	10
1.6.3.	<i>Viabilidad del Estudio</i>	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la Investigación	11
2.1.1.	<i>Antecedentes Internacionales</i>	11
2.1.2.	<i>Antecedentes Nacionales</i>	12
2.2.	Bases teóricas	14
2.2.1.	<i>Oro</i>	14
2.2.1.1.	Generalidades.....	14
2.2.1.2.	Aplicaciones.....	15
2.2.2.	<i>Extracción de oro</i>	16
2.2.2.1.	Definición.	16
2.2.2.2	Etapas del proceso.....	17
2.2.3.	<i>Proceso de desorción</i>	18
2.2.3.1.	Objetivos.	18
2.2.3.2.	Elución o desorción.....	18
2.2.3.3.	Química de la desorción de oro.	19
2.2.3.4.	Mecanismo químico de desorción.	20
2.2.3.5.	Termodinámica de la elución del oro.....	23
2.2.3.6.	Cinética de la elución del oro.....	24
2.2.3.7.	Isotermas de desorción de oro en carbón activado.	24
2.2.4.	<i>Factores físicos y químicos que afectan a la eficiencia de la desorción</i>	28
2.2.4.1.	Técnicas disponibles	34
2.2.5.	<i>Reactivos</i>	36
2.2.6.	<i>Diseño experimental</i>	41
2.2.6.1.	Diseño experimental en la investigación metalúrgica	42
2.2.6.2.	Etapas en el diseño de experimentos	42
2.2.6.3.	Variables en un proceso y su clasificación	43
2.2.6.4.	Principios básicos en la experimentación	44
2.2.6.5.	Diseños experimentales de segundo orden	45

2.2.6.6. Diseño Central Compuesto (CCD / DCC)	46
2.2.6.7. Componentes del Diseño Central Compuesto	46
2.2.6.8. Propiedades del Diseño Central Compuesto (CCD)	47
2.2.7. <i>Definición de términos básicos</i>	47

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general	49
3.2. Hipótesis específica.....	49
3.3. Variables e Indicadores	49
3.3.1. <i>Variable dependiente</i>	49
3.3.2. <i>Variables independientes</i>	49
3.4. Operacionalización de Variables.....	50

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Ámbito de estudio: Localización Política y Geográfica.....	52
4.2. Rutas de Acceso vía terrestre	53
4.3. Hidrología.....	54
4.4. Clima y Vegetación	54
4.5. Caracterización geológica y mineralógica del yacimiento.....	54
4.6. Tipo de Investigación	55
4.6.1. <i>Investigación aplicada</i>	55
4.7. Diseño de la Investigación	56
4.7.1. <i>Experimental</i>	56
4.8. Metodología aplicada en la investigación	56
4.9. Población y Muestra.....	58
4.9.1. <i>Población</i>	58
4.9.2. <i>Muestra</i>	58
4.9.3. <i>Selección de muestra</i>	58
4.10. Técnica de Recolección de Datos.....	59
4.11. Equipos, materiales, instrumentos de medición y reactivos requeridos.....	60
4.11.1. <i>Equipos requeridos (circuito de desorción)</i>	60

4.11.2. <i>Materiales</i>	62
4.11.3. <i>Instrumentos de medición y control</i>	63
4.11.4. <i>Instrumentos de análisis químico</i>	63
4.11.5. <i>Reactivos</i>	63
4.12. <i>Técnicas de procesamiento de datos</i>	63
4.13. <i>Validez y confiabilidad de instrumentos</i>	64
4.14. <i>Plan de análisis de datos</i>	64

CAPÍTULO V

DESARROLLO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1. <i>Desarrollo del trabajo de investigación</i>	66
5.1.1. <i>Muestreo representativo</i>	66
5.1.2. <i>Preparación de la solución eluyente</i>	66
5.1.3. <i>Acondicionamiento del carbón activado cargado</i>	66
5.1.4. <i>Inicio del proceso de desorción</i>	66
5.1.5. <i>Proceso de desorción</i>	66
5.1.6. <i>Fin del proceso</i>	67
5.2. <i>Pruebas experimentales de desorción:</i>	67
5.3. <i>Utilidad en la investigación</i>	73

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. <i>Aplicación del diseño central compuesto (DCC)</i>	75
6.2. <i>Matriz de diseño central compuesto (DCC) para el análisis y discusión de resultados por medio de Minitab 21</i>	75
6.3. <i>Ecuación de regresión en unidades codificadas</i>	76
6.4. <i>Ecuación de regresión en unidades decodificadas</i>	77
6.5. <i>Discusión de resultados</i>	89
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Ubicación geográfica de la planta de beneficio DATTELI 6.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 2 Técnicas de los Procesos de Desorción</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3 Variables independientes y sus niveles.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 4 Operacionalización de Variables</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 5 Vías de acceso terrestre y distancias.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 6 Ubicación de la cuenca hidrográfica del proyecto</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 7 Características del carbón activado cargado por lote.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 8 Cantidad de alcohol agregado por cada corrida experimental</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 9 Balance metalúrgico general del proceso de desorción de oro mediante reextracción con alcohol.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 10 Resumen del diseño central compuesto empleado para la optimización del proceso de desorción.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 11 Matriz experimental codificada y decodificada del diseño central compuesto (DCC). 76</i>	
<i>Tabla 12 Eficiencia de la extracción de oro</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 13 Regresión de superficie de respuesta</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 14 Análisis de la varianza</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 15 Optimización de la eficiencia de la extracción de oro</i>	<i>89</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Ubicación de la planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A.</i>	10
<i>Figura 2 Isotermas de desorción de oro en carbón activado</i>	28
<i>Figura 3 El impacto de la temperatura en la desorción de oro empleando la solución de proceso Zadra</i>	30
<i>Figura 4 Variación de la Tasa De Elución vs la Concentración de Eluyente</i>	31
<i>Figura 5 Efecto de la adición de etanol a la solución de Zadra en la desorción de oro</i>	32
<i>Figura 6 Efecto del Índice de Flujo de la Carga Promedio de Oro Residual</i>	34
<i>Figura 7 Formación de microporos del carbón activado</i>	40
<i>Figura 8 Diagrama completado con perturbaciones y control</i>	43
<i>Figura 9 Planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A.</i>	52
<i>Figura 10 Modelado y optimización del proceso mediante Diseño Central Compuesto (DCC)</i> .	57
<i>Figura 11 Esquema de variables y etapas del proceso de desorción de oro (reextracción con alcohol) aplicada en la presente investigación</i>	57
<i>Figura 12 Diagrama de flujo</i>	62
<i>Figura 13 Esquema secuencial del proceso de desorción de oro (reextracción con alcohol), aplicada en la Minera Fidami S.A.</i>	67
<i>Figura 14 Eficiencia de la extracción de oro</i>	79
<i>Figura 15 Eficiencia de extracción de oro y dosificación de alcohol etílico industrial</i>	79
<i>Figura 16 Eficiencia de extracción de oro y velocidad de flujo eluyente</i>	80
<i>Figura 17 Gráfico de Pareto de efectos estandarizados</i>	83
<i>Figura 18 Graficas de residuos para Extracción (grafica de probabilidad normal)</i>	83
<i>Figura 19 Graficas de residuos para Extracción (grafica de residuos vs ajuste (Varianza))</i>	84
<i>Figura 20 Graficas de residuos para Extracción (Histograma de Residuos)</i>	85
<i>Figura 21 Graficas de residuos para Extracción (Residuos vs. Orden de Observación (Independencia))</i>	85
<i>Figura 22 Gráfica de contorno de la superficie de respuesta estimada</i>	86
<i>Figura 23 Superficie de respuesta estimada</i>	87
<i>Figura 24 Optimización de la eficiencia de extracción de oro</i>	88

GLOSARIO DE ABREVIATURA

AARL	:	Proceso Anglo Americano
Au	:	Oro
Amp	:	Amperios
Bv/h	:	Numero de vueltas por hora
CIC	:	Carbón en Columna
CIP	:	Carbón en Pulpa
c/u	:	Cada uno
°C	:	Grados Celsius
g.l	:	Grado de libertad
Gr.Esp.	:	Gravedad especifica
g/Kg	:	Gramos por kilogramos
g/Lt	:	Gramos por litro
g/TMS	:	Gramos por tonelada métricas secas
g/Kg*C	:	Gramos por kilogramo de carbón
%H	:	Porcentaje de humedad.
Kg/TM	:	Kilogramo por tonelada métrica
L/S	:	Líquido/sólido
Lb/Ton	:	Libras por tonelada corta
Lb/TC	:	Libras por tonelada corta secas
LIC	:	Límite inferior de control.
LSC	:	Límite superior de control
Max	:	Máximo
m.s.n.m.	:	Metros sobre el nivel del mar
Min	:	Mínimo
Oz/t	:	onzas por tonelada
TM	:	Tonelada métrica
TC	:	Tonelada corta
% Rec. Au	:	Porcentaje de recuperación de oro
%S	:	Porcentaje de sólido.
µm	:	Micras

RESUMEN

En la planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho, el proceso convencional de desorción del oro adsorbido en carbón activado alcanzaba aproximadamente 85 % de extracción en 24 horas, evidenciándose la necesidad de mejorar su eficiencia metalúrgica. Cuyo objetivo fue optimar el proceso de desorción mediante la identificación de la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial que permitieran incrementar la extracción de oro del carbón activado cargado. Metodología ruta cuantitativo, tipo aplicada, alcance explicativo y diseño experimental. Se desarrollaron 13 corridas mediante un Diseño Central Compuesto, dentro de la metodología de zona de respuesta, integrando como variables independientes la velocidad de flujo y la dosificación de alcohol, y como variable dependiente el porcentaje de extracción de oro; el tiempo de operación se mantuvo constante en 24 horas. Los datos se procesaron en Minitab 21 mediante regresión cuadrática, análisis de varianza y optimización de respuesta. Los resultados experimentales mostraron eficiencias entre 63.65 % y 94.11 %, mientras que el modelo estimó una eficiencia máxima de 94.66 % con 20.55 % de alcohol etílico industrial y 4.035 m³/h de velocidad de flujo. Se concluyó que ambos factores influyeron significativamente en la eficiencia de extracción y mejoraron el proceso respecto a la condición convencional; sin embargo, el punto óptimo estimado requiere validación experimental adicional.

Palabras clave: Velocidad de flujo, Dosificación de alcohol etílico industrial, Extracción de oro, Desorción.

ABSTRACT

At the DATTELI 6 processing plant of Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho, the conventional process of desorption of gold adsorbed onto activated carbon achieved approximately 85% extraction in 24 hours, highlighting the need to improve its metallurgical efficiency. The objective was to optimize the desorption process by identifying the flow rate of the eluent solution and the dosage of industrial ethyl alcohol that would increase gold extraction from the loaded activated carbon. The methodology employed was quantitative, applied, explanatory, and experimental. Thirteen runs were conducted using a Central Composite Design within the response zone methodology, integrating flow rate and alcohol dosage as independent variables, and the percentage of gold extraction as the dependent variable. The operating time was kept constant at 24 hours. Data were processed in Minitab 21 using quadratic regression, analysis of variance, and response optimization. Experimental results showed efficiencies between 63.65% and 94.11%, while the model estimated a maximum efficiency of 94.66% with 20.55% industrial ethyl alcohol and a flow rate of 4.035 m³/h. It was concluded that both factors significantly influenced extraction efficiency and improved the process compared to conventional conditions; however, the estimated optimum point requires further experimental validation.

Keywords: Flow rate, Industrial ethyl alcohol dosage, Gold extraction, Desorption.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

A nivel mundial, el oro constituye uno de los principales productos de la actividad minera debido a su importancia económica, industrial y tecnológica. La producción minera mundial de oro fue estimada en 3 300 toneladas métricas durante 2024, cifra superior a las 3 250 toneladas registradas en 2023. Asimismo, China, Rusia, Australia, Canadá y Estados Unidos concentraron conjuntamente alrededor del 41 % de la producción mundial, lo que evidencia la magnitud de la industria aurífera y la necesidad de aplicar procesos metalúrgicos cada vez más eficientes para aprovechar el metal contenido en los minerales procesados (U.S. Geological Survey [USGS], 2025).

En las plantas de procesamiento aurífero, la recuperación del oro comprende diversas etapas, como la lixiviación, adsorción en carbón activado, desorción, electrodeposición y fundición. Dentro de este circuito, la desorción cumple una función fundamental, porque permite transferir el oro previamente adsorbido en el carbón activado hacia una solución concentrada para continuar con las etapas posteriores de recuperación. La eficiencia de esta operación depende del control de factores como la temperatura, la composición de la solución eluyente, la dosificación de reactivos, la velocidad de flujo y el tiempo de operación. Cuando estos parámetros no se encuentran adecuadamente establecidos, una parte del oro puede permanecer en el carbón después de concluir la desorción.

En el contexto nacional, la minería integra una de las prácticas financieras más fundamentales del Perú. Durante 2024, el subsector minero señaló aproximadamente el 9,0 % del PBI nacional y generó el 64,2 % del valor total de las exportaciones de la nación. Asimismo, el

Perú se ubicó como el segundo productor de oro de Sudamérica, confirmando la importancia económica y estratégica de la actividad aurífera dentro del sector minero nacional (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2025).

De acuerdo con el Boletín Estadístico Minero, la producción nacional de oro alcanzó 107 969 788 gramos finos durante 2024, lo que representó un incremento del 6,9 % respecto de los 100 985 631 gramos finos registrados en 2023. Este crecimiento demuestra que la producción aurífera mantiene una participación significativa en la minería peruana y que resulta necesario mejorar la eficiencia de las operaciones de beneficio y recuperación del oro desarrolladas en las distintas plantas del país (MINEM, 2025).

En el ámbito regional, Ayacucho registró una producción acumulada de 8 538 643 gramos finos de oro durante 2024, equivalente al 7,9 % de la producción aurífera nacional. Esta producción representó un incremento del 6,6 % respecto de los 8 007 880 gramos finos obtenidos durante 2023, ubicando a Ayacucho entre los departamentos con una participación relevante en la producción de oro del país. Estas cifras muestran la importancia de mejorar los procesos metalúrgicos implementados en las plantas de beneficio que operan dentro del departamento (MINEM, 2025).

En este contexto se encuentra la planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A., localizada en la localidad de Sancos, provincia de Lucanas, región de Ayacucho. La planta opera desde 2008, posee una cabida aproximada de procesamiento de 50 toneladas métricas secas por día y desarrolla operaciones de cianuración, adhesión en carbón activado, desadsorción, deposición electrolítica y fusión metalúrgica. Dentro de este circuito, el carbón activado cargado es trasladado a la planta de desadsorción para transferir el oro hacia la solución eluyente y continuar posteriormente con su recuperación.

Según los registros operativos proporcionados por la empresa, el proceso convencional de desorción alcanzaba aproximadamente una eficiencia de extracción de oro del 85 % durante un periodo de operación de 24 horas. Esta situación evidenciaba que, al finalizar el proceso, una proporción del oro permanecía adsorbida en el carbón activado, limitando su transferencia hacia la solución eluyente. El problema no estuvo relacionado directamente con la duración del proceso, puesto que las pruebas conservaron las 24 horas de operación, sino con la necesidad de incrementar la eficiencia de extracción dentro de ese mismo periodo.

Entre los factores susceptibles de optimización se identificaron la rapidez de flujo de la fusión eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial. Una velocidad de flujo inadecuada puede limitar el contacto y la transferencia del oro entre el carbón activo y la solución, mientras que una dosificación no optimizada de alcohol puede reducir la capacidad del eluyente para favorecer la desorción. La temperatura, el tiempo, las concentraciones de los demás reactivos y la cantidad de carbón fueron mantenidos como condiciones controladas, con el propósito de analizar específicamente el impacto de los dos factores seleccionados.

Como consecuencia, la ausencia de condiciones operativas optimizadas podía generar una mayor permanencia de oro residual en el carbón activo, variabilidad en la efectividad de las corridas y un menor aprovechamiento metalúrgico del material procesado. Frente a esta situación, resultó necesario evaluar experimentalmente la rapidez de flujo de la fusión eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial mediante un Diseño Central Compuesto, con la finalidad de determinar la combinación de operación que permitiera maximizar la eficiencia de obtención de oro en el procedimiento de desorción desarrollado por la Minera FIDAMI S.A.

Frente a esta problemática, resultó necesario aplicar un diseño experimental que permitiera evaluar simultáneamente la rapidez de fusión de la solución eluyente y la dosificación de alcohol

etílico industrial, determinar sus efectos sobre la eficiencia de extracción y establecer una combinación óptima de operación. Por ello, se ejecutó un Diseño Centrado Integrado dentro del método de superficie de respuesta, orientado a mejorar el procedimiento de elución de oro desde carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho.

1.2. Formulación de Problema

1.2.1. Problema General

¿En qué medida la optimización del proceso de desorción, mediante la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, incrementa la eficiencia de extracción de oro del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la velocidad de flujo óptima de la solución eluyente que permite incrementar la eficiencia de extracción de oro a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho?
- ¿Cuál es la dosificación óptima de alcohol etílico industrial, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, que permite incrementar la eficiencia de extracción de oro a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Optimizar el proceso de desorción de oro del carbón activado cargado, mediante la determinación de la combinación óptima de la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, para incrementar la eficiencia de extracción de oro en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la velocidad de flujo óptima de la solución eluyente que permita incrementar la eficiencia de extracción de oro a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho.
- Determinar la dosificación óptima de alcohol etílico industrial, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, que permita incrementar la eficiencia de extracción de oro a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho.

1.4. Justificación de la investigación

Este trabajo resulto esencial porque permitirá analizar y optimizar parámetros operativos del procedimiento de desorción de oro a partir de carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho. Su importancia radica en que el proceso convencional alcanzaba aproximadamente 85 % de extracción en un tiempo operativo de 24 horas, lo cual evidenció la necesidad de mejorar la eficiencia metalúrgica mediante el control de variables operativas específicas. En ese sentido, la investigación se orienta a determinar la combinación óptima de la rapidez de flujo de la fusión eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, con el propósito de incrementar la fracción de extracción de oro. Cabe precisar que el estudio no tuvo como variable respuesta la reducción del tiempo de desorción, sino la mejora de la eficiencia de extracción dentro de un tiempo operativo constante de 24 horas. Por ello, el aporte principal de la investigación se concentra en la optimización metalúrgica del proceso.

1.4.1. Conveniencia económica

Durante el proceso de desorción para la extracción de Au se emplean reactivos como cianuro de sodio, soda cáustica, alcohol etílico industrial y carbón activado, por lo que el control adecuado de las condiciones operativas resulta importante para mejorar el aprovechamiento del metal aurífero. En este contexto, la optimización de la rapidez de flujo del procedimiento eluyente

y de la dosificación de alcohol etílico industrial permitirá incrementar el porcentaje de extracción de oro respecto al proceso inicial.

Desde una perspectiva económica, una mayor eficiencia de extracción puede contribuir a un mejor aprovechamiento del oro contenido en el carbón activado cargado y, por tanto, generar condiciones favorables para el desempeño operativo de la Minera FIDAMI S.A. No obstante, el presente estudio no desarrolla un análisis económico de costos, por lo que su aporte se centra principalmente en la optimización de la efectividad metalúrgica del procedimiento de desorción.

1.4.2. Relevancia tecnológica

La investigación posee relevancia tecnológica porque incorpora herramientas de optimización estadística, como el “Diseño Central Compuesto (DCC), análisis de varianza (ANOVA) y la metodología de superficie de respuesta (RSM)”, aplicadas directamente a un proceso industrial de desorción de oro. Estas herramientas permitieron evaluar el efecto de la rapidez de flujo de la fusión eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial sobre la fracción de obtención de oro.

Asimismo, el uso de estas técnicas permitió reemplazar criterios meramente empíricos por un análisis experimental y estadístico, facilitando la identificación de condiciones operativas óptimas para mejorar el control del proceso metalúrgico en la Minera FIDAMI S.A.

1.4.3. Relevancia Ambiental

La importancia ambiental del trabajo se relaciona con la posibilidad de optimizar la supervisión operativa del procedimiento de desorción por medio de la determinación de parámetros óptimos de trabajo. El uso adecuado de la rapidez de flujo de la fusión eluyente y de la dosificación de alcohol etílico industrial puede contribuir a un manejo más racional de los reactivos empleados en el proceso.

Sin embargo, debe precisarse que el presente estudio no evaluará directamente indicadores ambientales, emisiones, consumo energético ni generación de residuos. Por tanto, su aporte ambiental se plantea de manera indirecta, asociado al mejor control del proceso y al uso más eficiente de las condiciones operativas durante la desorción de oro.

1.4.4. Relevancia Social

El trabajo posee relevancia social ya que se desarrolla en el contexto de una actividad minera formal, como la realizada por la Minera FIDAMI S.A. en Sancos-Ayacucho, la cual aporta al crecimiento financiero local mediante la generación de empleo y la dinamización de actividades vinculadas al proceso productivo. Asimismo, la mejora de los procesos metalúrgicos dentro de operaciones formales puede favorecer una gestión técnica más eficiente, segura y controlada, lo cual resulta importante para fortalecer la sostenibilidad operativa de la institución y su vínculo con el entorno social donde desarrolla sus actividades.

1.4.5. Valor Teórico

El fundamento teórico del trabajo se centra en que aporta información sobre el comportamiento del proceso de obtención de oro a partir de carbón activado cargado, considerando la influencia de dos variables operativas: la rapidez de fusión de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial.

Los resultados obtenidos permiten fortalecer la comprensión del proceso de elución del oro en sistemas con reextracción mediante alcohol, especialmente en relación con la eficiencia de extracción. Asimismo, el estudio contribuye a ampliar la evidencia técnica sobre la aplicación de diseños experimentales en procesos hidrometalúrgicos orientados a la recuperación de metales preciosos.

1.4.6. Utilidad Metodológica

La utilidad metodológica del trabajo se sustenta en la ejecución de un Diseño Central Compuesto (DCC), dentro de la metodología de zona de respuesta, para analizar experimentalmente el impacto de dos variables independientes sobre una variable dependiente. Las variables independientes fueron la rapidez de flujo de la fusión eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, mientras que la variable dependiente fue la fracción de obtención de oro.

Este enfoque permitió organizar las corridas experimentales, ajustar un modelo cuadrático, aplicar análisis de varianza (ANOVA) y determinar la combinación óptima de los factores evaluados. Por ello, la metodología empleada puede servir como referencia para próximos estudios orientadas a la optimización de procedimientos metalúrgicos parecidos.

1.5. Importancia de la Investigación

El estudio desempeñó un rol crucial en la optimización de la eficiencia de extracción de oro en la Minera FIDAMI S.A., ubicada en Sancos-Ayacucho. El estudio se orientó a mejorar el procedimiento de desorción de oro desde carbón activado cargado, considerando que este constituye una etapa clave en la recuperación del metal precioso dentro del circuito metalúrgico.

Para ello, se analizaron dos variables operativas fundamentales: la rapidez de flujo de la fusión eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, las cuales influyen la fracción de obtención de oro. La investigación permitió identificar los contextos óptimos de maniobra para maximizar el recobro aurífero, manteniendo constante el tiempo operativo de 24 horas.

Asimismo, la importancia del estudio radica en la aplicación de una ruta cuantitativa, tipo aplicado, alcance explicativo y diseño experimental, mediante un Diseño Centrado Mezclado (DCC). Esta metodología facilitó evaluar el impacto de las variables independientes acerca de la variable dependiente y establecer una combinación óptima de operación. En ese sentido, los resultados obtenidos constituyen un aporte técnico para mejorar el control del proceso de desorción

en la Minera FIDAMI S.A. y pueden servir como referencia para estudios similares en plantas de beneficio aurífero.

1.6. Delimitaciones de la investigación

1.6.1. Delimitación Espacial

El trabajo se desarrolló en el circuito de desorción de la planta de beneficio DATTELI 6, perteneciente a la Minera FIDAMI S.A., localizada en la jurisdicción de Sancos, provincia de Lucanas, región de Ayacucho. La delimitación espacial comprendió específicamente las instalaciones en las que se realizaron las corridas experimentales de desorción del carbón activado cargado. Por tanto, el ámbito del estudio correspondió a la planta de beneficio y no a la totalidad del área de explotación minera.

Tabla 1

Ubicación geográfica de la planta de beneficio DATTELI 6

Descripción	Información
Empresa	Minera FIDAMI S.A.
Planta de beneficio	DATTELI 6
Distrito	Sancos
Provincia	Lucanas
Departamento	Ayacucho
Sistema de referencia	WGS 84, zona 18 S
Latitud	15° 21' 40" S
Longitud	74° 16' 29.3" O
Coordenada Este	577 832.30 m
Coordenada Norte	8 301 603.70 m
Altitud	2 450 m s. n. m.

Nota. Las coordenadas corresponden a la ubicación referencial de la planta de beneficio DATTELI 6. Datos proporcionados por Minera FIDAMI S.A. y convertidos al sistema UTM WGS 84, zona 18 S.

Figura 1

Localización territorial de la planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A.



Nota. La imagen evidencia el acceso y la localización referencial de la planta de beneficio DATTELI 6, donde se encuentra el circuito de desorción utilizado en la investigación. Adaptado de Google Earth (2024) e información proporcionada por Minera FIDAMI S.A.

1.6.2. Delimitación Temporal

El trabajo actual se ejecutó a cabo en un lapso de seis meses.

1.6.3. Viabilidad del Estudio

Se consideró factible llevar a cabo este estudio, ya que se disponía de los distintos saberes tanto teóricos como técnicos necesarios para su desarrollo, así como con lo económico necesario. A su vez, se contó con acceso a los datos asociados al proceso de desorción aplicado por la minera FIDAMI S.A. durante la extracción de oro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Hernández J. (2021), de la Universidad de Guanajuato, desarrolló la investigación titulada “Extracción de oro y plata a través del proceso de adsorción, desorción y regeneración (ADR)”, correspondiente a un trabajo académico vinculado al área de procesamiento metalúrgico. El estudio fue realizado en el contexto de una planta de beneficio, donde se abordó como problema principal la baja eficiencia del procedimiento de adhesión de metales preciosos en carbón activado. El objetivo principal fue determinar los porcentajes de eficiencia de adsorción de plata y oro durante el procedimiento ADR, con la finalidad de evaluar el comportamiento del carbón activado en condiciones operativas específicas. La muestra estuvo constituida por carbón activado tipo 900, caracterizado por presentar un área activa aproximada de 900 m²/g. La metodología aplicada fue de tipo experimental, basada en pruebas de adsorción, desorción y regeneración, mediante el control de condiciones operativas del proceso. Entre los principales resultados se identificaron eficiencias bajas en las condiciones evaluadas, situación que el autor atribuyó a la adición de solución cianurada durante la etapa de trituración del mineral. Como conclusión relevante, se estableció que las condiciones previas del proceso influyen directamente en la efectividad de adhesión y recobro de metales preciosos. Este antecedente aporta a la presente investigación porque permite entender la prevalencia de la supervisión de las variables operativas en los procesos ADR y se relaciona directamente con la optimización de la desorción de oro a partir de carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Casallo y Guzmán (2018), del Centro Universitario Estatal del Centro del Perú, desarrollaron la investigación titulada “Investigación del procedimiento de desorción de oro de carbón activado en la Corporación Ecoservicios e Ingeniería Limpia S.A.C. Lima 2018 Perú”, correspondiente a una tesis vinculada al área de procesamiento metalúrgico. El estudio se realizó en la corporación “Ecoservicios e Ingeniería Limpia S.A.C.”, donde se abordó como problema principal la necesidad de identificar las variables que influyen en el procedimiento de obtención de oro desde carbón activado. La finalidad esencial fue analizar las variables que impactan en el sistema de desorción implementado por la empresa para mejorar la extracción del metal aurífero. La metodología aplicada fue de tipo experimental, mediante un programa de pruebas de desorción orientado a establecer que los componentes que impactan en la productividad del proceso. Entre los principales resultados se evidenció que la adición de alcohol metílico tuvo un efecto considerable en la desorción del oro, favoreciendo la liberación del metal desde el carbón activado. Asimismo, se determinó que el proceso de desorción contribuye al incremento de las tasas de extracción y a la reducción del tiempo de tratamiento. Como conclusión relevante, los autores señalaron que el control adecuado de las variables operativas permite mejorar la efectividad del procedimiento de desorción. Este antecedente aporta a la presente investigación porque demuestra la influencia del alcohol como agente facilitador en la desorción de oro, aspecto directamente relacionado con la evaluación de la dosificación de alcohol etílico industrial en la Minera FIDAMI S.A.

Zegarra (2018), de la Universidad Nacional de San Agustín, realizó el trabajo titulado “Optimización del proceso de desorción, electrodeposición de la planta La Joya Mining S.A.C.”, correspondiente a una tesis desarrollada en el contexto de una planta minera dedicada a la

recuperación de oro. El problema abordado se relacionó con la necesidad de reducir el tiempo del procedimiento de desorción y optimizar la efectividad operativa del sistema de recuperación aurífera. El objetivo principal fue optimizar el procedimiento de “desorción y electrodeposición en la planta La Joya Mining S.A.C.”, mediante el análisis de los componentes operativos que impactan en el rendimiento del proceso. La metodología empleada fue de tipo experimental, basada en la ejecución de pruebas bajo diferentes contextos de operación, considerando variables como el flujo, temperatura y el porcentaje de soda cáustica. Entre los principales resultados se identificó que determinados tratamientos permitieron reducir el tiempo de desorción y mejorar el comportamiento del proceso. En particular, las pruebas 7 y 8 cumplieron con los objetivos técnicos planteados; sin embargo, se recomendó especialmente el tratamiento 7, debido a que el tratamiento 8 demandaba una mayor cantidad de reactivos y no resultaba económicamente rentable. Como conclusión relevante, el autor estableció que la optimización de la cantidad, nivel térmico y la junta de reactivos facilita optimizar la efectividad de la desorción y disminuir los tiempos de operación. Este antecedente aporta a la presente investigación porque evidencia la importancia de controlar parámetros operativos como la velocidad de flujo y la dosificación de reactivos, variables que también son evaluadas en la optimización del proceso de desorción de oro en la Minera FIDAMI S.A.

Hirpanocca Quispe (2023), del Centro Universitario Estatal del Altiplano, desarrolló la investigación titulada “Evaluación del alcohol para reducir el tiempo en el proceso de desorción del oro de carbón activado de la empresa Minerales y Procesos J&H del Perú S.R.L.”, correspondiente a una tesis vinculada al área de procesamiento metalúrgico. El estudio fue realizado en la “corporación Minerales y Procesos J&H del Perú S.R.L.”, donde se abordó como problema principal el tiempo prolongado requerido para la desorción del oro desde carbón activado

cargado. La finalidad fue analizar el impacto del alcohol en la reducción del tiempo del proceso de desorción de oro. La muestra estuvo conformada por 30 kg de carbón activado cargado, con una norma inicial de 5.128 g Au/kg de carbón. La metodología aplicada fue de tipo experimental, cuantitativa y comparativa, manteniendo constantes la “masa del carbón cargado, pH, presión, temperatura, voltaje aplicado y las concentraciones de NaOH y NaCN”, mientras que las variables evaluadas fueron el porcentaje de etanol y el tiempo de desorción. Para ello, se realizaron tres ensayos: etanol al 5 % v/v durante 32 horas, etanol al 10 % v/v durante 29 horas y etanol al 20 % v/v durante 24 horas. Entre los principales resultados, se determinó que el rendimiento máximo de elución se alcanzó después de 18 horas y que la concentración de etanol al 20 % v/v, a una temperatura de trabajo de 85 °C, fue la condición operativa más favorable. Asimismo, se estableció que la temperatura debía mantenerse por debajo de 90 °C para evitar la volatilización del etanol. Como conclusión relevante, el autor determinó que el uso de etanol al 20 % v/v permitió reducir el tiempo de desorción y alcanzar una recuperación total de oro del 98 %. Este antecedente aporta en este trabajo porque evidencia el impacto directo del alcohol en la mejora de la desorción de oro desde carbón activado, aspecto relacionado con la dosificación de alcohol etílico industrial evaluada en el mejoramiento del procedimiento de desorción en la Minera FIDAMI S.A.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Oro

2.2.1.1. Generalidades.

El oro, un metal valioso de notable flexibilidad y un distintivo tono dorado, se distingue por una serie de características únicas. Tiene una densidad de 19,3 g/mL y un punto de fusión de aproximadamente 1061 °C., presenta estructuras cristalográficas cúbicas, incluyendo formas octaédricas y dodecaédricas rómbicas, aunque también puede presentarse en su forma elemental o

nativa, el oro se encuentra típicamente en la naturaleza en forma de diminutas partículas dispersas en formaciones rocosas o cuerpos mineralizados, especialmente en vetas de cuarzo (López, 2017). “Además de encontrarse frecuentemente disperso en vetas minerales y formaciones rocosas, el oro también puede sustituirse atómicamente en las estructuras cristalinas de otros minerales, este metal tiene una gravedad específica de 19,3, una dureza de 3 en la escala de Mohs y es conocido por su notable ductilidad y maleabilidad, el oro tiene un peso atómico de 197,2, se representa químicamente con el símbolo Au y su número atómico es 79” (Vega & Sámano, 2013).

En cuanto a sus atributos químicos, esta se distingue especialmente por su solubilidad en compuestos cianurados y HNO/HCL, así como por su capacidad para disolverse en ácido clorhídrico frente a la presencia de diversos compuestos orgánicos. (Valencia, 2013); destacando que, basándose en estas propiedades, se percibe al Au estable e inerte químicamente en múltiples compuestos, lo que evita la opaculación ni la corrosión durante su uso. Por estas características, tiene múltiples usos en el ámbito industrial y comercial.

2.2.1.2. Aplicaciones.

Para entender la importancia de la explotación, es imprescindible reconocer sus usos en la sociedad contemporánea, que cubren varios sectores, tal como se ilustra a continuación.:

- “En el ámbito de la joyería, se destaca uno de sus aprovechamientos más habituales históricamente, gracias a sus propiedades de resplandor y tenacidad a la corrosión, sumado a su extraordinaria elasticidad que, al alearse con otros metales, proporciona una dureza única a los componentes” (Gallego, 2020).
- “En el campo eléctrico, a menudo se emplea el metal aurífero en la creación de maneras de conexiones eléctricas para la correspondiente apertura-cierre de sistemas electrónicos y

disyuntores, gracias a su excelente conducción eléctrica, tolerancia térmica y tenacidad a la corrosión” (Gallego, 2020).

- “En el sector electrónico, el oro se utiliza con frecuencia en la comunicación telegráfica, además de tareas de sistematización de datos, sistemas de monitoreo de misiles y naves aeroespaciales; entre otras ejecuciones” (Gallego, 2020)
- “En el ámbito de la salud, en ciertos casos se utiliza para el análisis del tratamiento de enfermedades, así como en la creación de equipos y/o vehículos compatibles con el ambiente clínico” (Gallego, 2020).
- “En el ámbito tecnológico, surge una de las ejecuciones más innovadoras y relevantes del oro, pues facilita el avance de sistematizaciones como la prestación de Au electrolítico, así como fusiones para soldaduras y capa metalizada; además, se emplea en la producción de dispositivos vinculados a la nanotecnología” (Gallego, 2020).

2.2.2. Extracción de oro

2.2.2.1. Definición.

Es un proceso productivo para la extracción de oro generalmente conformado por seis pasos aplicados en las actividades mineras, tales como la exploración, minado, acarreo, lixiviación, proceso en planta y refinación (Feijoo et al., 2019).

El proceso de recuperación de oro generalmente comprende las diversas tecnologías en durante todas sus etapas, resaltando que la hidrometalurgia es la principal alternativa del rubro, exigiendo el desarrollo de múltiples procedimientos relevantes, con un especial énfasis a partir de la fase de lixiviación donde se emplean carbones activados que permiten la obtención de una extracción elevada del metal aurífero (Asalde, 2010).

2.2.2.2 Etapas del proceso.

Dentro de las fases más relevantes de la extracción de oro, se destacan las siguientes:

a. Lixiviación:

“Es una reacción heterogénea de líquido/sólido donde la velocidad de reacción debe ser gestionada a través de modelos cinéticos para sólidos en contacto con líquidos para mantener una condición no catalizada. Esto subraya que, en los procesos hidrometalúrgicos de recuperación de metales valiosos como el oro, la técnica de lixiviación convencional utiliza cianuro o agua regia ya que son económicamente lucrativas.” (Pedre, 2018).

b. Adsorción:

“Es un procedimiento en el que uno o varios elementos del fluido se atraen a la superficie del adsorbente, destacando que estos elementos pueden ser aislados de aquellos que son menos atraídos a la superficie. Es importante destacar que la adsorción se utiliza frecuentemente para la limpieza de fluidos, suprimiendo componentes o para recuperar componentes.” (Feijoo et al., 2019).

Cabe señalar, que en la hidrometalurgia estas operaciones se caracterizan por la circulación de la solución rica por medio de columnas empaquetadas con carbón activado, con un aspecto fundamentalmente parecido al procedimiento de intercambio de fracciones de carbón en los contrafuertes (Feijoo et al., 2019).

c. Desorción del oro:

“Los métodos de desorción utilizados hoy en día posibilitan la extracción de oro desde el carbón activado, mediante la ejecución de un método específico, escogido en función de la infraestructura y las condiciones de la planta específica.” (Asalde, 2010).

d. Regeneración:

Este proceso se realiza cuando el carbón activado implementado disminuye su eficiencia de adsorción, comprendiendo la restitución de las características del carbón debido a la reactivación de sus propiedades iniciales. (Pedre, 2018).

e. Producción de oro

Este procedimiento se lleva a cabo mediante métodos de deposición electrolítica o precipitación del oro en la solución concentrada (Asalde, 2010).

2.2.3. Proceso de desorción

2.2.3.1. Objetivos.

El proceso de desorción es uno de los más importante para la extracción de oro con fines productivos, contando con diversos objetivos tales como:

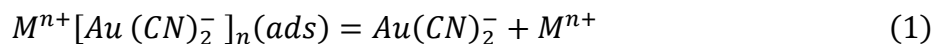
- “Obtener un gran conjunto de valores metálicos cargados de la solución desorbida” (Uceda, 2020).
- “Crear una solución saturada con la mayor cantidad posible de metales valiosos” (Uceda, 2020).
- Asegúrese de que al finalizar el procedimiento quede la poca cuantía de oro factible en el carbón activado (Uceda, 2020).
- Prepare el carbón activado para reintegrarlo al proceso de adsorción (Uceda, 2020).
- Garantizar el desarrollo de operaciones en un marco de seguridad y rentabilidad económica (Uceda, 2020).

2.2.3.2. Elución o desorción.

Para efectos de este trabajo, se ejecutará el término desorción de oro como denominación operativa principal del proceso mediante el cual el oro adsorbido en el carbón activado cargado es

trasladado hacia la fusión eluyente. El término elución se utiliza como equivalente técnico dentro del marco teórico, debido a su uso frecuente en la literatura hidrometalúrgica. Asimismo, la expresión reextracción con alcohol se emplea únicamente para referirse a la técnica específica de desorción que incorpora alcohol etílico industrial en la solución eluyente. Finalmente, el término extracción de oro se utiliza para describir la variable respuesta del estudio, expresada como porcentaje de extracción de oro.

El carbón activado fue colmado con Au y otros metales durante los procedimientos de adherencia necesita ser tratado a través de un procedimiento de elución para eliminar los metales del carbón. Esto genera un volumen reducido de solución de oro de alta ley, idóneo para la recuperación definitiva de oro mediante electrodeposición o precipitación con zinc, y facilita la reciclabilidad del carbón en el circuito de adherencia. Normalmente, el carbón se recicla entre 100 y 400 períodos de obtención-desorción, en función de su calidad y la eficacia de los métodos de reactivación utilizados. El procedimiento de desorción, a menudo referido como elución o eliminación, representa una inversa del procedimiento de adsorción, y los elementos físicas y químicas que impiden la adsorción suelen potenciar la desorción (Uceda, 2020). Para el oro absorbido por soluciones de cianuro, la reacción de desorción se manifiesta de manera más sencilla por la ecuación:



Aunque el mecanismo exacto de adsorción se considera que es mucho más complicado.

2.2.3.3. Química de la desorción de oro.

La desorción de oro (elución) es el proceso hidrometalúrgico mediante el cual el oro adsorbido en el carbón activado es removido nuevamente hacia una solución rica de cianuro para su posterior recuperación mediante electrodeposición o precipitación.

Este proceso se utiliza principalmente en circuitos:

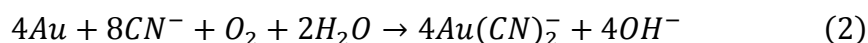
CIP (Carbon in Pulp)

CIL (Carbon in Leach)

“CIC (Carbon in Column)”

Fundamento químico

Durante la lixiviación cianurada, el oro metálico se disuelve formando el complejo dicianoaurato:



El ion:



es adsorbido por los microporos del carbón activado mediante fuerzas electroquímicas y fenómenos de adsorción física.

La desorción consiste en invertir este equilibrio químico usando:

- Temperatura elevada.
- Soluciones alcalinas.
- Cianuro.
- Presión.
- Alcohol orgánico.

2.2.3.4. Mecanismo químico de desorción.

La desorción ocurre debido a varios efectos simultáneos:

a) Disminución de afinidad del carbón

El aumento de temperatura reduce las fuerzas de adsorción entre el complejo aurífero y la superficie del carbón activado.

Según Marsden y House (2006), el incremento térmico aumenta la movilidad molecular y favorece la transferencia del complejo hacia la solución.

b) Competencia química de OH^- y CN^-

Las soluciones de elución contienen:



Los iones:



compiten por los sitios activos del carbón.

Molecularmente:

- Los iones penetran los microporos.
- Desplazan el complejo aurífero adsorbido.
- El oro vuelve a solución.

El exceso de CN^- estabiliza inmediatamente el complejo soluble:



Evita su re-adsorción.

c) Efecto de la soda cáustica

La soda cáustica (NaOH):

- Incrementa el Ph.
- Evita formación de HCN.
- Limpia compuestos orgánicos del carbón.
- Mejora la cinética de elución.

El sistema normalmente opera a:

pH 11–13

d) Efecto de la temperatura

El aumento de temperatura:

- Incrementa energía cinética molecular.
- Debilita fuerzas de Van der Waals.
- Disminuye energía de adsorción.

A nivel molecular:

- El complejo aurífero vibra más rápidamente.
- Se rompe la interacción superficial.
- Aumenta la difusión desde microporos hacia la solución.

De acuerdo con John O. Marsden y C. Iain House, la adsorción del oro es exotérmica, por lo que temperaturas elevadas favorecen la desorción.

e) Efecto del alcohol en la desorción

En algunos procesos se agrega etanol o alcoholes ligeros.

A nivel molecular:

- Disminuyen la constante dieléctrica del medio.
- Reducen tensión superficial.
- Modifican hidratación del complejo aurífero.

Esto facilita:

- Penetración de solución.
- Liberación del oro.
- Transferencia de masa.

f) Regeneración del carbón

Posterior de la elución, el carbón contiene:

- Compuestos orgánicos.
- Carbonatos.
- Calcio.
- Sílice.
- Residuos metálicos.

La regeneración térmica:

- Elimina contaminantes.
- Reabre microporos.
- Restaura capacidad adsorbente.

2.2.3.5. Termodinámica de la elución del oro.

“La elución del Au desde el C activado es un proceso controlado tanto por factores energéticos como por la estabilidad del complejo aurocianuro adsorbido. Desde un punto de vista termodinámico, la adsorción inicial del complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ocurre porque la energía libre del sistema disminuye al establecerse interacciones físicas y químicas dentro de la estructura porosa del carbón activado. Estas interacciones incluyen atracciones electrostáticas, efectos hidrofóbicos y fuerzas de Van der Waals, que estabilizan el complejo metálico dentro del carbón” (Adams, 1991).

“El proceso también implica y transformaciones en la entropía (ΔS) y la entalpía (ΔH). Un incremento en ΔS ocurre cuando el complejo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ pasa de un estado ordenado dentro de los microporos del carbón a un estado más desordenado en solución. Este aumento en entropía contribuye a que la energía libre de Gibbs ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$) se vuelva más negativa con la

temperatura, haciendo termodinámicamente favorable la desorción del oro bajo condiciones óptimas" (Nicol, 1987).

2.2.3.6. Cinética de la elución del oro.

Detalla la rapidez con la que el oro abandona la superficie del carbón activado. De acuerdo con estudios clásicos, la cinética está influenciada por:

- **Difusión interna en los poros del carbón:** “El complejo Au(CN)_2^- debe atravesar los microporos y macroporos del carbón para llegar a la superficie externa. En condiciones de alta temperatura, la movilidad del complejo aumenta, reduciendo la resistencia de difusión interna” (Marsden & House, 2006).
- **Transferencia de masa externa:** La velocidad del flujo del eluyente afecta el gradiente de concentración en el exterior del carbón. A mayor flujo, mayor eliminación del oro liberado y menor resistencia de película.
- **Reacciones Superficiales:** La ruptura de los enlaces carbón complejo metálico puede describirse mediante una energía de activación, que disminuye notablemente con la temperatura. Nicol (1987) demostró que un incremento de 100 °C puede aumentar hasta un orden de magnitud la velocidad de desorción.

2.2.3.7. Isotermas de desorción de Au en carbón activado.

Las isotermas de desorción describen el equilibrio entre:

- La junta de oro adsorbido en el carbón activado.
- Y la junta de oro en fusión.

a temperatura constante durante el proceso de elución o desorción.

Son fundamentales para:

- Modelar procesos CIP/CIL.

- Diseñar columnas de carbón.
- Optimizar elución.
- Estimar eficiencia de recuperación.

A) Concepto de isoterma

Una isoterma relaciona:

- q = cuantía de oro adsorbido/desorbido en el carbón.
- C_e = concentración de equilibrio en solución.

Generalmente:

$$q = f(C_e) \quad (9)$$

Durante la desorción, el equilibrio se desplaza desde el carbón hacia la solución.

B) Isotherma de Freundlich

Es la más ejecutada para sistemas oro-carbón.

Modelo empírico:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (10)$$

Donde:

- q_e = carga de au en carbón en medida.
- C_e = fusión de oro en el compuesto.
- K_f = constante de Freundlich (indicador de la capacidad de la adsorción). En la desorción se busca minimizar el valor mediante el aumento de temperatura y adición de reactivos.
- n = intensidad de adsorción/desorción.

Interpretación

- Valores altos de K : mayor afinidad del carbón por el oro.

- Valores menores de $1/n$: desorción más favorable.

Según R. J. Davidson, el sistema $Au(CN)_2^-$ carbón activado sigue adecuadamente el comportamiento Freundlich debido a la heterogeneidad superficial del carbón.

C) Isoterma de Langmuir

Asume:

- Superficie homogénea.
- Monocapa adsorbida.
- Sitios equivalentes.

Modelo:

$$q = \frac{q_{max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (11)$$

Donde:

- q_{max} = máxima capacidad.
- b = constante de afinidad.

Aplicación en desorción

Permite estimar:

- Saturación del carbón.
- Capacidad residual.
- Eficiencia de elución.

Sin embargo, en carbón activado real el modelo suele ser menos exacto por la complejidad estructural de los microporos.

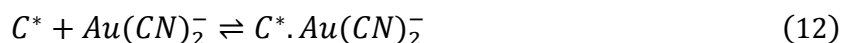
D) Influencia de la temperatura

La adsorción del oro es exotérmica.

Por el principio de Le Chatelier:

- Mayor temperatura → menor adsorción.
- Mayor temperatura → mayor desorción.

El equilibrio cambia:



La constante de equilibrio disminuye con temperatura creciente.

Según John O. Marsden y C. Iain House:

- La desorción mejora notablemente por encima de 90°C.
- El coeficiente de distribución disminuye rápidamente con temperatura.

E) Isotermas y cinética

La isoterma describe equilibrio.

La cinética describe velocidad.

En desorción real influyen:

- Difusión intraparticular.
- Tamaño del carbón.
- Contaminación superficial.
- Viscosidad.
- Presión.
- Concentración de NaOH y NaCN.

Por ello, una desorción puede:

- Tener equilibrio favorable.
- Pero cinética lenta.

F) Factores que alteran las isotermas

Presencia de cobre

Los complejos cúpricos:

- Compiten con el oro.
- Ocupan sitios activos.
- Alteran el equilibrio.

Contaminación del carbón

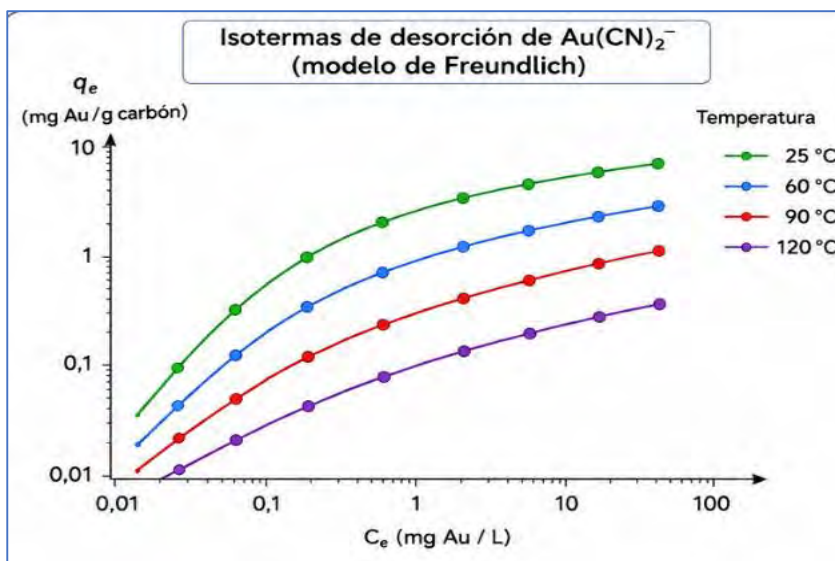
Compuestos:

- Calcio.
- Sílice.
- Aceites.
- Materia orgánica.

Bloquean microporos y modifican capacidad adsorbente.

Figura 2

Isotermas de desorción de oro en carbón activado



Nota. El gráfico muestra cómo cambia la carga de oro en el carbón al aumentar la temperatura.

Obtenido de Davidson (1974). "The mechanism of gold adsorption on activated charcoal".

2.2.4. Factores químicos y físicos que impactan a la efectividad de la desorción

a. Temperatura y presión.

Uceda (2020) escribió:

El componente más prevalente en la desorción del cianuro de oro del carbón activado es el nivel térmico, porque al incrementar el nivel térmico en 100 °C aumenta la tasa de elución en alrededor de un orden de magnitud.

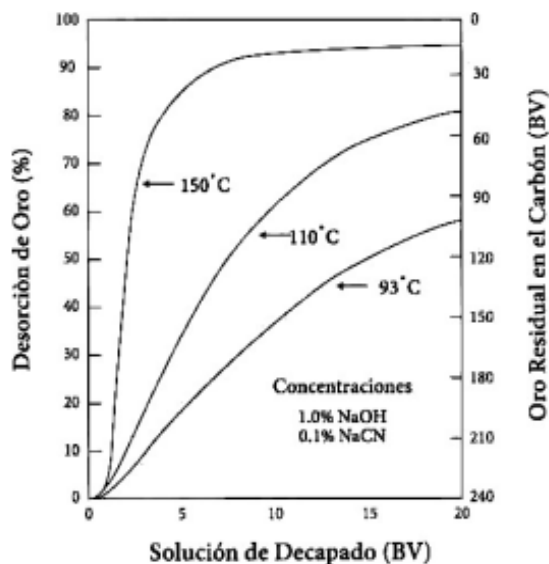
Por ejemplo, la velocidad de elución a 180°C es ocho veces más rápida que a 90°C a presión atmosférica. La figura 2 señala el impacto de la temperatura acerca la eficiencia de la liberación del oro, dada para el ejemplo del esquema de elución de Zadra. Aunque es posible reducir los tiempos de elución sustancialmente al operar a temperaturas > 100°C, esto requiere el uso de presión elevada para conservar el centro de elución en la etapa deducida y permitir la aplicación práctica del sistema. En consecuencia, las sistematizaciones de elución han evolucionado en 2 clases:

- Procedimientos realizados a temperaturas inferiores a 100 °C y bajo presión atmosférica.
- Procedimientos realizados a alta presión, que permiten operar a temperaturas superiores a 100 °C para acelerar el proceso de elución.

Mientras que las operaciones presurizadas pueden alcanzar temperaturas de hasta 160 °C a presiones cercanas a 500 kPa, los sistemas no presurizados operan a temperaturas ligeramente inferiores al punto de ebullición de la solución, aproximadamente 95 °C. La gran parte de los compuestos de metal-cianuro, incluido el cianuro de oro, se desintegran en formas metálicas e iones de cianuro libres al superar los 180 °C, como resultado de esta descomposición, quedan altas concentraciones de oro en el carbón activado, cuya eliminación es muy difícil, las temperaturas más altas también incrementan considerablemente la descomposición del cianuro, lo que favorece la producción de amoníaco. (p.338)

Figura 3

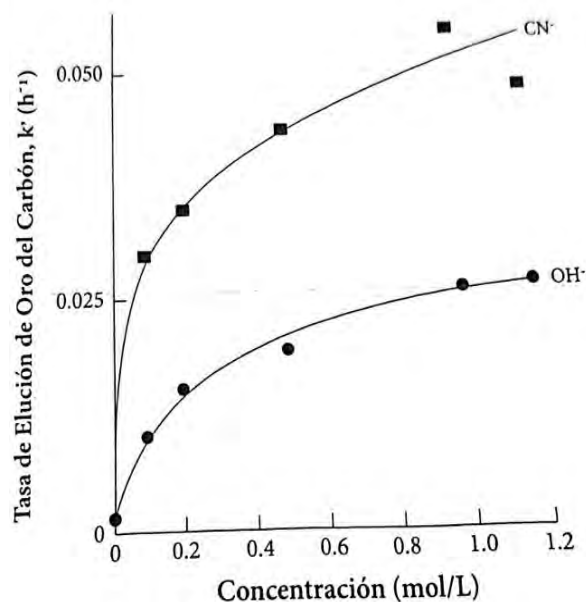
El impacto de la temperatura en la desorción de oro empleando la solución de proceso Zadra



Nota. La imagen señala el impacto del nivel térmico sobre la eficiencia de la desorción de oro (Uceda H.,2020, pág. 339).

b. Concentración de cianuro.

“El efecto del cianuro en la velocidad de desorción de oro se muestra en la Figura 3, concentraciones más altas de cianuro promueven la liberación de especies de cianuro de oro al intensificar la competencia entre los iones de cianuro libres y los complejos oro-cianuro por los sitios activos en la superficie del carbón. Sin embargo, no es necesario mantener el cianuro libre durante todo el proceso de desorción para lograr una elución eficaz (como se muestra en la línea OH⁺ en la ilustración 12-14) y se han desarrollado varios procedimientos que utilizan una etapa de prelavado de cianuro seguida de elución de agua desionizada. En consecuencia, los sistemas de elución se pueden dividir en aquellos que usan cianuro durante todo el proceso y aquellos que usan cianuro solo durante el prelavado” (Uceda, 2020, p.339).

Figura 4*Variación de la Tasa De Elución vs la Concentración de Eluyente*

Nota. La asociación entre la composición de cianuro en la solución eluyente y la tasa de elución de una fuerza iónica constante de 1.2 a 950C. (Uceda H., 2020, pág. 340).

c. El pH de la solución de elución.

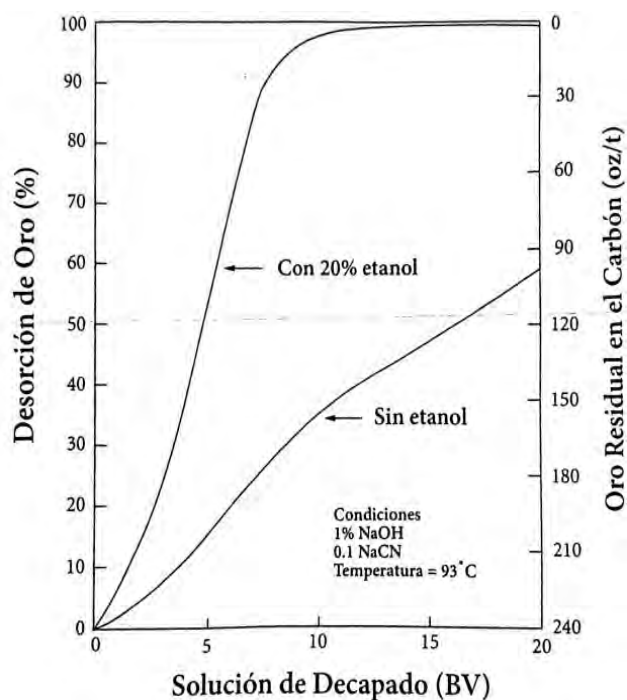
“Los métodos de elución que han surgido a partir del primer método de Zadra (1950) han empleado todas las soluciones que contienen hidróxido de sodio al 1%-3%, ya sea en un paso de pre-empaque o en el paso principal de elución. Los iones de hidróxido mueven los iones de cianuro de oro dentro del carbón de forma parecida a los iones de cianuro libres, tal como se muestra en la Figura 12-14. Además, es necesaria una alcalinidad adecuada para prevenir la pérdida de cianuro a través de hidrólisis, es decir, para mantener un pH habitual entre 10.0 y 12.0. La regulación del pH en la fase de elución es crucial para los procedimientos que emplean la fogosidad de zinc para su recuperación después de Au, ya que es posible generar hidróxido de zinc insoluble” (Uceda, 2020, p.340).

d. Disolventes orgánicos.

“La velocidad de elución se puede aumentar significativamente mediante la adición de disolventes orgánicos, como alcoholes y glicoles, al eluyente acuoso. Estos incrementan la práctica de otras variedades iónicas en compuestos, especialmente iones de menor tamaño como el cianuro, en vez de los de mayor tamaño como el cianuro de oro. Este efecto aumenta la eficiencia del desplazamiento del cianuro de oro del carbón. Gran variedad de solventes ha sido probados y usados para mejorar los procesos de elución en un rango de temperaturas Figura 4” (Uceda, 2020, p. 340).

Figura 5

Efecto de la adición de etanol a la solución de Zadra en la desorción de oro



Nota. BV representa volúmenes de lecho. La figura muestra que la adición de 20 % de etanol incrementa la velocidad de desorción y reduce el oro residual en el carbón impulsado. Adecuado de Uceda Herrera (2020, p. 341).

“Al añadir alcoholes como etanol, metanol o isopropanol a la solución de elución en concentraciones entre el 15 % y el 25 %, los períodos de desorción se acortan drásticamente, lo que resulta en una reducción de tres a cuatro veces en el tiempo de procesamiento, por ejemplo, la duración de la elución puede reducirse de aproximadamente 48 horas a casi 12 horas en sistemas de elución tipo Zadra que funcionan a 90 °C. Desafortunadamente, estas soluciones son altamente inflamables y pueden constituir un peligro de incendio en las plantas industriales. Los glicoles, como el etileno y el propilenglicol, se han usado en concentraciones similares, pero con reducciones generalmente más pequeñas en los tiempos de elución, aproximadamente la mitad de las reducciones que se logran con los alcoholes. Los glicoles son menos inflamables que los alcoholes y, por lo tanto, pueden ser preferidos en algunos casos” (Uceda, 2020, p. 341).

e. Velocidad de flujo de la solución.

“Aplicada para la elución generalmente se expresa como volúmenes de BV/h, la velocidad de elución posee a ser virtualmente independiente del caudal por arriba de aproximadamente 1 BV/h, sin embargo, la carga de oro residual en el carbón disminuye al aumentar el caudal después de un tiempo fijo (Figura 5). Típicamente, las velocidades de flujo de 2 a 4BV/h son empleadas en la generación de carbón con una carga reducida de oro residual, a la vez que se previene la presencia de oro residual la necesidad de tratar volúmenes excesivamente grandes de eluyente. (Bed Volume o volumen del lecho se define como el volumen mínimo de disolvente necesario para humedecer la cantidad definida de sorbente dentro de la columna)” (Uceda, 2020, p. 341).

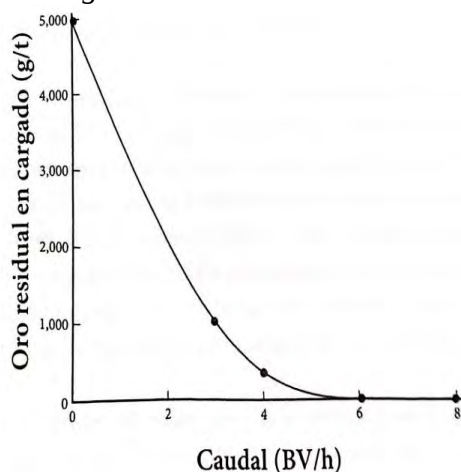
f. Concentración de oro en solución.

La tasa de elución se reduce y la carga de oro residual se incrementa, lo que provoca un incremento en (Quispe P., 2023) indica que "dado que las concentraciones más altas retrasan gradualmente la velocidad de desorción en las operaciones por lotes, la cantidad de oro en la

solución de elución afecta el rendimiento del proceso, en los sistemas de elución donde la solución se recircula inmediatamente después de la recuperación del metal, este efecto es muy importante". Un ejemplo de esto es la elución atmosférica de Zadra junto con la extracción electrolítica o la precipitación de zinc para la recuperación de metales. Quispe P,2023 " En esta coyuntura, la presencia de Au en la solución usada para la liberación y por ende, la eficacia de dicha elución, se basa en la eficacia de la fase de electrodeposición o de precipitación con zinc".

Figura 6

Efecto del Índice de Flujo de la Carga Promedio de Oro Residual



Nota. Esta figura representa la cantidad promedio de oro residual de oro después de un ciclo desorción de 20 horas. (Uceda H., 2020, pág. 342).

2.2.4.1. Técnicas disponibles

a. Proceso atmosférico Zadra

Este proceso recibió dicha denominación por su creador J.B. Zadra, quien lo creó a inicios de la década de cincuenta en la Organización de Minas de EU, es importante destacar que la recuperación de oro del carbón cargado se realiza a temperaturas generalmente entre 85 y 95 grados Celsius utilizando una solución de elución específica, dependiendo del tipo de solución utilizada y la estrategia de trabajo elegida, el tiempo total de procesamiento puede variar entre 24 y 60 horas, el procedimiento se realiza típicamente a presión atmosférica (Montenegro, 2011).

b. Proceso de reextracción con alcohol

“Harold Heinen creó esta técnica modificando el proceso tradicional de atmósfera de Zadra. Este método utiliza una solución con aproximadamente 0,1 % de cianuro, 1 % de hidróxido de sodio y 20 % de alcohol para desorber el carbón cargado con oro a una temperatura promedio de unos 80 °C. La adición de alcohol a la solución de elución, que reduce drásticamente el ciclo de elución a unas 5-6 horas, distingue a este procedimiento, que se realiza a presión atmosférica” (Cárdenas & Espinel, 2016).

Este proceso presenta diversas ventajas como los tiempos cortos de reextracción, y las bajas temperatura de operación requeridas, lo que convierte al procedimiento como rentable en comparación a otras alternativas (Cárdenas & Espinel, 2016).

c. Proceso de retracción a alta presión

Utilizando una solución que contiene cantidades específicas de cianuro y sosa cáustica, el carbón cargado con oro se reprocesa mediante este método durante dos a seis horas a una temperatura de aproximadamente 160 °C y una presión de aproximadamente 50 psi, las principales ventajas de este método son un menor uso de reactivos, menos carbón en circulación y un espacio más reducido para la etapa de reelución (Uceda, 2020).

d. Proceso Anglo Americano (AARL)

“Este método, creado por R. J. Davidson en Anglo American Research Laboratories, consiste en calentar el carbón cargado durante 30 minutos en una solución que contiene 1 % de NaOH y 5 % de NaCN. Posteriormente, el carbón se eluye mediante cinco lechos de agua caliente consecutivos a un caudal de tres lechos por hora, el procedimiento se lleva a cabo a una temperatura de aproximadamente 110 °C, presiones de entre 50 y 100 kPa y un tiempo de extracción de casi nueve horas” (Montenegro, 2011).

Tabla 2
Técnicas de los Procesos de Desorción

Proceso	PROCESO DE DESORCIÓN	
	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Zadra.	➤ Bajo costo de capital ➤ Poca demanda de calor ➤ No se requiere intercambiadores de calor ➤ Bajo costo de operación ➤ Operación muy simple	➤ Tiempo de elución muy prolongado. ➤ Bajo grado de la solución debido a la extracción lenta. ➤ Susceptible a contaminación de la solución. ➤ Elución incompleta de oro a partir del carbón. ➤ Menos flexible, porque las columnas operadas a la vez.
Reextraccion con alcohol	➤ Tiempo de cortos de Re extracción y alto grado de solución cargada. ➤ Baja temperatura de operación, por tanto, requiere poco calor. ➤ Bajo costo de capital uso de acero templado.	➤ Riesgo de incendio. ➤ Costo de operación alto, si el alcohol no es recuperado. ➤ Carbón debe ser regenerado para restaurar su actividad.
Reextraccion a presión.	➤ Tiempo de cortos de reextracción y alto grado de solución de elución cargada permitiendo más de una extracción por día. ➤ Muy buenas extracciones. ➤ Menos sensitivo a la contaminación de la solución. ➤ La extracción y la recuperación de oro son operaciones separadas, se puede optimizar cada etapa separadamente.	➤ Alto costo de capital reactor a presión de acero inoxidable, intercambiador de calor, tanques grandes. ➤ Formación de escamas en el intercambiador de calor. ➤ Temperatura muy alta puede fijar la Ag y Hg sobre el carbón.
Anglo América	➤ Tiempo corto de extracción y alto grado de solución de elución permite más de una Re extracción por día. Lavado ácido en el reactor de extracción evita una etapa de transporte adicional. ➤ carbón y su atrición. ➤ Temperatura y presión moderada minimizar los costos de operación. Muy buena reextracción podrá ser adicionada a un circuito existente de precipitación con zinc.	➤ Más complicado, por lo que requiere más instrumentos para operar automáticamente. ➤ Tanques sofisticados si se efectúa un lavado ácido a alta temperatura en el mismo reactor. ➤ Requiere buena calidad. ➤ Agua para una elución eficiente, es muy sensible a la presencia de calcio y magnesio. Puede requerir alguna forma de tratamiento de agua. La solución de reextracción no puede ser reciclada.

Nota. Se muestra la comparación de los procedimientos de desorción, detallando sus ventajas y desventajas (Uceda H., 2020, pág. 349).

2.2.5. Reactivos

Entre los diversos reactivos utilizados durante el procesamiento de desorción para la extracción de Au, se identifican:

a. Cianuro de Sodio (NaCN):

Marsden y house:

“Es un compuesto inorgánico cristalino, altamente soluble en agua, que se emplea como agente complejante en procesos hidrometalúrgicos debido a su capacidad para formar complejos estables con metales nobles, especialmente con la plata y el Au. En medios alcalinos, el cianuro disuelto origina el ion cianuro (CN^-), responsable de la instrucción del complejo aurocianuro, ($\text{Au}(\text{CN})_2^-$), el cual constituye la base de los procesos de lixiviación, desorción y electroobtención en la metalurgia del oro” (Marsden & House, 2006).

b. Soda Caustica (NaOH):

“Es un compuesto alcalino altamente soluble utilizado para elevar y controlar el pH en soluciones hidrometalúrgicas. Su función principal en la extracción de oro es mantener el medio fuertemente alcalino, evitando la volatilización del cianuro de hidrógeno (HCN) y estabilizando el ion cianuro (CN^-) en solución” (Marsden & House, 2006).

c. Alcohol Etilico $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

“Es un solvente orgánico polar miscible con agua. En la desorción de oro, actúa como agente orgánico modificador, promoviendo la transferencia del complejo aurocianuro desde la fase sólida hacia la fase líquida, y mejorando la estabilidad del complejo metálico en solución” (Avraamides, 1982).

d. Carbón Activado:

El carbón activado, a menudo conocido como carbón vegetal, es un material orgánico con una estructura predominantemente gráfica, con una densidad que a menudo supera los $1000 \text{ m}^2/\text{g}$,

su extensa red de orificios interiores ofrece una superficie específica inusualmente alta, si bien esta característica ha permitido su uso generalizado en procesos industriales que incluyen la separación de gases y líquidos, su aplicación sistemática en las operaciones de recuperación de oro no se generalizó hasta la década de 1980 (Uceda, 2020, p. 323). Las propiedades más fundamentales del carbón activado para su uso en la obtención de au son las siguientes:

- Distribución del tamaño de partículas
- Tasa de obtención, capacidad de adsorción
- Obstinación mecánica y firmeza al desgaste
- Propiedades de reactivación.

La elección del carbono se ve influenciada no solo por las características técnicas, sino también por el precio, la disponibilidad en el mercado y el apoyo del proveedor, sin embargo, es crucial considerar los componentes que conforman estas características antes de evaluarlas, en particular la composición de la materia prima y los métodos empleados para producirla y activarla (Uceda, 2020, p. 323).

e. Fabricación y Activación.

Si se trata adecuadamente, se puede usar prácticamente cualquier material carbonáceo para producir carbón activado. Los materiales más utilizados comúnmente son: “El carbón se puede encontrar en la madera, la turba, la cáscara de coco, el carbón bituminoso, la antracita y las pepitas de fruta, la estructura física del producto, es decir, el volumen de poros y la distribución del tamaño de partícula, se ve significativamente influenciada por el tipo de material de origen, por ejemplo, la cáscara de coco y el carbón vegetal se utilizan habitualmente para la adsorción en fase gaseosa y la recuperación de oro, mientras que la madera se utiliza como material de origen para la

decoloración del carbón, en la década de 1980, se fabricaba algo de carbón activado al extruir materiales en polvo a base de turba o carbón aglomerados para producir gránulos de tamaño similar” (Uceda, 2020, p. 324).

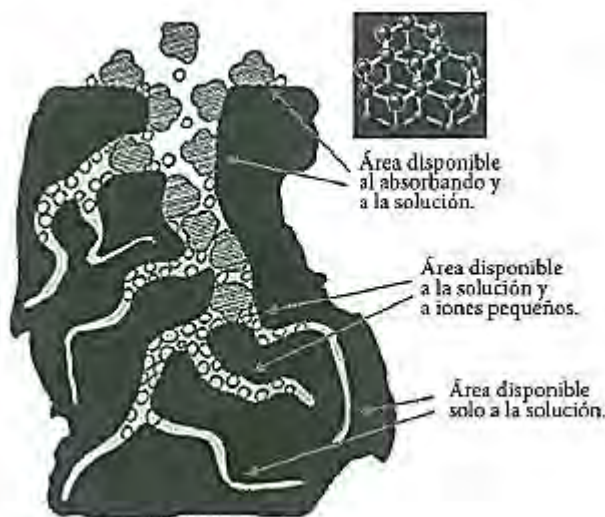
El carbón se activa al eliminar el hidrógeno, o fracciones ricas en hidrógeno, de una materia prima carbonosa para generar un sobrante poroso abierto. Este procedimiento se llama aceleración y generalmente se logra en dos etapas (Uceda, 2020, p. 324).

- La primera etapa, denominada carbonización, consiste en calentar el material de partida a temperaturas cercanas a los 500 °C en aspecto de agentes deshidratantes, durante este procedimiento, una cantidad significativa de corrupciones se conserva como un subproducto similar al alquitrán dentro de la matriz sólida o se depura en manera gaseosa, como “monóxido de carbono, dióxido de carbono o ácido acético”, como resultado, los átomos de carbono se reensamblan en estructuras cristalográficas tras su liberación parcial. Esto resulta en el desarrollo de un producto con un área de superficie específica entre 10 y 500 m²/g (y algunas veces tan alto como 1,000 m²/g), la mayoría de los cuales se debe a la formación de poros microscópicos (Uceda, 2020, p. 324).
- El material carbonizado se trata en la segunda fase a temperaturas de entre 700 y 1000 °C en un ambiente oxidante, como vapor, CO₂ o aire, esta etapa fomenta el desarrollo de la red porosa interna, eliminando cualquier material similar al alquitrán restante, la reacción provoca la erosión parcial o total de la matriz de carbono, lo que expone las superficies de las estructuras cristalinas de carbono creadas durante la etapa de carbonización y agranda los agujeros ya existentes. Las partículas de carbono en los bordes y esquinas de los cristales elementales, y en los defectos o discontinuidades, son especialmente reactivos debido a sus valencias insaturadas y se denominan sitios activos. Se cree que la reacción

del vapor con el carbón implica en primer lugar la adsorción del vapor de agua sobre la superficie del carbón, seguido de la evolución del hidrógeno y el monóxido de carbono (Uceda, 2020, p. 325).

Figura 7

Formación de microporos del carbón activado



Nota. La figura muestra la estructura interna del carbón activado. Obtenido de (Uceda, 2020, p, 325).

La etapa crucial en el procesamiento del carbón es la activación, que expande significativamente la porosidad del material y crea una estructura altamente porosa con una gran área superficial que puede ayudar en el proceso de desorción (Uceda, 2020, p. 325).

- **Activación Física:** Esta se lleva a cabo en dos etapas:
 - En primer lugar, un proceso de gasificación regulado de la materia prima carboniza el material precursor (Uceda, 2020, p. 325).
 - El siguiente paso consiste en tratar el material carbonizado a temperaturas entre 700 y 1.000 °C en un medio oxidante, como CO₂ o vapor acuoso, lo que aumenta su superficie específica (Uceda, 2020, p. 325).

- **Activación Química:**

La materia prima se trata primero con un componente activador químico, como ácido sulfúrico, cloruro de zinc o ácido fosfórico, y luego se aviva el nivel térmico de entre 500 y 900 °C en un ambiente sin oxígeno. Este proceso se completa en un solo paso, para eliminar cualquier resto de activador, el carbón generado se limpia cuidadosamente después del tratamiento térmico (Uceda, 2020).

- **Reactivación del Carbón Activado:**

Dado que aumenta inmediatamente la productividad del proceso, este factor es esencial para el funcionamiento eficaz de las instalaciones CIP, CIC o CIL (Uceda, 2020, p. 326). El carbón activado puede adsorber diversas moléculas, como compuestos orgánicos, carbonatos, hidróxidos y diversos metales.

- **Reactivación Térmica:** “Al devolver el material a una condición extremadamente similar a la del carbón fresco, este proceso se considera uno de los métodos más exitosos para la regeneración de carbón, este procedimiento elimina los contaminantes acumulados y restaura la estructura porosa y la capacidad de adsorción con mínima degradación estructural” (Uceda, 2020, p. 326).
- **Lavado Químico:** “Este método disuelve principalmente los carbonatos y/o sulfatos de calcio retenidos en la estructura porosa mediante lixiviación ácida con una solución de HCl al 3% a 90 °C, sin embargo, la capacidad de adsorción del carbón solo se recupera parcialmente con este tratamiento” (Uceda, 2020, p. 326).

2.2.6. Diseño experimental

“El diseño experimental estadístico consiste en organizar de manera sistemática un experimento con la finalidad de obtener datos suficientes y confiables, susceptibles de ser analizados mediante métodos estadísticos. Este procedimiento permite formular conclusiones objetivas y válidas. Cuando el error experimental influye en los datos, resulta necesario aplicar principios estadísticos al diseño del experimento para interpretar adecuadamente los resultados. Las técnicas estadísticas son el único análisis objetivo disponible en estas situaciones, por consiguiente, toda investigación experimental consta de dos elementos esenciales: la estructura del experimento y el análisis estadístico de los datos, dado que las técnicas analíticas elegidas dependen del diseño experimental utilizado, estos elementos están intrínsecamente vinculados” (Montgomery, 2021).

2.2.6.1. Diseño experimental en la investigación metalúrgica

“La aplicación de diseños experimentales en metalurgia también favorece la toma de decisiones basada en evidencia cuantitativa, ya que permite evaluar hipótesis de trabajo, validar teorías cinéticas y termodinámicas, reducir el consumo de reactivos, mejorar la eficiencia global del proceso, disminuir la variabilidad operacional y aportar criterios para la escalabilidad industrial. En este sentido, herramientas como el diseño factorial, el diseño central compuesto y la metodología de superficie de respuesta han sido ampliamente utilizadas en la optimización de procesos hidrometalúrgicos, flotación, pirometalurgia y refinación, debido a su capacidad para modelar sistemas complejos con presencia de curvatura e interacciones” (Myers, Montgomery & Anderson-Cook, 2016).

2.2.6.2. Etapas en el diseño de experimentos

De acuerdo con Gutiérrez Pulido y De la Vara (2012), el diseño de experimentos comprende las etapas de:

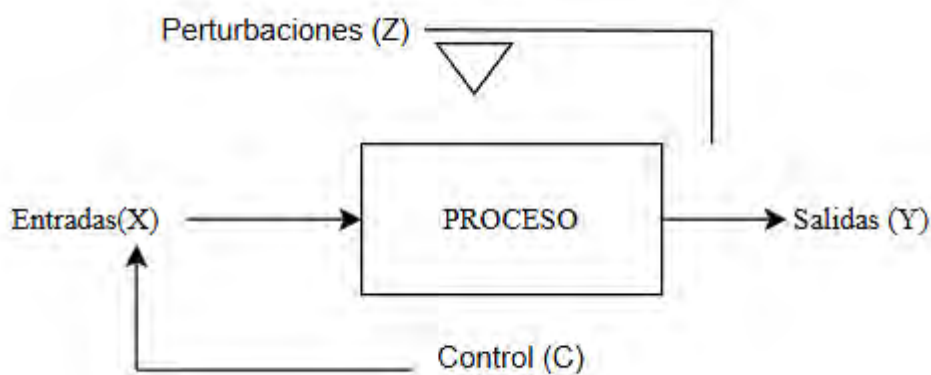
- Definir el problema.
- Elegir elementos y niveles.
- Elegir un diseño.
- Ejecutar a cabo el ensayo.
- Analizar los hallazgos y liquidaciones.

2.2.6.3. Variables en un proceso y su clasificación

“Un proceso o sistema está gobernado por un conjunto de variables que intervienen en la transformación de entradas en salidas. Estas variables pueden ser manipuladas, medidas, perturbadas, controladas o pueden actuar como ruido” (Gutiérrez Pulido y De la Vara, 2012).

Figura 8

Diagrama completado con perturbaciones y control



Nota. La imagen señala el diagrama del modelo general de un procedimiento o sistema. Obtenido de (Gutiérrez Pulido y De la Vara, 2012).

En términos generales:

$$Y = f(X, Z, C) + \epsilon \quad (13)$$

donde:

- X: variables de entrada (controlables).

- Z: perturbaciones / ruido (no controlables).
- C: variables de control / ajuste.
- Y: variables de salida (respuesta).
- ε : error / variabilidad residual.

En DOE, las variables se dividen en:

- Variables controlables.
- Variables no controlables.
- Variables de respuesta.

Adicionalmente:

- Variables cuantitativas.
- Variables cualitativas.

2.2.6.4. Principios básicos en la experimentación

En diseño de experimentos, la experimentación se rige por tres principios fundamentales:

- **Aleatorización:** Consiste en conceder de forma aleatoria el orden de realización de las corridas experimentales para disminuir el impacto de fuentes no controladas de variabilidad y evitar perjuicios sistemáticos.
- **Replicación:** Implica repetir corridas experimentales para estimar de manera más precisa la variabilidad inherente del proceso, permitiendo calcular el error experimental y mejorar la inferencia estadística.
- **Bloqueo:** Consiste en agrupar corridas bajo condiciones similares para reducir la variabilidad atribuible a factores no controlables, aislando el efecto de los factores de interés.

Montgomery (2017), define estos principios como esenciales para la validez del experimento y la estimación del error puro.

2.2.6.5. Diseños experimentales de segundo orden

“Los diseños experimentales de segundo orden son diseños estadísticos que permiten ajustar modelos cuadráticos para describir la relación entre factores de entrada y una variable de respuesta. Estos diseños se utilizan cuando el proceso presenta curvatura, lo que impide que los modelos lineales de primer orden sean adecuados. Su principal finalidad es modelar y optimizar procesos mediante la estimación de términos lineales, cuadráticos e interacción entre factores” (Montgomery, 2017).

“Se utiliza o amplía un diseño experimental de segundo orden para caracterizar mejor la forma de la superficie y capturar su curvatura cuando esta es evidente o cuando un hiperplano es insuficiente para representar la superficie de respuesta, posteriormente, se determinan las condiciones operativas ideales del proceso utilizando el modelo mejorado” (Gutiérrez Pulido y De la Vara, 2012).

Dado que permite la estimación de un modelo cuadrático completo, se cree que el diseño compuesto central es el método más popular y ampliamente utilizado dentro del sistemática de superficie de respuesta (RSM).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (14)$$

donde:

- X_i =factores.
- β_i = efectos lineales.
- β_{ii} = efectos cuadráticos.

- β_{ij} = interacción.
- ε = error.

Este modelo se utiliza para:

- Construir **superficies de respuesta 3D**.
- Construir **diagramas de contorno**.
- Localizar **puntos estacionarios**.
- Realizar **optimización operacional**.

2.2.6.6. Diseño Central Compuesto (CCD / DCC)

“Es un diseño muy eficiente para ajustar el modelo de segundo orden. El Diseño Central Compuesto (Central Composite Design, CCD) es uno de los diseños experimentales más ejecutados para el ajuste de modelos cuadráticos dentro de la Metodología de Superficie de Respuesta (Response Surface Methodology, RSM). Este diseño permite modelar procesos que presentan curvatura, estimar efectos lineales, cuadráticos e interacción, y localizar regiones óptimas dentro del dominio experimental” (Myers, Montgomery & Anderson-Cook, 2016; Montgomery, 2017).

2.2.6.7. Componentes del Diseño Central Compuesto

“El CCD surge como una extensión del diseño factorial tradicional, al cual se le adicionan puntos **axiales** y **centrales**, obteniéndose un diseño que equilibra eficiencia experimental con capacidad predictiva. Los puntos factoriales permiten estimar efectos lineales e interacción, los puntos axiales permiten capturar curvatura y los puntos centrales aportan estimación del **error puro**, elemento fundamental para la validación del modelo mediante ANOVA” (Montgomery, 2017).

El DCC generalmente consta de una factorial 2^k con n_c ejecuciones, ejecuciones centrales y $2k$ ejecuciones axiales o en estrella. El DCC para los factores $k = 2$ y $k = 3$ se muestra en la figura.

$$N = 2^k + 2k + n_c \quad (15)$$

donde:

- 2^k = puntos factoriales,
- $2k$ = puntos axiales,
- n_c = puntos centrales,
- k = número de factores.

2.2.6.8. Propiedades del Diseño Central Compuesto (CCD)

Posee varias propiedades que justifican su amplio uso:

- **Eficiencia experimental:** permite ajustar modelos cuadráticos con bajo número de corridas.
- **Rotabilidad:** condición que favorece uniformidad en la varianza de predicción.
- **Ortogonalidad:** mejora la estimación independiente de los coeficientes.
- **Flexibilidad:** aplicable a procesos industriales con múltiples factores.
- **Capacidad de optimización:** localiza óptimos internos del dominio experimental.

Myers et al. (2016) destacan que el CCD es uno de los diseños más convenientes para procesos donde se requiere simultáneamente modelamiento y optimización.

2.2.7. Definición de términos básicos

- **Adsorción:** “Describe cómo una capa molecular muy delgada, ya sea líquida o gaseosa, se adhiere a la superficie de un sólido cuando entra en contacto con él” (Báez, 2011).

- **Alcohol metílico:** Es usado para fabricar diversos productos como plaguicidas, limpiaparabrisas, diluyente de pintura, aditivo de combustible y otras sustancias (Instituto Nacional del Cáncer de los Estados Unidos, 2023).
- **Carbón activado:** “Se refiere a cualquier recurso carbonoso que ha pasado por procedimientos químicos y/o físicas con el fin de incrementar su superficie mediante la generación de porosidad en su estructura. “(Feijoo et al., 2019).
- **Desorción:** “Es un suceso donde las moléculas adsorbidas dejan la superficie del material que las adsorbe. “(Marketizer, 2004).
- **Lixiviación.** El proceso, que a veces tiene lugar en la superficie de la Tierra y da lugar a la creación de cavidades cerradas, implica la disolución de minerales solubles de las rocas (Coronado, 2018).
- **Optimizar:** Es el proceso de buscar la mejor manera de realizar una actividad en particular (REA, 2023).
- **Proceso:** Describe la serie de fases sucesivas que componen una operación o un hecho natural (Coronado, 2018).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general

La optimización de la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, permite incrementar la eficiencia de extracción de oro por encima del 90 % a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho, manteniendo constante el tiempo operativo de 24 horas.

3.2. Hipótesis específica

- Una velocidad de flujo eluyente cercana a 4 m³/h permite obtener una extracción de oro superior al 90 % en el proceso de desorción a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho, manteniendo constante el tiempo operativo de 24 horas.
- Una dosificación de alcohol etílico industrial cercana al 20 %, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, permite obtener una extracción de oro superior al 90 % en el proceso de desorción a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho, manteniendo constante el tiempo operativo de 24 horas.

3.3. Variables e Indicadores

3.3.1. Variable dependiente

- Porcentaje de extracción del oro

3.3.2. Variables independientes

- Velocidad de flujo de la solución eluyente
- Dosificación del alcohol etílico industrial

Tabla 3
Variables independientes y sus niveles

Variables independientes	Nivel de variables		Unidades
	Nivel bajo (+)	Nivel alto (-)	
Velocidad de flujo eluyente	2.5	6.5	m ³ /h
Dosificación de alcohol	5	25	%

Nota. la tabla muestra las variables independientes, niveles y unidades de medición. Elaboración propia

3.4. Operacionalización de Variables

La tabla 4, describe la operacionalización de variables correspondiente a la investigación de desorción de oro, con el objetivo de precisar su definición conceptual y facilitar su comprensión y medición. En este contexto, se han identificado dos variables independientes fundamentales: la velocidad de flujo de la solución eluyente y el porcentaje óptimo de alcohol étlico industrial, así como una variable dependiente clave: la extracción de oro. La velocidad de flujo de la solución eluyente se entiende como la cantidad de solución aplicada sobre el lecho de carbón activado por unidad de tiempo, parámetro que influye directamente en la eficacia de la transferencia de masa durante la desorción. La dosificación de alcohol étlico industrial hace referencia al volumen de etanol incorporado respecto al volumen base de solución eluyente, empleado como agente facilitador en la liberación del oro desde el carbón activado cargado. Finalmente, la extracción de oro se define como la recuperación máxima posible del metal contenido en el carbón activado cargado, utilizando el menor volumen de solución desorbente posible. La sistematización de estas variables, con sus respectivas definiciones conceptuales, constituye una base metodológica esencial para garantizar que la recolección y análisis de datos se realicen de manera precisa y coherente, permitiendo evaluar con rigurosidad la influencia de las condiciones operativas en el rendimiento global del proceso de desorción (Coronado M. D. F., 2018).

Tabla 4
Operacionalización de Variables

Variables		Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Dimensión	Unidad	Instrumento
INDEPENDIENTES	Velocidad de flujo de la solución eluyente	Es la rapidez con la que circula la solución desorbente a través del carbón activado durante la elución, y determina la eficiencia con que el oro es transferido desde el carbón hacia la solución. (Marsden, J., & House, I. 2006).	Se mide como el caudal volumétrico que atraviesa la columna o sistema de desorción, expresado en m³/h o L/min , utilizando un flujómetro instalado en el circuito del eluyente. Su valor se controla mediante la bomba de recirculación y se registra en el panel del sistema de desorción para evaluar su influencia en la eficiencia de la elución.	Caudal real del eluyente	Caudal instantáneo / Caudal volumétrico	m³/h (o L/min)	Flujómetro, cronómetro (control).
	Dosificación del alcohol etílico industrial	Es la cantidad específica de etanol añadida a la solución eluyente para mejorar la eficiencia de la desorción del oro, ya que reduce la tensión superficial del sistema y favorece la liberación del metal desde el carbón activado. (Fleming, C., 1992).	La dosificación de alcohol etílico industrial se mide como el porcentaje de alcohol agregado respecto al volumen base de solución eluyente preparado antes de la adición del alcohol. Se calculará mediante la relación entre el volumen de alcohol incorporado y el volumen base de solución eluyente, multiplicado por 100. Esta precisión permite mantener correspondencia con los niveles experimentales del Diseño Central Compuesto.	Dosificación de alcohol respecto al volumen base de solución eluyente (%)	Concentración en el eluyente / relación voluminosa	% respect o al volumen base	Recipientes/probeta para dosificación, calculo volumétrico directo.
DEPENDIENTES	Porcentaje de extracción de oro	El porcentaje de extracción de oro es el valor que expresa, en términos porcentuales, la cantidad de oro recuperado desde el mineral o el carbón activado respecto del total de oro contenido originalmente en el material procesado (Habashi, F., 1999).	El porcentaje de extracción de oro, operacionalmente, se calcula comparando la concentración inicial de oro en el carbón activado con la concentración final después de la desorción, mediante análisis químico (ensayo al fuego o espectrometría), utilizando la fórmula: $\% \text{ de extracción} = \left(\frac{Au_{inicial} - Au_{final}}{Au_{inicial}} \right) \times 100$	% extracción de Au	Eficiencia metalúrgica	%	Balanza analítica para pesajes; registros metalúrgicos de electrodeposición

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Ámbito de estudio: Localización Política y Geográfica

La investigación se desarrolló en el circuito de desorción de la planta de beneficio DATTELI 6, perteneciente a la Minera FIDAMI S.A., ubicada en el distrito de Sancos, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. Los centros poblados cercanos al área de estudio son Nueva Jerusalén, Santa Ana, Santa Filomena y Tres Mil.

La planta de beneficio se localiza aproximadamente en las coordenadas geográficas $15^{\circ} 21' 40''$ de latitud sur y $74^{\circ} 16' 29.3''$ de longitud oeste, equivalentes a 577 832.30 m Este y 8 301 603.70 m Norte en el sistema UTM WGS 84, zona 18 S. Asimismo, se encuentra a una altitud aproximada de 2 450 m s. n. m.

Figura 9

Planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A.



Nota. Imagen satelital referencial de la planta de beneficio DATTELI 6, donde se encuentra el circuito de desorción empleado en la investigación. Adaptado de Google Earth (2024)

La investigación se desarrolló específicamente en el circuito de desorción de la planta de beneficio DATTELI 6, perteneciente a la Minera FIDAMI S.A., ubicada en el distrito de Sancos, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. La planta se localiza en las coordenadas

geográficas 15° 21' 40" de latitud sur y 74° 16' 29.3" de longitud oeste, equivalentes a -15.3610993 y -74.27481432 en coordenadas decimales, respectivamente, y se encuentra a una altitud aproximada de 2 450 m s. n. m.

4.2. Rutas de Acceso vía terrestre

La tabla 5, presenta las principales vías de acceso terrestre y las distancias entre puntos clave relacionados con las operaciones, indicando tanto los kilómetros a recorrer como el tiempo estimado de viaje. Se incluyen rutas de conexión desde Lima, Arequipa y Ayacucho hacia Yauca, así como los tramos internos entre Yauca, las oficinas administrativas y las áreas de actividad minera.

Tabla 5
Vías de acceso terrestre y distancias

N°	Ruta	Distancia (km)	Tiempo
1	Lima – Yauca	569.2	7-8 horas.
2	Ayacucho – Yauca	486	10-11 horas
3	Arequipa – Yauca	442	7-8 horas
4	Yauca – Oficinas Administrativas	38.5	1 h 30min
5	Oficinas Adm. – Actividad de Beneficio	2.8	15 min
6	Oficinas Adm. – Actividad de Explotación	3.8	25 min

Nota. En la tabla se muestra el acceso para llegar a la actividad de explotación y beneficio de la Minera FIDAMI S.A. Elaboración propia

Las distancias van desde recorridos largos, como Lima–Yauca (569.2 km en 8 h 20 min), hasta trayectos cortos dentro de las instalaciones, como de las oficinas administrativas a la actividad de beneficio (2.8 km en 15 min), evidenciando la accesibilidad y tiempos de desplazamiento.

4.3. Hidrología

Los principales ríos de la región son los afluentes Yauca y Acarí. El río Acarí, que surge en Puquio y con una distancia de 32 km en esta región, pero con escaso flujo de agua. (Olchauski, 1980).

La laguna Ancascocha del distrito de Chaviña es el lugar donde nace el río Yauca. Los ríos Puchcoyaco, Huilcane, Pará, Sancos y Pararmayo se encuentran entre sus afluentes, que abastecen de agua a su margen derecha, mientras que los ríos Tastamayo, Acros, Tampa y Acaville lo hacen a su izquierda. El río Acaville, que nace en las montañas de Malco, solo transporta agua durante la temporada de lluvias. (Olchauski, 1980). La planta beneficio se ubica en la cuenca hidrográfica detallada en la siguiente tabla:

Tabla 6

Ubicación de la cuenca hidrográfica del proyecto

Región Hidrográfica	Cuenca Hidrográfica	Subcuenca Hidrográfica
Pacifico	Cuenca	Acaville

Nota. En la tabla se muestra la clasificación hidrográfica empleada para la caracterización del área de estudio. Elaboración propia.

4.4. Clima y Vegetación

El clima de la región se distingue por ser seco y cálido, con ligeras variaciones durante el periodo invernal correspondiente a julio a septiembre, marcado por la disminución de la temperatura y la existencia de una intensa neblina; también se puede definir como un clima de zona baja, caracterizado por nubes provenientes del mar con un índice de agua negativo y por las precipitaciones limitadas, que no cumplen con cumplir con las necesidades. agrícolas; además esta zona generalmente presenta temperaturas elevadas en periodos normales superiores a los 21 °C (SENAMHI, 2023).

4.5. Caracterización geológica y mineralógica del yacimiento

La Minera FIDAMI S.A. explota un yacimiento aurífero de tipo filoniano, caracterizado por vetas de comportamiento lenticular en sentido vertical y horizontal. Las estructuras mineralizadas presentan clavos de mineral con extensiones aproximadas de 20 a 30 m en sentido horizontal y de 200 a 300 m en sentido vertical. Las potencias de veta varían entre 0.10 y 0.15 m en la veta Ana y entre 0.10 y 0.20 m en las zonas inferiores de las vetas Mónica y Perica (Minera FIDAMI S.A., 2024).

Geológicamente, el yacimiento se encuentra asociado principalmente a rocas intrusivas de composición granodiorítica, con variaciones locales de cuarzomonzonita y tonalita. Alrededor de las estructuras mineralizadas predomina la alteración propilítica, mientras que en sectores internos se presentan pequeños halos de alteración argílica con espesores aproximados de 0.10 a 0.15 m (Minera FIDAMI S.A., 2024).

La mineralización está constituida principalmente por cuarzo y pirita asociada a contenidos de oro, además de zonas con presencia de óxidos, cuarzo y calcita. Estas características permiten identificar un mineral aurífero asociado a estructuras vetiformes, cuyo tratamiento metalúrgico incluye procesos de cianuración, adsorción en carbón activado y posterior desorción del oro (Minera FIDAMI S.A., 2024).

4.6. Tipo de Investigación

4.6.1. Investigación aplicada

La presente investigación fue de tipo aplicada, debido a que estuvo orientada a resolver un problema operativo concreto relacionado con la eficiencia del proceso de desorción de oro en la Minera FIDAMI S.A. El propósito del estudio fue establecer condiciones operativas óptimas que puedan ser aplicadas directamente en el circuito de desorción, mediante el control de la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial.

Asimismo, la investigación tuvo un nivel explicativo, porque buscó determinar el efecto que producen las variables independientes sobre la variable dependiente. En ese sentido, se analizó cómo la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial influyen en el porcentaje de extracción de oro a partir del carbón activado cargado.

4.7. Diseño de la Investigación

4.7.1. Experimental

El diseño de la investigación fue experimental, debido a que se manipularon deliberadamente dos variables independientes: la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, con la finalidad de evaluar su efecto sobre el porcentaje de extracción de oro. De manera específica, se aplicó un Diseño Central Compuesto (DCC), propio de la metodología de superficie de respuesta, el cual permitió estimar efectos lineales, efectos cuadráticos e interacción entre los factores estudiados. Este diseño permitió construir un modelo estadístico de segundo orden y determinar la combinación óptima de operación para maximizar la eficiencia de extracción de oro en el proceso de desorción.

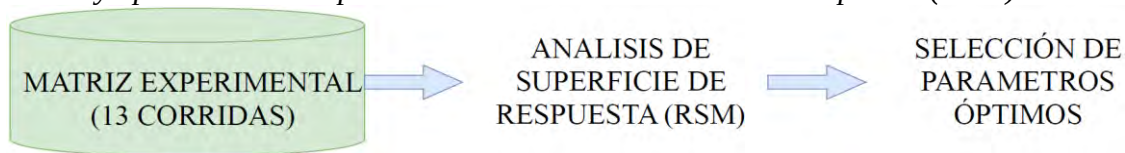
4.8. Metodología aplicada en la investigación

La presente investigación empleó un Diseño Central Compuesto (DCC) conformado por trece corridas experimentales, dentro de la metodología de superficie de respuesta (RSM), con el propósito de ajustar un modelo cuadrático y determinar los parámetros óptimos del proceso de desorción de oro. Los datos experimentales fueron procesados mediante el software Minitab 21, aplicando regresión de superficie de respuesta, análisis de varianza (ANOVA) y optimización de respuesta. Este procedimiento permitió evaluar el efecto de las variables independientes, representadas por la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico

industrial, sobre la variable dependiente, correspondiente al porcentaje de extracción de oro. Ver Figura 10.

Figura 10

Modelado y optimización del proceso mediante Diseño Central Compuesto (DCC)



Nota. Esta figura muestra la secuencia metodológica empleada para la optimización de proceso de desorción. Elaboración propia

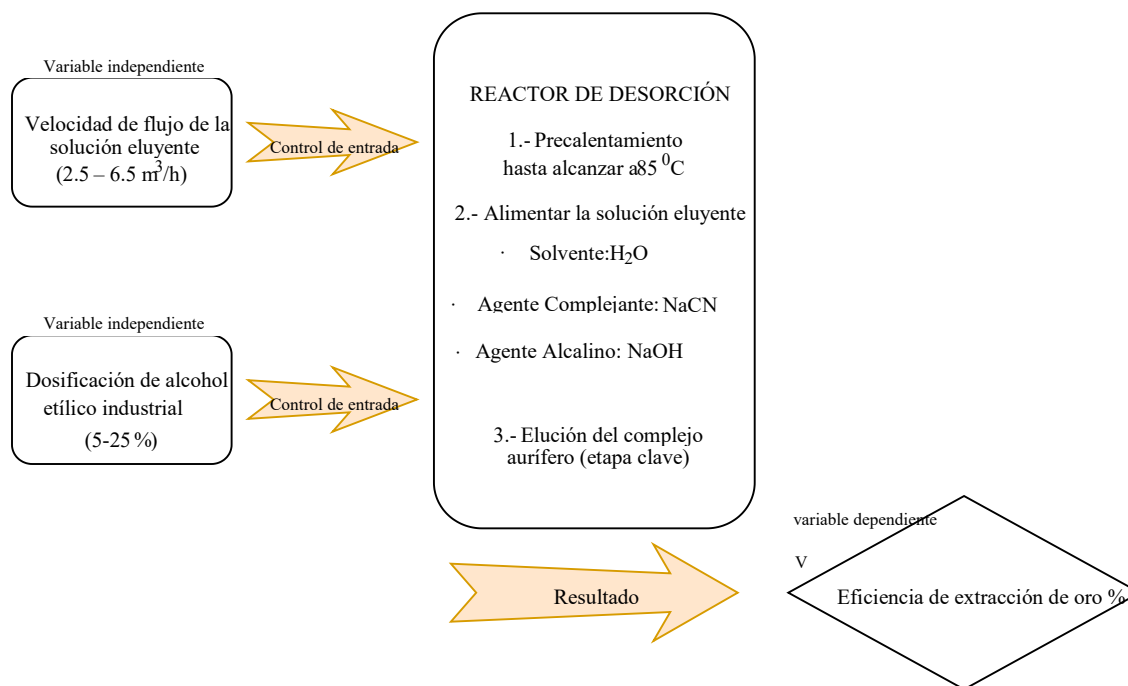
La Figura 11 muestra el proceso de desorción de oro mediante la técnica de reextracción con alcohol etílico, en el cual se identifican las variables independientes, el sistema de operación y la variable dependiente. La velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial constituyen las variables independientes, las cuales son controladas durante el ingreso y recirculación de la solución en el reactor de desorción.

El proceso se inicia con el precalentamiento de la solución eluyente hasta alcanzar una temperatura aproximada de 85 °C. Posteriormente, se alimenta la solución compuesta por agua, cianuro de sodio, hidróxido de sodio y alcohol etílico industrial, permitiendo la elución del complejo aurífero desde el carbón activado cargado hacia la fase líquida. Esta etapa constituye el núcleo operativo del proceso de desorción.

El desempeño del proceso se evalúa mediante la variable dependiente, representada por la eficiencia de extracción de oro (%), calculada a partir del balance metalúrgico de cada corrida experimental.

Figura 11

Esquema de variables y etapas del proceso de desorción de oro (reextracción con alcohol) aplicada en la presente investigación



Nota. Esta figura muestra como las variables independientes controlan el reactor de desorción y determinan la eficiencia de extracción de oro como variable dependiente. Elaboración propia

4.9. Población y Muestra

4.9.1. Población

La población objeto de estudio fue constituida por los carbones activados cargados de la planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A., lo cual comprendió un total de 13 campañas correspondientes al periodo setiembre – noviembre del 2024.

4.9.2. Muestra

La muestra recolectada fue de 1 TMH de carbón activado cargado de la planta de beneficio DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A., el cual fue preparada y procesada en la planta de desorción en mención bajo las condiciones del experimento.

4.9.3. Selección de muestra

La selección de la muestra se realizó de manera **no probabilístico por juicio o criterio técnico**.

Se seleccionan las unidades experimentales y submuestras del carbón activado cargado según criterios técnicos, considerando la heterogeneidad del material, la accesibilidad dentro del lote y la representatividad de zonas con distinta carga metálica. No todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos; la selección se basa en la experiencia del personal técnico y en la necesidad de obtener porciones representativas de las toneladas de carbón disponibles.

4.10. Técnica de Recolección de Datos

Para alcanzar los objetivos planteados, fue necesario la aplicación de diversas técnicas de recolección de datos, tales como:

- **Muestreo:** Los trabajos de muestreo se realizaron en el área de cosecha de carbón, de un tamaño de 1TMH, y estas se sometieron al proceso de desorción.
- **Pruebas experimentales:** Se realizaron pruebas en la planta de desorción bajo diferentes combinaciones de las variables de estudio, como la velocidad de flujo y dosificación de alcohol etílico industrial.
- **Observación directa:** Las variables operativas fueron monitoreadas de forma continua en cada ensayo experimental para confirmar la estabilidad del proceso y el cumplimiento de los niveles establecidos.
- **Medición instrumental directa:** Las variables del proceso fueron registradas mediante instrumentos calibrados, tales como flujómetro electromagnético, termocupla y pH-metro, asegurando la precisión y confiabilidad de los datos recolectados.

- **Experimentación controlada:** Se aplicó un Diseño Central Compuesto de trece corridas experimentales para evaluar la influencia de la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial en el porcentaje de extracción de oro, bajo condiciones controladas de operación en planta.
- **Registro documental:** Los resultados experimentales fueron consignados en hojas de registro y formatos operativos elaborados para el estudio, permitiendo una adecuada organización y trazabilidad de la información necesaria para el análisis estadístico posterior.
- **Balance metalúrgico:** El balance metalúrgico se efectuó con el objetivo de determinar la distribución del oro en las distintas corrientes del proceso durante cada corrida experimental. Para su desarrollo, se consideraron la velocidad de flujo de alimentación, alcohol, ley de cabeza y remanentes de carbón del sistema y las concentraciones de oro en la solución barren. A partir de estos datos, se calculó el porcentaje de extracción de oro, lo que permitió evaluar la eficiencia del proceso bajo condiciones de operación controladas en planta de desorción.

4.11. Equipos, materiales, instrumentos de medición y reactivos requeridos

4.11.1. Equipos requeridos (circuito de desorción)

Reactor o columna de desorción: Es el componente central del circuito de elución con volumen total de 2 m^3 , y capacidad de 1000 kg de carbón, está fabricado de acero inoxidable en calidad AISI 316L.

- Componentes internos: Distribuidores de flujo (boquillas tipo Johnson) y soportes de lecho

- Componentes externos: Línea de entrada de solución stripping de Θ 1", línea de descarga de carbón desorvido de Θ 6", Manhole para alimentación de carbón activado cargado de Θ 11".

Tanque strip: Es un tanque horizontal cilíndrico con fillet de Θ 1.0 m x 1.50 m, con una capacidad de 1.17 m³, en donde se adicionan las concentraciones de NaCN, NaOH y C₂H₅OH, además tiene como función almacenar la solución barren,

Caldero pirotubular: Es un intercambiador de calor, que cuenta con 12 tubos internos de Θ 2" y un cuerpo de Θ 0.60 m x 1.50 m de altura en donde el calor se transfiere de los tubos por donde viajan los gases calientes hacia el cuerpo que contiene la solución eluyente

- Componente: Quemador de petróleo de 20 BHP, que cuenta con su tablero controlador de temperatura y un sensor de temperatura (termocupla tipo K).

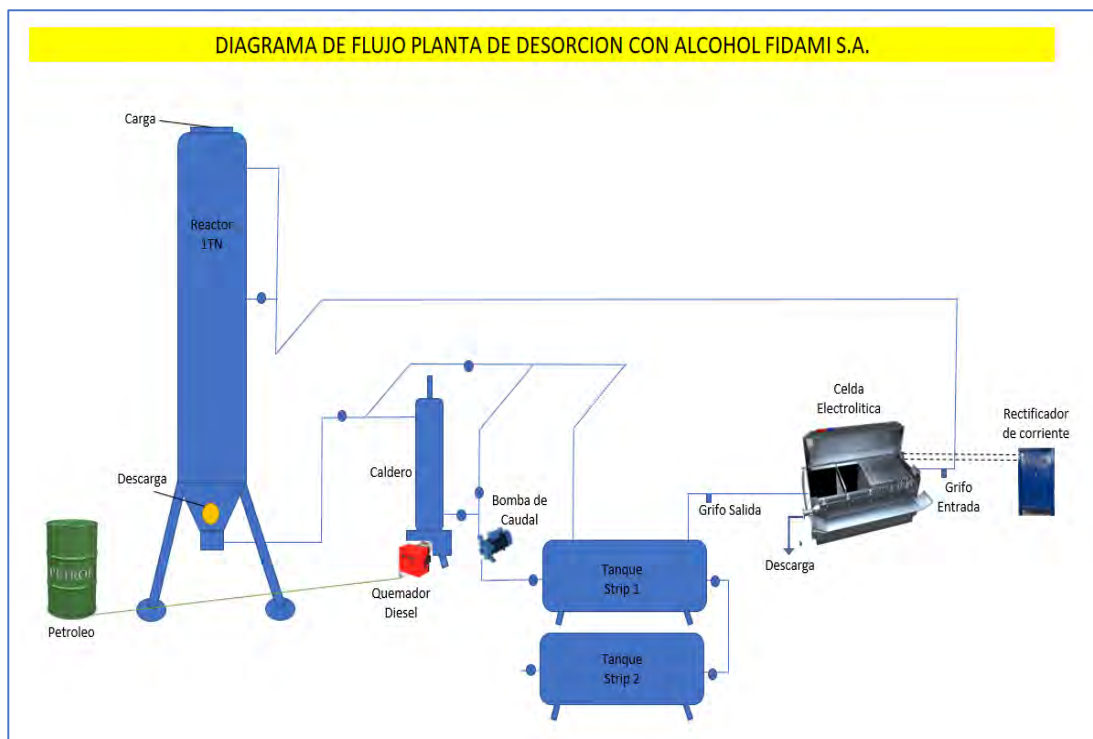
Bomba centrifuga: Fabricado en acero inoxidable, resistente a soluciones alcalinas y alcohol, y tiene como propósito mantener el flujo constante de la solución eluyente.

Celda electrolítica: Equipo construido en material polipropileno, de forma rectangular con un fondo en "V" de una capacidad de 450 L.

- Componentes: Flujómetro electromagnético que mide la cantidad de solución eluyente en m³/h y es clave para controlar el tiempo de residencia de la fusión pregnant en la celda.

Rectificador de corriente: Dispositivo de 500 A que transforma la "corriente alterna (AC) en corriente continua (DC)" el cual cuenta con 03 display que da lectura al voltaje de entrada, amperaje y voltaje de trabajo.

Figura 12
Diagrama de flujo



Nota. Esta figura muestra un esquema de flujo del procedimiento de desorción en la Minera FIDAMI S.A., planta de beneficio DATTELI 6. Elaboración propia

4.11.2. Materiales

- Balanza digital.
- Muestra de carbón activado cargado.
- Muestra de solución eluyente.
- Recipientes tipo SERAPHIN de acero inoxidable.
- Recipientes de polietileno debidamente rotulados.
- Bolsas plásticas rotulados.
- Muestra de carbón desorvido.
- Equipos de protección personal.
- Otros.

4.11.3. Instrumentos de medición y control

- **Flujómetro electromagnético:** Para medir el caudal real de la solución eluyente a fin garantizar que la operación del sistema de recirculación sea estable.
- **Termocupla (tipo K):** Para medir constantemente la temperatura de la solución eluyente con el efecto de prevenir las variaciones térmicas que afecta a la cinética de desorción.
- **pH-metro (papel PANPEHA):** Para verificar que la solución eluyente se mantenga en niveles de alcalinidad adecuada (pH=13).

4.11.4. Instrumentos de análisis químico

Método de ensayo al fuego: Mediante esta técnica se procedió a la extracción de alícuotas representativas para el análisis de la solución pregnant y barren, además se determinó el contenido de Au residual en el carbón activado cargado antes y después del procedimiento de desorción, cuyos modelos de carbón se analizaron en el laboratorio química metalúrgica de la minera FIDAMI S.A., estos resultados fueron cruciales para evaluar la eficiencia de extracción de Au en las 13 corridas empíricas.

4.11.5. Reactivos

- Cianuro de sodio (NaCN), con una pureza de 98%
- Soda caustica (NaOH), con una pureza de 98.5%
- Alcohol etílico industrial (C₂H₅OH), con una concentración 96%

4.12. Técnicas de procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se consideró oportuno la utilización de herramientas estadísticas, en donde los datos experimentales fueron registrados, organizados y tabulados de manera sistemática en matrices de datos, luego los datos fueron ingresados al software MINITAB

21, para análisis de regresión de superficie respuesta, análisis de varianza (ANOVA), culminando mediante la optimización de respuesta.

4.13. Validez y confiabilidad de instrumentos

La validez de las herramientas utilizadas en el proceso de desorción de oro se garantizó mediante su adecuada selección y calibración previa, de acuerdo con los detalles técnicos del fabricante y procedimientos estandarizados. El flujómetro electromagnético, fue calibrado para asegurar mediciones precisas de la rapidez de composición de la solución eluyente así mismo para la dosificación de alcohol, se utilizó una técnica denominada medición volumétrica por balance de volúmenes.

La confiabilidad de los instrumentos se aseguró mediante la consistencia y repetibilidad de las mediciones durante las 13 corridas experimentales. La identificación del contexto de au se ejecutó en el laboratorio químico-metalúrgico de la Minera FIDAMI S.A. mediante ensayo al fuego. El informe de resultados de la ley inicial del carbón activado cargado se presenta en el Anexo 10, mientras que el informe de la ley residual del carbón después de la desorción se presenta en el Anexo 11. El balance correspondiente a las trece corridas experimentales se incluye en el Anexo 12.

4.14. Plan de análisis de datos

El método que posibilitó la sistematización y estudio de datos se realizó a través de modelos estadísticos. En el diseño experimental, se utilizó el modelo de diseño central compuesto (CCD). El propósito del experimento era identificar la incidencia de las VI en la VD. Asimismo del método estadístico, se empleó el software Excel y Minitab 21, con el objetivo de corroborar los hallazgos del diseño experimental utilizado y verificar el nivel de efectividad del experimento por medio de la interpretación de las tablas y gráficos adquiridos.

Los datos de las trece corridas del Diseño Central Compuesto fueron analizados mediante un modelo estadístico de segundo orden ajustado por mínimos cuadrados en MINITAB 21, evaluándose la influencia y la interacción de la velocidad de flujo y la dosificación de alcohol etílico industrial sobre la eficiencia de la fracción de extracción de oro. La significancia del modelo se determinó mediante ANOVA ($\alpha < 0.05$) y se emplearon curvas de contorno y superficies de respuesta para identificar las condiciones óptimas y verificar la validez del modelo.

CAPÍTULO V

DESARROLLO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1. Desarrollo del trabajo de investigación

5.1.1. Muestreo representativo

El muestreo de carbón activado se realizó mediante muestreo compuesto utilizando un muestreador de bayoneta, recolectando submuestras del lote, las cuales fueron homogenizadas y reducidas por cuarteo hasta obtener una muestra representativa de peso aproximado de 10 g para análisis de laboratorio.

5.1.2. Preparación de la solución eluyente

Se prepara una solución a base de:

- NaCN: 0.8-1%.
- NaOH: 1-2%.
- Alcohol: 5,8,15 y 25%.

5.1.3. Acondicionamiento del carbón activado cargado

- Carga al reactor de un peso promedio de 1TMH.
- Precalentamiento de la solución barren a la temperatura de 85-90°C.

5.1.4. Inicio del procedimiento de desorción

- Ajuste de la velocidad de flujo de la solución según las corridas experimentales (3,4.5,6 y 6.5 m³/h).
- Dosificación de alcohol etílico industrial según las corridas experimentales (5,8,12.25%).

5.1.5. Proceso de desorción

- Etapa clave de estudio donde inicia el traspaso de complejo aurífero desde del carbón activado cargado hacia la solución eluyente

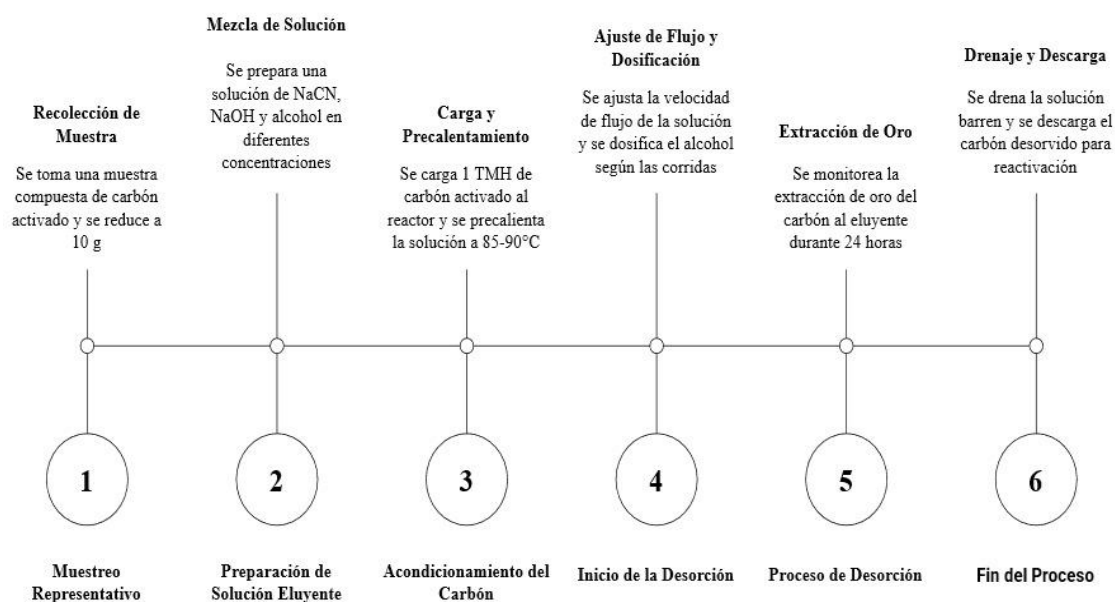
- Verificación de la fracción de extracción en un intervalo de tiempo de 24 horas, para las trece corridas experimentales

5.1.6. Fin del proceso

- Drenaje de la solución barren y descarga del carbón desorvido para su reactivación

Figura 13

Esquema secuencial del procedimiento de desorción de oro (reextracción con alcohol), aplicada en la Minera Fidami S.A.



Nota. La figura señala el flujo metodológico del procedimiento de desorción en la Minera Fidami S.A.

5.2. Pruebas experimentales de desorción:

Las datas presentadas en la tabla 7 corresponden a las características del carbón activado cargado, los cuales fueron fundamentales para la realización de las trece pruebas experimentales de elución, que va desde el lote 1 hasta el lote 13. El conocimiento detallado del peso húmedo, el adjunto de humedad, el peso seco y la ley de oro, utilizado en cada lote de carbón activado cargado permitió establecer las condiciones iniciales necesarias para control del procedimiento de desorción de au y el cálculo de la eficiencia de extracción.

El peso húmedo indica el peso total de cada lote, mientras que el contenido de agua refleja cuánto del peso total corresponde a agua. El peso seco muestra cuánto carbón seco es utilizable en el proceso (base correcta para el balance metalúrgico del procedimiento de desorción), por otro lado, la ley de oro brinda la cantidad de oro teóricamente presente en el carbón seco, estos datos fueron esenciales para analizar la efectividad del procedimiento de desorción y evaluar el rendimiento de cada lote en términos de cantidad de oro que se podría extraer.

Con la ecuación 1 se calcula el total de oro teórico:

$$Total\ de\ Au\ (teorico) = Peso\ seco\ (kg) * ley\ (g/kg * C) \quad (16)$$

Con la ecuación 16 se calcula el total de oro teórico, el cual se detalla en la columna de la tabla 7.

Tabla 7
Características del carbón activado cargado por lote

Características del carbón activado cargado					
Item	Peso Humedo	H2O	Peso Seco	Ley de Au	total de Au
	kg	%	kg	g/kg*C	g
Lote 01	1000	27.46	725.4	3.62	2625.95
Lote 02	1010	28.17	728.3	3.11	2265.01
Lote 03	1000	28.76	712.4	3.48	2479.15
Lote 04	1010	27.98	730.2	3.54	2584.91
Lote 05	1010	27.68	733.2	3.41	2500.21
Lote 06	1020	27.54	744.6	3.17	2360.38
Lote 07	1010	27.06	739.4	3.21	2373.47
Lote 08	1020	27.48	745.2	3.39	2526.23
Lote 09	1010	27.38	736.2	3.45	2539.89
Lote 10	1000	28.47	715.3	3.45	2467.79
Lote 11	1020	29.45	725.5	3.6	2611.80
Lote 12	1000	28.92	710.8	3.45	2452.26
Lote 13	1008	28.45	723.5	3.28	2373.08

Nota. En la tabla se señala que los valores numéricos como la ley de oro y el total de oro están expresados en base a carbón seco. Elaboración propia.

La Tabla 8 presenta la cantidad de alcohol étílico industrial agregado en cada corrida experimental del proceso de desorción. Para la preparación de las soluciones, se consideró un volumen base constante de solución eluyente, sobre el cual se adicionó el volumen de alcohol correspondiente a cada nivel experimental. Por ello, la dosificación de alcohol fue calculada respecto al volumen base de solución eluyente y no respecto al volumen final de la mezcla. Esta precisión permite mantener la coherencia matemática entre los volúmenes de alcohol empleados y los niveles experimentales considerados en el Diseño Central Compuesto. A continuación, se explica cómo contribuyó esta tabla a los resultados:

- **Evaluación de la concentración óptima de alcohol:** Al aumentar la dosificación de alcohol étílico industrial en la solución eluyente se observó una mejora en la eficiencia de extracción del oro, lo que ayudó a determinar el porcentaje óptimo para maximizar la extracción.
- **Determinación del impacto en la extracción:** Estas pruebas ayudaron a comparar los resultados de extracción del oro con diferentes concentraciones de alcohol. Al hacerlo, se identificó que la dosificación de alcohol étílico industrial influía significativamente en la cantidad de oro desorbido y si existe una concentración óptima en la que se obtenía el mejor rendimiento sin usar alcohol en exceso,
- **Ajustes en el proceso de desorción:** Los datos de alcohol agregado fueron parte integral del análisis para ajustar el proceso de desorción. Esto permitió optimizar la cuantía de alcohol en la solución, maximizando la obtención de oro y, por lo tanto, mejorando la eficiencia operativa en el proceso.

Tabla 8*Cantidad de alcohol agregado por cada corrida experimental*

Volumen de alcohol etílico industrial agregado por corrida experimental				
Nº de prueba	Volumen base de solución eluyente	Alcohol agregado	Volumen final de mezcla	Dosificación de alcohol respecto al volumen base
	L	L	L	%
1	2000	160	2160	8
2	2000	440	2440	22
3	2000	160	2160	8
4	2000	440	2440	22
5	2000	100	2100	5
6	2000	500	2500	25
7	2000	300	2300	15
8	2000	300	2300	15
9	2000	300	2300	15
10	2000	300	2300	15
11	2000	300	2300	15
12	2000	300	2300	15
13	2000	300	2300	15

Nota. La dosificación de alcohol etílico industrial fue calculada respecto al volumen base de solución eluyente empleado en cada corrida experimental. El volumen final de la mezcla corresponde a la suma del volumen base más el alcohol agregado; por ello, no fue utilizado como denominador para el cálculo de los niveles experimentales del Diseño Central Compuesto.

$$\%Alcohol = \frac{Volumen\ de\ alcohol\ agregado}{Volumen\ base\ de\ solucion\ eluyente} \times 100 \quad (17)$$

Volumen de alcohol agregado: cantidad de alcohol etílico industrial incorporado en cada corrida experimental.

Volumen base de solución eluyente: volumen inicial de solución eluyente preparado antes de adicionar el alcohol. Con la ecuación 17 se calculó la dosificación de alcohol etílico industrial correspondiente a cada corrida experimental, considerando como denominador el volumen base

de solución eluyente. De esta manera, los niveles de 5 %, 8 %, 15 %, 22 % y 25 % mantienen correspondencia directa con los volúmenes de alcohol agregados y con la central experimental del Diseño Central Compuesto.

Las datas de la tabla 8 también permitieron analizar cómo la cantidad de alcohol en la solución eluyente influía en la eficiencia de la desorción del oro, lo que ayudó a determinar la concentración óptima de alcohol para maximizar la extracción. Esta información fue clave para optimar el procedimiento y mejorar la liberación del au, mejorando la efectividad metalúrgica del procedimiento.

La tabla 9 muestra los hallazgos del estudio sobre el mejoramiento del procedimiento de desorción del oro en la planta DATTELI 6 de la Minera FIDAMI S.A. En la cual se evaluaron variables como la dosificación de alcohol etílico industrial y la velocidad de flujo aplicando el mismo tiempo de elusión para todos los lotes, con el fin de determinar su impacto en la eficiencia de la extracción de Au y encontrar los contextos óptimas para maximizar el porcentaje de extracción y en el anexo 12 se muestra el balance metalúrgico de forma independiente para cada corrida experimental.

Efecto de las variables de estudio:

- Alcohol: Este es el factor más influyente. Al aumentar la concentración del 5% al 25%, la extracción sube drásticamente del 63.65% al 94.11%. Esto se debe a que el alcohol reduce la constante dieléctrica del eluyente, facilitando la desorción del complejo aurocianuro.
- Velocidad de flujo: factor que tiene un impacto inversamente proporcional en la eficiencia de extracción de oro, es decir que a medida que incrementa la rapidez de flujo, el porcentaje de extracción tiende a disminuir, sugiriendo que un mayor tiempo de residencia favorece la extracción cuando la química no es óptima.

Tabla 9*Balance metalúrgico general del proceso de desorción de oro mediante reextracción con alcohol*

Item	Peso seco carbon	Tiempo de elusion	Alcohol	Velocidad de flujo	Ley de cabeza del carbon	total de Au al 100% (teorico)	Ley de carbon desorvido	Remanente Carbon	Remanente solucion	Extraccion de Au en gr (real)	Extraccion
	kg	hrs	%	m ³ /hr	g/kg*C	g	g/kg*C	g	g	g	%
Lote 1	725.4	24	8	3	3.62	2625.95	0.87	631.10	26.00	1968.85	74.98
Lote 2	728.3	24	22	3	3.11	2265.01	0.25	182.08	23.00	2059.94	90.95
Lote 3	712.4	24	8	6	3.48	2479.15	0.98	698.15	28.00	1753.00	70.71
Lote 4	730.2	24	22	6	3.54	2584.91	0.45	328.59	30.00	2226.32	86.13
Lote 5	733.2	24	5	4.5	3.41	2500.21	1.20	879.84	29.00	1591.37	63.65
Lote 6	744.6	24	25	4.5	3.17	2360.38	0.16	119.14	20.00	2221.25	94.11
Lote 7	739.4	24	15	2.5	3.21	2373.47	0.35	258.79	40.00	2074.68	87.41
Lote 8	745.2	24	15	6.5	3.39	2526.23	0.60	447.12	30.00	2049.11	81.11
Lote 9	736.2	24	15	4.5	3.45	2539.89	0.29	213.50	24.00	2302.39	90.65
Lote 10	715.3	24	15	4.5	3.45	2467.79	0.28	200.28	30.00	2237.50	90.67
Lote 11	725.5	24	15	4.5	3.6	2611.80	0.30	217.65	28.00	2366.15	90.59
Lote 12	710.8	24	15	4.5	3.45	2452.26	0.28	199.02	26.00	2227.24	90.82
Lote 13	723.5	24	15	4.5	3.28	2373.08	0.28	202.58	27.00	2143.50	90.33

Nota. La tabla señala las datas experimentales de los trece lotes del proceso de desorción y eficiencia de extracción de oro.

Explicación de las columnas:

- **Peso seco del carbón cargado (kg):** Es la cuantía de carbón activado empleado en cada lote antes de la desorción.
- **Tiempo de elusión (hrs):** Es el tiempo durante el cual se realiza el proceso de desorción en cada lote, que se mantiene constante en 24 horas para todos los lotes.
- **%Alcohol:** Es la dosificación de alcohol etílico industrial etílico en la solución eluyente que se utiliza para desorber el oro del carbón.
- **Velocidad de flujo m³/hr:** Es la rapidez con la que fluye el compuesto eluyente mediante el carbón activado.
- **Ley de cabeza del carbón (g/kg*c):** Representa la composición de Au en el carbón antes de la desorción, medida en gr de Au por kg de carbón.

- **Total, de Au al 100% (teórico) (g):** “Es la cantidad teórica de oro que se espera recuperar si el proceso de desorción fuera completamente eficiente”.
- **Ley de carbón desorbido (g):** Es la cantidad de oro que se ha desorbido del carbón durante el proceso.
- **Remanente carbón (g):** “Es la cuantía de oro que queda en el carbón después de la desorción”.
- **Remanente solución (g):** Es la cantidad de oro que queda en la solución después de pasar por el proceso de desorción.
- **Extracción del Au en gr (real):** Es la cuantía real de oro extraída del carbón durante el proceso de desorción.
- **Porcentaje de extracción (%):** Es el porcentaje de oro extraído en relación con el oro total disponible en el carbón cargado (teóricamente).

5.3. Utilidad en la investigación

La tabla 9 sobre el balance metalúrgico es fundamental para la investigación, ya que codifican datos fundamentales sobre cómo diferentes variables, como la dosificación de alcohol etílico industrial en la solución eluyente y la velocidad de flujo, afectan la eficiencia del proceso de desorción del oro.

Las datas de la tabla 9 permitieron:

- **Identificar el porcentaje óptimo de alcohol:** evaluando el impacto de diferentes concentraciones de alcohol en la eficiencia de la desorción.
- **Optimizar el proceso de desorción:** a través del análisis de los lotes, se puede identificar el conjunto de condiciones operativas que maximicen la extracción de oro, lo cual es crucial para optimizar la efectividad metalúrgica del proceso.

- **Comparar la extracción teórica y real de oro:** analizando las diferencias entre la cantidad de oro teórica y la cantidad realmente extraída, la investigación puede determinar qué factores contribuyen a las pérdidas de oro y cómo mitigarlas.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Aplicación del diseño central compuesto (DCC)

Tabla 10

Resumen del diseño central compuesto empleado para la optimización del proceso de desorción

Resumen del DCC			
Factores	2	Replicas	1
Corridas base	13	total de corridas	13
Bloques base	1	total de bloques	1

Nota. La tabla muestra que el diseño consistió en dos factores, una réplica del diseño base, trece corridas experimentales y un solo bloque. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21)

Las trece corridas están compuestas por: 4 puntos factoriales, 4 puntos centrales y 4 puntos axiales.

La réplica 1 significa que el conjunto de las trece corridas base se realizó de una sola vez.

El bloque base 1 significa que las 13 corridas fueron tratadas como un solo bloque experimental (mismas condiciones operativas).

6.2. Matriz de diseño central compuesto (DCC) para la evaluación y discusión de hallazgos por medio de Minitab 21

La tabla 11 fue el núcleo metodológico de la presente investigación, en la cual se detalla las trece pruebas siguiendo un diseño central compuesto (DCC). Este diseño fue fundamental porque permitió evaluar no solo el efecto individual de las variables, sino también su curvatura e interacciones.

Tabla 11*Matriz experimental codificada y decodificada del diseño central compuesto (DCC)*

Pruebas	Variables Codificadas		Variables Decodificada		% Extraccion Y
	X1	X2	"A" Alcohol (%)	"B" Velocidad de Flujo (m³/h)	
1	-1.00	-1.00	8	3	74.98
2	1.00	1.00	22	3	90.95
3	-1.00	-1.00	8	6	70.71
4	1.00	1.00	22	6	86.13
5	0.00	-1.41	5	4.5	63.65
6	0.00	1.41	25	4.5	94.11
7	-1.41	0.00	15	2.5	87.41
8	1.41	0.00	15	6.5	81.11
9	0.00	0.00	15	4.5	90.65
10	0.00	0.00	15	4.5	90.67
11	0.00	0.00	15	4.5	90.59
12	0.00	0.00	15	4.5	90.82
13	0.00	0.00	15	4.5	90.33

Nota. La tabla muestra los puntos factoriales, axiales y centrales en un diseño rotatable ($\alpha=1.4142$).

Elaborado propia.

La Tabla 11 presenta la matriz experimental del Diseño Central Compuesto (DCC) empleada para el análisis estadístico del proceso de desorción en la Minera Fidami S.A. Además, se muestran los niveles codificados de las componentes estudiadas (X1 = Dosificación de alcohol y X2 = Velocidad de flujo), sus valores decodificados en unidades reales y la variable respuesta correspondiente al porcentaje de extracción de oro en cada corrida. Esta matriz fue procesada en el sistema Minitab 21 para realizar la evaluación de varianza (ANOVA), el ajuste del modelo cuadrático y curvas de contorno y la construcción de las superficies de respuesta.

6.3. Ecuación de regresión en unidades codificadas

La ecuación 18 permite comparar directamente la influencia de cada factor sobre la extracción de oro sin que las variables independientes (Dosificación de alcohol y Rapidez de flujo) afecten la interpretación.

$$\hat{Y} = 90.61 + 10.78X_1 - 2.23X_2 - 5.86X_1^2 - 3.16X_2^2 - 0.14X_1X_2 \quad (18)$$

$$\text{Extraccion} = 90.61 + 10.78 \text{ Alcohol} - 2.23 \text{ Velocidad} - 5.86 \text{ Alcohol}^2 - 3.16 \text{ Velocidad}^2 - 0.14 \text{ Alcohol} * \text{Velocidad}$$

Interpretación de los coeficientes de la ecuación 18:

- Intercepto (90.61): Representa la extracción media cuando ambas variables están en su nivel central (15% de alcohol y 4.5 m³/h).
- Efecto Lineal de Alcohol (+10.78): Es el coeficiente más alto de la ecuación. Indica que el alcohol es el factor dominante.
- Efecto Lineal de Flujo (-2.23): Tiene una relación inversa, al aumentar el flujo más allá del punto central, la extracción tiende a disminuir ligeramente, posiblemente por la reducción del tiempo de contacto de la solución eluyente con el carbón en el reactor.
- Términos Cuadráticos (-5.86 y -3.16): Ambos son negativos, lo que confirma que la superficie de respuesta tiene una curvatura hacia abajo. Lo cual demuestra estadísticamente que existe un punto máximo de optimización dentro del rango de estudio.
- Interacción (-0.14): Al ser un valor cercano a cero, indica que el efecto del alcohol no depende significativamente de la velocidad de flujo, actuando de forma casi independiente.

6.4. Ecuación de regresión en unidades decodificadas

La ecuación 19 es fundamental para entender como las variables independientes (Dosificación de alcohol y Velocidad de flujo), dictan el real comportamiento de la extracción de au en la planta de desorción de la Minera Fidami S.A.

$$\hat{Y} = 15.95 + 4.989X_1 + 13.96X_2 - 0.1202X_1^2 - 1.670X_2^2 - 0.0131X_1X_2 \quad (19)$$

$$\text{Extraccion} = 15.95 + 4.989 \text{ Alcohol} + 13.96 \text{ Velocidad} - 0.1202 \text{ Alcohol}^2 - 1.670 \text{ Velocidad}^2 - 0.0131 \text{ Alcohol} * \text{Velocidad}$$

Interpretación de los coeficientes de la ecuación 19:

- Intercepción (15.95): Es el valor base del modelo. Aunque matemáticamente representa la extracción cuando ambas variables son cero, en la acción es el enfoque de inicio sobre el cual se suman los efectos químicos y físicos.
- Efectos Lineales Positivos:
 - Alcohol (+4.989): Por cada unidad porcentual que aumentas de alcohol, la extracción tiende a subir casi un 5%, confirmando que es el principal agente desorbente.
 - Velocidad (+13.69): El flujo tiene un impacto lineal inicial muy fuerte; aumentar la velocidad ayuda a renovar la solución en contacto con el carbón.
- Efectos Cuadráticos (Curvatura): Alcohol² (-0.1202) y Velocidad² (-1.670): La presencia de estos signos negativos es crítica. Indican que el proceso no crece indefinidamente, sino que tiene un punto máximo. Si excedes los niveles óptimos de alcohol o flujo, la eficiencia empieza a caer (formación de una parábola).
- Término de Interacción (-0.0131): Este valor es muy pequeño, lo que significa que el alcohol y la velocidad de flujo actúan de manera casi independiente. No hay una interferencia significativa entre la química (alcohol) y la física (flujo) del sistema.

Tabla 12*Eficiencia de la extracción de oro*

Variable	Media	DS	Mínimo	Máximo
Eficiencia (%)	84.78	9.39	63.65	94.11

Nota. Desviación estándar. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21)

En la Tabla 12 se manifiestan la sinopsis de las datas obtenidas para la eficiencia de extracción de oro en el procesamiento de desorción a partir del carbón impulsado cargado. La eficiencia de extracción promedio fue de $84.78 \pm 9.39\%$, con un mínimo de 63.65% y un máximo de 94.11%.

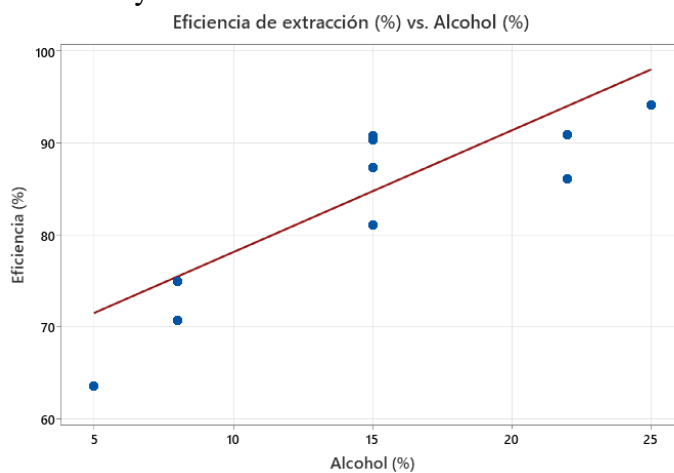
Figura 14
Eficiencia de la extracción de oro



Nota. La imagen señala que la mediana del proceso se ubica por encima del 85% de extracción

En la Figura 14 se manifiesta la eficiencia de extracción de au en la sistematización de desorción a partir del carbón impulsado cargado. La mediana fue de 92.33%, lo que indicó que la mitad superior de las eficiencias obtenidas se encontraron por encima de este valor, y que la mitad inferior se distribuyó con menor frecuencia por debajo. Los datos se concentraron alrededor de la mediana, con una distribución asimétrica positiva o sesgada hacia la derecha.

Figura 15
Eficiencia de extracción de oro y dosificación de alcohol etílico industrial



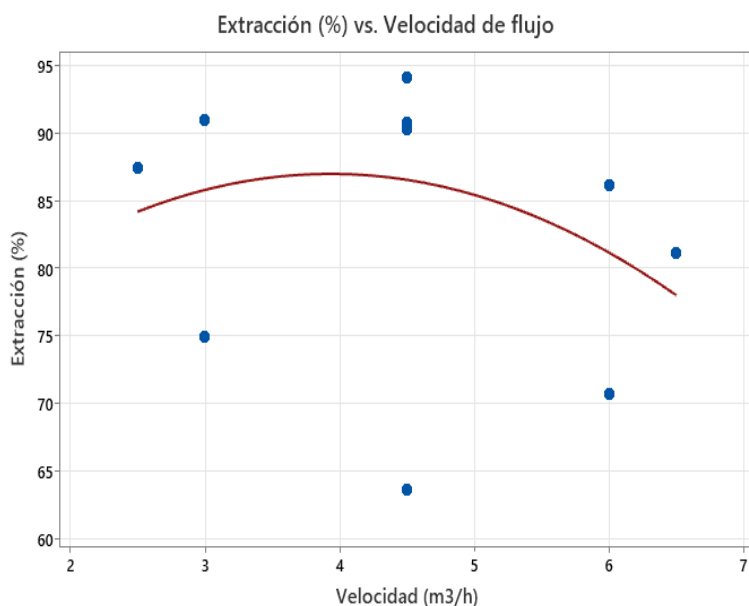
Nota. En la figura la línea roja indica una pendiente ascendente, lo que confirma que el alcohol es el factor de mayor influencia de la desorción. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

Al analizar la figura 15 se interpreta que hay una tendencia lineal positiva entre la dosificación del alcohol y la extracción de oro, evidenciada por el ajuste mediante regresión de primer orden. Esto indica que el alcohol presenta un efecto lineal significativo sobre la variable respuesta. No se aprecia curvatura pronunciada, lo cual sugiere que el término cuadrático asociado al alcohol posee menor contribución que su homólogo lineal,

El incremento de la concentración de alcohol mejora la extracción en todo el rango experimental estudiado, lo cual indica que la región óptima se encuentra hacia los valores altos del factor.

Figura 16

Eficiencia de extracción de oro y velocidad de flujo eluyente



Nota. En la figura la línea roja representa la línea de ajuste de la curva de regresión cuadrática

Al analizar la figura 16 se interpreta que existe una relación entre la eficiencia de extracción de oro y la rapidez de composición de la solución eluyente. Además, se observa que la relación no es lineal, sino cuadrática, lo que se confirma con el ajuste de segundo orden incluido en la gráfica.

La curva presenta una zona de máximo interno, lo cual indica que la extracción aumenta con el incremento del flujo hasta alcanzar un punto máximo, después del cual comienza a disminuir. Esto confirma que el proceso presenta curvatura, consistente con los resultados del ANOVA y con el modelo cuadrático obtenido mediante Diseño Central Compuesto (DCC).

Tabla 13

Regresión de superficie de respuesta

Término	Coeeficientes	EE	T	Valor P
Constante	90.62	0.693	130.8	0
Dosificación de alcohol	13.24	0.779	17	0
Velocidad de flujo	-3.09	0.752	-4.1	0.005
Dosificación de alcohol ²	-12.02	1.18	-10.2	0
Velocidad de flujo ²	-6.68	1.14	-5.9	0.001
Dosificación*Velocidad	-0.26	1.48	-0.2	0.864

Nota. $R^2=0.9841$. Término de la regresión estadísticamente significativo ($p<0.05$). Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21)

La Tabla 13 presenta el enfoque de regresión de superficie de objeción para la eficiencia de extracción de oro. Se utilizó un modelo cuadrático completo que contuvo tanto los factores de forma lineal, cuadrática y su combinación. Todos los términos de la regresión resultaron significativos al nivel 5% (valor $p<0.05$) con excepción de la combinación de dosificación de alcohol etílico y la velocidad de flujo. El índice de determinación de la regresión (R^2) indicó que el 98.41% de la variabilidad de la eficiencia de extracción se explicó por la variabilidad de la velocidad y la dosificación.

No obstante, este resultado debe interpretarse junto con la prueba de escasez de ajuste reportada en el ANOVA, debido a que un coeficiente de determinación elevado no garantiza por sí solo que el modelo represente completamente la variabilidad experimental.

Tabla 14
Análisis de la varianza

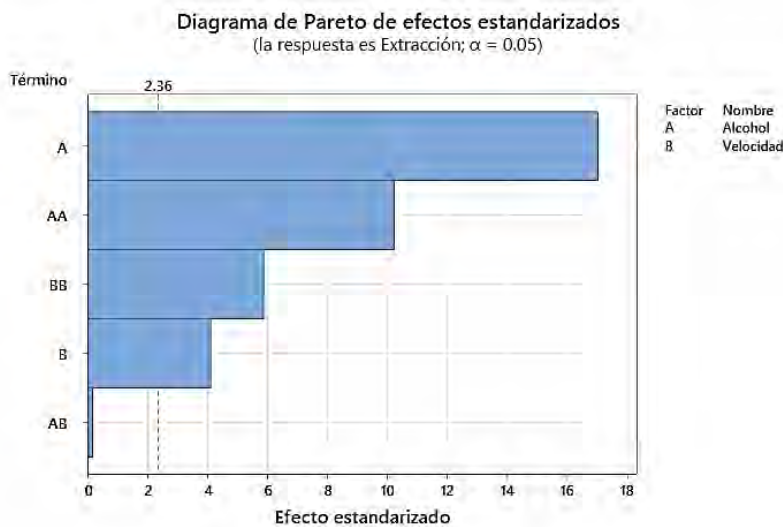
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	1041.19	208.237	86.71	0
Lineal	2	734.73	367.367	152.97	0
Alcohol	1	694.25	694.247	289.09	0
Velocidad	1	40.49	40.487	16.86	0.005
Cuadrado	2	306.38	153.188	63.79	0
Alcohol*Alcohol	1	250.63	250.629	104.36	0
Velocidad*Velocidad	1	82.83	82.827	34.49	0.001
Interacción de 2 factores	1	0.08	0.076	0.03	0.864
Alcohol*Velocidad	1	0.08	0.076	0.03	0.864
Error	7	16.81	2.402		
Falta de ajuste	3	16.68	5.561	173.67	0
Error puro	4	0.13	0.032		
Total	12	1058			

Nota. De la tabla se interpreta que el enfoque es demostrativo, los factores son significativos y el proceso presenta curvatura. No hubo interacción importante entre alcohol y flujo. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

En la Tabla 14 se presenta la evaluación de varianza del modelo de regresión de superficie de respuesta. El modelo resultó estadísticamente demostrativa al nivel de 5 % ($p < 0.05$), lo cual señala que las variables evaluadas, velocidad de flujo de la solución eluyente y dosificación de alcohol etílico industrial, explican una proporción importante de la variabilidad verificada en la eficiencia de extracción de oro. Asimismo, los términos lineales y cuadráticos presentaron significancia estadística, mientras que la interacción entre ambos factores no fue significativa.

Sin embargo, la prueba de escasez de ajuste resultó significativa, lo que evidencia que el modelo cuadrático no representa completamente toda la variabilidad experimental. Por ello, el modelo debe interpretarse como una herramienta estadística útil para identificar una región óptima de operación, pero no como una representación definitiva del proceso. En consecuencia, el punto óptimo estimado requiere validación experimental complementaria mediante corridas confirmatorias bajo los contextos propuestos.

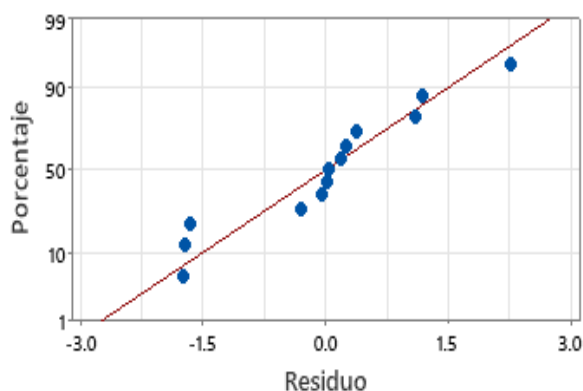
Figura 17
Gráfico de Pareto de efectos estandarizados



Nota. Del diagrama se confirma que el alcohol domina el efecto del proceso; mientras que el flujo solo aporta de forma cuadrática. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

En la Figura 17 se señala el esquema de Pareto de efectos estandarizados, donde se mide el tamaño del efecto del factor en la variación de la eficiencia de extracción. Se aprecia que el término lineal del alcohol tiene el efecto más grande sobre el porcentaje de extracción, seguido de su término cuadrático, del término cuadrático de la velocidad del efluente y de su término lineal. La combinación de factores (AB) tiene un efecto muy bajo y no significativo.

Figura 18
Graficas de residuos para Extracción (grafica de probabilidad normal)



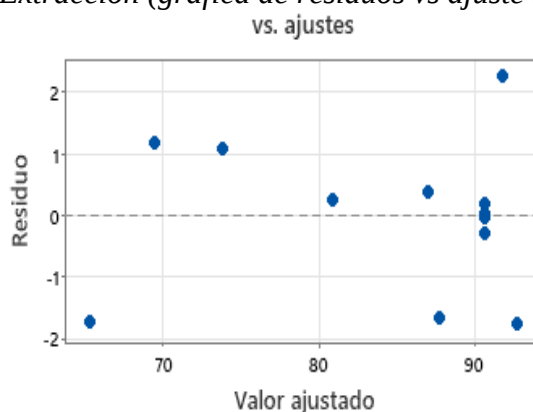
Nota. Los residuos presentan distribución aproximadamente normal. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

Esta gráfica analiza si los errores del modelo persiguen una distribución normal.

- **Observación:** Los puntos (residuos) se distribuyen estrechamente a lo extenso de la línea recta diagonal roja.
- **Interpretación:** Señala que no hay desviaciones significativas y que el supuesto de normalidad de los residuos se cumple plenamente. Esto permite aplicar pruebas de significancia estadística con total confianza.

Figura 19

Graficas de residuos para Extracción (grafica de residuos vs ajuste (Varianza))



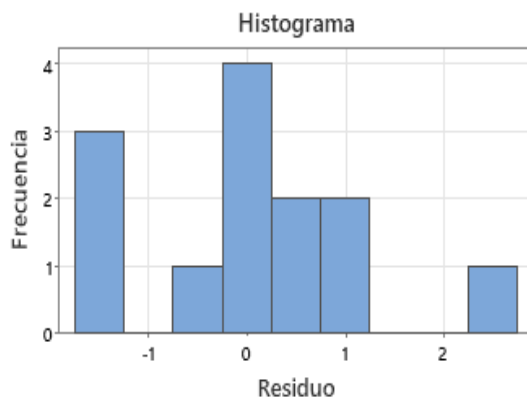
Nota. Los residuos son aleatorios; no hay patrones; el modelo es válido. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

Esta gráfica muestra la dispersión de los errores en relación con los valores predichos por la ecuación.

- **Observación:** Los residuos se distribuyen de manera aleatoria por encima y por debajo de la línea central de cero, sin formar patrones específicos (como embudos o curvas).
- **Interpretación:** Confirma la **homocedasticidad** (varianza constante). Significa que el modelo es igualmente preciso tanto para extracciones bajas (**63.65%**) como para las más altas (**94.11%**).

Figura 20

Graficas de residuos para Extracción (Histograma de Residuos)



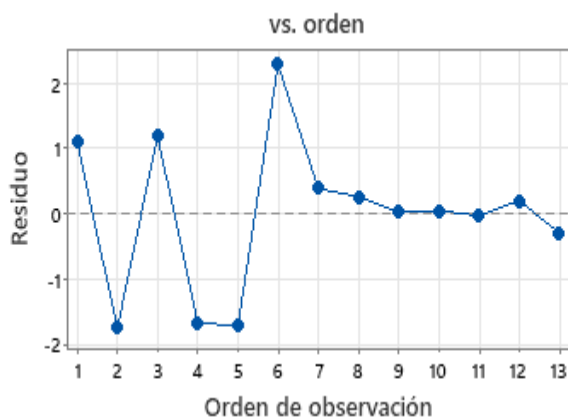
Nota. Los residuos se aproximan a una normal; modelo válido. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

La figura proporciona una vista visual de la distribución y frecuencia de los errores.

- **Observación:** La mayor concentración de datos se agrupa en la zona central, cerca del valor cero de residuo.
- **Interpretación:** Refuerza la conclusión de la gráfica de posibilidad normal. Aunque la muestra es pequeña (**13 corridas**), la forma sugiere una campana de Gauss, lo que descarta la apariencia de bienes atípicos que puedan sesgar los hallazgos.

Figura 21

Graficas de residuos para Extracción (Residuos vs. Orden de Observación (Independencia))



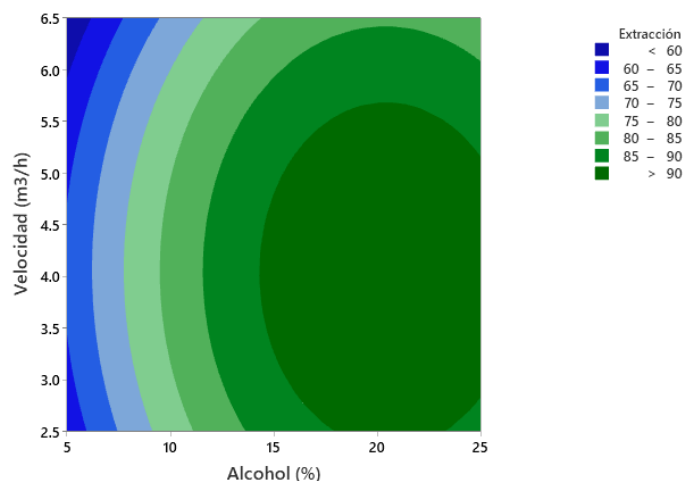
Nota. Los residuos se distribuyen sin patrón temporal, validando la independencia. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

Examina si el orden en que se realizaron las pruebas influyó en los resultados.

- **Observación:** La gráfica muestra fluctuaciones aleatorias a medida que avanzan los 13 lotes, sin presentar tendencias ascendentes o descendentes prolongadas.
- **Interpretación:** Valida la **independencia de las observaciones**. Esto garantiza que factores externos (como el desgaste del carbón o variaciones de temperatura ambiente durante los días de prueba) no afectaron sistemáticamente al experimento.

Figura 22

Gráfica de contorno de la superficie de respuesta estimada



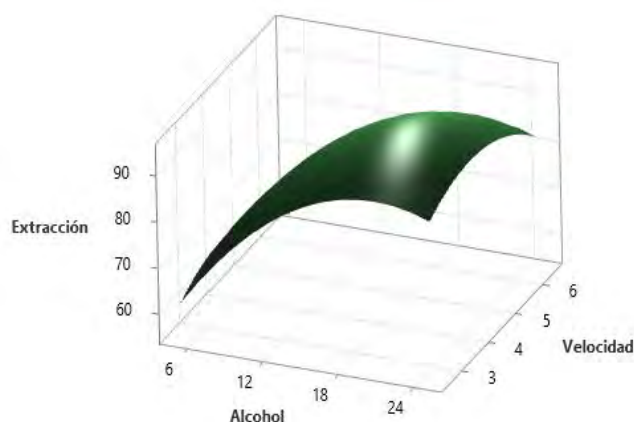
Nota. En la región se observa una región óptima interna donde la extracción supera el 90%

En la Figura 22 se manifiesta el gráfico de entorno de la superficie de contestación proyectada por el modelo de regresión. El patrón de las líneas de contorno permite identificar una región de alta eficiencia de extracción alrededor de una concentración de alcohol etílico cercana al 20 % y una velocidad de flujo próxima a 4 m³/h. No obstante, debido a la falta de ajuste significativa observada en el ANOVA, esta región óptima debe interpretarse como una estimación estadística que requiere validación experimental mediante corridas confirmatorias. Las curvas de nivel presentan una forma convexa y concéntrica, compatible con un modelo cuadrático de

segundo orden. La alineación vertical de los gradientes indica que el alcohol posee un efecto lineal predominante, mientras que la curvatura horizontal asociada al flujo confirma el término cuadrático significativo. La ausencia de rotación diagonal en la respuesta reafirma que la interacción dosificación de alcohol y velocidad de flujo no fue significativa.

El diagrama de contornos revela que la eficiencia del proceso depende simultáneamente de efectos termodinámicos (alcohol) y cinéticos (flujo).

Figura 23
Superficie de respuesta estimada



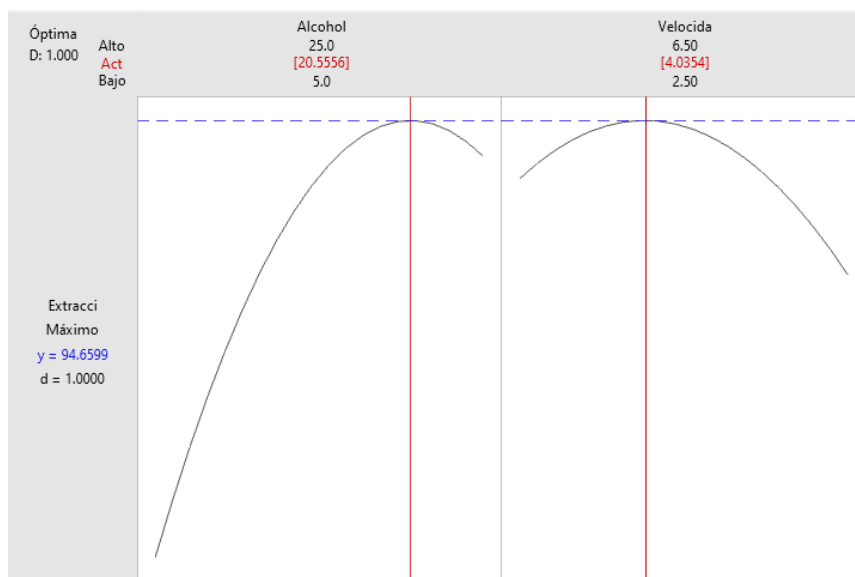
Nota. En la imagen se observa que la extracción aumenta con el alcohol y alcanza un máximo respecto al flujo.

En la Figura 23 se presenta la superficie de objeción estimada para la eficiencia de extracción de oro. La superficie muestra una tendencia de incremento de la extracción hacia niveles intermedios-altos de dosificación de alcohol y valores cercanos a 4 m³/h de velocidad de flujo. Sin embargo, considerando la falta de ajuste significativa del modelo, la superficie debe emplearse como una aproximación para orientar la optimización del proceso y no como una representación exacta del comportamiento experimental. El patrón curvo de la superficie confirma la significancia de los términos lineal (dosificación de alcohol) y cuadrático (velocidad de flujo) del modelo, tal

como lo mostró el ANOVA. El gradiente positivo en la dirección del alcohol indica un efecto ascendente, mientras que la curvatura en la dirección del flujo evidencia un óptimo cinético localizado dentro de la región experimental. La ausencia de inclinación diagonal en la superficie confirma la no significancia del término de interacción entre dosificación de alcohol y velocidad de flujo. Desde el punto de vista metalúrgico, el alcohol contribuye a la transferencia del complejo aurocianuro desde el carbón activado cargado hacia la solución eluyente, modificando el equilibrio sólido-líquido de manera favorable. En paralelo, el flujo determina el tiempo de contacto y la transferencia de masa externa entre fases, lo que explica el comportamiento parabólico: flujos muy bajos limitan la cinética por difusión, mientras que flujos elevados reducen el tiempo de residencia, disminuyendo la extracción.

Figura 24

Optimización de la eficiencia de extracción de oro



Nota. En la imagen se muestra la combinación de componentes que optimizan la eficiencia de extracción de oro según el modelo de superficie de respuesta estimado. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

De la Figura 24 se interpreta que el modelo de área de respuesta estimó una condición óptima de operación con una dosificación de alcohol etílico industrial de 20.55 % y una velocidad

de flujo de 4.035 m³/h, alcanzando una eficiencia máxima estimada de extracción de oro de 94.66 %. Sin embargo, debido a la falta de ajuste significativa reportada en el ANOVA, este punto óptimo debe considerarse como una estimación del modelo, por lo que se recomienda su validación mediante pruebas experimentales confirmatorias.

Tabla 15

Optimización de la eficiencia de la extracción de oro

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%
Extracción (%)	94.66	0.731	(92.931; 96.389)

Nota. EE: Error estándar, IC: Intervalo de confianza. Obtenido de Minitab Statistical Software (versión 21).

En la Tabla 15 se presenta la eficiencia máxima estimada de extracción de oro según el modelo de superficie de respuesta. El valor óptimo estimado fue de 94.66 %, con un intervalo de confianza al 95 % entre 92.931 % y 96.389 %. No obstante, debido a la falta de ajuste significativa del modelo, este intervalo debe interpretarse con cautela, considerando que el punto óptimo requiere validación experimental complementaria para confirmar su reproducibilidad bajo condiciones reales de operación.

6.5. Discusión de resultados

Los resultados descriptivos evidenciaron que el proceso de desorción del oro alcanzó una eficiencia promedio de 84.78 %, con valores que oscilaron entre 63.65 % y 94.11 %, lo que indicó una variabilidad moderada del proceso bajo las condiciones experimentales evaluadas. Estos resultados mostraron que, aun sin considerar la optimización estadística, la desorción mediante solución eluyente con alcohol facilitó obtener eficiencias elevadas, lo cual es consistente con lo reportado por Casallo y Guzmán (2018), quienes señalaron que la adición de alcohol en el circuito de desorción incrementa significativamente las tasas de extracción de oro respecto a procesos convencionales sin alcohol. Por otra parte, difirió del estudio de Hernández (2021), donde se

reportaron eficiencias bajas, pero estas estuvieron asociadas a condiciones operativas desfavorables, y no a la combinación de los factores.

La relación entre la dosificación de alcohol etílico industrial y la eficiencia de extracción mostró una tendencia lineal directa, donde el aumento de la dosificación de alcohol etílico industrial se asoció con mayores eficiencias de extracción. Este resultado fue coherente con los antecedentes experimentales que señalan que el alcohol disminuye la elasticidad superficial del compuesto eluyente y mejora la cinética de desorción del oro (Casallo & Guzmán, 2018; Hirpanocca Quispe, 2023). Por otro lado, el análisis exploratorio entre la velocidad de flujo y la eficiencia de extracción sugirió una relación no lineal, lo que evidenció que incrementos indiscriminados en la velocidad no garantizan una mejora en la desorción del oro. Este comportamiento fue confirmado posteriormente por el modelo de superficie de objeción, donde el término lineal y cuadrático de la velocidad resultaron estadísticamente significativos, con un efecto negativo sobre la eficiencia a velocidades elevadas. Este resultado coincidió con lo reportado por Zegarra (2018), quien señaló que el flujo debe mantenerse dentro de rangos óptimos, ya que velocidades excesivas reducen el tiempo de contacto entre el procedimiento eluyente y el carbón activado, afectando negativamente la eficiencia del proceso.

El modelo de regresión de superficie de respuesta explicó el 98.41 % de la variabilidad observada en la eficiencia de extracción, lo que evidenció un excelente ajuste del modelo cuadrático propuesto. Esta estadística de los procesos lineales y cuadráticos de la dosificación de alcohol y la velocidad de flujo confirmó que ambos factores influyeron de manera determinante en el procedimiento de desorción del oro. La ausencia de significancia en el término de interacción indicó que los efectos de ambos factores actuaron de forma predominantemente independiente dentro del rango estudiado. Este comportamiento fue similar al observado por Zegarra (2018),

quien también reportó que la optimización del proceso dependía principalmente de la adecuada selección de los niveles individuales de operación más que de su interacción directa. El análisis de la superficie de respuesta permitió identificar una región óptima caracterizada por concentraciones de alcohol cercanas al 20 % y velocidades de flujo alrededor de 4 m³/h, donde se alcanzaron las mayores eficiencias de extracción. Esta región óptima fue consistente con estudios previos que destacaron concentraciones de alcohol del orden del 20 % como condiciones favorables para la desorción del oro (Hirpanocca Quispe, 2023). Posteriormente la optimización estadística determinó que la máxima eficiencia de extracción de oro, estimada en 94.66 %, se alcanzó con una concentración de alcohol etílico industrial de 20.55 % y una velocidad de flujo de 4.035 m³/h. Este resultado confirmó que la adecuada combinación de ambos factores permite mejorar sustancialmente el desempeño del proceso de desorción.

Es importante señalar que, aunque el modelo de área de respuesta mostró significancia estadística y un coeficiente de determinación elevado, el ensayo de falta de arreglo resultó significativa. Este resultado indica que el modelo cuadrático empleado no logró representar completamente toda la variabilidad del proceso de desorción. Esta situación puede explicarse por la naturaleza industrial del experimento, donde intervienen factores operativos no incluidos en el diseño, como variaciones en la carga inicial de oro del carbón, heterogeneidad del material, condiciones de transferencia de masa, estabilidad térmica, composición real de la solución eluyente y posibles cambios en el comportamiento del carbón activado entre corridas. Por ello, el modelo debe considerarse válido como herramienta de aproximación y optimización estadística, pero el punto óptimo estimado debe ser confirmado mediante corridas experimentales adicionales bajo las condiciones de 20.55 % de alcohol etílico industrial y 4.035 m³/h de velocidad de flujo.

CONCLUSIONES

- Se determinó que la optimización de la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial permitió estimar una eficiencia máxima de extracción de oro de 94.66 %, bajo condiciones de 20.55 % de alcohol y 4.035 m³/h de velocidad de flujo. No obstante, debido a la falta de ajuste significativa del modelo, este valor debe considerarse como una estimación estadística que requiere validación experimental complementaria mediante corridas confirmatorias.
- Se determinó que una velocidad de flujo eluyente de 4.035 m³/h forma parte de la condición óptima estimada por el modelo para alcanzar una eficiencia máxima de extracción de oro de 94.66 %. No obstante, este valor debe interpretarse como una estimación estadística que requiere validación experimental complementaria.
- Se determinó que una dosificación de alcohol etílico industrial de 20.55 %, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, forma parte de la condición óptima estimada por el modelo para superar el 90 % de extracción de oro. Sin embargo, debido a la falta de ajuste significativa, esta condición debe confirmarse mediante corridas experimentales adicionales.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda analizar una evaluación económica para evaluar la rentabilidad de implementar el porcentaje óptimo de alcohol etílico. Este análisis debe considerar no solo los costos asociados con la adquisición y dosificación del alcohol, sino también el impacto positivo que tendría sobre la recuperación de oro y la eficiencia operativa de la minera.
2. Es importante investigar cómo el alcohol etílico interactúa con otros reactivos empleados en el proceso de desorción, como el cianuro de sodio y soda caustica. Este análisis podría ayudar a determinar si combinaciones específicas de reactivos pueden mejorar aún más la eficiencia de extracción de oro, optimizando el proceso global.
3. Se recomienda desarrollar investigaciones posteriores incorporando el tiempo de desorción como variable respuesta dentro del diseño experimental, a fin de evaluar de manera integral la reducción del tiempo operativo, el consumo de reactivos, el uso de energía y su impacto económico en el proceso de desorción de oro.
4. Se recomienda realizar corridas experimentales confirmatorias bajo las condiciones óptimas estimadas por el modelo, es decir, 20.55 % de alcohol etílico industrial y 4.035 m³/h de velocidad de flujo, con la finalidad de verificar experimentalmente la eficiencia máxima estimada de 94.66 % y comprobar la reproducibilidad del modelo en condiciones reales de operación.
5. Se recomienda realizar estudios posteriores incorporando la temperatura como factor experimental, junto con la velocidad de flujo y la dosificación de alcohol etílico, para determinar su efecto sobre la eficiencia de extracción de oro y establecer condiciones óptimas de desorción.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M. D. (Ed.). (2016). *Gold ore processing: Project development and operations* (2nd ed.). Elsevier.
- Avraamides, J. (1982). *Gold adsorption/desorption processes*. In: Mular & Bhappu (Eds.), *SME Mineral Processing Handbook*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Asalde, R. (2010). *Optimización de un proceso de recuperación de oro mediante carbón Activado*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Báez, E. (2011). *Evaluación de la capacidad de absorción del carbón activado a partir de la vaina de malinche para la remoción de plomo en agua sintética a nivel de laboratorio*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Barazorda, K. & Lima, E. (2018). *Evaluación de la capacidad de adsorción de oro con carbón activado obtenido a partir de la cáscara de castaña*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Cárdenas, G. & Espine, H. (2016). *Diseño evaluativo y balance del proceso de desorción de oro en carbón activado y su reactivación en la U.M. Antonio Raimondi*. Universidad Nacional San Agustín.
- Casallo, K. & Guzmán, R. (2018). *Estudio del proceso de desorción de oro de carbón activado en la Empresa Ecoservicios e Ingeniería Limpia S.A.C.* Lima 2018 Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú.
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5084/T010_46143054T.p f
- Coronado M. D. F., D. (2018). *Implementación de un convertidor de corriente para mejorar la recuperación de oro y plata en las celdas electrolíticas en la empresa minera SOTRAMI S.A.* Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

- <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/2211/CORONADO%20MAYTA%20DUMOT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Davidson, R. J. (1974). The mechanism of gold adsorption on activated charcoal. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 75(4), 67–76.
- Feijoo, C., De la Torre, E. & Uribe, R. (2019). *Determinación de la capacidad de adsorción del complejo oro-cianuro en compósitos de carbón activado-vidrio. Afinidad*, 588(1): 299-306.
- Field, A. (2018). *Discoverin statistics using R*. Sage. <https://us.sagepub.com/en-us/nam/discovering-statistics-using-r/book257267>
- Gallego, W. (2020). Uso y apropiación del oro en la historia: riqueza y subsistencia. *Agenda Cultural Alma Máter*, (273), 26–28. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/almamater/article/view/341373>
- Guevara, G., Verdesoto, A. & Castro, N. (2020). *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*. Recimundo, 4(3):163-173.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández, J. (2021). *Recuperación de oro y plata por el método de adsorción, desorción y regeneración (ADR)*. [Tesis de la Universidad Nacional de Guanajuato].
- Hernández, L., Salinas, E., Rivera, I., Carrillo, F., Patiño, F. & Hernández, J. (2004). *Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono*. *Rev. Soc. Quím. Méx.*, 48(1):315-320.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.

- Martínez, B., González, A., & López, C. (2025). Optimización de la extracción de oro mediante análisis de regresión multivariable". *Journal of Mining Engineering*, 12(3), 45-60. Departamento de Estadística Aplicada, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Peru.
- Marsden, J., & House, I. (2006). *The chemistry of gold extraction* (2nd ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Ministerio de Energía y Minas. (2025). *Anuario Minero 2024*. <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/6827926-anuario-minero-2024>
- Ministerio de Energía y Minas. (2025). *Boletín Estadístico Minero: Diciembre 2024* (Edición N.º 12-2024). <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/6471629-boletin-estadistico-minero-diciembre-2024>
- Montgomery, D. (2021). *Design and analysis of experiments* (10th ed.). Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Design+and+Analysis+of+Experiments%252C+10th+Edition-p-9781119722814>
- Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). Response surface methodology: Process and product optimization <https://www.wiley.com/en/using+designed+experiments> (5th ed.). Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/Response+Surface+Methodology%253A+Process+and+Product+Optimization+Using+Desi+gned+Experiments%252C+5th+Edition-p-9781118916158>
- Montenegro, D. (2011). *Diseño de una planta a escala piloto para la recuperación con carbón activado de oro lixiviado en soluciones cianuradas*. Servicio Geológico Colombiano.
- Myers, Douglas C. Montgomery, Christine M. Anderson-Cook. (2016) *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 4th edition, Ed Wiley.

- Pedre, I. (2018). *Aplicaciones de materiales noestructurados en determinaciones de impacto ambiental*. Universidad de Buenos Aires.
- Uceda, D. (2020). *Hidrometalurgia, Química e Ingeniería de la Extracción del oro*. Fondo Editorial de la Universidad Nacional de Moquegua.
- U.S. Geological Survey. (2025). *Mineral commodity summaries 2025* (Version 1.2).
<https://doi.org/10.3133/mcs2025>
- Zegarra, G. (2018). *Optimización del proceso de desorción, electrodeposición de la planta La Joya Mining S.A.C.* Universidad Nacional de San Agustín.

ANEXOS

Anexo 1: matriz de consistencia

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESORCIÓN EN LA EXTRACCIÓN DE ORO DEL CARBÓN ACTIVADO CARGADO EN LA MINERA FIDAMI S.A. SANCOS-AYACUCHO”				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<i>Problema general:</i> ¿En qué medida la optimización del proceso de desorción, mediante la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, incrementa la eficiencia de extracción de oro del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho?	<i>Objetivo General:</i> Optimizar el proceso de desorción de oro del carbón activado cargado, mediante la determinación de la combinación óptima de la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, para incrementar la eficiencia de extracción de oro en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho.	<i>Hipótesis General:</i> La optimización de la velocidad de flujo de la solución eluyente y la dosificación de alcohol etílico industrial, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, permite incrementar la eficiencia de extracción de oro por encima del 90 % a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho, manteniendo constante el tiempo operativo de 24 horas	Dependiente • Porcentaje de extracción de oro	ENFOQUE Cuantitativo TIPO Aplicada NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo DISEÑO Experimental: Diseño Central Compuesto (DCC)
Específicos	Específicos	Específicos	Independiente	
PE1: ¿Cuál es la velocidad de flujo óptima de la solución eluyente que permite incrementar la eficiencia de extracción de oro a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho?	OE1: Determinar la velocidad de flujo óptima de la solución eluyente que permita incrementar la eficiencia de extracción de oro a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho.	H1: Una velocidad de flujo eluyente cercana a 4 m³/h permite obtener una extracción de oro superior al 90 % en el proceso de desorción a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho, manteniendo constante el tiempo operativo de 24 horas.	• Velocidad de flujo de la solución eluyente	POBLACIÓN Carbón activado cargado de la Minera FIDAMI S.A. MUESTRA: 1 TMH/LOTE TÉCNICAS INSTRUMENTOS E
PE2: ¿Cuál es la dosificación óptima de alcohol etílico industrial, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, que permite incrementar la eficiencia de extracción de oro a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho?	OE2: Determinar la dosificación óptima de alcohol etílico industrial, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, que permita incrementar la eficiencia de extracción de oro a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho.	H2: Una dosificación de alcohol etílico industrial cercana al 20 %, calculada respecto al volumen base de solución eluyente, permite obtener una extracción de oro superior al 90 % en el proceso de desorción a partir del carbón activado cargado en la Minera FIDAMI S.A., Sancos-Ayacucho, manteniendo constante el tiempo operativo de 24 horas.	• Dosificación del alcohol etílico industrial	Observación Experimentación controlada Análisis de datos Regresión cuadrática, ANOVA y optimización de respuesta en Minitab 21

Anexo 2. Preparación de carbón cargado rico para el circuito de desorción de oro



Anexo 3. Planta de desorción (reextracción con alcohol) de La minera FIDAMI S.A.



Anexo 4. Reactivos utilizados para la desorción de oro



Anexo 5. Sistema de control de flujo (flujómetro electromagnético)



Anexo 6. Adición de alcohol etílico industrial en el tanque stripping

Anexo 7. Control de alcalinidad y determinación del consumo de NaCN de la solución eluyente.



Anexo 8. Control de solución pregnant



Anexo 9. Carta de autorizacion para el uso de sus instalacones de la palnta de desorcion



MINERA FIDAMI S.A.
Nueva Jerusalén-Sancos-Lucanas-Ayacucho

CARTA N° 25 G.G.M / FIDAMI S.A.

A : ROLY CCAHUAN CCAHUAYA
YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
BACH. INGENIERA METALURGICA

DE : RAUL HUANACO BAUTISTA
GERENTE GENERAL DE LA MINERA FIDAMI S.A.

A : DANIEL O. MANTILLA ATAUCURI
JEFE DE PLANTA MINERA FIDAMI S.A.

: ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
JEFE DE PLANTA MINERA FIDAMI S.A.

FECHA : 11/08/24

Reciban un saludo cordial a nombre de la MINERA FIDAMI S.A.

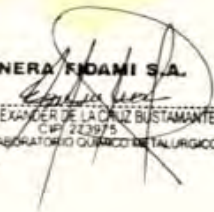
En respuesta a su solicitud, por medio del presente se respalda la elaboración de la tesis intitulada "OPTIMIZACION DEL PROCESO DE DESORCION EN LA EXTRACCION DEL ORO A PARTIR DEL CARBON ACTIVADO CARGADO EN LA MINERA FIDAMI S.A. SANCOS -AYACUCHO", el cual se realizó en las instalaciones de la planta de beneficio Datteli 6 de la minera FIDAMI S.A.

En representación de la Minera Fidami S.A., agradecemos su aporte en mejora del proceso de desorción, de nuestra planta de beneficio; así mismo nos elogia poder contribuir en su formación profesional.

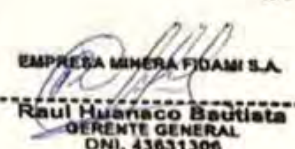
Atentamente:



MINERA FIDAMI S.A.
Daniel Orlando Mantilla Ataucuri
Jefe de Planta
CIP. 335367



MINERA FIDAMI S.A.
EDGAR ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
CIP. 223975
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO



EMPRESA MINERA FIDAMI S.A.
Raul Huanaco Bautista
GERENTE GENERAL
DNI. 43631306

MINERA FIDAMI S.A. – CAL.BRONSINO NRO. 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA
RUC: 20494415501 - E-MAIL: administracion@minerafidami.com.pe – TLF: 01-7540530

Anexo 10. Informe de resultados de la ley del carbón activado cargado



CERTIFICADO DE ANALISIS

RA-LQF-1124-5227

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	ROLY CCAHUANA CCAHUAYA / YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	03
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 18/09/2024 - 06:00 PM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON CARBON ACTIVADO
PESO APROX. :	10 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	LOTE 01, LOTE 02, LOTE 03
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1124-5227
FECHA DE RESULTADOS :	20/09/2024

DETALLES DEL REPORTE

ITEM	PESO HUM (Kg)	% H2O	PESO SECO (Kg)	LEY Au (Gr/Kg C*)
LOTE 01	1000	27.46	725.4	3.62
LOTE 02	1010	28.17	728.3	3.11
LOTE 03	1000	28.76	712.40	3.48

METODOS DE REFERENCIA

*Determinación de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico

Este reporte de ensayo no podra ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



MINERA FIDAMI S.A.
EDGAR ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
C.R. 22.3978
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: CAL. BRONSINO 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA -

RUC: 20494415501 - E-MAIL:

contabilidad@minerafidami.com.pe;tesoreria@minerafidami.com.pe



CERTIFICADO DE ANALISIS

RA-LQF-1124-5230

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	ROLY CCAHUANA CCAHUAYA / YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	03
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 05/10/2024 - 05:00 AM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON CARBON ACTIVADO
PESO APROX. :	10 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	LOTE 04, LOTE 05, LOTE 06
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1124-5230
FECHA DE RESULTADOS :	07/10/2024

DETALLES DEL REPORTE

ITEM	PESO HUM (Kg)	% H2O	PESO SECO (Kg)	LEY Au (Gr/Kg C*)
LOTE 04	1010	27.98	730.2	3.54
LOTE 05	1010	27.68	733.2	3.41
LOTE 06	1020	27.54	744.6	3.17

METODOS DE REFERENCIA

*Determinacion de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico

Este reporte de ensayo no podrá ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



MINERA FIDAMI S.A.
EDGAR ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
CIP: 223975
JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: CAL. BRONSINO 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA -

RUC: 20494415501 - E-MAIL:

contabilidad@minerafidami.com.pe;tesoreria@minerafidami.com.pe



CERTIFICADO DE ANALISIS

RA-LQF-1124-5232

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	ROLY CCAHUANA CCAHUAYA / YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	03
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 18/10/2024 - 07:00 PM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON CARBON ACTIVADO
PESO APROX. :	10 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	LOTE 07, LOTE 08, LOTE 09
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1124-5232
FECHA DE RESULTADOS :	20/10/2024

DETALLES DEL REPORTE

ITEM	PESO HUM (Kg)	% H ₂ O	PESO SECO (Kg)	LEY Au (Gr/Kg C*)
LOTE 07	1010	27.06	739.4	3.21
LOTE 08	1020	27.48	745.2	3.39
LOTE 09	1010	27.38	736.2	3.45

METODOS DE REFERENCIA

*Determinación de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico

Este reporte de ensayo no podrá ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



MINERA FIDAMI S.A.

 EDGAR ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
 CIP: 223978
 JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: CAL. BRONSINO 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA -

RUC: 20494415501 - E-MAIL:

contabilidad@minerafidami.com.pe;tesoreria@minerafidami.com.pe



CERTIFICADO DE ANALISIS

RA-LQF-1124-5234

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	ROLY CCAHUANA CCAHUAYA / YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	04
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 06/11/2024 - 06:00 AM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON CARBON ACTIVADO
PESO APROX. :	10 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	LOTE 10, LOTE 11, LOTE 12, LOTE 13
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1124-5234
FECHA DE RESULTADOS :	08/11/2024

DETALLES DEL REPORTE

ITEM	PESO HUM (Kg)	% H2O	PESO SECO (Kg)	LEY Au (Gr/Kg C*)
LOTE 10	1000	28.47	715.3	3.45
LOTE 11	1020	29.45	725.5	3.60
LOTE 12	1000	28.92	710.8	3.45
LOTE 13	1008	28.45	723.5	3.28

METODOS DE REFERENCIA

*Determinacion de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico

Este reporte de ensayo no podrá ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



MINERA FIDAMI S.A.

 EDGAR ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
 C.R. 24.3975
 JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: CAL. BRONSINO 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA -

RUC: 20494415501 - E-MAIL:

contabilidad@minerafidami.com.pe;tesoreria@minerafidami.com.pe

Anexo 11. Informe de resultados de la ley del carbón remanente



CERTIFICADO DE ANALISIS

RA-LQF-1124-5228

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	ROLY CCAHUANA CCAHUAYA / YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	03
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 24/09/2024 - 07:00 AM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON CARBON ACTIVADO DESORVIDO
PESO APROX. :	10 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	LOTE 01, LOTE 02, LOTE 03
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1124-5228
FECHA DE RESULTADOS :	26/09/2024

DETALLES DEL REPORTE

ITEM	PESO HUM (Kg)	PESO SECO (Kg)	LEY Au (Gr/Kg C*)
LOTE 01	1000	725.4	0.87
LOTE 02	1010	728.3	0.25
LOTE 03	1000	712.4	0.98

METODOS DE REFERENCIA

***Determinacion de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico**

Este reporte de ensayo no podra ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



MINERA FIDAMI S.A.
 EDGAR ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
 CM 223975
 JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: CAL. BRONSINO 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA -

RUC: 20494415501 - E-MAIL:

contabilidad@minerafidami.com.pe;tesoreria@minerafidami.com.pe



CERTIFICADO DE ANALISIS

RA-LQF-1124-5231

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	ROLY CCAHUANA CCAHUAYA / YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	03
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 11/10/2024 - 02:00 PM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON CARBON ACTIVADO DESORVIDO
PESO APROX. :	10 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	LOTE 04, LOTE 05, LOTE 06
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1124-5231
FECHA DE RESULTADOS :	13/10/2024

DETALLES DEL REPORTE

ITEM	PESO HUM (TMH)	PESO SECO (TMS)	LEY Au (Gr/Kg C*)
LOTE 04	1010	730.2	0.45
LOTE 05	1010	733.2	1.20
LOTE 06	1020	744.6	0.16

METODOS DE REFERENCIA

***Determinacion de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico**

Este reporte de ensayo no podra ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



MINERA FIDAMI S.A.

 EDGAR ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
 C.R. 223975
 JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: CAL. BRONSINO 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA -

RUC: 20494415501 - E-MAIL:

contabilidad@minerafidami.com.pe;tesoreria@minerafidami.com.pe



CERTIFICADO DE ANALISIS

RA-LQF-1124-5235

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	ROLY CCAHUANA CCAHUAYA / YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	03
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 12/11/2024 - 11:00 AM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON CARBON ACTIVADO DESORVIDO
PESO APROX. :	10 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	LOTE 10, LOTE 11, LOTE 12, LOTE 13
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1124-5235
FECHA DE RESULTADOS :	14/11/2024

DETALLES DEL REPORTE

ITEM	PESO HUM (Kg)	PESO SECO (Kg)	LEY Au (Gr/Kg C*)
LOTE 10	1000	715.3	0.28
LOTE 11	1020	725.5	0.30
LOTE 12	1000	710.8	0.28
LOTE 13	1008	723.5	0.28

METODOS DE REFERENCIA

*Determinacion de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico

Este reporte de ensayo no podra ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



MINERA FIDAMI S.A.
 EDGAR ALEXANDER DE LA OLAZ BUSTAMANTE
 CIP 22349
 JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: CAL. BRONSINO 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA -

RUC: 20494415501 - E-MAIL:

contabilidad@minerafidami.com.pe;tesoreria@minerafidami.com.pe



CERTIFICADO DE ANALISIS

RA-LQF-1124-5233

DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE :	ROLY CCAHUANA CCAHUAYA / YAXS WILDER QUISPE MENDOZA
ANALISIS DE :	ORO
TIPO DE ANALISIS :	GRAVIMETRICO
CANTIDAD DE MUESTRAS :	03
LUGAR Y FECHA RECEPCION:	NUEVA JERUSALEN - 23/10/2024 - 05:00 PM
CARACTERISTICAS :	BOLSA PLASTICA CON CARBON ACTIVADO DESORVIDO
PESO APROX. :	10 GRAMOS
CODIGO EXTERNO :	LOTE 07, LOTE 08, LOTE 09
CODIGO INTERNO :	RA-LQF-1124-5233
FECHA DE RESULTADOS :	25/10/2024

DETALLES DEL REPORTE

ITEM	PESO HUM (Kg)	PESO SECO (Kg)	LEY Au (Gr/Kg C*)
LOTE 07	1010	739.4	0.35
LOTE 08	1020	745.2	0.60
LOTE 09	1010	736.2	0.29

METODOS DE REFERENCIA

***Determinacion de Oro total en minerales no ferrosos - Metodo Gravimetrico**

Este reporte de ensayo no podra ser reproducido en su totalidad sin la autorización de FIDAMI S.A.



MINERA FIDAMI S.A.

 EDGAR ALEXANDER DE LA CRUZ BUSTAMANTE
 C.R. 223975
 JEFE DE LABORATORIO QUIMICO METALURGICO

Inscrita en la partida electrónica N° 11020563 de la sede Superintendencia Nacional de los Registros Públicos de Nazca.

MINERA FIDAMI S.A.

DOMICILIO FISCAL: CAL. BRONSINO 344 URB. SAN BORJA LIMA - LIMA - SAN BORJA -

RUC: 20494415501 - E-MAIL:

contabilidad@minerafidami.com.pe;tesoreria@minerafidami.com.pe

Anexo 12. Balance de las 13 pruebas experimentales, que incluye el precipitado de oro

Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 1	Carbon cargado	725.4	3.62	2625.95	100.00
	Precipitado Au	2.59	75.97%	1968.94	74.98
	Sol. Barren	2000 L	0.013	26.00	0.99
	Carbon desorvido	725.40	0.87	631.10	24.03
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 2	Carbon cargado	728.3	3.11	2265.01	100.00
	Precipitado Au	2.24	91.96%	2060.03	90.95
	Sol. Barren	2000 L	0.012	23.00	1.02
	Carbon desorvido	728.30	0.25	182.08	8.04
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 3	Carbon cargado	712.4	3.48	2479.15	100.00
	Precipitado Au	1.26	71.84%	1753.01	70.71
	Sol. Barren	2000 L	0.014	28.00	1.13
	Carbon desorvido	712.40	0.98	698.15	28.16
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 4	Carbon cargado	730.2	3.54	2584.91	100.00
	Precipitado Au	1.94	87.29%	2226.38	86.13
	Sol. Barren	2000 L	0.015	30.00	1.16
	Carbon desorvido	730.20	0.45	328.59	12.71
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 5	Carbon cargado	733.20	3.41	2500.21	100.00
	Precipitado Au	1.03	64.81%	1591.38	63.65
	Sol. Barren	2000 L	0.015	29.00	1.16
	Carbon desorvido	733.20	1.20	879.84	35.19
					100.00

Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 6	Carbon cargado	744.60	3.17	2360.38	100.00
	Precipitado Au	2.11	94.95%	2221.36	94.11
	Sol. Barren	2000 L	0.010	20.00	0.85
	Carbon desorvido	744.60	0.16	119.14	5.05
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 7	Carbon cargado	739.40	3.21	2373.47	100.00
	Precipitado Au	1.85	89.10%	2074.65	87.41
	Sol. Barren	2000 L	0.020	40.00	1.69
	Carbon desorvido	739.40	0.35	258.79	10.90
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 8	Carbon cargado	745.20	3.39	2526.23	100.00
	Precipitado Au	1.69	82.30%	2049.02	81.11
	Sol. Barren	2000 L	0.015	30.00	1.19
	Carbon desorvido	745.20	0.60	447.12	17.70
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 9	Carbon cargado	736.20	3.45	2539.89	100.00
	Precipitado Au	2.11	91.59%	2302.41	90.65
	Sol. Barren	2000 L	0.012	24.00	0.94
	Carbon desorvido	736.20	0.29	213.50	8.41
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 10	Carbon cargado	715.30	3.45	2467.79	100.00
	Precipitado Au	2.06	91.88%	2237.54	90.67
	Sol. Barren	2000 L	0.015	30.00	1.22
	Carbon desorvido	715.30	0.28	200.28	8.12
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 11	Carbon cargado	725.50	3.60	2611.80	100.00
	Precipitado Au	2.17	91.67%	2366.03	90.59
	Sol. Barren	2000 L	0.014	28.00	1.07
	Carbon desorvido	725.50	0.30	217.65	8.33
					100.00

Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 12	Carbon cargado	710.80	3.45	2452.26	100.00
	Precipitado Au	2.05	91.88%	2227.14	90.82
	Sol. Barren	2000 L	0.013	26.00	1.06
	Carbon desorvido	710.80	0.28	199.02	8.12
					100.00
Balance en circuito de Desorcion - Electrodeposicion					
Item	Producto	Peso Kg	Ley g/kg*C	Contenido g	Extraccion %
LOTE 13	Carbon cargado	723.50	3.28	2373.08	100.00
	Precipitado Au	1.96	91.46%	2143.60	90.33
	Sol. Barren	2000 L	0.014	27.00	1.14
	Carbon desorvido	723.50	0.28	202.58	8.54
					100.00