



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**PROYECTO DE EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LA
INSTALACIÓN DEL ÁREA DE DESORCIÓN EN LA EMPRESA
MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A. CHALA – AREQUIPA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MILAGROS JULIETA QUISPE PAREDES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

PROYECTO DE EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LA INSTALACIÓN

AUTOR

Milagros Julieta QUISPE PAREDES

RECuento DE PALABRAS

18782 Words

RECuento DE CARACTERES

98126 Characters

RECuento DE PÁGINAS

130 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

18.7MB

FECHA DE ENTREGA

May 29, 2023 5:51 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 29, 2023 5:53 PM GMT-5

● **6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)


ESTEBAN REY CHAVEZ GUTIERREZ
ASEJOR


Dra. Darssy Argelida Carpio Ramos
Directora de la Unidad de Investigación
EPIM



DEDICATORIA

Con mucha gratitud doy gracias a Dios, mi
guía espiritual en este camino.

Con mucho amor y respeto a mis padres:
**Claudio Quispe Choque y Francisca
Paredes Mendoza**, quienes con su apoyo y
fe inquebrantable me apoyan en todo
momento en la vida.

A ti papá por tu valentía y enseñarme a ser
fuerte ante cualquier adversidad.

A ti mamá por ese gran amor que muestras
en todo momento para apoyar a tus hijos y
por enseñarme a ser perseverante.

A mis Hermanos:

Yessica, Amelia y Ángel, por el apoyo que
me brindan, por sus consejos para salir
adelante con perseverancia y humildad
frente a cualquier adversidad.

A mis sobrinos:

Estefany y Gabriel, por ser mi motivación
para ser mejor cada día.



AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Minera Españolita del Sur S.A.- MEDSURSA- CHALA, a los ingenieros Casiano Palomino R. y Víctor Salazar A. por su asistencia, amistad y sinceros deseos de éxito profesional y personal, así como a los altos directivos de la empresa en el periodo 2021-2022.
- Un sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de ingeniería Geológica y Metalúrgica, en particular a mi Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por haberme dado la oportunidad de completar y realizar mi carrera.
- Agradezco el apoyo incondicional y la orientación de mis padres, que me han ayudado a perseverar en tiempos difíciles siguiendo sus sabios consejos.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	19
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. HIPÓTESIS	20
1.5. OBJETIVOS.....	21
1.5.1. Objetivo general	21
1.5.2. Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES.....	22
2.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	26
2.2.1. Generalidades del Carbón Activado.....	26
2.2.2. Estructura de Carbón Activado	27



2.2.3.	Características físicas y químicas.....	30
2.3.	ACTIVACIÓN DE CARBONES.....	31
2.4.	ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO	32
2.4.1.	Variables que afectan la adsorción del oro en el carbón activado a partir de soluciones cianuradas.....	34
2.4.1.1.	Efecto del carbón.....	34
2.4.1.2.	Efecto de concentración de oro	35
2.4.1.3.	Efecto del pH.....	35
2.4.1.4.	Efecto de la concentración de cianuro.....	36
2.4.1.5.	Efecto de la temperatura.....	36
2.4.1.6.	Efecto del tamaño de partícula.....	36
2.5.	TÉCNICAS DE ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO.....	36
2.5.1.	Carbón en Pulpa (CIP)	37
2.5.2.	Carbón en lixiviación - Carbón In Leach (CIL).....	38
2.5.3.	Carbón en Columna (CIC)	39
2.6.	DESORCIÓN DE ORO DEL CARBÓN ACTIVADO	40
2.6.1.	Clasificación de los procesos de desorción.....	40
2.6.1.1.	Procedimiento atmosférico zadra.....	40
2.6.1.2.	Proceso de desorción con alcohol	41
2.6.1.3.	Proceso de re extracción a alta presión	43
2.6.1.4.	Proceso anglo americano (AARL).....	43
2.6.1.5	Proceso anglo americano con presión	44
2.6.2.	Comparación de procesos	44
2.6.2.1.	Principales desventajas del proceso atmosférico zadra.....	45
2.6.2.2.	Principales ventajas del proceso atmosférico zadra.....	45



2.6.2.3. Principales desventajas del proceso zadra con alcohol	46
2.6.2.4. Principales ventajas del proceso zadra con alcohol	46
2.6.2.5. Principales desventajas del proceso de reextracción a alta presión	46
2.6.2.6. Principales ventajas del proceso de reextracción a alta presión	47
2.6.2.7. Principales desventajas del proceso (AARL).....	47
2.6.2.8. Principales ventajas del proceso (AARL)	47
2.6.2.9. Principales desventajas del proceso (AARL) con presión	48
2.6.2.10. Principales ventajas del proceso (AARL) con presión	48
2.6.3. Factores importantes en la desorción	48
2.6.3.1. Temperatura y presión.....	49
2.6.3.2. Concentración de cianuro.....	50
2.6.3.3. Fuerza iónica y pH	51
2.6.3.4. Adición de solventes orgánicos.....	52
2.6.3.5. La velocidad del flujo de solución	52
2.6.3.6. Concentración de oro en solución	53
2.6.3.7. La elución de otros metales	54
2.7. REACTIVACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	54
2.7.1. Tipos de reactivación	55
2.7.1.1. Reactivación con vapor de agua.....	55
2.7.1.2. Reactivación con gases calientes.....	56
2.7.1.3. Reactivación térmica	56
2.7.1.4. Reactivación con ácido	56
2.7.1.5. Reactivación mediante la modificación del pH en solución acuosa	57



2.8.	ELECTRODEPOSICIÓN DE ORO	57
2.9.	REDUCCIÓN DE ORO A PARTIR DE SOLUCIONES CIANURADAS .	58
2.9.1.	Electrodeposición en plantas de procesamiento de oro.....	59
2.10.	FUNDICIÓN.....	60

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE ESTUDIO	63
3.2.	PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	64
3.3.	PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO.....	64
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	64
3.4.1.	Población.....	64
3.4.2.	Muestra.....	65
3.5.	DISEÑO ESTADÍSTICO	65
3.6.	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	65
3.6.1.	Tipo de investigación	65
3.6.2.	Método experimental	66
3.6.3.	Diseño de la investigación	66
3.6.4.	Método de investigación	67
3.7.	MATERIALES.....	67
3.7.1.	Equipos.....	67
3.7.2.	Reactivos	68
3.7.3.	Otros	68
3.8.	PROCEDIMIENTO.....	68
3.8.1.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	68
3.8.2.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	69



3.8.3. Especificaciones de diseño para desorción	69
3.8.3.1. Carbón	69
3.8.3.2. Solución STRIP	70
3.8.3.3. Control y proceso.....	70
3.8.3.4. Caldero pirotubular	70
3.8.3.5. Tanque de solución barren.....	71
3.8.3.6. Bomba de solución continuo	71
3.8.3.7. Tanque reactor	71
3.8.3.8. Celda Electrolítica	72

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	73
4.1.1. Tanque de solución barren	73
4.1.2. Caldero	75
4.1.3. Bomba de Solución Continuo	78
4.1.4. Columna de Desorción	80
4.1.5. Celda Electrolítica	82
4.1.6. Rectificador de corriente 2500 A	85
4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE PERMITIERON IDENTIFICAR LOS RANGOS ÓPTIMOS DE OPERACIÓN	86
4.2.1. Control De Variables.....	86
4.2.1.1. Variables dependientes	86
4.2.1.2. Variables independientes	86
4.2.2. Equipos y procedimiento para prueba Piloto	88



4.2.3.	Resultados de monitoreos de desorción y electrodeposición en primera prueba piloto.....	90
4.2.3.1.	Datos para el balance de materia.....	93
4.2.3.2.	Balance de materia: Primera prueba piloto	94
4.2.4.	Resultados de monitoreos de desorción y electrodeposición en segunda prueba piloto.....	95
4.2.4.1.	Datos para el balance de materia.....	98
4.2.4.2.	Balance de materia: Segunda Prueba Piloto.....	99
4.2.5.	Resultados de monitoreos desorción y electrodeposición en prueba estándar	101
4.2.5.1.	Datos para el balance de materia	104
4.2.5.2.	Balance de materia: Prueba Estándar	105
4.3.	OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EVALUACIÓN DE LOS COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ÁREA DE DESORCIÓN.....	107
4.4.	DISCUSIÓN	108
V.	CONCLUSIONES.....	111
VI.	RECOMENDACIONES.....	112
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	113
	ANEXOS.....	120

Área : Metalurgia Extractiva

Tema : Hidrometalurgia

Fecha de sustentación: 08 de junio del 2023



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de carbón activado de diferente materia prima	29
Tabla 2. Comparación de los Procesos	45
Tabla 3. Coordenadas UTM-WGS84 del área de la planta MEDSURSA.....	63
Tabla 4. Datos de recepción de carbón cargado del proceso CIP - Primera prueba piloto.	90
Tabla 5. Concentración de reactivos para la solución strip.....	91
Tabla 6. Control de solución de Au durante el proceso de extracción.....	91
Tabla 7. Control del porcentaje de extracción en carbón y leyes de oro.	92
Tabla 8. Finos de oro en tanque reactor y tanque barren.	93
Tabla 9. Contenido de fino en barra dore y barra de oro	94
Tabla 10. Balance de materia	94
Tabla 11. Datos de recepción de carbón cargado de planta proceso CIP-Segunda prueba piloto.	95
Tabla 12. Concentración de reactivos para la solución strip.....	96
Tabla 13. Control de solución de Au en el proceso de extracción.....	96
Tabla 14. Control del porcentaje de extracción en carbón y leyes de oro.	97
Tabla 15. Finos de oro en tanque reactor y tanque barren	98
Tabla 16. Contenido de fino en barra de oro.....	99
Tabla 17. Balance de materia.....	99
Tabla 18. Resumen de resultados de las dos campañas realizadas	100
Tabla 19. Datos de recepción de carbón cargado del proceso CIP - Proceso de desorción estándar	101
Tabla 20. Concentración de reactivos para la solución strip.....	101



Tabla 21. Control de solución de Au en el proceso de extracción.....	102
Tabla 22. Control de leyes de oro y control de % de extracción en carbón.....	103
Tabla 23. Finos de oro en tanque reactor y tanque barren.	104
Tabla 24. Contenido de fino en barra de oro.....	105
Tabla 25. Balance de materia	105
Tabla 26. Costo obra civil	107
Tabla 27. Costo de equipos desorción	107
Tabla 28. Costos de pruebas de desorción de carbón, fundición y refinación	108



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. a) Grano de coque bruto. b) grano de coque activado con Ácido fosfórico. c) grano de carbón activado comercial.	27
Figura 2. Arreglo estructural de las capas planas del grafito.	28
Figura 3. Estructura propuesta de las capas de carbón activado.	28
Figura 4. Tamaño de poro de carbón activado de diferente materia prima.	29
Figura 5. Carbón tipo granular.	30
Figura 6. Estructura interna de un carbón activado.	30
Figura 7. Estructura interna del carbón activado - Distribución de poros.	31
Figura 8. Terminología del carbón activado para los procesos de adsorción y desorción.	33
Figura 9. Adsorción de aurocianuro sobre la superficie de carbón activado.	34
Figura 10. Proceso de Carbón en Pulpa (CIP).	37
Figura 11. Circuito en Carbón en Pulpa (CIP).	37
Figura 12. Proceso Carbón en lixiviación (CIL).	38
Figura 13. Circuito en Carbón en lixiviación (CIL).	38
Figura 14. Proceso de Carbón en columna (CIC).	39
Figura 15. Circuito en Carbón en columna (CIC).	39
Figura 16. Diagrama de flujo del proceso admosferico Zadra.	41
Figura 17. Efecto de etanol en la Desorción de Oro.	42
Figura 18. Circuito Zadra con Alcohol.	43
Figura 19. Diagrama del flujo del proceso Anglo – Americano.	44
Figura 20. Efecto de la temperatura en la desorción de oro con método zadra.	50
Figura 21. Efecto de la concentración de cianuro en el rate de elución.	51
Figura 22. Efecto de la fuerza iónica en el eluente en el rate de elución.	51



Figura 23.	Diferentes solventes en la Desorción de Oro.....	52
Figura 24.	Efecto del flujo del eluyente para la Desorción.....	53
Figura 25.	Isoterma de equilibrio para la dispersión de aurocianuro en una solución a 95°C de NaOH 0.2M y NaCN 0.2M en presencia de carbón activado.	54
Figura 26.	Circuito de desorción electrodeposición de oro.	58
Figura 27.	Esquema de celda electrolítica (vista superior).	60
Figura 28.	Esquema de una celda electrolítica (vista lateral).	60
Figura 29.	Diagrama de flujo de las etapas del proceso de la extracción del oro.	62
Figura 30.	Ubicación de la Planta de Beneficio MEDSURSA.	64
Figura 31.	Tanque de solución barren.....	75
Figura 32.	Caldero Piro tubular.	78
Figura 33.	Bomba de Solución Continuo.....	79
Figura 34.	Tanque Reactor.....	81
Figura 35.	Filtros tipo Hongo.....	82
Figura 36.	Celda Electrolítica con lana de acero, 16 ánodos y 15 cátodos.....	84
Figura 37.	Extractor para recuperar vapor de solución de gases nocivos.	84
Figura 38.	Rectificador de corriente 2500 A.....	86
Figura 39.	Monitoreo de Desorción - Solucion - Primera Prueba Piloto.....	92
Figura 40.	Monitoreo de desorción - carbón - primera prueba piloto.....	93
Figura 41.	Monitoreo de Desorción - Solución - Segunda Prueba Piloto.....	97
Figura 42.	Monitoreo de desorción - Carbón - Segunda prueba piloto	98
Figura 43.	Monitoreo de desorción - Solución - Prueba estándar.....	103
Figura 44.	Monitoreo de desorción - Carbón - Prueba estándar	104
Figura 45.	Gráfico de costos	108



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

"	:	Pulgadas
\$:	Dólares Americanos
%	:	Porcentaje
A	:	Amperios
AARL	:	Proceso Aglo Americano
Au	:	Oro
C	:	Concentración
CIC	:	Carbón en columna
CIL	:	Carbón en Lixiviación
CIP	:	Carbón en pulpa
g	:	Gramo
h	:	Hora
HCl	:	ácido clorhídrico
kg	:	Kilogramo
km	:	Kilometro
kPa	:	Kilopascal
l	:	Litro
m	:	Metros



m²	:	Metro cuadrado
m³	:	Metro cubico
mg	:	Miligramo
ml	:	Mililitro
mm	:	Milímetro
NaCN	:	Cianuro de sodio
NaOH	:	Hidróxido de sodio
Ø	:	Diámetro
°C	:	Grados centígrados
oz	:	Onzas troy
pH	:	Potencial de hidrogeno
PLC	:	Controlador lógico programable
ppm	:	Partes por millón
PvC	:	Policloruro de vinilo
Strip	:	Solución desorbente
t	:	Tiempo
Tm	:	Tonelada métrica
V	:	Voltaje
V	:	Volumen



RESUMEN

La empresa MEDSURSA no cuenta con una planta de desorción como parte de su circuito metalúrgico, frente a esta situación se decidió emprender acciones de mejora, por lo que se evaluó técnicamente la instalación del área de desorción; con alternativas viables para la realización del mismo; en donde se utilizó la metodología descriptiva, experimental y modelos matemáticos, así como evaluaciones técnicas; realizándose para ello pruebas de desorción y electrodeposición con el método Zadra con alcohol para cuantificar la eficiencia de la recuperación de oro, los resultados obtenidos en el tiempo de las 54 horas llegaron a un 97.79% de recuperación y en el tiempo de 78 horas llegó a un 99.31% de recuperación; considerando que las últimas 24 horas solo incrementó 1.52% más de recuperación, por lo tanto; en términos económicos se determinó que el proceso presento una mejor optimización en 54 horas llegando a un 98.56% de recuperación, siendo este el tiempo ideal de recuperación, a una concentración de (NaOH) al 1.50%, (NaCN) 0.20% C_2H_5OH al 25% en la solución eluyente, a temperatura de 85°C, voltaje de 3.4 y un amperaje de 900; cuidando de esta manera el carbón activado que es expuesto a desgastes por abrasión y temperatura y de esta manera se concluye que el proyecto optimizó el proceso de recuperación y obtención del oro, así mismo el carbón será reactivado químicamente y reutilizado para posteriores procesos de adsorción y desorción, aplicando controles de ingeniería y contribuyendo al desarrollo del país, siendo así la planta de desorción una herramienta fundamental para la empresa Minera Españolita Del Sur S.A.

Palabras clave: Desorción, Carbón, Electrodeposición Evaluación, Técnica.



ABSTRACT

The company MEDSURSA does not have a desorption plant as part of its metallurgical circuit, in view of this situation it was decided to undertake improvement actions, so the installation of the desorption area was technically evaluated; with viable alternatives for the realization of the same; where the descriptive and experimental methodology and mathematical models were used, as well as technical evaluations; desorption and electrodeposition tests were carried out with the Zadra method with alcohol to quantify the efficiency of gold recovery, the results obtained in the 54 hours time reached 97.79% of recovery and in the time of 78 hours reached 99.31% of recovery; considering that the last 24 hours only increased 1.52% more of recovery, therefore; in economic terms it was determined that the process presented a better optimization in 54 hours reaching 98.56% recovery, being this the ideal recovery time, at a concentration of (NaOH) at 1.50%, (NaCN) 0.20% C₂H₅OH at 25% in the eluent solution, at a temperature of 85°C, voltage of 3.4 and an amperage of 900; thus taking care of the activated carbon that is exposed to wear due to abrasion and temperature and in this way it is concluded that the project optimized the process of recovery and obtaining of gold, likewise the carbon will be chemically reactivated and reused for subsequent adsorption and desorption processes, applying engineering controls and contributing to the development of the country, thus being the desorption plant a fundamental tool for the company Minera Española Del Sur S.A.

Keywords: Evaluation, Technical, Coal, Desorption, Electrodeposition.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, la tecnología del carbón activado, se ha utilizado para recuperar oro de soluciones alcalinas diluidas que tengan cantidades considerables de oro en solución, lo que ha permitido explotar yacimientos de oro de baja y alta ley; por lo que el carbón cargado es sometido a un proceso de desorción, donde se libera el oro contenido, por medio de una concentración de reactivos en solución, que fluyen por la celda electrolítica para concentrar el metal aurífero, el cual será fundido y refinado.

La empresa Minera Españolita del Sur S.A. se dedica a la extracción y comercialización de metales preciosos de oro (Au) y Plata (Ag), desde hace 12 años; emplea el proceso hidrometalúrgico carbón en pulpa (CIP), recuperando el oro por carbón activado. La empresa no cuenta con la planta de desorción como parte de su circuito metalúrgico, y solicita el servicio de desorción y electrodeposición a una empresa externa.

Frente a esta situación se decidió emprender acciones de mejora, identificando las ventajas al tener un área de desorción propia para el desarrollo de la empresa, por lo que el presente proyecto tuvo como objetivo evaluar técnicamente la ejecución y puesta en marcha del área de desorción como herramienta principal de la empresa.

De este modo se logró el desarrollo sostenido de la empresa con alternativas de operación viables y de esta manera el proyecto optimiza el proceso de recuperación y obtención del oro.



1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

La empresa MEDSURSA no cuenta con la planta de desorción como parte de su circuito metalúrgico, frente a esta situación se decidió emprender acciones de mejora, por lo que se evaluó técnicamente la instalación del área de desorción; con la finalidad de mejorar el desarrollo de la empresa y disminuir los costos operativos como traslado de carbón, servicio de agenciamiento y servicio de desorción; entro otros gastos.

En el presente proyecto de investigación se identificaron, analizaron, y mejoraron los inconvenientes que se presentan durante el proceso de desorción; para ello se utilizaron herramientas de ingenierías, métodos como formulaciones matemáticas, diagramas de proceso, estudio de tiempos, con la esperanza que los resultados aporten soluciones a necesidades funcionales, medioambientales y estéticos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Para el desarrollo del presente proyecto se formuló la siguiente interrogante: ¿será fundamental tener una planta de desorción como parte del circuito metalúrgico en la empresa MEDSURSA, para mejorar el desarrollo de la empresa y disminuir los costos operativos?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la empresa procesadora sudamericana S.R.L. brinda el servicio de desorción y electrodeposición de Oro y reactivación térmica de carbón activado.

Como parte de la mejora continua es fundamental tener un área de desorción como parte del circuito metalúrgico; con la finalidad de disminuir costos operativos como traslado de carbón, servicio de agenciamiento, servicio de desorción además de los gastos de resguardo por parte de las movilidades de la empresa entre otros



El presente proyecto buscará mejorar el desarrollo de la empresa, reduciendo costos con la Implementación del área de desorción, con alternativas viables para la realización del mismo. De esta manera el proyecto optimizará el proceso de recuperación y obtención del Oro.

Utilizando herramientas de ingeniería como formulaciones matemáticas, diagramas de proceso y estudios de tiempos, podremos identificar, analizar y mejorar los inconvenientes que se producen durante el proceso de desorción, garantizando que los resultados obtenidos aporten las soluciones previstas a los requisitos funcionales, medioambientales y estéticos del área.

En primer lugar, el proyecto nos permitirá identificar los parámetros empleados en el método de desorción, a su vez el carbón será reutilizado en posteriores procesos de adsorción (CIP). En el proceso de desorción del carbón activado se realizará análisis de control y evaluación de variables diseñado para el método Zadra con alcohol, y su reactivación química o lavado ácido.

La evaluación de las variables permitirá identificar los rangos óptimos de la operación, destacando los críticos, permitiendo que el proceso de desorción de oro sea lo más eficiente posible durante un período prolongado de hasta 58 horas, alcanzando una eficiencia de desorción del 96 al 98%; en consecuencia, reduciendo los costos de producción y aumentando la rentabilidad para minera españolita del sur S.A.

1.4. HIPÓTESIS

El proyecto de evaluación técnica para la instalación del área de desorción optimiza del proceso de recuperación y contribuye al desarrollo sostenido de la empresa Minera Españolita del Sur S.A. Chala – Arequipa.



1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Evaluar técnicamente la instalación del área de desorción, en Minera Españolita del Sur S.A. CHALA -AREQUIPA.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar las variables que permitan identificar los rangos óptimos de operación.
- Evaluar los costos para la implementación del área de desorción.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Tomalá (1998), manifiesta que las pruebas de desorción se pueden llevar a cabo con concentraciones de 0.1% de NaCN, que comparadas con las de 1.0% de NaOH aplicadas en esta planta para la desorción de carbón cargado, reflejan un mínimo consumo de este reactivo, menor tiempo de operación y un ligero incremento en los porcentajes finales de recuperación de oro en la solución, permitiendo un ajuste en los costos de operación y la mejora del circuito.

En los ensayos de electrodeposición que realizaron concluyeron que, ante la igualdad de recuperación de oro de electrolítico entre diferentes condiciones de gasto energético y de reactivos, optaron por escoger la combinación de operaciones que menos gastos genere, por tal motivo sugieren al igual que la desorción operar con concentraciones de 0.1% de NaCN y un rango de voltaje y amperaje menor a los aplicados, ya que las pruebas confirmaron su aplicación.

Condori & Chura (2006), demostraron la factibilidad para instalación de una planta de desorción del carbón activado cargado y recuperación de oro en el sector Esquen de la ciudad de Juliaca. Esto se dedujo por los resultados obtenidos en las pruebas experimentales, el diseño de ingeniería y la justificación económica del anteproyecto.

La factibilidad económica quedó demostrado al haberse obtenido un VAN (Valor Actual Neto) mayor que 0 y una TIR (Tasa Interna de Retorno) del 73% para la producción de tratamiento de 200 kg de carbón activado. La utilidad bruta anual se calculó en \$ 10 245.00 y el tiempo de retorno de la inversión en 2 años.



El sistema de desorción elegido fue el método Zadra de re extracción con alcohol que consideraron apropiada para capacidades de tratamientos pequeños y aunque el proceso es relativamente lento, presenta las siguientes ventajas:

- Bajo costo de capital.
- Construcción simple de reactores.
- Bajo costo de operación.
- Operación relativamente simple.

Chambi (2010), según el artículo de investigación «Recuperación de oro y plata por el proceso electrolítico tipo zadra», El trabajo fue aplicado en forma directa a unas soluciones proveniente del proceso de lixiviación en presencia de cianuro de sodio. La solución rica, contenía 33.75 mg Au/l, 5.5 mg Ag/l, 375 mg Fe/l, 1727.5 mg S/l y 17.7 mmhos/cm de conductividad, en estas circunstancias, realizaron ensayos de electrólisis en una celda convencional tipo zadra y consiguieron deposiciones de oro que oscilaban entre 33.4 a 97%. Utilizando una intensidad de corriente de 1.5 A, se lograron recuperaciones del 98% de Au y del 99% de Ag teniendo en cuenta el tiempo de electrólisis, la intensidad de corriente, la temperatura y el impacto de la adición de reactivos como (NaCN) y (NaOH). También indican que el efecto de (NaCN) e (NaOH), mejoro la recuperación de oro y plata cuyos resultados llegaron al 98% de oro cuando adicionaron (NaOH) y al 93% de recuperación de oro cuando adicionaron (NaCN), estos resultados fueron muy favorables comparados a cuando trabajaron sin la adición de los anteriores reactivos antes mencionados lograron recuperaciones del 79% de oro.

No obstante, precisan que se deben realizar con anterioridad, los procedimientos gravimétricos, tostación y lixiviación.



Vinces (2012), demostró que, con las muestras de carbón activado despojado de la planta, comprueba que hay una disminución importante en la actividad y capacidad de carga. Los valores de densidad aparente, de la muestra al momento en que la reciben (aire) y después de colocarla en una mufla de laboratorio, hasta obtener un valor constante en (horno), comprueban también, que esta disminución de carga se debe a una deposición de compuestos minerales y, sobre todo, de compuestos orgánicos, en el carbón activado. En base a los resultados, sería conveniente considerar un lavado ácido después de la operación de despojo, y la instalación de una regeneración térmica (Horno de regeneración) del carbón activado.

Saravia (2013), Implementó el método Zadra para la recuperación de oro de los filtros de carbón activado, utilizando el sistema de desorción. Llegaron a la conclusión de que el siguiente conjunto de funcionamiento daría lugar a los mejores resultados de la prueba de desorción.

- La concentración requerida para la desorción de oro es 0.2% NaCN, bajo esta concentración se pudo recuperar más oro del carbón.
- Se requiere un litro de solución eluyente para desorber 4 g de carbón activado.
- De acuerdo las pruebas realizadas en distintos tiempos determinaron que el tiempo ideal es de 2 horas.
- Pasada las dos horas el carbón activado vuelve a absorber el oro de la solución.
- Temperatura óptima de desorción 70°C.

Pineda (2015), el diseño que plantearon a la compañía minera SOMINUR S.A., logro una eficiencia de recuperación de oro sobre el 99%, siendo su media 99,38% en el área de elución.



- Tiempo de desorción 15 horas.
- Condiciones de concentración 1% de NaCN, 0.1% NaOH y 20% v/v Etanol.
- Las dimensiones de la torre de desorción, 0.9 m de diámetro y 2.55 m de altura, con fondo cónico, y material de aislamiento para mantener la temperatura de operación.

Cruz (2016), en el diseño y construcción de la celda de electro obtención, revelaron mejoras en los parámetros energéticos, en comparación a las otras celdas; en consecuencia, realizaron pruebas donde obtuvieron muy buenas recuperaciones en el proceso de electrodeposición.

Aplicando los parámetros de las pruebas determinaron las mejores condiciones, adquirieron un 99.04% de recuperación, con un amperaje de 25 y un voltaje de 2.6V, de modo que por efectos de consumo excesivo de energía recomiendan no exagerar con el aumento de amperaje, para llegar a una buena recuperación.

Zegarra (2018), En su investigación para el proceso de desorción de la empresa JOYA MINING S.A.C, lograron reducir el tiempo de desorción.

Indican que la temperatura, flujo, voltaje y % de hidróxido de sodio, son factores que afectan al proceso de desorción. Tomando en cuenta los factores obtuvieron distintos resultados en función del tiempo. Como resultado final para el proceso definieron la temperatura en 85 °C, flujo en 16 m³/h., voltaje de celda en 2.5 v y soda en 1 %.

Moscoso (2018), En su investigación optimizó el proceso de desorción, a una concentración de 1.0% NaOH, 0.10% NaCN y 18% C₂H₅OH en la solución eluyente, aplicando dicha concentración para la desorción de carbón cargado, en un tiempo de 24 horas llegando a 96.22% de eficiencia, donde reflejaron un mínimo consumo de cianuro



de sodio (NaCN), menor tiempo de operación, incremento mínimo en los porcentajes finales de recuperación de oro en la solución, la reducción de los costos de operación y la optimización del circuito.

2.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.2.1. Generalidades del Carbón Activado

El carbón activado es un término genérico para describir a la forma amorfa del carbón, lo cual está formado por una disposición mutuamente desordenada de microcristales que juntos forman una estructura porosa con una capacidad de adsorción excepcional debido a la gran superficie disponible. El alto nivel de imperfecciones de los microcristales del carbón activado es precisamente lo que hace que el carbón sea más reactivo a su entorno. Por ello, los carbones activados carecen de una forma estructural definida y son imposibles de identificar mediante los análisis químicos. Debido a la coexistencia de grupos ácidos y básicos en la superficie, el carbón natural es de carácter anfótero. El carbón puede comportarse de forma ligeramente ácida o básica en función del pH del medio y, en consecuencia, la carga neta de la superficie dependerá de la concentración relativa de estos grupos. Además, debido a su naturaleza hidrófoba, el carbón tiene una gran afinidad por los adsorbentes no polares, incluida la mayoría de las sustancias orgánicas, mientras que esta afinidad es mínima en medios acuosos. Sin embargo, los grupos polares de la superficie pueden mejorar la mojabilidad y la hidrofobicidad del carbón activado (Cárdenas & Espinel, 2016).

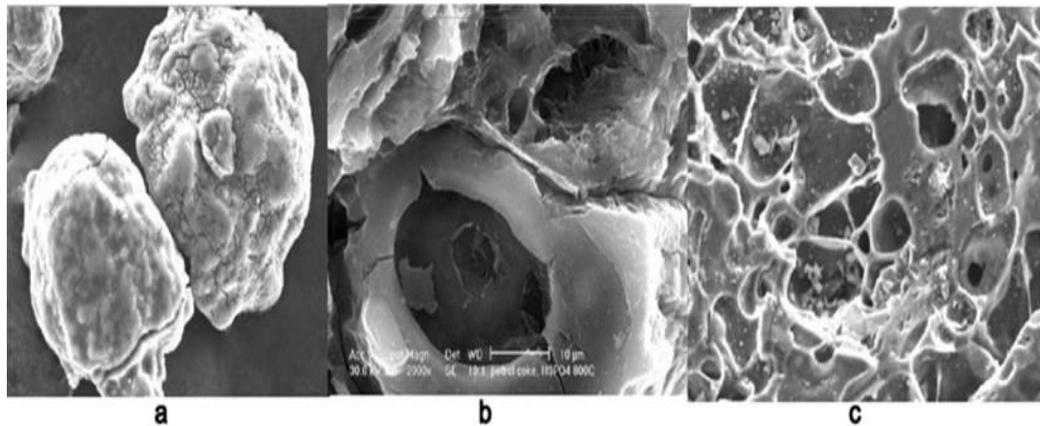


Figura 1. a) Grano de coque bruto. b) grano de coque activado con Ácido fosfórico. c) grano de carbón activado comercial

Fuente: (Cardona, 2006).

2.2.2. Estructura de Carbón Activado

“A nivel molecular, la estructura se asemeja a la red cristalina del grafito, con la diferencia que las capas de anillos hexagonales presentan defectos, la distancia entre estas es desigual y cada capa tiene planos con distintas orientaciones” (Fernández & Aja, 2005, pág. 1).

Para crear carbón activado se utilizan materiales carbonáceos pirolizados y sometidos a procesos de activación por acción física o química, como cáscaras de coco carbonizadas, carbón vegetal, semillas de frutas o carbón bituminoso. El carbón activado se vende en forma granular, donde tiene una gran superficie y un diámetro de poro muy pequeño, o en forma de polvo fino, donde tiene una superficie menor y un tamaño de poro mayor, dependiendo del uso industrial (Fernandez & Aja, 2005).

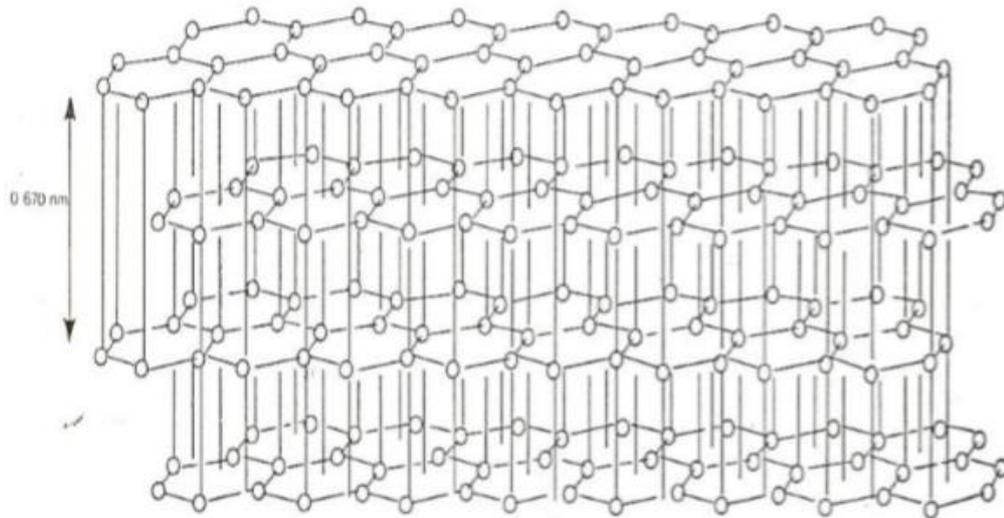


Figura 2. Arreglo estructural de las capas planas del grafito

Fuente: (Fernández, 2005 citado en Cárdenas & Espinel, 2016).

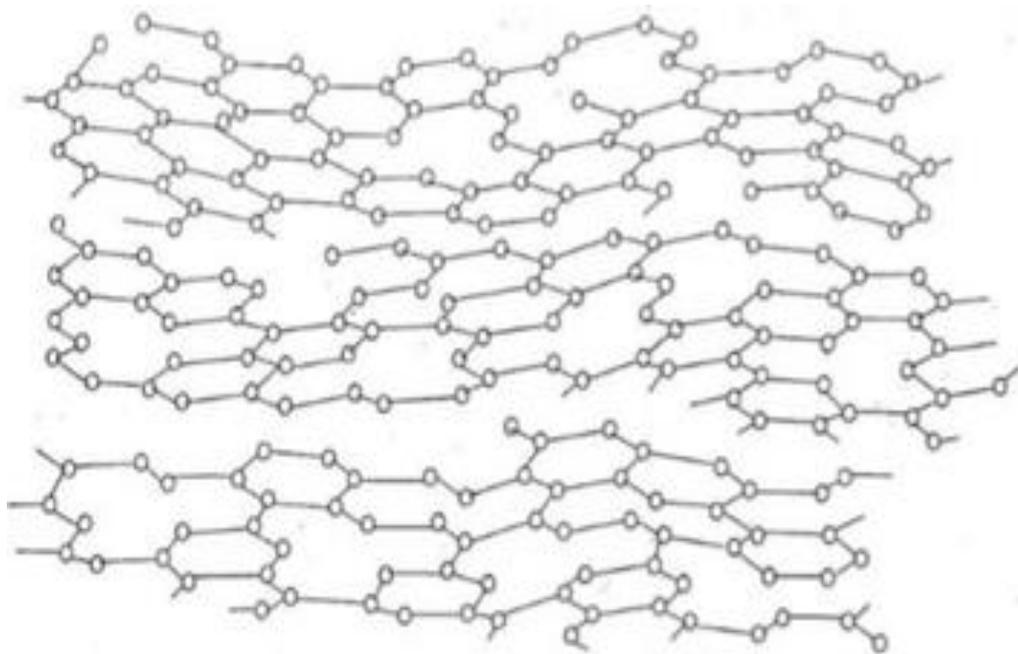


Figura 3. Estructura propuesta de las capas de carbón activado

Fuente: (Fernández, 2005 citado en Cárdenas & Espinel, 2016).

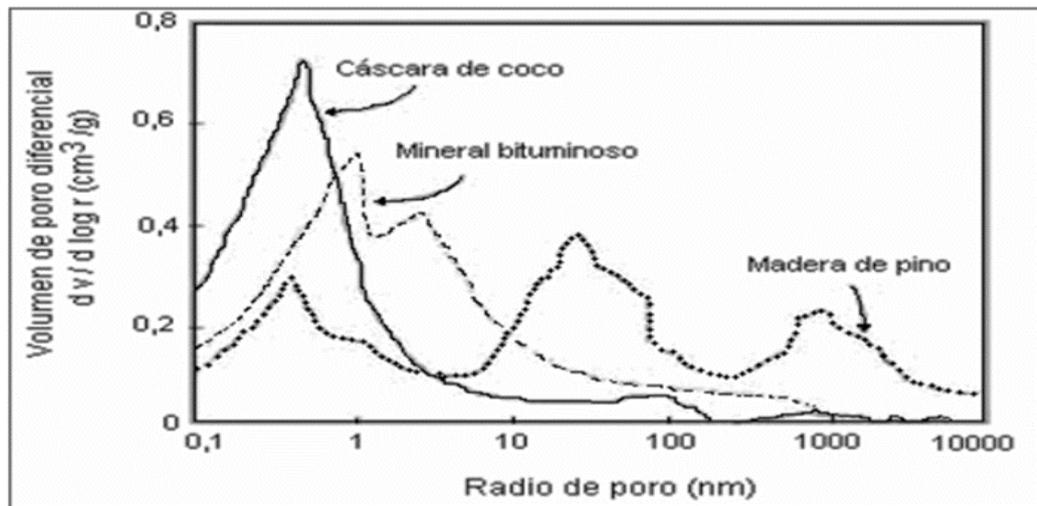


Figura 4. Tamaño de poro de carbón activado de diferente materia prima

Fuente: (Marsden y House, 1992 citado en Beltrán, 2012).

Tabla 1

Características de carbón activado de diferente materia prima

Marca Comercial	Materia Prima	Dureza (%)	Índice de Iodo (mg I ₂ /mg C.A.)	Capacidad de carga k (mg Au/g C.A.)
Calgon GRC-22	Cáscara de coco	91.6	955	24
Norit RO-3515	Hulla bituminosa	95.2	890	18
Quimicarb	Cuesco de palmiste	87.9	525	14

Fuente: (Valencia C., 1993 citado en Beltrán S., 2012).

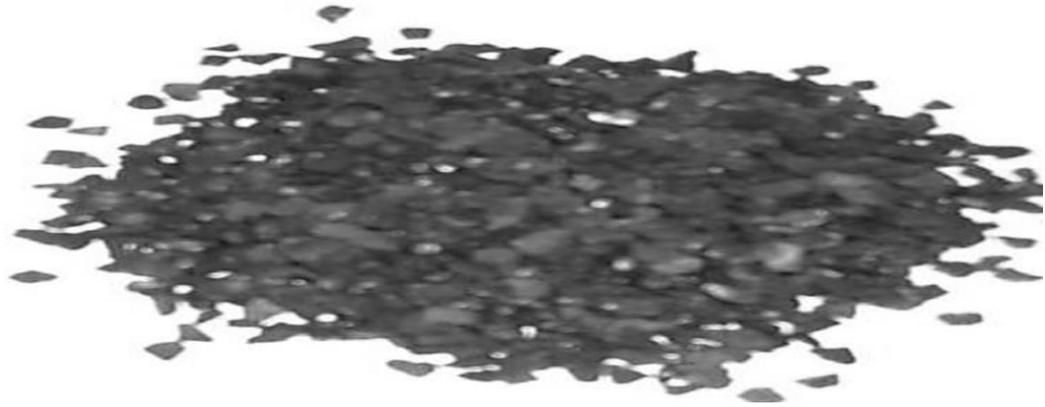


Figura 5. Carbón tipo granular

Fuente: (Jurado, 2019).

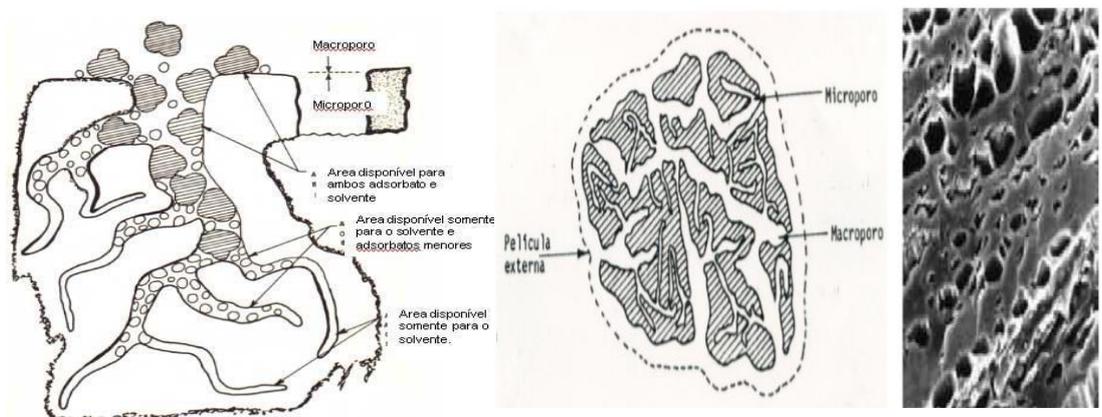


Figura 6. Estructura interna de un carbón activado

Fuente: (Saravia, 2013).

2.2.3. Características físicas y químicas

El carbón activado, un gran adsorbente, tiene una gran superficie, una estructura microporosa y un alto grado de reactividad. Un tipo de carbón activado utilizado industrialmente tiene una superficie de unos 800-1500 m²/g. La mayor parte de esta superficie está dispersa en pequeños poros conocidos como microporos. La mayor parte de esta superficie está dispersa en los poros más pequeños conocidos como microporos. Bajo un microscopio electrónico, el carbón activado tiene realmente una estructura que se asemeja a cintillos de papel arrugados y juntados de manera desorganizada, con una densa red de poros que se

dividen en microporos (\emptyset menos de 2 nm), mesoporos (\emptyset entre 2 y 50 nm) y macroporos (\emptyset superior a 50 nm). Los macroporos no añaden mucho a la superficie total, pero actúan como conductores para ayudar al material a llegar a los meso y microporos, donde es absorbido. Las sustancias se difunden a través de los macroporos a lo largo de las paredes de poros más pequeños, donde se produce la adsorción. Los terminales activos de los anillos aromáticos del carbón, que pueden ser radicales libres o electrones no apareados, estos terminales, que se estabilizan por resonancia, se crean durante la ruptura de enlaces durante el proceso de activación. Las interacciones entre heteroátomos como el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno y otras especies se producen cuando hay átomos de carbono con valencia imperfecta.

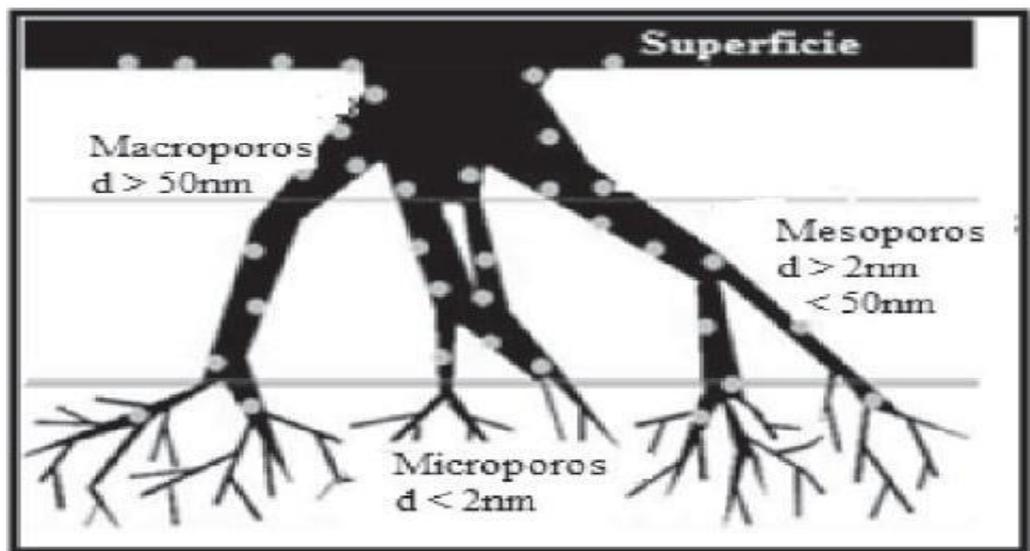


Figura 7. Estructura interna del carbón activado - Distribución de poros

Fuente: (Saravia, 2013).

2.3. ACTIVACIÓN DE CARBONES

En este proceso al carbón simple se le confieren cualidades adicionales, como adsorción, mayor densidad relativa, mayor filtrabilidad, etc., mediante el proceso de



activación de carbones. Para ello, existen dos procedimientos principales de activación, con diversas variaciones en función del estado del material y del producto final previsto, que puede ser carbón granulado o carbón en polvo. Los principales grupos de procesos, que suelen denominarse activación química o gaseosa son; los métodos utilizados para descomponer o deshidratar las moléculas orgánicas durante la carbonización que se basan predominantemente en componentes químicos inorgánicos que están presentes de forma natural en la materia prima y los métodos que dependen de la oxidación del material carbonoso con vapor, dióxido de carbono, aire a baja temperatura o flujo de gas a alta temperatura. Dependiendo de la activación prevista, las temperaturas para ambos tipos de activación oscilan entre 600 y 900°C y duran entre 15 minutos y varias horas (Tecsup Virtu@l).

2.4. ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

Este proceso es lo opuesto a la desorción, donde la molécula se fija a la superficie de un sólido como resultado de la existencia de interacciones intermoleculares atractivas en centros activos, en lugares concretos dentro del sólido. En un adsorbente pueden encontrarse tanto superficies homogéneas como heterogéneas. En los centros activos de las superficies homogéneas actúan las mismas fuerzas que en cualquier otra zona apta para la adsorción. Por otra parte, en el uso real, se descubre que las superficies heterogéneas presentan regiones activas con varios niveles de energía (Gomez & Rincon, 2010, pág. 25).

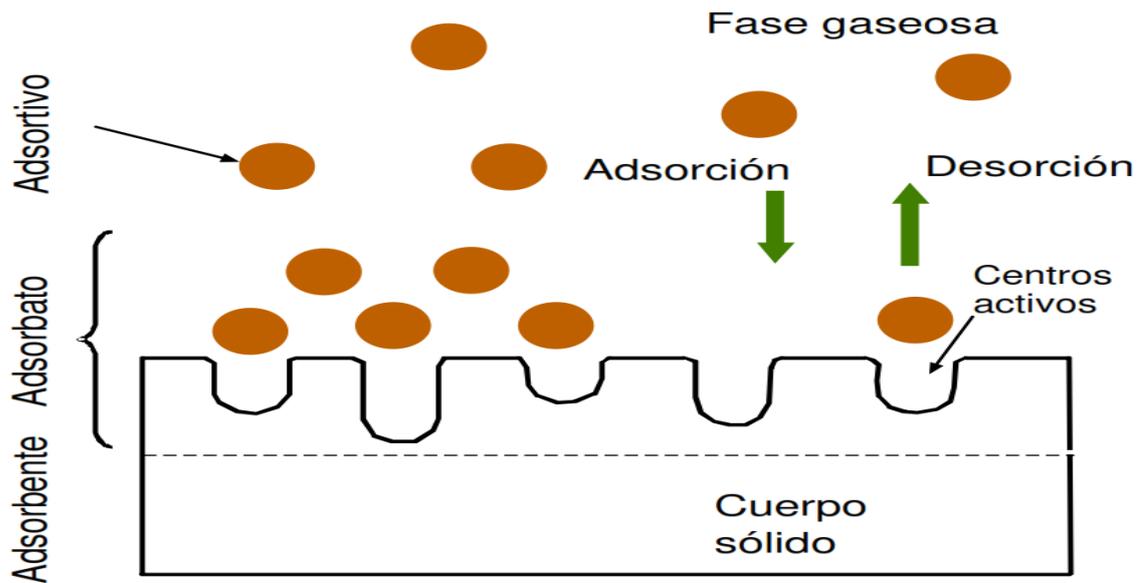


Figura 8. Terminología del carbón activado para los procesos de adsorción y desorción

Fuente: (Misari, 1992).

La teoría del cubrimiento de la superficie y la teoría del llenado de poros son dos teorías básicas usadas para explicar el proceso de absorción; La primera ofrece una mayor variedad de aplicaciones, mientras que la segunda es apropiada para sólidos microporosos. En la adsorción por cubrimiento se considera que al inicio se absorbe una capa de moléculas en la superficie llamada también adsorción monocapa; luego de que la primera capa se forma completamente, comienza la adsorción de más capas, las fuerzas de unión entre las moléculas y el sólido van disminuyendo hasta que solo produzca condensación en las capas posteriores (Gómez *et al.*, 2010, págs. 25,26).

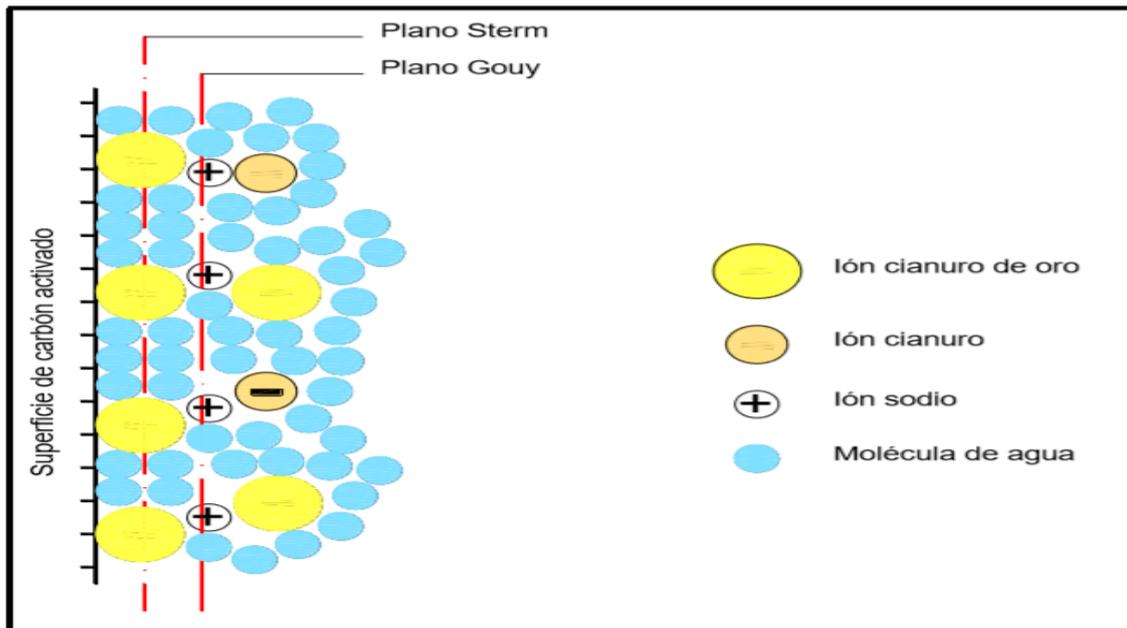


Figura 9. Adsorción de aurocianuro sobre la superficie de carbón activado

Fuente: (Misari, 1992).

2.4.1. Variables que afectan la adsorción del oro en el carbón activado a partir de soluciones cianuradas

En las últimas décadas, debido al importante crecimiento del uso de carbón activado para la recuperación de oro, se han realizado esfuerzos de investigación y desarrollo para comprender la química y el mecanismo del procedimiento. El objetivo es crear modelos adecuados que permitan un control sencillo de la operación de la planta con la menor pérdida de oro, tanto en la solución barren como en los finos de carbón. Así, se han investigado y discutido brevemente las variables que influyen en la adsorción del cianuro de oro por el carbón activado (Cárdenas & Espinel, 2016).

2.4.1.1. Efecto del carbón

La mayor parte de carbón activado se fabrican a partir de cascaras de coco o pepas de melón a una temperatura de 700°C a 800°C con



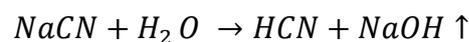
presencia de vapor. En la actualidad existen muchas marcas disponibles en el mercado y recientemente se ha investigado para establecer una relación entre constante de capacidad de equilibrio del carbón activado para el oro y factores sencillos de medir como el contenido de cenizas, área superficial y el pH. Por otra parte, las partículas finas tienen una cinética más rápida, existe la posibilidad que provoquen caídas de presión en las columnas. Se debe tomar en cuenta que las partículas finas, también pueden incrementar las pérdidas de oro en los relaves de las operaciones del circuito CIP, por lo que se usan tamaños relativamente gruesos de 10 a 20 malla (Cárdenas & Espinel, 2016).

2.4.1.2. Efecto de concentración de oro

Para una mayor concentración de oro es necesario tener un periodo de resiliencia más largo o aumentar la concentración de carbón en la pulpa para alcanzar niveles bajos de oro en los residuos.

2.4.1.3. Efecto del pH

Algunos estudios han sugerido un pH de 10.0 para la adsorción de carbono en la pulpa, por debajo de este punto, el cianuro se hidroliza, provocando pérdidas y la posibilidad de contaminación del medio ambiente. Pero, si el pH se eleva demasiado, la carga de oro en el carbón se ve incuestionablemente obstaculizada (Cárdenas & Espinel, 2016).





2.4.1.4. Efecto de la concentración de cianuro

El exceso del cianuro libre en la pulpa repercute negativamente en la capacidad y la cantidad de carga, al tiempo que tiene un impacto significativo en la movilidad de los iones. Por otro lado, el oro no se absorberá correctamente si el nivel desciende. Además, el carbón no se disolverá rápidamente si la carga se realiza en un entorno con muy poco cianuro libre (Cárdenas & Espinel, 2016).

2.4.1.5. Efecto de la temperatura

“La capacidad de carga de oro en el carbón activado decrece a medida que la temperatura es aumentada. Se puede afirmar que todos los circuitos de adsorción operan a temperaturas ambiente, mientras que la elusión es realizada a temperaturas cercanas al punto de ebullición” (Figuroa & Flores, 2010, pag.32).

2.4.1.6. Efecto del tamaño de partícula

La velocidad de adsorción está afectada notablemente por el tamaño de partícula de carbón. Partículas más pequeñas para una misma masa de carbón mejoran la adsorción del oro (como era de esperar por el aumento del área superficial) (Cárdenas & Espinel, 2016).

2.5. TÉCNICAS DE ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

Tres procedimientos de aplicación forman parte de la tecnología del carbón activado.

2.5.1. Carbón en Pulpa (CIP)

En proceso (CIP), se utiliza carbón activado para adsorber directamente iones complejos de oro $Au(CN)_2^-$ desde la pulpa cianurada. Se utiliza cuando el mineral es de buena ley, cuando el oro es un mineral que se disuelve lentamente, cuando no hay minerales carbonáceos en la mena y cuando tiene un alto contenido en cianidas (Alarcón, 2016, págs. 67-74).

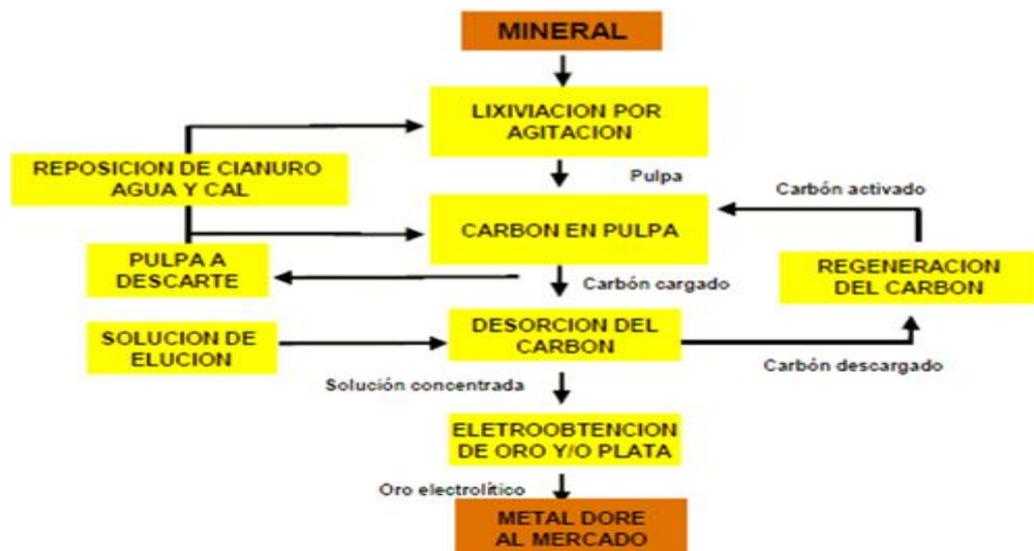


Figura 10. Proceso de Carbón en Pulpa (CIP)

Fuente: (Jurado, 2019).

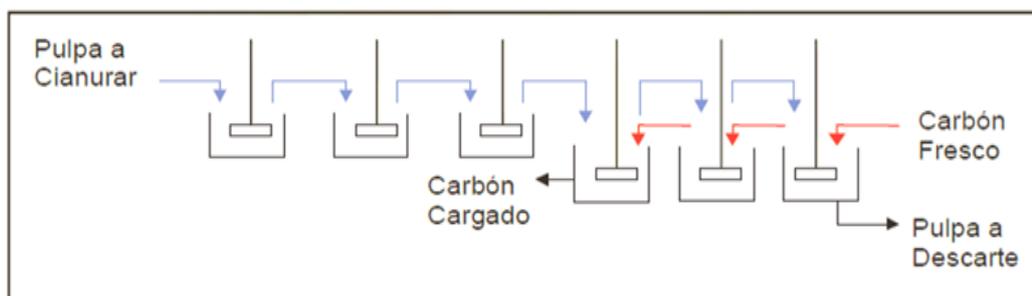


Figura 11. Circuito en Carbón en Pulpa (CIP)

Nota: Inicialmente se realiza el proceso de cianuración y luego la adsorción de oro y plata en el carbón.

Fuente: (Jurado, 2019).

2.5.2. Carbón en lixiviación - Carbón In Leach (CIL)

El proceso CIL, este método consiste en mezclar carbón activado en la pulpa del mineral mientras se lixivia y adsorbe simultáneamente. Facilita la lixiviación y cianuración del proceso CIP. Se utiliza para minerales de baja ley, minerales con una fuerte cinética de cianuración y minerales que extraen el oro reduciendo su recuperación (Alarcón, 2016, págs. 67-74).

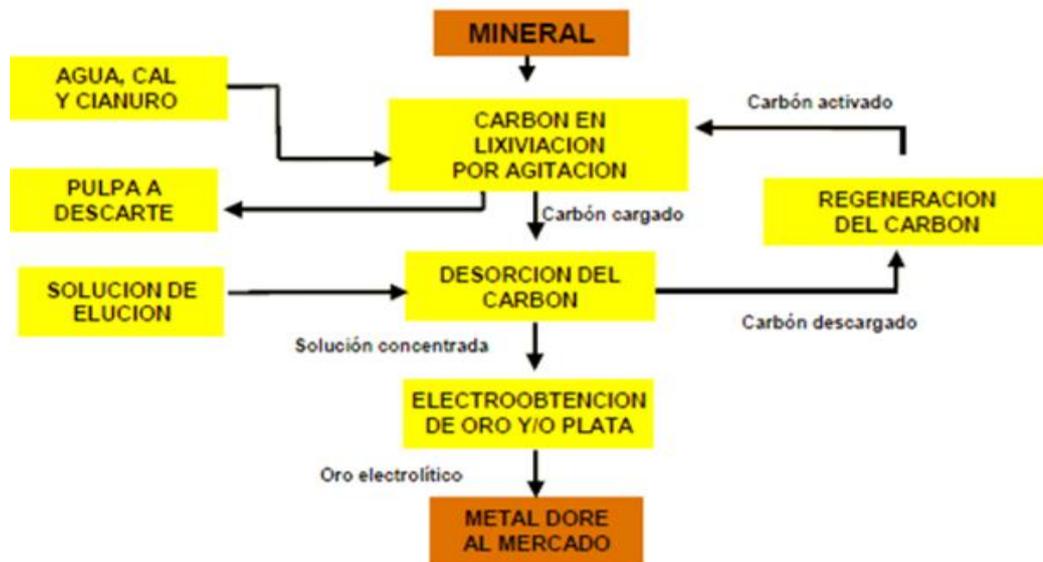


Figura 12. Proceso Carbón en lixiviación (CIL)

Fuente: (Jurado, 2019).

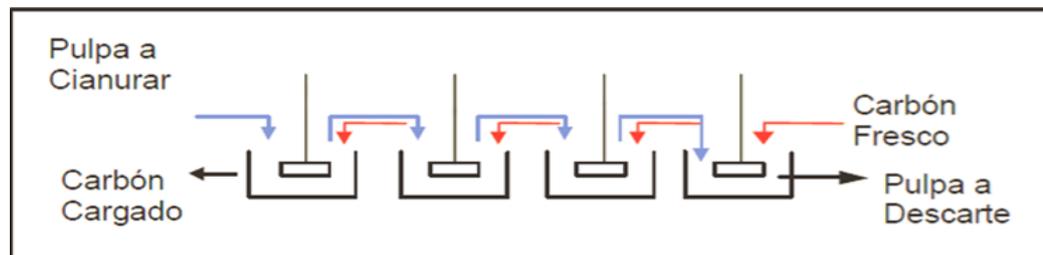


Figura 13. Circuito en Carbón en lixiviación (CIL)

Nota: El carbón activado fluye en contracorriente con la pulpa a lixiviar, efectuándose ambos procesos en forma simultánea.

Fuente: (Jurado, 2019).

2.5.3. Carbón en Columna (CIC)

La solución de lixiviación con cianuro se mueve a través de columnas llenas de mineral durante esta operación. La dilatación vertical de la columna de carbón se produce a medida que la solución se desplaza a través del carbón en dirección ascendente. El método es bastante eficaz para extraer oro y plata de minerales de baja ley (Tecsup Virtu@1).

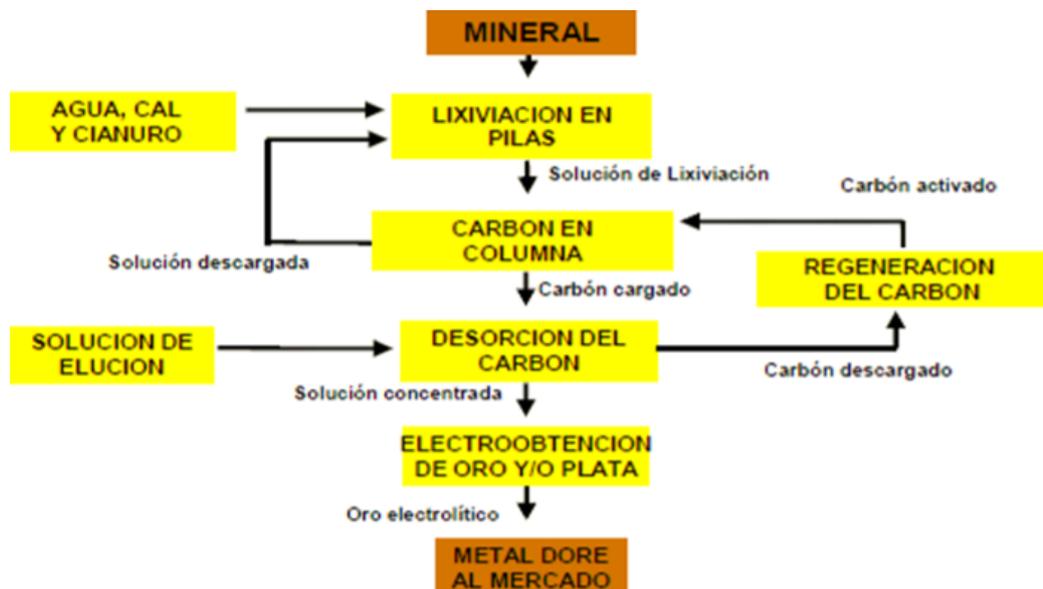


Figura 14. Proceso de Carbón en columna (CIC)

Fuente: (Jurado, 2019).

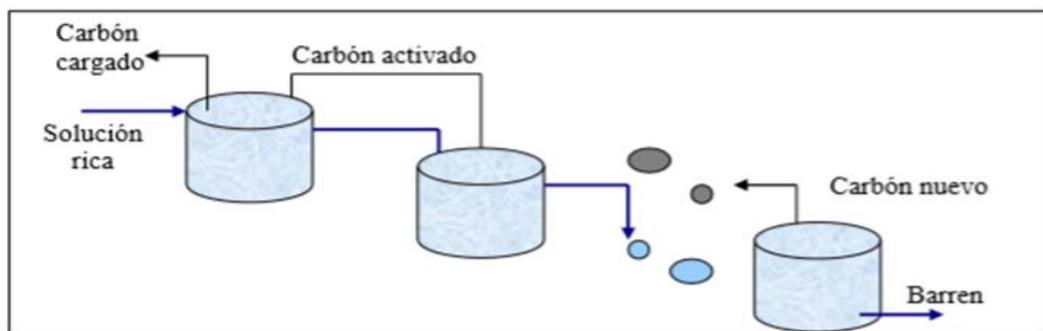


Figura 15. Circuito en Carbón en columna (CIC)

Fuente: (Jurado, 2019).



2.6. DESORCIÓN DE ORO DEL CARBÓN ACTIVADO

Lo contrario de la adsorción es la desorción. En otras palabras, la sustancia que se ha adsorbido en el carbón se extrae utilizando una solución que fluye a través del lecho de carbón que se ha cargado en un reactor específico para este proceso. El éxito de este proceso depende del control de las condiciones que reducen la capacidad de carga del carbón, entre las que destacan la temperatura, la fuerza iónica, la concentración de cianuro y la presencia de disolventes orgánicos. La actividad del carbón activado, que se pierde a lo largo del proceso de adsorción, determina el buen funcionamiento del proceso (Cárdenas & Espinel, 2016).

Las metas y objetivos de la etapa de desorción son:

- Recuperar la mayor cantidad de oro cargado a partir de la solución desorbido en el menor volumen posible.
- Obtener una solución con la máxima concentración de oro.
- Dejar una mínima cantidad de oro en el carbón desorbido.
- Trasladar el carbón al área de reactivación para un posterior proceso de adsorción
- Realizar el proceso con la seguridad necesaria y contar con los equipos de protección personal adecuados para el proceso de desorción.

2.6.1. Clasificación de los procesos de desorción

2.6.1.1. Procedimiento atmosférico zadra

Bajo presión atmosférica, el carbón activado es desorbido utilizando una tecnología desarrollada por Zadra en la Oficina de Minas

de Estados Unidos (U.S.B.M.). Esta solución contiene 0.1% de NaCN y 1% de NaOH. A través de recipientes cilíndricos de fondo cónico, construidos en acero inoxidable y con aislamiento de fibra de vidrio, una cantidad de carbón previamente lavado es circulada en sentido ascendente. Esta solución se bombea a través de los recipientes que contienen carbón cargado de oro, lo cual se envía a una celda de electrodeposición de circuito cerrado que utiliza un funcionamiento a contracorriente. Dependiendo de la calidad del carbón y de la eficacia del circuito de electroobtención, que funciona a presión atmosférica y mantiene una temperatura entre 85 °C y 95 °C, el proceso dura en total entre 24 y 60 horas. El punto de ebullición de la solución, por supuesto, pone un límite a esta temperatura (Trujillo, 2008).

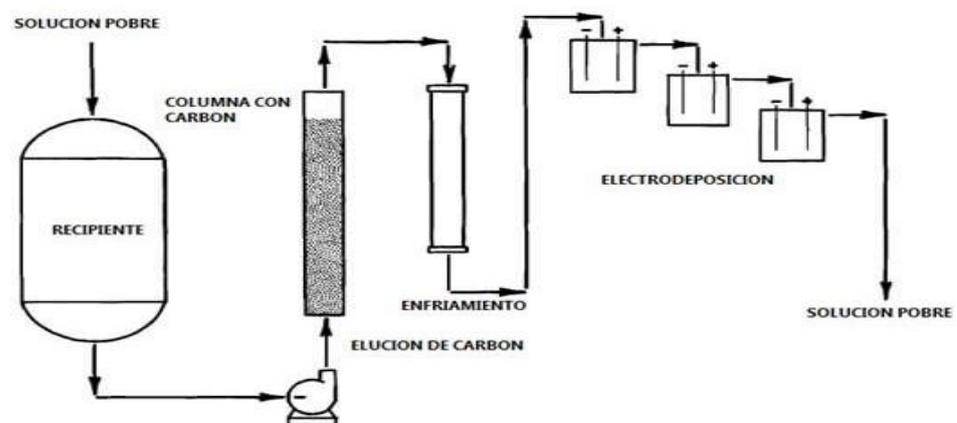


Figura 16. Diagrama de flujo del proceso atmosférico Zadra

Fuente: (911metallurgist, 2017).

2.6.1.2. Proceso de desorción con alcohol

La técnica de la solución alcalina de alcohol fue investigada por H.J. Heinen y sus colegas de la Oficina de Minas de EE.UU. para mejorar el rendimiento de la desorción de oro y plata. Se utiliza el mismo circuito

simultáneo de desorción y electroobtención, y la base es la misma solución de NaOH al 1% + NaCN al 0.1% de Zadra. Se añade un 20% en volumen de metano o etanol para lograr una alta eficiencia y reducir el ciclo de desorción a 5-6 horas en una operación a 80°C a presión atmosférica. Según las investigaciones realizadas por la USBM, la adición de alcohol a la solución de elución puede mejorar la cinética de elución del proceso de Zadra atmosférica. Se estudiaron varios aditivos alcohólicos. Se descubrió que el metanol, el etanol y el isopropanol aceleran la elución. El metanol y el etanol funcionan de forma similar, mientras que el isopropanol funciona significativamente mejor (Tecsup Virtu@1, pág. 15).

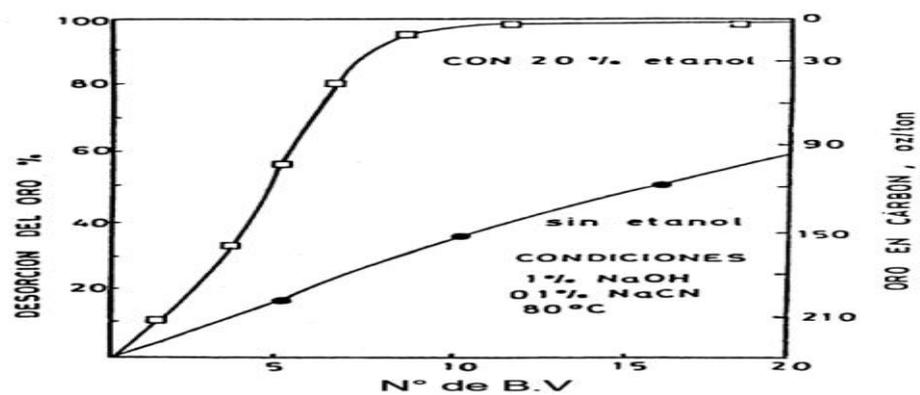


Figura 17. Efecto de etanol en la Desorción de Oro

Fuente: (Gupta, 1990 citado en Cárdenas & Espinel, pág. 17).

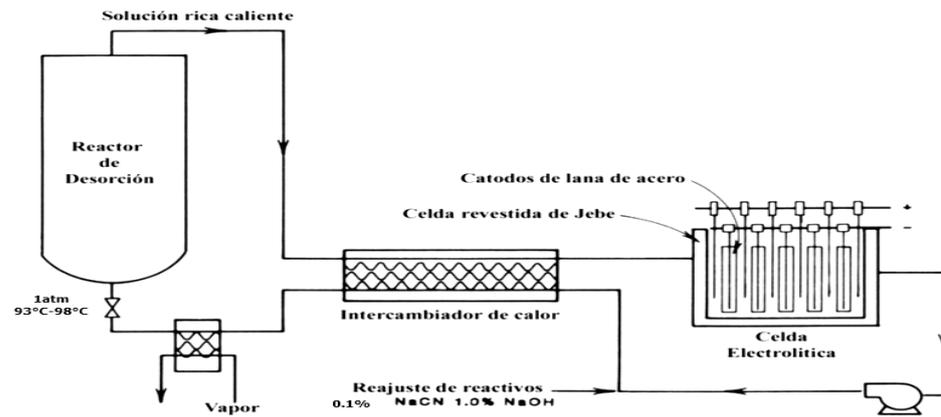


Figura 18. Circuito Zadra con Alcohol

Fuente: (Alfred, 2006 citado en Cárdenas & Espinel, 2016).

2.6.1.3. Proceso de re extracción a alta presión

Consiste principalmente en volver a extraer el carbón cargado de una solución que contiene 0.1% de NaCN (opcional) y 1% de NaOH a 160 °C y 50 psi de presión durante 2-6 horas. Este procedimiento fue desarrollado por Potter en la Oficina de Minas de Estados Unidos. La reextracción a alta presión tiene el efecto de reducir el uso de reactivos, la acumulación de carbón y el tamaño de la sección de reextracción. Las mayores presiones y temperaturas elevadas en este proceso requieren equipos más caros, y debe evitarse el retroceso de llama enfriando las soluciones efluentes antes de la reducción de presión (Tomalá, 1998).

2.6.1.4. Proceso anglo americano (AARL)

Para eliminar el exceso de acidez el proceso inicia con un lavado ácido y un enjuague con agua para retirar la acidez sobrante. El carbón activado es inmerso por 30 minutos en una solución que contiene 3 % NaCN y 1 % NaOH. Para crear una solución rica durante este procedimiento, se inyecta agua fresca de alta calidad a 230 °C en el

recipiente a presión. En este proceso el oro se recupera de solución por electrodeposición y la solución pobre de este proceso es descartada (911metallurgist, 2017).

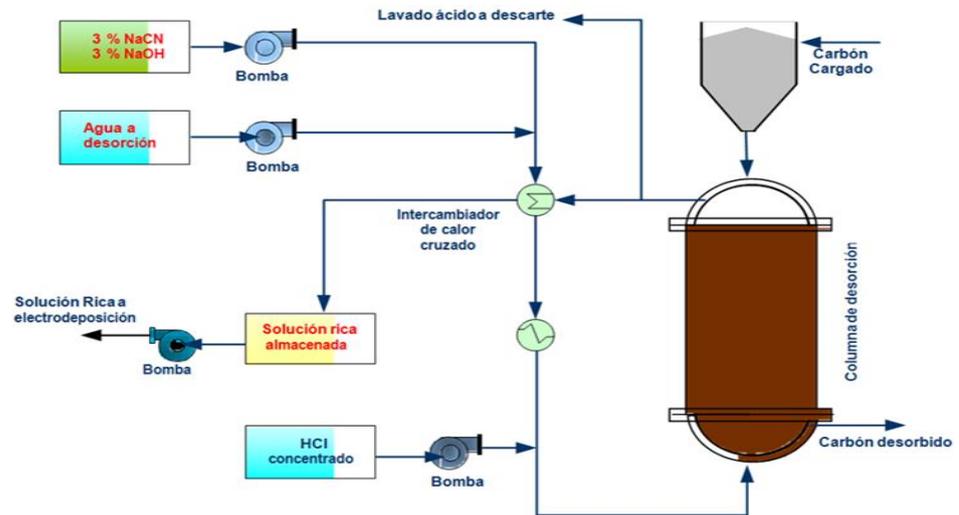


Figura 19. Diagrama del flujo del proceso Anglo – Americano

Fuente: (Linarez, 2015).

2.6.1.5 Proceso anglo americano con presión

Es similar al método Proceso Anglo Americano (AARL), pero al aumentar la presión a unas 2 ATM (unas 30 PSI o 200 kPa) se puede subir la temperatura a unos 110°C, reduciendo así los tiempos de tratamiento a unas 6 a 8 horas (Zegarra, 2018).

2.6.2. Comparación de procesos



Tabla 2

Comparación de los Procesos

Clasificación de los procesos de desorción	NaCN	NaOH	C_2H_5OH	Presión (kPa)	P(atm)	T(°C)
Proceso Atmosférico Zadra	0.1%	1%	-	100	1	98%
Proceso Zadra con Alcohol	0.1%	1%	20%	500	1	80%
Proceso de Reextracción de Alta Presión	0.1%	1%	-	100	1	160%
Proceso (AARL)	5.0%	1%	-	100	1	110%
Proceso (AARL) con Presión	5.0%	1%	-	200	1	110%

Nota: Resumen de condiciones de operación en los principales procedimientos de desorción de oro desde carbones activados.

2.6.2.1. Principales desventajas del proceso atmosférico zadra

1. Muy susceptible a la polución de la solución.
2. Alto consumo de energía por el tiempo de duración
3. Baja carga de eluyente a causa de una lenta reextracción.
4. Cinética lenta
5. Tiempo de elución muy prolongada

2.6.2.2. Principales ventajas del proceso atmosférico zadra

1. Relativa simplicidad
2. Bajo costo de capital
3. Bajo consumo de reactivo
4. Operación muy Simple



2.6.2.3. Principales desventajas del proceso zadra con alcohol

1. Alto peligro de Incendio.
2. Si no se recupera el alcohol, los costes operativos serán elevados.
3. Es necesaria la regeneración térmica para que el carbón recupere su actividad.
4. Eliminación periódica de la solución.

2.6.2.4. Principales ventajas del proceso zadra con alcohol

1. Tiempo corto de desorción.
2. Baja temperatura de trabajo.
3. Bajo costo de capital.
4. Tanques de acero templado.
5. Alto grado de solución desorbido.

2.6.2.5. Principales desventajas del proceso de reextracción a alta presión

1. Alto costo de capital.
2. Dado que los reactores funcionan bajo presión, es necesario protegerlos contra la sobrepresión.
3. El desarrollo de escamas en el intercambiador de calor.
4. La plata y el mercurio pueden fijarse al carbón mediante temperaturas extremadamente altas.



2.6.2.6. Principales ventajas del proceso de reextracción a alta presión

1. Permite realizar varias reextracción al día gracias a sus rápidos periodos de reextracción.
2. Es menos susceptible a las soluciones contaminadas.
3. La reextracción y la recuperación de oro son procesos independientes, cada paso puede mejorarse.

2.6.2.7. Principales desventajas del proceso (AARL)

1. Mayor costo capital.
2. Tanque sofisticado si se efectúa un lavado ácido a alta temperatura en el mismo reactor.
3. Requiere agua desmineralizada de alta calidad
4. Uso de temperatura y presión relativamente elevados
5. Circuito es más complejo.
6. La solución de reextracción no puede ser reciclada.

2.6.2.8. Principales ventajas del proceso (AARL)

1. La temperatura y presión moderada, reduce los costos de operación.
2. Muy buena reextracción.



3. La solución de reextracción se puede adicionar a un circuito existente de precipitación con zinc para la recuperación de oro.
4. Cinética rápida
5. El oro eluido tiene una alta concentración y eficiencia.
6. Circuito abierto sin eliminar los contaminantes de la solución.
7. La lixiviación utiliza eluyente de reciclo.
8. Es posible el funcionamiento a presión atmosférica.

2.6.2.9. Principales desventajas del proceso (AARL) con presión

1. Se requiere agua de buena calidad.
2. Alto consumo de agua.
3. Potencial mezcla de ácido con cianuro
4. Se requiere controles automatizados.

2.6.2.10. Principales ventajas del proceso (AARL) con presión

1. La elución por lotes del carbón activado, que da lugar a valores de oro extremadamente bajos en el carbón después de muchas horas, es la principal ventaja del proceso.
2. Incrementa la capacidad diaria en una planta existente.

2.6.3. Factores importantes en la desorción

López (2002 citado en Trujillano, 2008), realizó pruebas para identificar los factores que influyen en la desorción de oro en el proceso; Identifico el orden



de importancia, los cuales son; temperatura y Presión, contenido del calcio en el carbón, concentración de hidróxido y el flujo. Demostró satisfactoriamente la remoción del cianuro del proceso. Este cambio tiene un efecto positivo sobre la extracción de oro y la reducción del tiempo de tratamiento (pág. 71).

2.6.3.1. Temperatura y presión

La temperatura es el elemento más crucial en la desorción del oro del carbón activado. Por ejemplo, a presión atmosférica, la tasa de elución a 180 °C es 8 veces mayor que a 90 °C. De este modo, es posible reducir la duración de la operación a temperaturas en torno a los 100 °C; pero, para mantener el efluente en fase líquida, es necesario aplicar presión. De ahí que los sistemas de elución suelen centrarse en dos grupos (Trujillo, 2008).

- Procesos que operan a presión atmosférica y temperaturas por debajo de 100°C.
- procesos que operan a presión elevada y temperaturas por encima de 100°C.

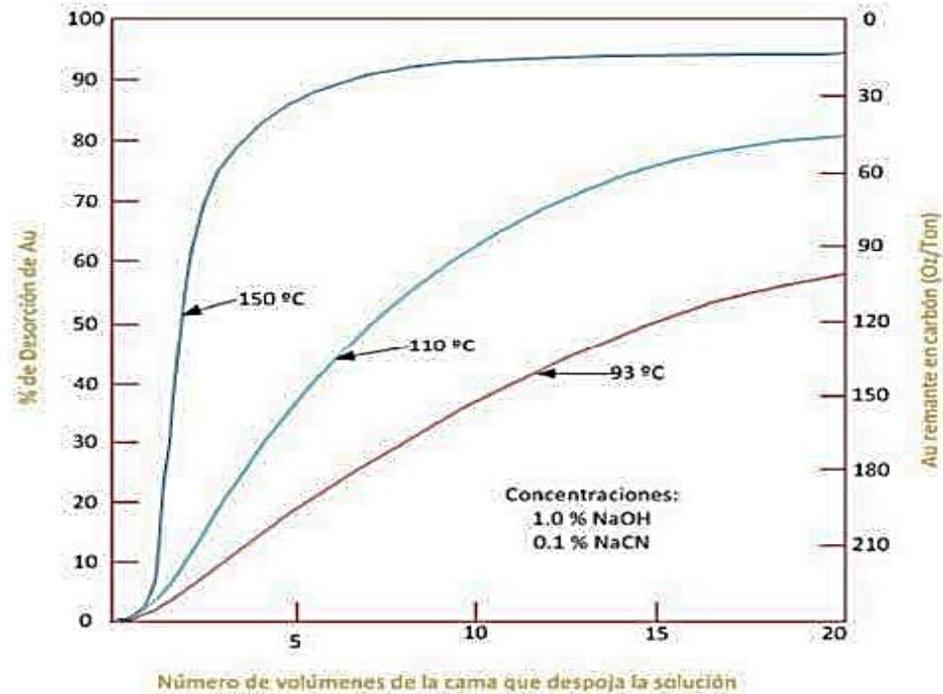


Figura 20. Efecto de la temperatura en la desorción de oro con método zadra

Nota: En la figura ilustra cómo afecta la temperatura a la capacidad de desorción. Todos los procedimientos de elución se llevan a cabo a temperaturas cercanas al punto de ebullición o, preferiblemente, a temperaturas más altas en reactores presurizados, ya que el estado exotérmico de la carga de oro es típico de muchos procesos de adsorción heterogénea.

Fuente: (Trujillo, 2008, pág. 73).

2.6.3.2. Concentración de cianuro

Cárdenas & Espinel (2016), indican que el mecanismo de la acción del ion cianuro tiene acción competitiva de adsorción en los sitios activos del carbón, considerando que la pérdida de cianuro del eluido por hidrólisis a temperaturas elevadas puede ser representativo (Pag.21).

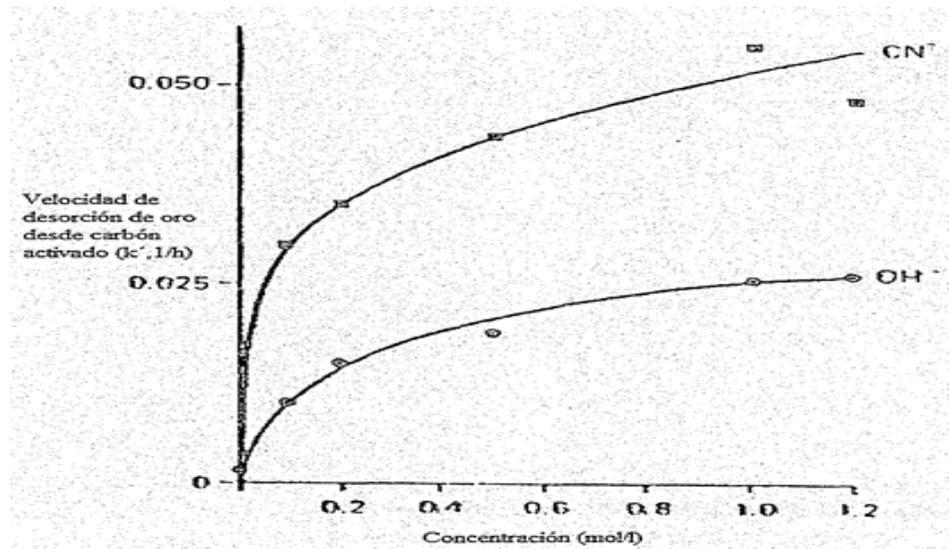


Figura 21. Efecto de la concentración de cianuro en el rate de elución

Fuente: (Trujillo, 2008, pág. 73).

2.6.3.3. Fuerza iónica y pH

“El pH tiene que estar mantenido entre 10.5 a 12 Los iones de hidróxido desplazan al cianuro de oro de una manera semejante que los iones de cianuro libre. Una suficiente alcalinidad es necesaria para evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis” (Trujillo, 2008).

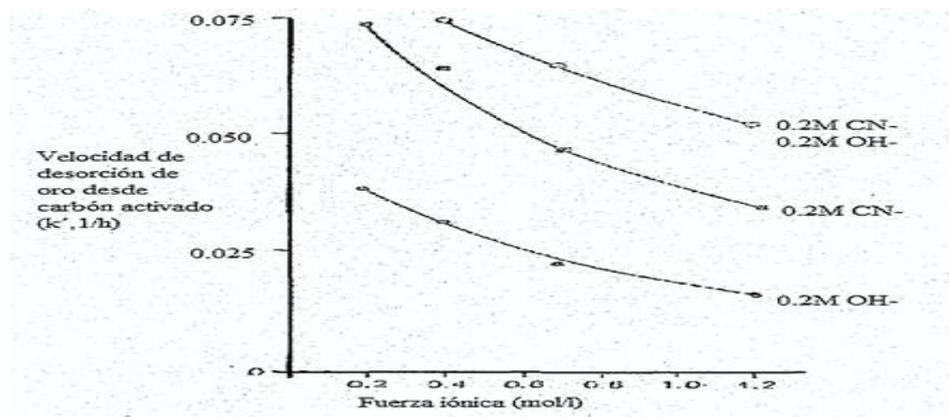


Figura 22. Efecto de la fuerza iónica en el eluyente en el rate de elución

Fuente: (Trujillo, 2008).

2.6.3.4. Adición de solventes orgánicos

Los disolventes orgánicos, como los alcoholes y el glicol, pueden añadirse a la solución de elución para acelerar significativamente la velocidad de desorción. Hacen que otras especies iónicas de la solución sean más activas, especialmente los iones diminutos como el cianuro, que son más preferentes a los iones grandes (Trujillo, 2008, pág. 75).

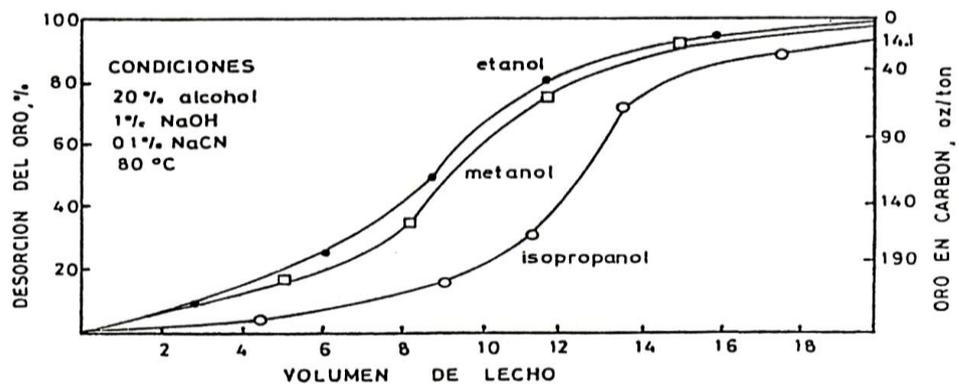


Figura 23. Diferentes solventes en la Desorción de Oro

Nota: El impacto del etanol se muestra en la Fig. 23. El periodo de elución puede reducirse de tres a cuatro veces utilizando alcoholes como etanol, metanol e isopropanol en concentraciones del 15 al 25% en el eluyente (por ejemplo, de 48 horas a 12 horas para una elución de tipo Zadra a 90 °C).

Fuente: (Cárdenas & Espinel, 2016).

2.6.3.5. La velocidad del flujo de solución

La velocidad del flujo de solución a través del carbón se expresa usualmente en unidades de volumen de lecho de carbón por hora (BV/h). A un periodo de mezcla de aproximadamente 1 (BV/h), la tasa de elución tiende a ser casi independiente de la velocidad del flujo, aunque la cantidad de oro residual que queda en el carbón se reduce con un incremento de la velocidad del flujo (Trujillo, 2008, pág. 75).

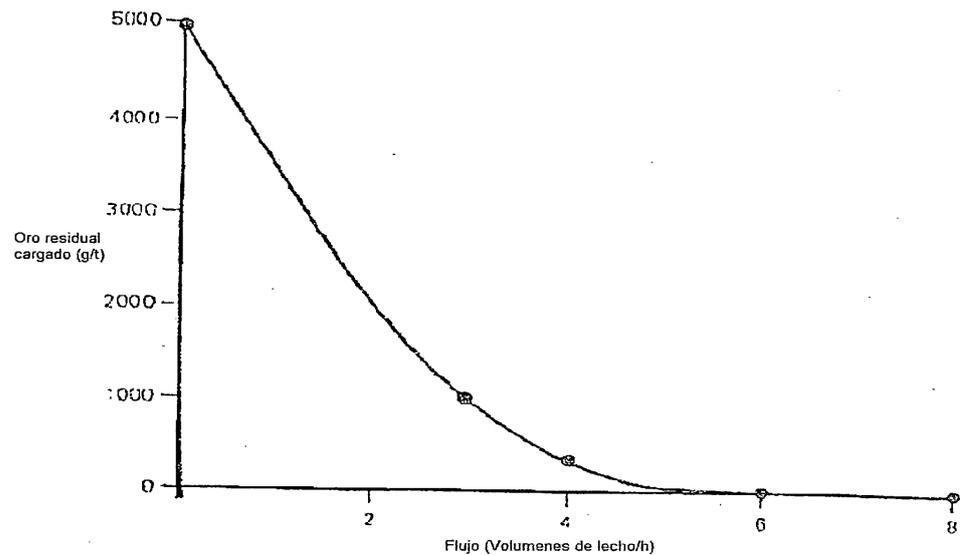


Figura 24. Efecto del flujo del eluyente para la Desorción

Nota: cómo se observa en la figura 24. Típicamente se usan velocidades de flujo de 2 a 4 BV/h para producir un carbón bajo en oro residual con lo cual se descarta la necesidad de un tratamiento excesivamente largo de volúmenes de efluente.

Fuente: (Marsden & House, 2006).

2.6.3.6. Concentración de oro en solución

Reduce la velocidad de elución con un tiempo dado en un proceso batch; el factor más fundamental para los sistemas de elución los cuales recirculan la solución directamente a la siguiente recuperación del metal. En este sentido la concentración de oro en la solución empleada para elución y consecuentemente la eficiencia de la elución, depende de la eficiencia de electro deposición (Trujillo, 2008, pág. 77).

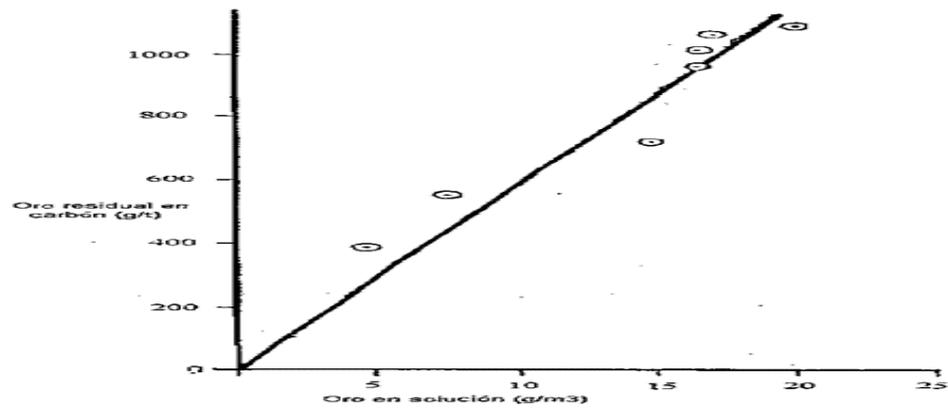


Figura 25. Isoterma de equilibrio para la dispersión de aurocianuro en una solución a 95°C de NaOH 0.2M y NaCN 0.2M en presencia de carbón activado

Fuente: (Marsden & House, 2006).

2.6.3.7. La elución de otros metales

Los “cianuros metálicos, aparte del oro, también son eluidos desde el carbón activado bajo condiciones aplicadas para la desorción de oro. El Cobre, plata y mercurio son desorbido antes que el oro” (Trujillo, 2008, pág. 78).

2.7. REACTIVACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón desorbido es reactivado térmicamente para ser reutilizado en la adsorción. La teoría de la absorción señala que al cambiar las condiciones en las que se encuentra el carbón, se podrá lograr la desorción o desprendimiento de los adsorbatos retenidos, dejando liberada la superficie del carbón activado (Bansal & Stoeckli, 1988 citado en Lapo, 2014, pág. 34).

El carbón activado tiene una estructura gráfica que, en determinadas circunstancias, lo convierte en un sólido extremadamente rígido. Puede soportar altas



temperaturas, así como fluctuaciones bruscas de temperatura. Los ácidos, los álcalis y una gran variedad de disolventes no le afectan, pero los agentes oxidantes potentes provocan su reacción. Basados en propiedades, existen métodos llamados reactivación o de regeneración, con los que pueden eliminarse adsorbatos de di naturaleza y sustancias orgánicas e inorgánicas depositadas en la superficie del carbón (Espín, 2001 citado en Lapo, 2014, pag. 34).

El carbón activado que se retira del proceso en el que se utilizó, se determina carbón agotado, sin tener en cuenta de que se deseche o de que se vaya a reactivar. Mientras más resistente es un carbón, menor porcentaje de este se pierde a lo largo del ciclo de reactivación, ya que resiste mejor los esfuerzos mecánicos a los que se somete, iniciando por el manejo y transporte del mismo (Van Deventer, 1985 citado en Lapo, 2014, pág. 35).

2.7.1. Tipos de reactivación

2.7.1.1. Reactivación con vapor de agua

De este modo, se desorben las moléculas orgánicas retenidas por adsorción física con una volatilidad inferior o aproximadamente equivalente a la del agua, es decir, un punto de ebullición inferior a 100°C a nivel del mar. Como las moléculas que se liberan mantienen su estructura original, es una técnica utilizada para recuperar disolventes de carbones que los absorbieron de una corriente de aire. Se sabe que el carbón pasa por muchos ciclos de adsorción-desorción. En el primer escenario, el disolvente se mantiene hasta que el carbón se satura, pero en el segundo, el disolvente se desorbe y la combinación de disolvente y vapor de agua se separa por decantación o destilación (Library).



2.7.1.2. Reactivación con gases calientes

Similar a la reactivación con vapor de agua, pero con gases de combustión en lugar de vapor. En algunos experimentos científicos de laboratorio, cuando la reactivación es necesaria sin la intervención de un gas oxidante, la desorción se realiza utilizando una fuente de calor indirecta para un gas inerte. El vacío también puede producir un resultado más rápido o eficaz (Library).

2.7.1.3. Reactivación térmica

“La reactivación térmica implica eliminar los adsorbatos de un carbón empobrecido usando los mismos hornos que se usan para la activación térmica de carbón activado, pero a una temperatura más baja” (Lapo, 2014, pág. 36).

2.7.1.4. Reactivación con ácido

Si las partículas de un carbón muestran un color entre blanco a gris claro, probablemente estén envenenadas o bloqueadas con carbonato o con hidróxido de calcio. En este caso, la reactivación térmica no puede eliminar estos compuestos; En su lugar, se utiliza la limpieza con una solución ácida. Puede utilizarse cualquier ácido potente, aunque el ácido clorhídrico es el más utilizado. El carbón se bombea a la solución, que tiene aproximadamente un 5 % en peso. Las sales de calcio tardan mucho tiempo en disolverse. El periodo exacto puede oscilar entre 10 y 40 horas, dependiendo de lo saturado que esté el carbón. La solución se calienta entre 60 y 700° C y el proceso se mantiene agitado para aumentar la



velocidad. Una vez finalizado el proceso de reactivación, el carbón debería haber recuperado su tono negro original (Library).

2.7.1.5. Reactivación mediante la modificación del pH en solución acuosa

Este método no es aplicable al tratamiento de agua, ya que no aborda la mayoría de los contaminantes que normalmente retiene el CAG. Su uso se reduce a procesos muy específicos donde el carbón se adsorbe un solo compuesto, como el fenol (Carbotecnia, 2020).

2.8. ELECTRODEPOSICIÓN DE ORO

Haciendo pasar una corriente a través de una celda de electroobtención, los metales preciosos adquiridos en el proceso de elución se separan de la solución por electrodeposición. Un recipiente resistente a la corrosión contiene el cátodo, el ánodo y el electrolito. El ánodo y el cátodo están conectados a la fuente de alimentación. El metal se deposita en el cátodo como resultado del flujo de electricidad a través de la celda. Hay un flujo lineal o radial en el compartimento de la celda. Una nueva solución que entra en la célula sustituye a la solución empobrecida a medida que el metal se toma del electrolito a través de los lugares de circulación considerados (911Metallurgist, 2017).

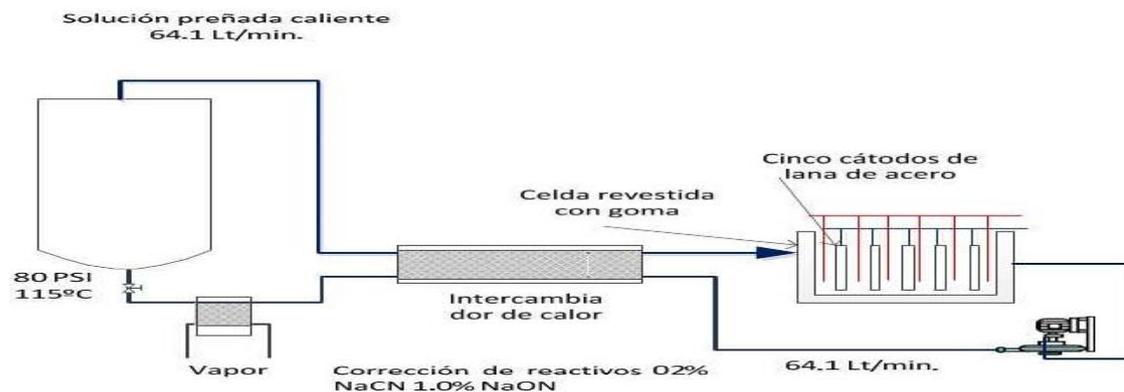


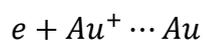
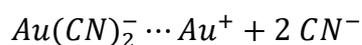
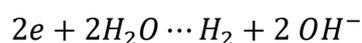
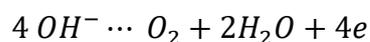
Figura 26. Circuito de desorción electrodeposición de oro

Fuente: (Torres).

2.9. REDUCCIÓN DE ORO A PARTIR DE SOLUCIONES CIANURADAS

El oro se deposita comúnmente a partir de un electrolito con ánodos insolubles y oro presente como $Au(CN)_2^-$. Un método típico para reducir los gastos de capital es el uso de ánodos insolubles, que suelen ser de acero inoxidable (18% Cr - 8% Ni con bajo contenido en Mo o Ti). Se pueden añadir sales de oro en función de acuerdo a la deposición de oro para mantener la concentración del electrolito. No es crítica el espacio que haya entre el cátodo y el ánodo (Tecsup Virtu@1).

El oxígeno se produce en el ánodo de la celda electrolítica, mientras que el oro se deposita en el cátodo para formar hidrógeno: (Tecsup Virtu@1).





El cátodo transfiere principalmente iones positivos a una región cercana a su superficie conocida como doble capa de Helmholtz. Los iones complejos Au (CN) cargados negativamente que llegan a esta capa se polarizarán en el campo eléctrico del cátodo. La distribución de ligantes alrededor del metal se distorsiona, lo que favorece la difusión de iones complejos hacia la capa de Helmholtz, y finalmente el complejo se destruye dentro de la capa de Helmholtz. Los componentes ligantes de estos iones o moléculas se liberados y el metal se libera como cationes metálicos cargados positivamente, que se depositan en el cátodo como átomos metálicos (Tecsup Virtu@1).

2.9.1. Electrodeposición en plantas de procesamiento de oro

Para (Tecsup Virtu@1) la electrodeposición de oro a partir de soluciones de cianuro tiene dos ventajas importantes sobre la precipitación de oro con reactivos químicos. Primero la solución puede recircularse durante el proceso de extracción, ya que no se introducen reactivos químicos como resultado de la reducción electrolítica y segundo, el oro electrodepositado de alta pureza. Sin embargo, como las soluciones preñadas de las plantas contienen poco oro, tienen electrolitos débiles, un flujo de corriente baja, lo que es más importante, una tasa de deposición muy baja por unidad de superficie catódica (Tecsup Virtu@1).

Zadra fue el primero en sugerir cátodos permeables rellenos de lana de acero en una en una caja como bastidor, donde la velocidad de deposición es muy alta debido a la extensa área del cátodo. Según Zadra, "una lana de oro gruesa (sobre una placa sólida de acero inoxidable como cátodo) puede depositarse fácilmente, pero debido a la pequeña área del cátodo, la tasa de deposición es pobre. Para dar cabida a los cátodos necesarios y ofrecer el área de deposición

apropiada a tasas de deposición adecuadas, "el uso de este tipo de cátodo requirió la construcción de celdas electrolíticas masivas (Tecsup Virtu@1).

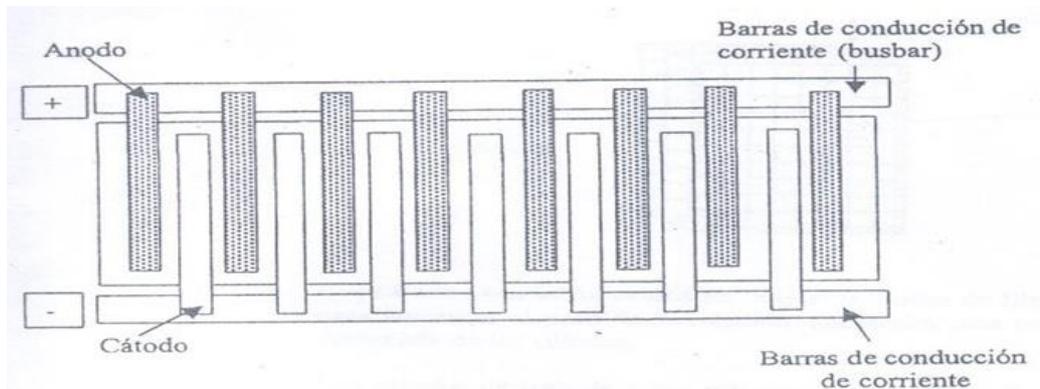


Figura 27. Esquema de celda electrolítica (vista superior)

Fuente: (Lapo, 2014).

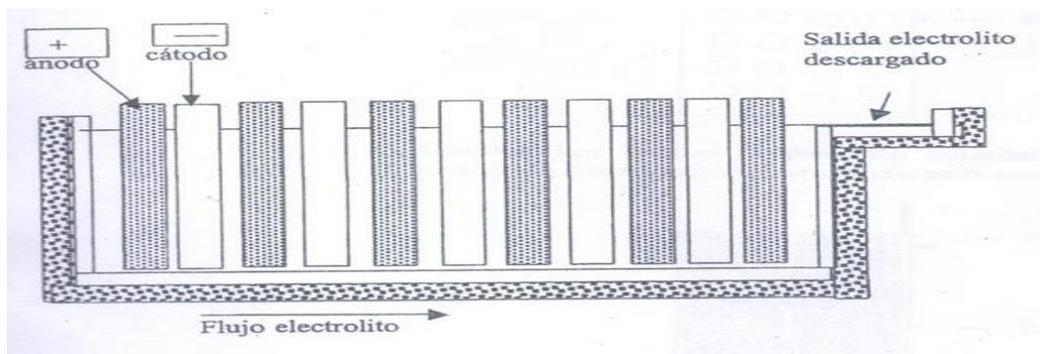


Figura 28. Esquema de una celda electrolítica (vista lateral)

Fuente: (Lapo, 2014).

2.10. FUNDICIÓN

Para (Paz Rubio, 1998 citado en Barazorda & Lima, 2019) los procesos de desorción y electrodeposición nos dan productos de cemento de oro (Au), plata (Ag) y otras impurezas como el cobre (Cu), sílice (Si), plomo (Pb), hierro (Fe), etc., las cuales son sometidas al proceso de fundición, entre ellos:

Procedimiento:

- El secado del cemento es el primer paso.



- Se utiliza una pequeña cantidad de sílice para limpiar el hierro y se mezcla con carbonato sódico y bórax para eliminar las impurezas. En un crisol, la fusión se produce a una temperatura superior a 1000°C . La masa fundida se vierte en moldes rectangulares para 10 kg de metal al cabo de una hora.
- Obtención de los bullones.
- El refinado complementa la etapa; Los lingotes pueden refinarse de dos maneras: química o electroquímicamente.

El objetivo del proceso de fusión o fundición, que suele tener lugar entre 1200°C y 1400°C , es crear un material exponiéndolo a fundentes que producen escoria. La calidad de la escoria generada, determinada por los niveles de oro y plata en la escoria y la recuperación de metales base aprisionados en la escoria, determina la eficacia de la separación. El precipitado de oro debe fundirse primero con fundentes específicos para producir el metal dore, que contiene una combinación de alrededor del 95% de oro y plata. El producto metálico de la fundición es descargado en un molde de barra de molde de lingote, que pesa entre 700 y 1200 onzas. Se venderán a una refinería de metales preciosos, donde el oro y plata se purificarán de impurezas para crear oro de 24 K, que es 100% puro, y plata de 999 (Tecsup Virtu@1).

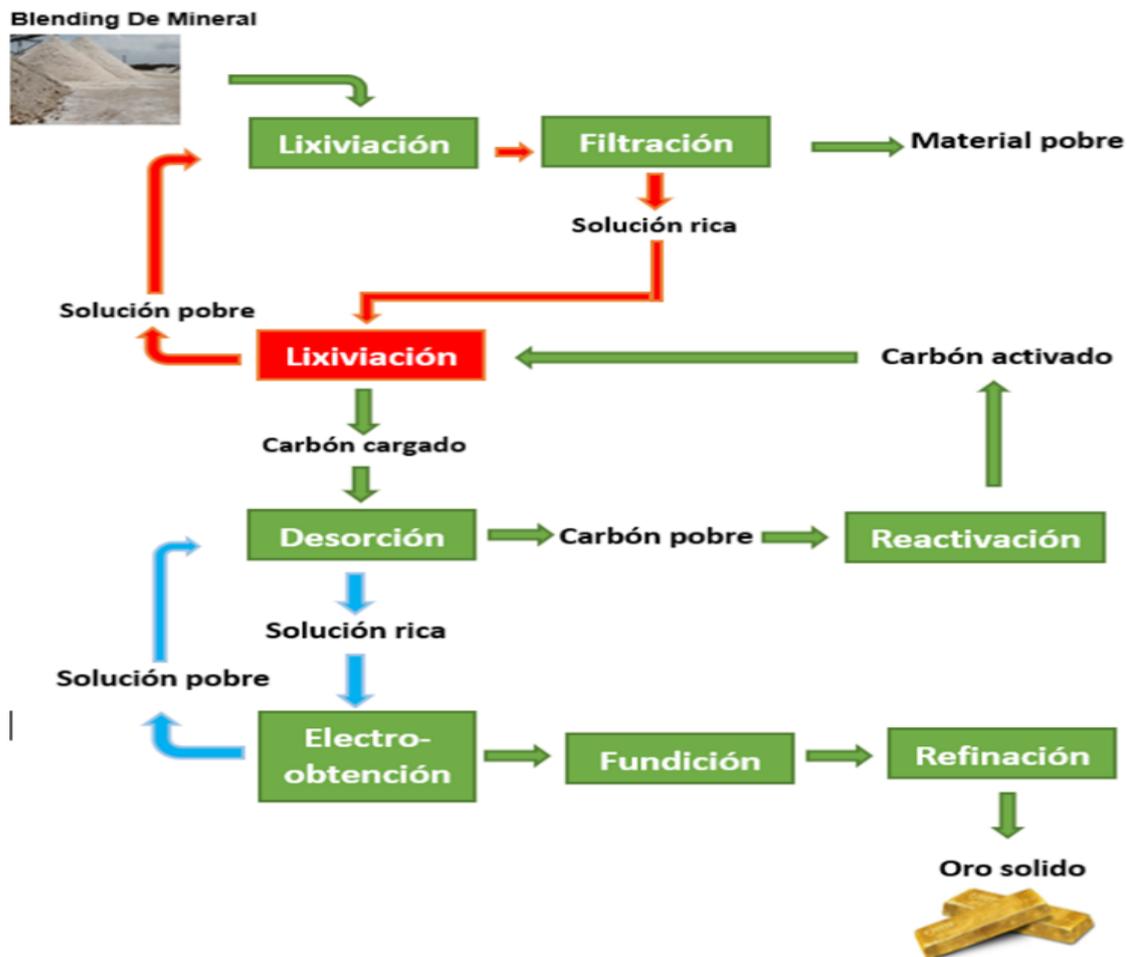


Figura 29. Diagrama de flujo de las etapas del proceso de la extracción del oro



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE ESTUDIO

La planta de beneficio Minera Españolita del Sur S.A., está ubicado en el Km 616 de la Carretera Panamericana Sur, en una zona despoblada de las Pampas la Aguada, cerca de la confluencia de la quebrada Huanca, en el distrito de Chala, provincia de Caraveli, departamento de Arequipa, a una altura aproximada de 225 metros sobre el nivel del mar.

Región	: Arequipa
Provincia	: Caravelí
Distrito	: Chala
Anexo	: Pampa La Aguada
Región Geográfica	: Costa
Altitud	: 225.00 m.s.n.m.

Las coordenadas se muestran en la tabla N.º 3: La zona 18 de la hoja de Chala y la posición 32 de la Carta Nacional son las coordenadas de la zona de la planta.

Tabla 3

Coordenadas UTM-WGS84 del área de la planta MEDSURSA

Coordenadas	
-15.826787	-74.286083

Fuente: (Google, 2020).

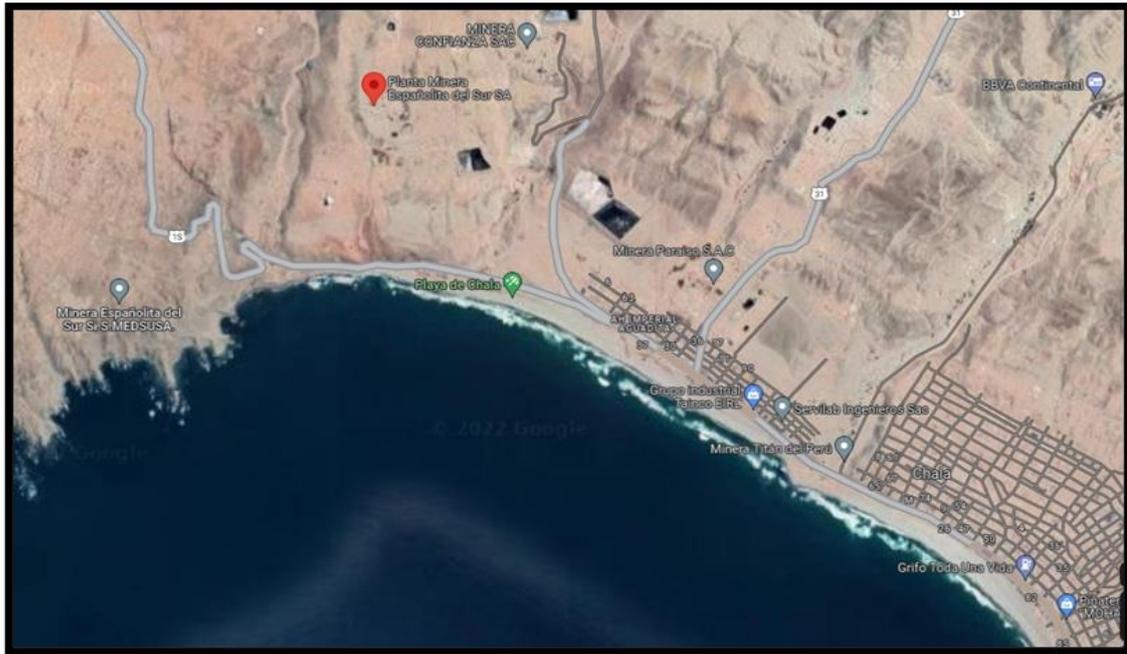


Figura 30. Ubicación de la Planta de Beneficio MEDSURSA

Fuente: (Google s.f.) adaptado en (MEDSURSA, 2016).

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El presente proyecto se ejecutó durante los meses de mayo a noviembre del año 2022.

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO

El carbón cargado es proveniente del circuito de proceso de la planta de adsorción (CIP), siendo un promedio de 4 toneladas por campaña con una ley promedio de 4 gr/kg C, el carbón es desorbido en la planta de desorción que tiene capacidad de 6 toneladas.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Población

La población con la que se realizó la investigación fueron los lotes carbón cosechado de la planta de adsorción.



3.4.2. Muestra

En esta investigación se tomó muestras de los lotes del carbón cargado y desorbido al inicio y al final del proceso de desorción, y se tomaron muestras de la solución de elución a la entrada y a la salida de la celda de electroobtención.

Las muestras son muy importantes para determinar la eficiencia de la recuperación de oro.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

La estadística inferencial, para la que se utilizó el programa informativo MICROSOFT EXCEL, se empleó para reunir, ordenar y mostrar datos numéricos en forma de tablas y gráficos.

3.6. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.6.1. Tipo de investigación

La investigación que se ejecutó es aplicada y tiene un nivel exploratorio, descriptivo, cuantitativo, correlacionar y explicativo.

Es exploratorio porque se establecerán algunos parámetros de operación de acuerdo con el sistema de desorción por el método de Zadra con alcohol; descriptivo y cuantitativo porque se describirán los pasos del proceso; se recopilarán datos, se medirán y se evaluarán; es relevante porque se comprenderá la relación entre velocidad de flujo, temperatura, concentración de solución barren y el tiempo de funcionamiento.



3.6.2. Método experimental

El método de investigación experimental es una etapa de la investigación realizada a nivel laboratorio para poder establecer parámetros que sirvan de guía en la adecuación de una planta de desorción y electrodeposición en el lugar citado donde se realizó la obtención de algunos datos como velocidad de flujo, temperatura, concentración de solución barren, tiempo de operación, granulometría de carbón y leyes de oro.

3.6.3. Diseño de la investigación

El diseño de este estudio se describe a continuación:

- Las muestras de carbón se tomaron primero de los lotes cosechados en la planta de adsorción para determinar la ley del oro.
- El diseño técnico del sistema propuesto tuvo en cuenta todas las disciplinas que formarán parte del estudio, por ejemplo:

Metalurgia: Esto determino el tamaño del sistema, el flujo, la capacidad, tipo de reactivos, la concentración del reactivo, y la especificación de los parámetros operativos.

Mecánica: A partir de los datos recogidos por el metalúrgico, se encargó de elegir y diseñar adecuadamente los equipos mecánicos.

Eléctrica: Se encargó de diseñar los aparatos eléctricos para alimentar los equipos electromecánicos.

- Durante las pruebas experimentales se realizaron constantes tomas de muestra los cuales fueron analizados en el laboratorio químico, con base



en los resultados de laboratorio, luego se realizó el balance metalúrgico y determinar el tiempo de residencia óptimo.

3.6.4. Método de investigación

Para extraer conclusiones generales, se aplicó la técnica inductiva, partiendo de los datos particulares de la presente investigación.

Atizándose la siguiente secuencia metodológica:

1. Observación y anote de los detalles.
2. Evaluación de los datos recogidos.
3. Agrupación del material en categorías.
4. Establecimiento de afirmaciones y conclusiones basadas en el análisis y el razonamiento que se apoyen en la investigación continua.

3.7. MATERIALES

Para realizar el proyecto de evaluación técnica y económica para la instalación del área de desorción de oro en la empresa MEDSURSA- Chala, se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

3.7.1. Equipos

- a) Espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN 240 con Lámpara de Oro.
- b) Balanza Analítica
- c) Medidor De pH



- d) Convertidor de corriente alterna a corriente continua.

3.7.2. Reactivos

- Cianuro de sodio (NaCN)
- Ácido clorhídrico concentrado (HCl)
- Alcohol industrial al 96 %
- Ácido nítrico concentrado (HNO₃)
- Agua destilada.

3.7.3. Otros

- Hojas de papel bond
- Computador Portátil
- Impresora LX – 300
- Bolígrafos

3.8. PROCEDIMIENTO

Para desarrollar el presente proyecto de investigación se cumplió el siguiente procedimiento.

3.8.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para esta investigación se emplearon los siguientes métodos de recogida de datos:



Análisis documental: Se empleó el método tradicional de desorción de Zadra para extraer el oro del carbón activado. Se utilizaron publicaciones de trabajos operaciones mineras. Las especificaciones realistas de las plantas convencionales fueron importantes para definir los requisitos de diseño del sistema de recuperación de oro del carbón fino.

3.8.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- Trabajo en sitio
- Clasificación y codificación de datos
- Tabulación
- Gráficos
- Análisis e interpretación

3.8.3. Especificaciones de diseño para desorción

La información y/o los modelos matemáticos extraídos de las referencias de este documento y todos los componentes accesibles en el mercado local y nacional se utilizaron para desarrollar el equipo que se utilizará en el área de elución.

3.8.3.1. Carbón

Tipo	: Granular
Ley Rica	: 4 – 5 g/kg
Ley Pobre	: 0.1 g/kg
Tamaño	: 6 × 12 mm



Densidad Real: 2.2 g/ml

3.8.3.2. Solución STRIP

Flujo : 7m³/h

Densidad : 1.2 g/ml

Temperatura : 85°C

Ph : 13 - 14

% sólidos : < 5

NaCN : 0.2%

NaOH : 1.0 %

Alcohol : 20 %

3.8.3.3. Control y proceso

Tiempo de Calentamiento : 2 horas

Tiempo de Desorción : 58 horas

NaCN : 2 000 ppm

Temperatura : 85°C

Recuperación : 98 %

3.8.3.4. Caldero pirotubular

Vol. Interno: $\frac{\pi \times \text{Alto}^3}{16}$



$$\text{Diámetro: } \frac{\text{Alto}}{2}$$

3.8.3.5. Tanque de solución barren

$$\text{Vol. Interno: } \frac{\pi \times \text{Alto}^3}{4}$$

$$\text{Diámetro} = \text{Alto}$$

3.8.3.6. Bomba de solución continuo

Protección : IP 44

Succión : Positiva

Descarga : Atmosférica

Tubería : 1"

3.8.3.7. Tanque reactor

Ratio Volumétrico : 2.5 l/kg

$$\text{Vol. Interno} : \frac{\pi \times \text{Alto}^3}{36}$$

$$\text{Diámetro} : \frac{\text{Alto}}{3}$$

$$\text{Cono (h)} : \frac{\text{Alto}}{5}$$

Carga : 8"

Descarga : 4"

Salida : 3"



3.8.3.8. Celda Electrolítica

Ratio Volumétrico = 5% del Tanque Pulmón.

Vol. Interno = Largo x (Ancho)²

Alto = Ancho

Profundidad (h) = 4% del Largo.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación técnica permitió proponer y analizar las diferentes opciones tecnológicas y económicas para producir los bienes o servicios que se requieren, lo que además admite verificar la factibilidad técnica de cada una de ellas.

Este análisis identifica los equipos, la maquinaria, las materias primas y las instalaciones necesarias para el proyecto, por lo tanto, los costos de inversión y de operación requeridos.

Finalmente, los aspectos que se relacionan con el desarrollo del presente proyecto son los que tienen mayor incidencia sobre la magnitud de los costos y las inversiones que deberán efectuarse a la hora de implementar un proyecto.

En el análisis de la viabilidad financiera de un proyecto, el estudio técnico cumple la función de proveer información para cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación pertinentes.

Así mismo para cumplir con los objetivos específicos, en primer lugar, paso a describir los equipos con que cuenta la empresa Minera Españolita del Sur y sobre los cuales se realizó el presente proyecto, de investigación:

4.1. SELECCIÓN DE EQUIPOS

4.1.1. Tanque de solución barren

Capacidad del volumen interno: 5 m³.

Largo: 3 m



Si los 5 m³ de agua son el 80% del total entonces el volumen interno del tanque es $(5/80\%) * 100\% = 6.25 \text{ m}^3$.

Las dimensiones para este volumen son:

$$\text{Vol. Interno: } \frac{\pi \times \text{Alto}^3}{4}$$

$$6.25 \text{ m}^3 = \frac{3.1416 \times \text{Alto}^3}{4} \rightarrow \text{Alto} = 2 \text{ m}$$

Diámetro = Alto

Diámetro: 2 m.

Materiales de fabricación.

Para la plancha de acero estructural para la construcción de este equipo, se usa la norma API-ASME considerando que a 90°C no hay un cambio significativo de las propiedades estructurales del acero que puedan ocasionar fallas de gran magnitud.

- Acero estructural LAC A-36 de ¼" de espesor.
- Lana de vidrio de 2" de espesor, para el Aislamiento térmico. Los tanques de solución barren, se recubre con planchas de lana de vidrio, para evitar la transferencia de calor hacia el exterior y de esta manera calentar más rápido la solución STRIP (eluyente).
- La parte superior del tanque va reforzada con un anillo de 2" de ancho para darle mayor estabilidad y fuerza al tanque y con una plancha de ⅛" de espesor.

- Pintura general con base epóxica y acabado final con pintura térmica.
- Coples y bridas respectivas para entrada y salida de solución, entrada de reactivos, retorno de rebose de las celdas y salida para descarga de limpieza.
- Indicador de nivel de la solución.



Figura 31. Tanque de solución barren

4.1.2. Caldero

Las dimensiones son:

Longitud de la caldera (incluye quemador): 2.40 m.

Altura de la caldera: 2 m.

Diámetro de la caldera :2 m.



Para calentar los 5 m^3 del tanque pulmón se necesita un hogar de $(5 \cdot 10\%) / 100\% = 0.5 \text{ m}^3$ de volumen interno. Si este volumen es el 80% libre de huecos entonces el volumen interno del caldero es $(0.5/80\%) \cdot 100\% = 0.625 \text{ m}^3$.

La plancha de acero para la construcción de este equipo, se usa la norma API-ASME considerando que a 90°C no hay un cambio significativo de las propiedades estructurales del acero que puedan ocasionar fallas de gran magnitud.

En este proceso el tanque pulmón transmite toda su presión sobre el caldero debido a que con un caudal de $7 \text{ m}^3/\text{h}$ tenemos las condiciones de flujo laminar con un margen de seguridad de 25% para la presión.

El caldero debe instalarse dentro de un área aislado térmicamente y debe ser cubierto con planchas de lana aislante de 2" de espesor para evitar la pérdida de calor hacia el exterior y de esta manera calentar más rápido la solución. Además, tiene una chimenea para la evacuación de los gases emitidos por la combustión. (ver figura 32).

La fragua consiste de una cama de carbón antracita quemado por una cama de carbón vegetal. El aire se suministra según la temperatura requerida en el Strip.

Materiales de fabricación

- Plancha de caldera de $3/8''$ de espesor para la cámara de combustión y para la cámara de solución de calentar.
- Plancha de caldera de alta temperatura de $1/2''$ de espesor para pase de tubos de extremo a extremo.
- Tubo de caldera para altas temperaturas de $2 \frac{1}{2}''$ diámetro.



- Aislamiento térmico con lana de vidrio de 2'' de espesor.
- Cubierta forro metálico de protección de 1.20 mm de espesor, pintado con base epóxica y acabado final con pintura térmica.
- 01 termómetro
- 01 termostato
- 01 manómetro

Datos técnicos

- Tipo de caldero: Piro tubular
- Disposición: Horizontal (espalda seca)
- Número de pases de gases: 03
- Superficie de calefacción: 200 pies
- Potencial calorífico: 800,000 a 1'000,000 BTU/H
- Presión de diseño: 100 - 150 psi
- Combustible a utilizar: Gas (glp y/o Gas natural) como Diesel D2 Sistema de combustión: Quemador marca: CARLIN —300, 000 — 1'400.000 BTU /H.
- Operación: Automático



Figura 32. Caldero Piro-tubular

4.1.3. Bomba de Solución Continuo

Bomba centrífuga para transferencia de solución.

Cuando el flujo es menor de 30 gal/m se utilizarán tuberías de acero de 1" de diámetro nominal las cuales tienen una cédula 40 para reducir el efecto de la corrosión debido al pH y temperatura elevada. Estas tuberías tienen $D_i = 1.04"$.

Accesorios de instalación

- Potencia: 5.3 HP
- Voltaje de 220 V /380 V /440 trifásica/ 60 Hz.
- Marca: HIDROSTAL.
- Succión y descarga: succión de 2" y descarga de 1 ½"
- Protección: IP 44
- Succión: Positiva

- Descarga: Atmosférica



Figura 33. Bomba de Solución Continuo

Nota: Bomba de Solución Continuo-MEDSURSA. Modelo H205-XVT la cual tiene un motor trifásico de 1 HP y está hecha de acero inoxidable 316 L que es ideal para la solución strip. El fabricante recomienda esta bomba para soluciones de hasta 110°C.

Los criterios de diseño son:

- Succión Positiva
- Altura de Descarga = 5 m (altura total aprox. stripper)
- La Succión y Descarga tienen el mismo diámetro (1 “)
- La Succión y Descarga son atmosféricas (tanque pulmón y celda)
- Flujo de Agua = 30 gal/m (116.7 l/min)



4.1.4. Columna de Desorción

Características

- Capacidad: 4.5 TM.
- Diámetro: 1.81 m.
- Altura: 5.44m.

La norma API-ASME es adecuada para calcular el espesor de la plancha de acero, para la construcción de este equipo es la que usamos considerando que a 90°C no hay un cambio significativo de las propiedades estructurales del acero que puedan ocasionar fallas de gran magnitud.

Este equipo requiere un mayor margen de seguridad porque en él se desarrolla la mayor turbulencia del carbón con la solución strip lo cual genera gases internos que esfuerzan mucho más la estructura del metal.

Materiales

- Plancha de acero estructural A-36 de ¼" espesor, con arenado y protección epóxica, reforzado en base con vigas H de 6".
- Aislamiento térmico con Lana de Vidrio de 2" de espesor. Para evitar la transferencia de calor hacia el exterior y de esta manera calentar más rápido la solución.
- Forro o cubierta de protección con plancha LAC de 1/16 de espesor.
- Pintado general con base epóxico y acabado final con pintura térmica alto brillo.

Accesorios

- 01 válvula de alivio o de seguridad ante un exceso de presión en el sistema o reactor.
- Coples con sus respectivas bridas soldadas y válvulas para la entrada y salida de solución y carbón.
- Tapa superior con sus sistemas de descarga de solución, descarga de 2 gases, ingreso de carbón enriquecido.
- 01 MANHOLE para el mantenimiento y limpieza de los filtros tipo hongos de acero inoxidable 316.
- Plataformas con VIGA tipo H de 6" con grating (parrillas de fibra de vidrio para la corrosión) y barandas de acceso al tanque reactor.



Figura 34. Tanque Reactor



Figura 35. Filtros tipo Hongo

4.1.5. Celda Electrolítica

Para la electrodeposición de 5 m³ de solución strip se necesita una celda de (5000×5%) /100% = 250 litros de volumen interno. Si este volumen es el 80% del total entonces el volumen interno de la celda es (250/80%) *100% = 312.5 litros.

El tiempo de electrodeposición es (312.5/30) *100 =10.41 l/min (624.6 l/s.)

Considerando la capacidad máxima del stripper que es 4500 kg de carbón con una ley de 4.0 g/kg para el carbón rico y 0.1 g/kg para el carbón pobre entonces:

$$\text{Ley Inicial Sol.Strip} = 4500 \text{ kg} \times \frac{4.0 \text{ g Au}}{\text{kg}} \times \frac{98 \% \text{ recup}}{5 \text{ m}^3} \times \frac{1}{100\%} = 3528 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Ley Final Sol.Strip} = 4500 \text{ kg} \times \frac{0.1 \text{ g Au}}{\text{kg}} \times \frac{98 \% \text{ recup.}}{5 \text{ m}^3} \times \frac{1}{100\%} = 88.2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$



Dimensiones

- Largo: 2.50 m
- Altura: 85 cm
- Ancho: 75 cm
- Profundidad (h)=4 % \times 250 cm /100%=10 cm
- Ánodos: 16 ánodos fabricados en placas perforadas de acero inoxidable.
- Cátodos: 15 cátodos fabricados en plancha entera de acero inoxidable.

Para la construcción del equipo usaron la norma API-ASME considerando que a 90°C no hay un cambio significativo de las propiedades estructurales del acero que puedan ocasionar fallas de gran magnitud. En este caso se asume que a un caudal de 7m³/h tenemos las condiciones de flujo laminar y por lo tanto se ejerce la presión atmosférica y la presión de la masa de agua que hay en la celda.

Materiales

- Planchas de polipropileno de 15 mm de espesor.
- 02 platinas de cobre para bus-bar, corriente máximo de 2000 A.

(ánodo y cátodo) hasta el rectificador de corriente con puras platinas de cobre para mejor eficiencia.
- Ánodos y cátodos con tuerca mariposa, ajuste de las platinas de cobre.
- Pernos a utilizarse en acero inoxidable c- 316l, tipo mariposa de ajuste rápido.

- Plataforma con canal c4" metálica,
- baranda de 2" y 1.5" para tanque de celdas
- escalera grating de fibra de vidrio anticorrosivo.
- Tubos y con bridas de polipropileno de 3", para ductos de entrada de solución, rebose de solución, y salida de lodos drenaje de solución.
- Válvula de drenaje para cosecha y toma de muestras solución.
- Extractor de polipropileno para recuperar vapor de solución de gases nocivos. (Ver Fig.37).



Figura 36. Celda Electrolítica con lana de acero, 16 ánodos y 15 cátodos



Figura 37. Extractor para recuperar vapor de solución de gases nocivos



4.1.6. Rectificador de corriente 2500 A

Con las dimensiones de la celda y electrodos el rectificador cuenta con las siguientes características.

Rectificador de corriente

- Amperaje 2000 A.
- Potencia: 12 kW.
- Corriente continua.
- Voltaje de salida: 0 a15 V.
- Voltaje de entrada 380 V.
- Voltímetro DC 0-20 V.
- Amperímetro análogo de 2000 A. con shunt.
- Fuente de 18 diodos, 300 A y 1200 voltios.
- Conmutadores para regulación
- Salida con platina de cobre. Espesor 2cm y ancho 8cm:
- El equipo cuenta con enfriamiento por aceite.
- Control de voltaje regulable
- Amperímetro en pantalla digital.
- Ventilador con aire reforzado



Figura 38. Rectificador de corriente 2500 A

4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE PERMITIERON IDENTIFICAR LOS RANGOS ÓPTIMOS DE OPERACIÓN

4.2.1. Control De Variables

Para ello fue necesario definir las variables que afectan en el proceso de desorción de oro, entre las variables que intervienen en el proceso se encuentran:

4.2.1.1. Variables dependientes

- Eficiencia de Desorción (%).
- Tiempo de Desorción (h).

4.2.1.2. Variables independientes

Controlables:



- Dosificación de reactivos (Soda (%), Cianuro de Sodio (%), Alcohol Etilico (%).
- Velocidad de flujo (m^3/h)
- Temperatura ($^{\circ}C$).
- Voltaje de la celda de electrodeposición (V).

No Controlable:

- Ley de carbón en cabeza (gr/kg C)
- Humedad del carbón (%).

Tres variables independientes que tienen un impacto significativo en la variable dependiente o respuesta se especifican adecuadamente en términos de conceptos de ingeniería estadística.

El proceso de desorción y el oro no reaccionan con todos los factores mencionados, por lo que es importante utilizar los adecuados. Las siguientes variables se seleccionan en función del procedimiento:

- Hidróxido de Sodio %.
- Cianuro de Sodio %.
- Alcohol Etilico %.

Las variables citadas son independientes y las variables dependientes son la eficiencia de desorción de oro y el tiempo del proceso de desorción.



4.2.2. Equipos y procedimiento para prueba Piloto

- 1) Recepción de carbón cargado procedente del proceso de la planta (CIP).

Datos:

- Peso húmedo; humedad y peso seco.
- Ley de cabeza de carbón.

- 2) El carbón es cargado en el tanque reactor por la parte superior.

- 3) Preparación de reactivo en tanque barren.

Solución nueva: Agua 4 m³.

Luego se agregó:

- Hidróxido de Sodio (NaOH) 50 Kg
- Cianuro de Sodio (NaCN) 30 Kg.
- Alcohol (C₂H₅OH) 400 L.

- 4) Se prendió la bomba para estabilizar el flujo.

- 5) Se prendió el caldero pirotobular.

La preparación se calentó por recirculación entre el caldero y el tanque barren durante 3 horas, fue posible alcanzar 88 ° C.

- 6) Se añadió alcohol directo al carbón en el reactor con el método de la lluvia.

- Cantidad: 400 litros de alcohol.



7) Se apretaron las válvulas del caldero para llenar la solución hasta el tanque del reactor con una temperatura de 88°C.

8) Una vez que el tanque del reactor está lleno de carbón y solución; por rebose la solución STRIP se dirige a la celda de electrodeposición.

9) En la celda de electrodeposición, la solución se estabilizó y se mantuvo en un flujo laminar sin turbulencias.

10) Se prendió el rectificador de voltaje.

Se controló el voltaje de 3.20 a 3.50 V y la corriente entre 500 y 900 A.

La solución strip se recirculó en el circuito cerrado hasta que el oro se agotó por completo del carbón de la columna.

11) La eficiencia y la duración del proceso de desorción variaron en función de la concentración de la solución strip. Cada dos horas se realizaron monitoreos y se tomaron muestras de 200 ml de solución de la celda de electrodeposición; estas muestras se enviaron a un laboratorio para su análisis a fin de seguir el progreso del proceso de desorción.

12) Controles de proceso:

Se calculó y controló cada dos horas:

- Fuerza de cianuro: 0.2 % o (2000 ppm).
- pH mantenido: 13-14.
- Voltaje: Rango 3.20 a 3.50 V.
- Amperaje: Rango 500 a 900 A.



- Temperatura mantenida: 88 °C.
- Flujo: 7 m³/h.

Control de variables independientes.

- Adición de Alcohol (C₂H₅OH) cada 12 Hrs.
- Adición de Soda caustica (NaOH) cada 24 Hrs.
- Adición de Cianuro sodio (NaCN) cada 24 Hrs.

- 13) Tiempo de desorción: 58 horas.
- 14) Se calculó la cantidad de reactivos utilizados durante el proceso de desorción.
- 15) Resultados: Eficiencia de recuperación.
- 16) Tras el proceso de desorción, el carbón activado se descargó, y se tomaron muestras del carbón desorbido para el análisis final del oro.

4.2.3. Resultados de monitoreos de desorción y electrodeposición en primera prueba piloto

Tabla 4

Datos de recepción de carbón cargado del proceso CIP - Primera prueba piloto

Recepción de Carbón		
Peso Neto Húmedo	3 232.60	Kg.
% Humedad	20.32	%
Peso Neto Seco	2 575.74	Kg.
Ley Au	1.781	g/kg C*
CONTENIDO TOTAL - Au	4 587.39	g/kg C*

En la Tabla 4, se muestran los datos de recepción del carbón de la planta CIP. El carbón tiene un peso en seco de 2 575.74 kilogramos, una ley de cabeza de 1.781 g/kg C*, y un contenido total de metal de 4 587.39 g/kg C* de oro. Estos datos iniciales son con los que comienza el proceso de desorción.

Tabla 5

Concentración de reactivos para la solución strip

Descripción	Concentración
Hidróxido de Sodio (NaOH)	1%
Cianuro de Sodio (NaCN)	0.20%
Alcohol Etilico(C ₂ H ₅ OH)	20%

Tabla 6

Control de solución de Au durante el proceso de extracción

Control de Proceso de Desorción - Solución Au						
Hora	Tiempo de desorción	Entrada Ley de (Au) g/m ³ sol.	Salida Ley de (Au) g/m ³ sol.	Eficiencia %	Temperatura T° C	Voltaje V
12:00 A.M	0.00	0.000	0.000	0.00	85	3.5
1.00 P.M	1.00	0.000	0.000	0.00	85	3.5
9:00 P.M	8.00	65.479	37.996	41.97	85	3.5
05:00 A.M	16.00	38.471	19.780	48.58	85	3.5
01:00 P.M	24.00	23.998	12.000	50.00	85	3.5
09:00 P.M	32.00	15.000	7.230	51.80	85	3.5
05:00 A.M	40.00	12.000	6.152	48.73	85	3.5
01:00 P.M	48.00	7.834	4.232	45.98	85	3.5
09:00 P.M	56.00	6.900	4.087	40.77	85	3.5
05:00 A.M	64.00	6.296	3.861	38.68	85	3.5

En la Tabla 6 se puede observar el control del proceso de extracción de la solución en la prueba piloto, donde la concentración de reactivos es de 2% (NaOH); 0.2% (NaCN); 20% C₂H₅OH. El proceso de desorción dura 64 horas. Se puede observar que la eficiencia empieza a disminuir a partir de las 32 horas,

alcanzando un punto bajo a las 56 horas. En este punto, la solución strip es más pobre. Lo mismo se observa en el gráfico de la Figura 39, que muestra las horas trabajadas y el porcentaje de eficiencia.

Figura 39

Monitoreo de Desorción - Solución - Primera Prueba Piloto

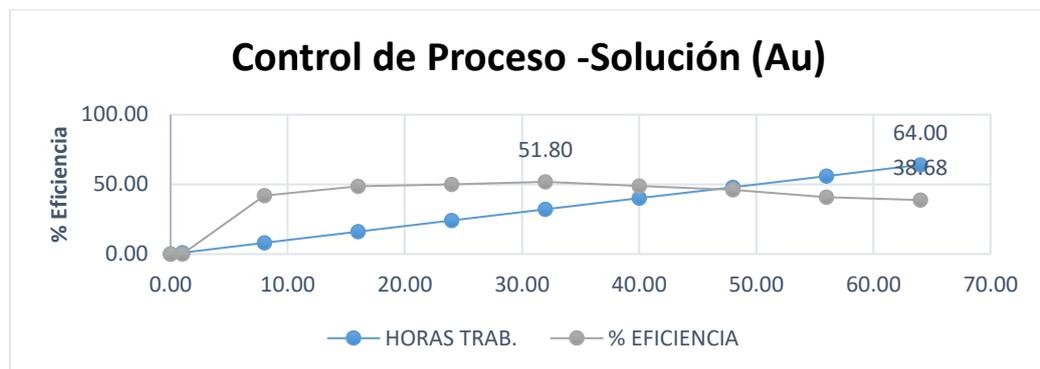


Tabla 7

Control del porcentaje de extracción en carbón y leyes de oro

Proceso de Desorción - Carbón			
Hora	Tiempo de desorción.	Carbón Au. g/kg	% Ext. Oro
12:00 A.M	0.00	1.781	0.00
1:00 P.M	1.00	1.700	0.00
9:00 P.M	8.00	0.970	42.94
05:00 A.M	16.00	0.605	66.03
01:00 P.M	24.00	0.500	71.93
09:00 P.M	32.00	0.300	83.16
05:00 A.M	40.00	0.171	90.40
01:00 P.M	48.00	0.120	93.26
09:00 P.M	56.00	0.078	95.62
05:00 A.M	64.00	0.051	97.14

En la Tabla 7 se puede observar el control de las leyes del oro y el control del porcentaje de extracción de oro del carbón. El porcentaje de extracción de oro aumenta a medida que el carbón es cada vez más pobre, donde el porcentaje de extracción alcanza el 97.14% en 64 horas después de haber alcanzado un 83.16% a las 32 horas y un 90.40% a las 40 horas; Lo mismo se observa en el gráfico de la Figura 40, donde se puede ver el porcentaje de extracción, el número de horas trabajadas y la ley del oro en el carbón.

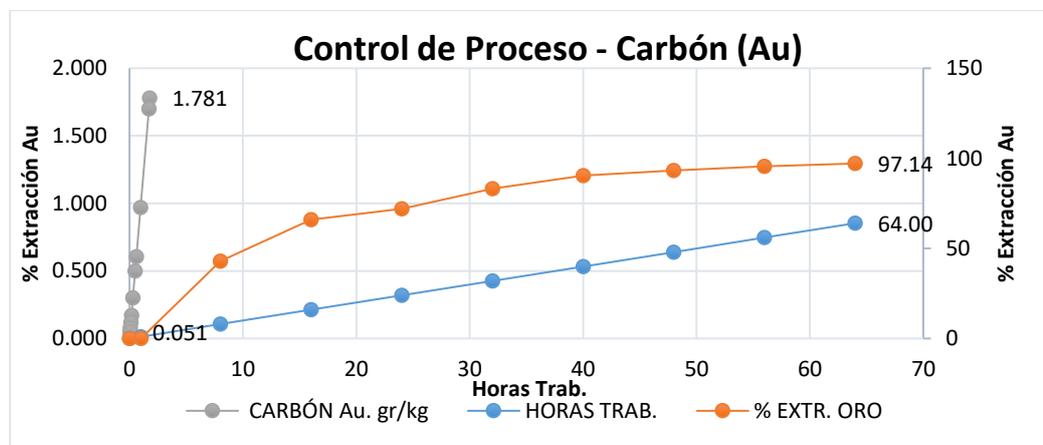


Figura 40. Monitoreo de desorción - carbón - primera prueba piloto

4.2.3.1. Datos para el balance de materia

Finos de oro en tanque reactor y tanque barren:

Tabla 8

Finos de oro en tanque reactor y tanque barren

Solución					
Descripción	Capacidad (m ³)	Volumen Ocupado	Total	Salidas Ley Au (g/m ³)	Total Au (g)
Barren	5	50%	2.5	3.861	9.65
Reactor 1	6	70%	4.200	3.861	16.21
					25.86

Finos de oro en carbón desorbido:

Peso Seco de Carbón: 2575.74 kg.



Ley Au: 0.051 g/kg*C

Total, Au desorbido: 131.36 g/kg*c

Finos de oro en escoria

Peso: 23.3 kg.

Ley Au: 2.324 g/kg

Fino total de oro: 54.15 g.

Contenido de fino en barra dore y barra de oro:

Tabla 9

Contenido de fino en barra dore y barra de oro

Contenido de Oro: Prueba Piloto			
Producto	Peso neto solido (kg)	Ley: Au (%)	Au (g/kg)
Barra Dore	5 765.00	19.031	1 067.14
Barra De Oro	3 300.00	99.100	3 270.30
Total			4367.44

4.2.3.2. Balance de materia: Primera prueba piloto

Tabla 10

Balance de materia

Ingresos	TMS	Fino Au (g/kg)
Carbón de Planta	2 575.74	4 587.39
Total	2 575.74	4 587.39

Salida	Fino Au (g/kg)
Finos de oro en reactor y tanque barren	25.87
Finos en escorias	54.15
Finos de oro en carbón desorbido	131.36
Contenido de fino en barra dore y barra de oro	4 367.44
Total	4 578.82

Diferencia	- 8.57
------------	--------



El balance de materia dispuesto en la tabla 10 nos conlleva a los resultados obtenidos en la prueba de manera experimental, la cual nos representa que después de los análisis respectivos se obtiene un producto final ligeramente inferior después de los resultados de laboratorio; teniendo en cuenta que al ser prueba piloto los valores de oro podrían retenerse en las deformaciones de las estructuras nuevas de los equipos.

Ley de cabeza 1.781 g/kg C*

Ley de cabeza calculada 1.778 g/kg C*

4.2.4. Resultados de monitoreos de desorción y electrodeposición en segunda prueba piloto

Tabla 11

Datos de recepción de carbón cargado de planta proceso CIP-Segunda prueba piloto

Recepción de Carbón		
Peso Neto Húmedo	6 389.8	Kg.
% Humedad	25.14	%
Peso Neto Seco	4 783.67	Kg.
LEY Au	4.608	g/kg*C
CONTENIDO TOTAL - Au	22 043.13	g/kg*C

En la Tabla 11, se muestran los datos del carbón recibido de la planta CIP. El carbón tiene un peso en seco de 4 783.67 kilogramos, una ley de cabeza de 4.608 g/k C, y un contenido total de metal de 22 043.13 g/kg C de oro. Estos datos iniciales son con los que comienza el proceso de desorción.

Tabla 12*Concentración de reactivos para la solución strip*

Descripción	Concentración
Hidróxido de Sodio (NaOH)	1.5%
Cianuro de Sodio (NaCN)	0.20%
Alcohol Etilico(C ₂ H ₅ OH)	25%

Tabla 13*Control de solución de Au en el proceso de extracción*

Control de Proceso de Desorción - Solución Au						
Hora	Tiempo de desorción	Entrada Ley de Au g/m ³ sol.	Salida Ley de Au g/m ³ Sol.	Eficiencia %	Temperatura T° C	Voltaje V
18:00	0.00	0.000	0.000	0.00	85	3.2
00:14	6.00	368.636	294.208	20.19	85	3.2
08:00	14.00	330.957	215.000	35.04	85	3.2
16:00	22.00	235.264	120.166	48.92	85	3.2
00:14	30.00	108.959	54.311	50.15	85	3.2
08:00	38.00	40.133	20.450	49.04	85	3.2
16:00	46.00	20.340	11.148	45.19	85	3.2
00:14	54.00	10.890	6.952	36.16	85	3.2
08:00	62.00	7.701	5.015	34.89	85	3.2
16:00	70.00	4.523	3.000	33.67	85	3.2
00:14	78.00	2.031	1.386	31.76	85	3.2
02:00	78.00	2.032	1.436	29.33	85	3.2

En la Tabla 13 se puede observar el control del proceso de extracción de la solución de la segunda prueba, donde la concentración de reactivos es de 1.5% (NaOH); 0.2% (NaCN); 25% C₂H₅OH. El proceso de desorción dura 78 horas. Se

puede observar que la eficiencia empieza a disminuir a partir de las 38 horas, alcanzando un punto bajo a las 70 horas. En este punto, la solución strip es más pobre. Lo mismo se observa en el gráfico de la figura 40, que muestra las horas trabajadas y el porcentaje de eficiencia.

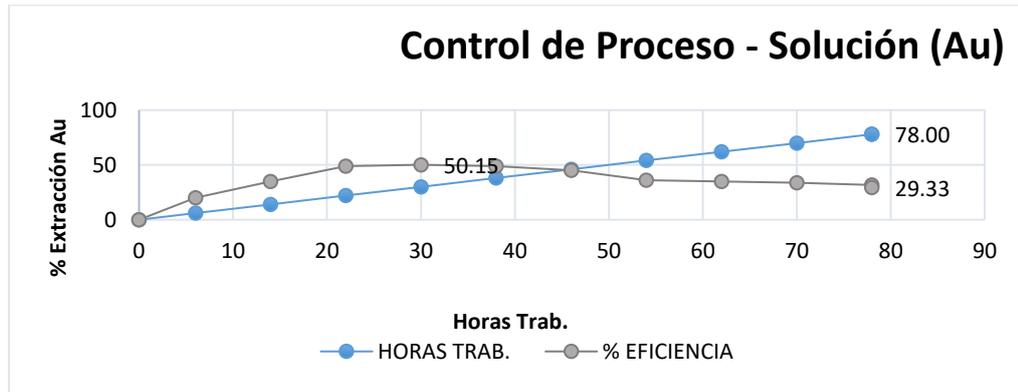


Figura 41. Monitoreo de Desorción - Solución - Segunda Prueba Piloto

Tabla 14

Control del porcentaje de extracción en carbón y leyes de oro

Proceso de Desorción - Carbón			
Hora	Tiempo de desorción	Carbón Au g/kg	% Extr. Oro
18:00	0.00	4.608	0.00
00:14	6.00	4.102	10.98
08:00	14.00	2.803	39.17
16:00	22.00	1.434	68.88
00:14	30.00	0.720	84.38
08:00	38.00	0.312	93.23
16:00	46.00	0.234	94.92
00:14	54.00	0.102	97.79
08:00	62.00	0.063	98.63
16:00	70.00	0.038	99.18
00:14	78.00	0.033	99.28
00:00	78.00	0.032	99.31

En la tabla 14 se puede observar el control de leyes de oro y control de porcentaje de extracción en el carbón. El porcentaje de extracción de oro aumenta a medida que el carbón es cada vez más pobre, donde el porcentaje de extracción alcanza el 99.31% en 78 horas después de haber alcanzado un 93.23 % a las 38 horas y un 97.79 % a las 54 horas.

El periodo de recuperación ideal es de 54 horas, teniendo en cuenta que nuestro carbón no estará expuesto a desgastes por abrasión.

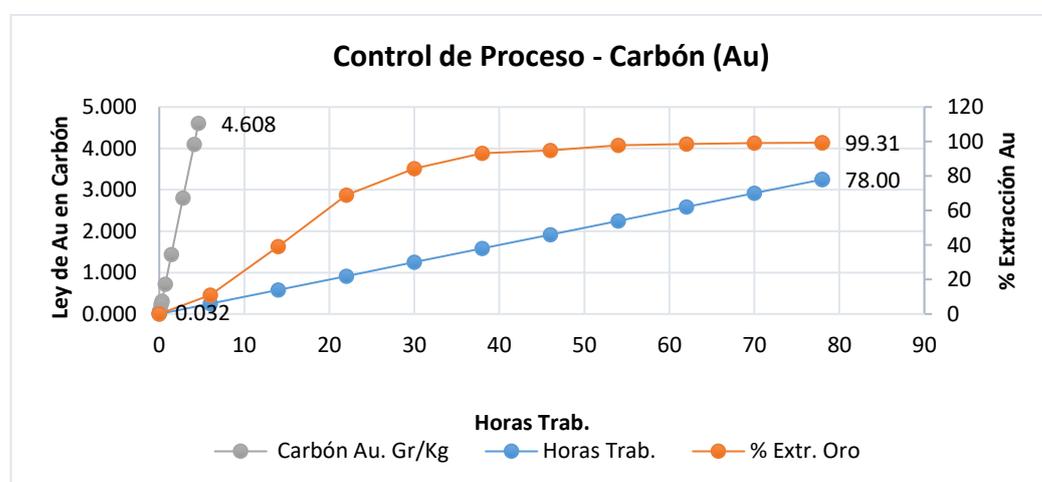


Figura 42. Monitoreo de desorción - Carbón - Segunda prueba piloto

4.2.4.1. Datos para el balance de materia

Finos de oro en tanque reactor y tanque barren:

Tabla 15

Finos de oro en tanque reactor y tanque barren

Descripción	Capacidad (m ³)	Solución			
		Volumen Ocupado	Total (m ³)	Ley Au (gr/m ³)	Total (Au)
Barren	5	50%	2.5	1.436	3.59
Reactor 1	6	70%	4.200	1.436	6.03
				Total	9.62

Finos de oro en carbón desorbido:

Peso Seco de Carbón: 4 758.13 kg

Ley Au: 0.032 g/kg*C

Total, Au desorbido: 152.26 g/kg*C



Finos de oro en escoria:

Peso: 42.6 Kg.

Ley de Au: 6.644 g/kg

Fino total de oro: 283.03 g

Contenido de fino en barra de oro:

Tabla 16

Contenido de fino en barra de oro

Producto	Peso neto solido (kg)	Ley: Au (%)	Total, Au (g/kg)
Barra de Oro	23 395.00	97.82	22 884.99

4.2.4.2. Balance de materia: Segunda Prueba Piloto

Tabla 17

Balance de materia

Ingresos	TMS	Fino Au(g/kg)
Carbón De Planta	4 758.13	21 925.47
Total	4 758.13	21 925.47
Salida	Fino Au(g/kg)	
Finos de oro en reactor y tanque barren	9.62	
Finos en escorias	283.03	
Finos en carbón desorvido	152.26	
Contenido de oro en barra de oro	22 884.29	
Total	23 329.19	
Diferencia a favor	1 404.39	



El balance de materia dispuesto en la tabla 17 nos conlleva a los resultados obtenidos en la segunda prueba piloto, la cual nos representa que después de los análisis respectivos se obtiene un producto final del que es reflejado en un inicio por los resultados de laboratorio de la ley de cabeza, dado que se puede tomar en consideración que siempre la cabeza calculada es mayor; se observa además mejores resultados en esta prueba la cual es usada para dos campañas siguientes, teniendo resultados favorables.

Ley de cabeza 4.608 g/kg C*

Ley de cabeza calculada 4.903 g/kg C*

Se realizó dadas las condiciones:

Concentración de Reactivos para la Solución Strip, 1.5%
Hidróxido de Sodio (NaOH), 0.20% Cianuro de Sodio (NaCN), 25%
Alcohol Etilico(C_2H_5OH) .

Tabla 18

Resumen de resultados de las dos campañas realizadas

Descripción	Tiempo de desorción	T° C	Voltaje V	Amperaje A	% Eficiencia Sol. Final	% Ext. Oro En Desorción	% de pureza Barra de oro
Campaña 1	76	85	3.2	900	29.69	99.85	99.054
Campaña 2	76	85	3.2	900	40.12	98.45	98.005

4.2.5. Resultados de monitoreos desorción y electrodeposición en prueba estándar

Después de las pruebas anteriormente expuestas, las cuales nos demostraron resultados eficientes con un tiempo de duración de 78 horas, llegando a un 99.31% de recuperación, sin embargo, en las 54 horas de proceso se llega a un 97.79% de recuperación, siendo este el tiempo óptimo, (ver tabla 14). Ya que, después de 24 horas de proceso sólo aumento un 1.52 %. A continuación, se presentan los datos del proceso de desorción estándar:

Tabla 19

Datos de recepción de carbón cargado del proceso CIP - Proceso de desorción estándar

Recepción de Carbón		
Peso Neto Húmedo	7 022.40	kg.
% Humedad	28.52	%
Peso Neto Seco	5 019.74	kg.
LEY Au	4.737	g/kg C*
CONTENIDO TOTAL - Au	23 778.53	g/kg C*

Tabla 20

Concentración de reactivos para la solución strip

Descripción	Concentración
Hidróxido de Sodio (NaOH)	1.50%
Cianuro de Sodio (NaCN)	0.20%
Alcohol Etílico(C ₂ H ₅ OH)	25%



Tabla 21

Control de solución de Au en el proceso de extracción

Control de Proceso de Desorción - Solución Au						
HORA	Tiempo de desorción	Entrada Ley de Au g/m ³ sol.	Salida Ley de Au g/m ³ sol.	Eficiencia %	Temperatura T°C	Voltaje V
00:00	0.00	0.000	0.000	0.00	85.00	3.20
08:00	6.00	497.150	389.133	21.73	85.00	3.20
16:00	14.00	356.750	233.750	34.48	85.00	3.20
00:00	22.00	141.100	79.850	43.41	85.00	3.20
08:00	30.00	68.150	37.830	44.49	85.00	3.20
16:00	38.00	32.330	17.470	45.96	85.00	3.20
00:00	46.00	12.500	5.181	58.55	85.00	3.20
01:00	54.00	6.868	3.570	48.02	85.00	3.20
Sol. Final	54.00	3.853	2.218	42.43	85.00	3.20

En la tabla 21, se puede observar el control del proceso de extracción de la solución en la Prueba Estándar, donde la concentración de reactivos es; 1.5% (NaOH); 0.20% (NaCN); 25% C_2H_2OH . El proceso de desorción dura 54 horas. Se puede observar que la eficiencia empieza a disminuir a partir de las 46 horas. Alcanzando el punto más bajo en 54 horas. En este punto, la solución strip es más pobre. Lo mismo se observa en el gráfico de la figura 43, que muestra las horas trabajadas y el porcentaje de eficiencia.

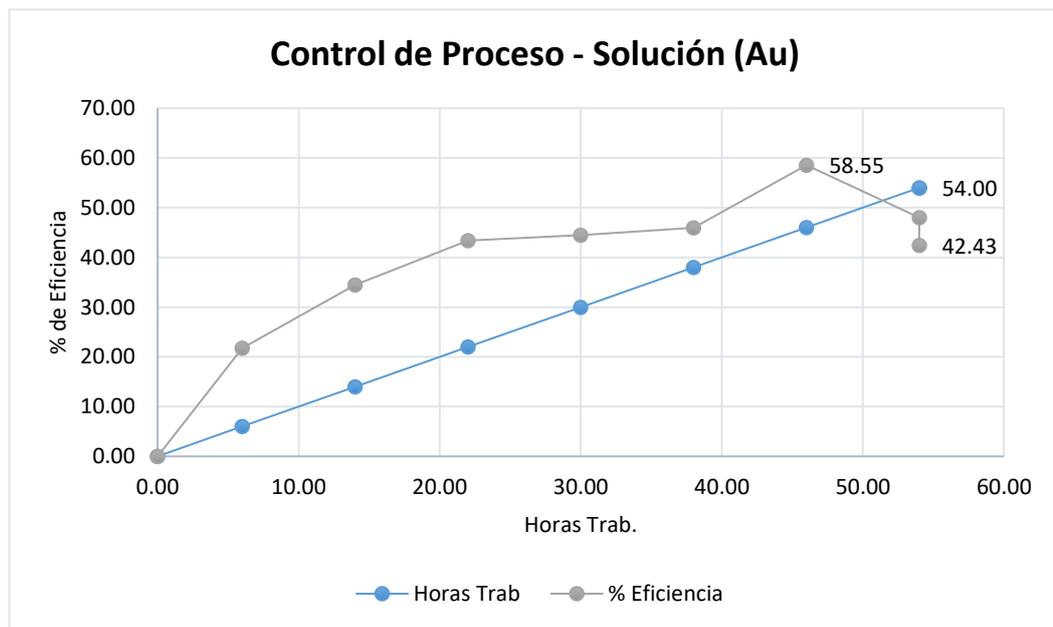


Figura 43. Monitoreo de desorción - Solución - Prueba estándar

Tabla 22

Control de leyes de oro y control de % de extracción en carbón

Proceso de Desorción - Carbón			
Hora	Tiempo de desorción	Carbón Au. g/kg	% Ext. Oro
00:00	0.00	4.737	0.00
08:00	6.00	3.299	30.36
16:00	14.00	2.006	57.65
00:00	22.00	0.964	79.65
08:00	30.00	0.401	91.53
16:00	38.00	0.215	95.46
00:00	46.00	0.169	96.43
01:00	54.00	0.139	97.07
00:00	54.00	0.068	98.56

En la tabla 22, se puede observar el control de leyes de oro y control de porcentaje de extracción en carbón. El porcentaje de extracción de oro aumenta a

medida que el carbón es cada vez más pobre, donde el porcentaje de extracción alcanza el 98.56% en 54 horas después de haber alcanzado 95.46% en 38 horas y un 96.43 % a las 46 horas. Lo mismo se observa en el gráfico de la figura 44, donde se puede ver el porcentaje de extracción, el número de horas trabajadas y la ley del oro en carbón.

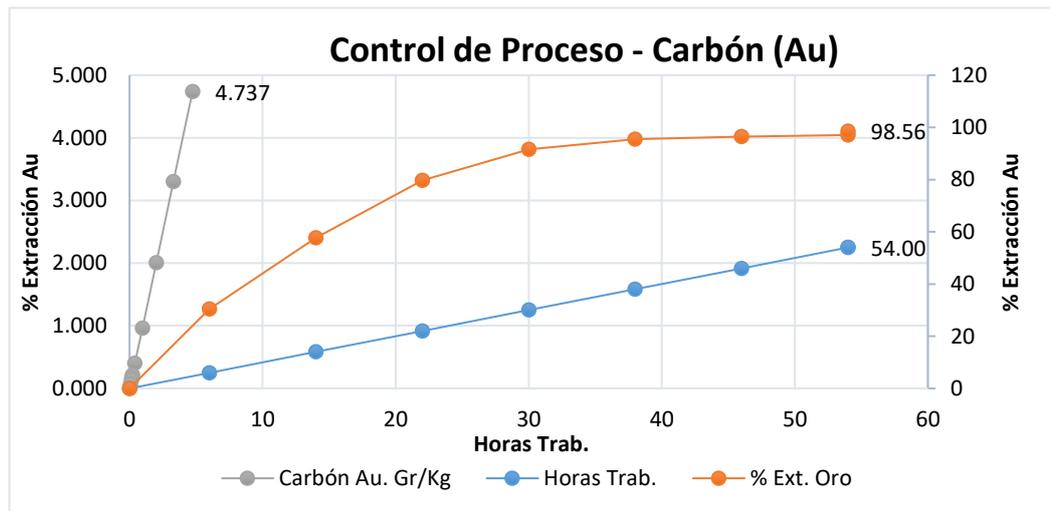


Figura 44. Monitoreo de desorción - Carbón - Prueba estándar

4.2.5.1. Datos para el balance de materia

Tabla 23

Finos de oro en tanque reactor y tanque barren

Descripción	Solución				
	Capacidad (m ³)	Volumen Ocupado	Total (m ³)	Ley Au (g/m ³)	Total (Au)
Barren	5	40%	2	4.913	9.826
Reactor 1	6	20%	1.200	4.913	5.8956
				Total	15.7216

Finos de oro en carbón desorbido:

Peso Seco de Carbón: 5 019.74 kg.

Ley Au: 0.068 g/kg*C



Total, Au desorbido: 341.34 g/kg*c

Finos de oro en escoria:

Peso: 13.6 kg.

Ley Au: 5.26 g/kg

Fino total de oro: 71.49 g.

Tabla 24

Contenido de fino en barra de oro

Producto	Peso neto solido (kg)	Ley: Au (%)	Au (g/kg)
Barra de Oro	25 646	98.902	25 364.4069

4.2.5.2. Balance de materia: Prueba Estándar

Tabla 25

Balance de materia

Ingresos	TMS	Fino Au(g/kg)
Carbón De Planta	5 019.74	23 778.53
Total	5 019.74	23 778.53
Salida	Fino Au(g/kg)	
Finos de oro en reactor y tanque barren	15.721	
Finos en escorias	71.49	
Finos en carbón desorbido	321.54	
Contenido de oro en barra de oro	25 368.38	
Total	25 777.13	
Diferencia a favor	1 998.60	



El balance de materia dispuesto en la tabla 25 nos conlleva a los resultados obtenidos en la prueba estándar, la cual nos representa que después de los análisis respectivos se obtiene más producto final del que es reflejado en un inicio por los resultados de laboratorio de la ley de cabeza, dado que se puede tomar en consideración que siempre la cabeza calculada es mayor; se observa además mejores resultados en esta prueba, teniendo resultados favorables.

Ley de cabeza 4.737 g/kg C*

Ley de cabeza calculada 5.135 g/kg C*

Se realizó dadas las condiciones:

Concentración de Reactivos para la Solución Strip, 1.5%
Hidróxido de Sodio (NaOH), 0.20% Cianuro de Sodio (NaCN), 25%
Alcohol Etilico(C₂H₅OH) .

Como resultado final se concluye que esta etapa experimental se acondiciona a los parámetros establecidos a seguir de un proyecto que indistintamente de la teoría se refleja en resultados reales, siendo este un procedimiento eficaz en la obtención de la barra doré, resaltamos a la vez que el costo – beneficio en todo procedimiento no siempre es directamente proporcional al resultado requerido.

4.3. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EVALUACIÓN DE LOS COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ÁREA DE DESORCIÓN

A continuación, se presenta las tablas con la información numérica descriptiva con datos reales de costos de obras civiles, costo de equipos de desorción y costos de pruebas de desorción de carbón, fundición y refinación.

Tabla 26

Costo obra civil

Ítem	Detalle	Precio Unitario Usd. \$	Precio Total Usd. \$
1	Obras Civiles	\$ 34 133.33	\$ 34 133.33

Tabla 27

Costo de equipos desorción

Ítem	Detalle	Precio Unitario Usd \$	Precio Total Usd \$
1	Tanque reactor.	\$ 7 500.00	\$ 15 000.00
2	Sistema reductor de alimentación de carbón a reactores.	\$ 5 500.00	\$ 5 500.00
3	Tanque barren.	\$ 4 500.00	\$ 4 500.00
4	Caldero pirotubular.	\$ 9 500.00	\$ 9 500.00
5	Celda de electrodeposición.	\$ 9 500.00	\$ 9 500.00
6	Rectificador de corriente.	\$ 13 400.00	\$ 13 400.00
7	Bombeo de solución continuo.	\$ 2 900.00	\$ 2 900.00
8	Caudalímetro electromagnético.	\$ 2 600.00	\$ 2 600.00
9	Sistema para lavado ácido del carbón.	\$ 6 000.00	\$ 6 000.00
10	Filtro prensa neumático.	\$ 2 200.00	\$ 2 200.00
11	Horno de fundición, soplador y quemador.	\$ 2 500.00	\$ 2 500.00
12	Accesorios para montaje e instalación de planta.	\$ 3 500.00	\$ 3 500.00
13	Mesa de vaciado, tenaza, lingotera y crisol.	\$ 900.00	\$ 900.00
Precio Total Usd + Igv			\$ 78 000.00

Tabla 28

Costos de pruebas de desorción de carbón, fundición y refinación

Ítem	Pruebas	Kg. Carbón	Costo Total Desorción	Costo Total Fundición	Costo Total Refinación	Costo Total Desorción Fundación Refinación
1	P. Piloto 1	2 575.73	1 944.53	1 145.31	1 644.90	\$ 4 734.74
2	P. Piloto 2	4 758.13	2 861.42	1 316.79	3 027.60	\$ 7 205.81
3	Campaña 1	4 076.21	3 254.74	1 515.37	2 741.92	\$ 7 512.03
4	Campaña 2	4 782.34	3 204.28	1 519.17	2 986.37	\$ 7 709.82
5	Prueba Estándar	4 728.54	2 791.71	1 526.12	3 088.76	\$ 7 406.59

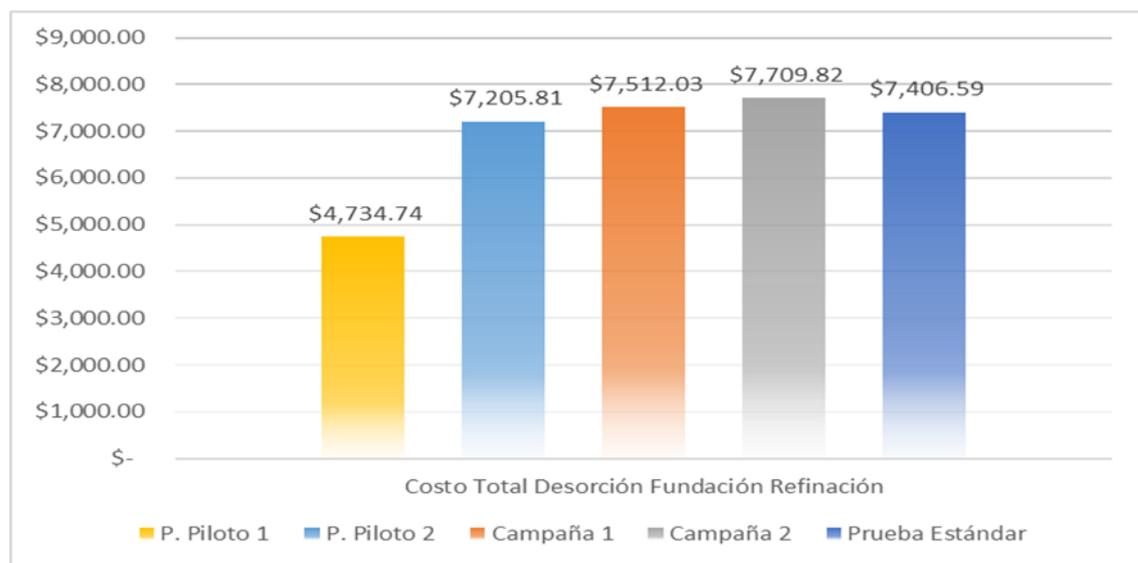


Figura 45. Gráfico de costos

En términos económicos se tuvo la inversión de 34 133.33 \$ en obras civiles y 78 000.00 \$ en equipos de desorción y haber concluido con las pruebas pilotos y prueba estándar se determinó con satisfacción el costo de cada prueba realizada.

4.4. DISCUSIÓN

El proyecto tiene como finalidad evaluar técnicamente del área de desorción, en Minera Españolita del Sur S.A. Chala -Arequipa.



Donde se evaluaron las variables de operación que repercuten directamente en la recuperación de oro; las variables independientes controlables son: dosificación de reactivos (% NaOH, %NaCN, % C₂H₅OH), temperatura, voltaje y amperaje. Llegando a la conclusión satisfactoria teniendo un rango óptimo en 54 hrs. con una eficiencia del 98.56%, a una concentración de 1.50 % (NaOH), 0.20 % (NaCN) y 25 % (C₂H₅OH) en la solución eluyente, a una temperatura 85°, voltaje de 3.4 y un amperaje de 900 A., teniendo a si las variables para las futuras campañas de desorción en empresa Minera Española Del Sur S.A. Estos resultados guardan relación con lo que sostiene (Saravia, 2013) donde se implementó el método zadra para la recuperación de oro de los filtros de carbón activado, para solucionar la problemática que atraviesa la empresa Exportadores Bolivianos S.R.l., de acuerdo a los resultados de las pruebas de desorción concluyen que la concentración de cianuro que necesita para la desorción de oro es de 0.2% NaCN, debido a que se logra extraer mayor cantidad de oro del carbón activado, evidenciándose que mi trabajo coincide con lo propuesto por Saravia choque, validando mi trabajo debido a que los resultados de ambos serán aplicados con el fin de recuperar oro.

En contraste con la investigación de (Condori & Chura, 2006) su anteproyecto tuvo como objetivo establecer y justificar la instalación de la planta de desorción y recuperar el contenido de oro de los productores de oro en nuestro Dpto., la que fue ubicada en el sector Isla que se encuentra a 25 km. de la ciudad de Juliaca. Donde quedó demostrado plenamente la factibilidad para la instalación de la planta de desorción del carbón activado, donde el sistema de desorción elegido fue el método zadra de Re extracción con alcohol, aunque el proceso es relativamente lento, tiene las siguientes ventajas: bajo costo de capital, construcción simple de reactores, bajo costo de operaciones y operación relativamente simple. Las condiciones determinadas fueron



temperatura 90°C, Voltaje 2.5 V, temperatura de fusión de cátodos cargados 1100° C. A lo cual reafirma el motivo por lo que se optó por el método zadra con alcohol considerando las ventajas que expone, sin embargo, nuestras condiciones en temperatura y voltaje son más bajas y nuestro voltaje es más alto esto es debido a que nuestros estudios fueron realizados en diferentes climas.

En contraste con la investigación de (Cárdenas & Espinel, 2016) cuyo objetivo fue optimizar la eficiencia de desorción de oro en carbón activado y determinar parámetros adecuados a la infraestructura de la U. M. Antonio Raymondi. Lo cual optimizaron el proceso de desorción con una eficiencia de 98.82% (balance total) en 34 horas con una concentración de NaOH al 1.5%, NaCN al 0.15% y C₂H₅OH al 18% y la solución desorvedora, pero por resultado económicamente viable. En consecuencia, se volvió a evaluar el proceso de desorción, con un tiempo de 40 horas con una alta eficiencia de 98.79% (Balance total) con una concentración de NaOH al 1.5%, NaCN al 0.15% y C₂H₅OH al 15% con una solución eluyente, y resultado económicamente viable para la U.M. Antonio Raymondi. Demostró que incrementando el tiempo no hay mucha diferencia en recuperación, pero si reduce la concentración de C₂H₅OH, sin embargo, en mi investigación se requiere más tiempo de desorción para llegar a una óptima eficiencia de recuperación y también se requiere mayor concentración de reactivo.



V. CONCLUSIONES

PRIMERO: El proyecto logró evaluar técnicamente las variables del proceso del área de desorción. El ensayo estándar determinó satisfactoriamente el rango óptimo con una eficiencia del 98.56%, en un tiempo de 54 horas, a una concentración de (NaOH) al 1.50%, (NaCN) 0.20% y C₂H₅OH al 25% en la solución eluyente, a una temperatura 85°, voltaje de 3.4 y un amperaje de 900.

SEGUNDO: Se obtuvo los costos de implementación; en obras civiles \$ 34 133.33, equipos de desorción \$ 78 000.00 y costo de operación finales prueba piloto 1 \$ 4 734.74, prueba piloto 2 \$ 7 205.81, campaña 1 \$ 7 512.03, campaña 2 \$ 7 709.82 y prueba estándar \$ 7 406.59.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se recomienda el uso de equipos de protección personal obligatorio, puesto que se trabaja con reactivos peligrosos que emanan gases altamente tóxicos. Por lo que se debe trabajar bajo normas de seguridad que permitan eliminar las posibilidades de producir accidentes e incidentes que ocasionen daños a la salud.

SEGUNDO: Se recomienda capacitar al personal, para dar a conocer la importancia de contar con procedimientos correctos y estándares en las operaciones, que serán parte de la mejora continua y será de gran ayuda para optimizar el proceso e incrementar la productividad.

TERCERO: Como proyección futura se debe considerar brindar servicio a empresas externas que requieran el servicio de desorción de carbón.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (s.f.). *Diseño de la Unidad de Desorción de Carbón Activado Cargado con Oro*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao].
- 911metallurgist. (19 de octubre de 2017). *Alternativas Para La Elución De Carbón Activado. Obtenido de Elución Con Alcohol*. Obtenido de: Elución Con Alcohol: Recuperado de <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/elucion-con-alcohol/>
- Alarcón, R. (2016). *Recuperación de oro de la solución barren proveniente del proceso cip mediante un sistema de columnas*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional, Arequipa, Perú. Obtenido de: <https://1library.co/document/zkw8dkmz-recuperacion-solucion-barren-proveniente-proceso-mediante-sistema-columns.html>
- Barazorda, K. & Lima, E. (2019). *Evaluación de la capacidad de adsorción de oro con carbón activado obtenido a partir de la cáscara de castaña*. [Proyecto de Investigación, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco]. Repositorio Institucional, Cusco. Obtenido de: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/4484>
- Beltrán, S. (2012). *Cianuración de Minerales Auríferos y Adsorción de Oro y Plata Con Carbón Activado Inmovilizado (Iac)*. [Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Química, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional, Quito, Ecuador. Obtenido de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4552>
- C. K. Gupta, T. K. (1990). *Hidrometalurgia en procesos de extracción*. India, Bombay.



Carbotecnia. (13 de Agosto de 2020). *Reactivación de carbón activado granular.*

Obtenido de: Tipos de reactivación:

<http://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/reactivacion-de-carbon-activado-granular/>

Cárdenas, G. & Espinel, H. (2016). *Diseño evaluativo y balance del proceso de desorción*

de oro en carbón activado y su reactivación en la U.M. Antonio Raymondi [Tesis

de Grado, Universidad Nacional San Agustín]. Repositorio Institucional,

Arequipa. Obtenido de:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3053/IQcaorga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cardona, S. (2006). Reutilización y activación del coque de petróleo para remover

metales en agua. *Redalyc*, 9, 89 -101. Obtenido de:

<https://www.redalyc.org/pdf/1694/169421183007.pdf>

Casallo, K. & Guzman, L. (2018). *Estudio del proceso de desorción de oro de carbón*

activado en la Empresa Ecoservicios e Ingenieria Limpia S.A.C. Lima 2018 Perú.

[Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Huancayo, Perú.

Obtenido de:

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4833/Casallo%20Camargo%20-%20Guzman%20Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chambi, L. C. (2010). Recuperación de oro y plata por el proceso electrolítico tipo Zadra.

Investig@ UMSA [en línea], vol.1, 31-49. Obtenido de:

<http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2220-71392010000100004&lng=en&nrm=iso>. ISSN 2220-7139.



- Condori Ch., S. F. & Chura M., E. (2006). *Anteproyecto para la instalación de una planta de desorción del carbón cargado, electro-obtención y refinación del oro*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Biblioteca universitaria, Facultad de Ingeniería Metalúrgica, Puno, Peru.
- Cruz, S. (2016). *Evaluación de los parámetros para el diseño construcción de una celda de electro-obtención para recuperar oro*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Biblioteca Universitaria, Facultad de Ingeniería Metalúrgica, Puno.
- Deventer, J. S. (1985). *Modelos cinéticos para la adsorción de oro sobre carbono activado*. [University of Stellenbosh, South Africa].
- Fernandez, R. E. & Aja, M. R. (2005). Obtención carbonos activados micro porosos para la purificación de gases. *Ira Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, I Congreso Cubano de Minería*. La Habana, Cuba.
- Gómez, A., Klose, W. & Rincon, S. (2010). *Carbón activado de cuesco de palma - estudio de termogravimetría y estructura*. Bogotá, Colombia: Kassel. Obtenido de: <https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-820-0.volltext.frei.pdf>
- Google.(2020). Obtenido de:
<https://www.google.com/maps/place/15%C2%B049'36.4%22s+74%C2%B017'09.9%22w/@-15.8267844,-74.2871773,471m/Data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d-15.826787!4d-74.286083>



Google (s.f.). *Dirección de google maps para viajar de Puno - Arequipa - Chala.*

Recuperado el 21 de noviembre del 2022. Obtenido de:

<https://www.google.com/maps/dir/Puno/Chala/@-16.1461595,->

[73.2634817,469376m/data=!3m2!1e3!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x915d698](https://www.google.com/maps/dir/Puno/Chala/@-16.1461595,-73.2634817,469376m/data=!3m2!1e3!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x915d698)

[5f4e74135:0x1e341dd8f24d32cf!2m2!1d-70.0218805!2d-](https://www.google.com/maps/dir/Puno/Chala/@-16.1461595,-73.2634817,469376m/data=!3m2!1e3!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x915d698)

[15.8402218!1m5!1m1!1s0x91158196bc7143ad:0x7c659aaa2cf5d892!2m2!1d-](https://www.google.com/maps/dir/Puno/Chala/@-16.1461595,-73.2634817,469376m/data=!3m2!1e3!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x915d698)

[74.2560806!2d-15](https://www.google.com/maps/dir/Puno/Chala/@-16.1461595,-73.2634817,469376m/data=!3m2!1e3!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x915d698)

Gutiérrez, L. N. (s.f.). *Procesamiento de minerales con oro y plata.* Tacna, Perú. Obtenido

de: [https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/924/2924166.pdf.pdf?X-](https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/924/2924166.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20221120%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221120T211412Z&X-Amz-SignedHeaders=h)

[Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-](https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/924/2924166.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20221120%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221120T211412Z&X-Amz-SignedHeaders=h)

[HMAC-SHA256&X-Amz-](https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/924/2924166.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20221120%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221120T211412Z&X-Amz-SignedHeaders=h)

[Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20221120%2F%2Fs3%2Faws4_reques](https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/924/2924166.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20221120%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221120T211412Z&X-Amz-SignedHeaders=h)

[t&X-Amz-Date=20221120T211412Z&X-Amz-SignedHeaders=h](https://node1.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/002/924/2924166.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=7PKKQ3DUV8RG19BL%2F20221120%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221120T211412Z&X-Amz-SignedHeaders=h)

Jurado, R. (2019). *Fundamentos de la desorción.* Instituto del Oro del Perú, Tacna.

Lapo, J. (2014). *Reactivación química del carbón activado del tipo Calgon Americano*

6×12 Utilizado en la Sociedad Minera “Promine” para el proceso de adsorción

de metales preciosos. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala].

Repositorio Institucional, Machala, Ecuador . Obtenido de:

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2175/1/CD00239->

[TESIS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2175/1/CD00239-)

Library. (s.f.). *Especificaciones de calidad y reactivación del carbón.* Pag. 43-46.

Obtenido de: [https://1library.co/article/ph-extracto-acuoso-especificaciones-](https://1library.co/article/ph-extracto-acuoso-especificaciones-calidad-reactivaci%C3%B3n-carb%C3%B3n.zgrn2wnq)

[calidad-reactivaci%C3%B3n-carb%C3%B3n.zgrn2wnq](https://1library.co/article/ph-extracto-acuoso-especificaciones-calidad-reactivaci%C3%B3n-carb%C3%B3n.zgrn2wnq)



- Linarez, N. (2015). *Procesamiento de minerales con oro y plata. Capítulo IV*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- Lopez, S. (2002). *Estudio de parámetros en la desorción de oro de carbón activado cargado*. [Tesis de Grado, Universidad de Oruro]. Repositorio Institucional, Oruro, Bolivia.
- Marsden, J. & House, J. (2006). *The chemical of gold extraction, USA, Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploracion Inc.* (2 ed.).
- MEDSURSA. (2016). *Descripción detallada de la planta de beneficio la encañada*. Oficina de Superintendencia, Arequipa, Chala, Perú.
- Misari, F. (1992). *Metalurgia del oro*. Lima, Perú.
- Moscoso, H. (2018). *Estudio del proceso de desorción para mejorar la recuperación del oro en la planta de MACDESA*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio Digital UNSA, Arequipa, Peru. Obtenido de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7206/IMmogah.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Oudenne, P. (1990). *La experiencia en la carbonización, activación y regeneración*. Lima, Peru: TECSUP.
- Pineda, M. (2015). *Diseño de una planta para desorción de carbón activado por el Método Zadra, en Sominur Cía. Ltda. ubicada en el distrito minero Bella Rica*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Digital de la UTMACH, Machala, El Oro, Ecuador. Obtenido de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2847/2/CD000013-TRABAJO%20COMPLETO-pdf>



- Politecnica, E. U. (2017). Manual del carbón activo. Sevilla, España. Obtenido de:
<http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>
f.
- Saravia, M. C. (2013). *Recuperación de oro de filtros de carbón activado en la Empresa Exportadores Bolivianos S.R.L.* [Titulo de Licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Universitario, La Paz, Bolivia. Obtenido de:
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/12147>
- Solis, R. (2015). *Diseño de sistema de desorción y electrodeposición para la recuperación de oro de partículas finas de carbón activado producidos en La Planta Adr De Minera La Arena S.A. La Libertad - Perú.* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional, Cerro de Pasco, Perú. Obtenido de:
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/97/1/T026_42649300_T.pdf
- TECSUP. (Enero de 2019). Obtenido de: <https://toaz.info/doc-view>
- Tecsup Virtu@l. (s.f.). *Tecnología del carbón activado.* Lima.
- Tomalá, C. (1998). *Análisis de un sistema de adsorción y desorción de oro de carbón activado y su electrodeposición.* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Institucional, Ecuador, Guayas.
- Torres, D. (s.f.). *Desorción electrodeposición y refinación de oro y plata.* Obtenido de:
https://www.academia.edu/36754517/DESORCION_ELECTRODEPOSICION_Y_REFINACION_DE_ORO_Y_PLATA



- Trujillo, L. (2008). *Diseño de la unidad de desorción de carbón activado cargado con oro*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao]. Biblioteca de la Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.
- Vinces, E. (2012). *Optimización del procesos de desorción de la planta de carbón en columna*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Lima, Peru. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/10266>
- Zegarra, G. (2018). *Optimización del proceso de desorción, electrodeposición de la planta La Joya Mining S.A.C.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín]. Biblioteca Universitaria, Arequipa.



ANEXOS

Anexo 2. Planta de desorción





Anexo 3. Certificados de leyes de Carbón.

 **MINARES SOUTH S.R.L.**
LABORATORIO QUIMICO
ANÁLISIS QUÍMICO DE MINERALES POR
Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, y Mo.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

CLIENTE : _____

SOLICITUD DE ANÁLISIS : RECONOCIMIENTO: Au

RECEPCIÓN DE MUESTRAS

DESCRIPCIÓN : CARBON

CODIGO : 1ra. PRUEBA PILOTO

N° DE CODIGO DE LABORATORIO : 1354

MUESTRA ENVASADA EN : BOLSA PLASTICA SELLADA

FECHA DE RECEPCIÓN : 30/04/2022

FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 01/05/2022

ITEM	CÓDIGO DEL CLIENTE	RESULTADOS
		Ley Au (g/kg°C)
01	1ra. PRUEBA PILOTO	1.781


 **ING. DANIEL HUATUCO SOTO**
REP. DE LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD
REG. CP Nº 72140

www.minares.com

Av. Panamericana Sur Nº 355 - Vista Alegre - Nasca - Cel.: 986635088 / minaresouthnazca@gmail.com
Av. 19 de Diciembre Mz. 36 Lte. 11 - La Aguadita - Chala - Telf.: 01 5304689 Cel.: 986635086 / minaresouth2014@outlook.com
Parque San Martín Nº 224/226 - Dpto. 1401- Pueblo Libre - Lima Telf.: 01 530 4689 Cel.: 986635085



K. W. QUIMICA GERMANA S.A.C.

Jr. La Maquinaria N° 210 Urb. La villa - Chorrillos - Lima - Perú
Tel: 251 0442 - 251 0443 - 719 3560 / RUC: 984297625

Pág.: 1/1

INFORME DE ENSAYO

KW 0750 / 2022

Fecha : 19 / 05 / 2022

Cliente : _____

Referencia : Cot KW 0420 / 2022

Material : CARBON

Orden de Trabajo : KW 0544 / 2022

Cantidad de Muestra(s) : 02

Cerrados

Abiertos

N° LAB.

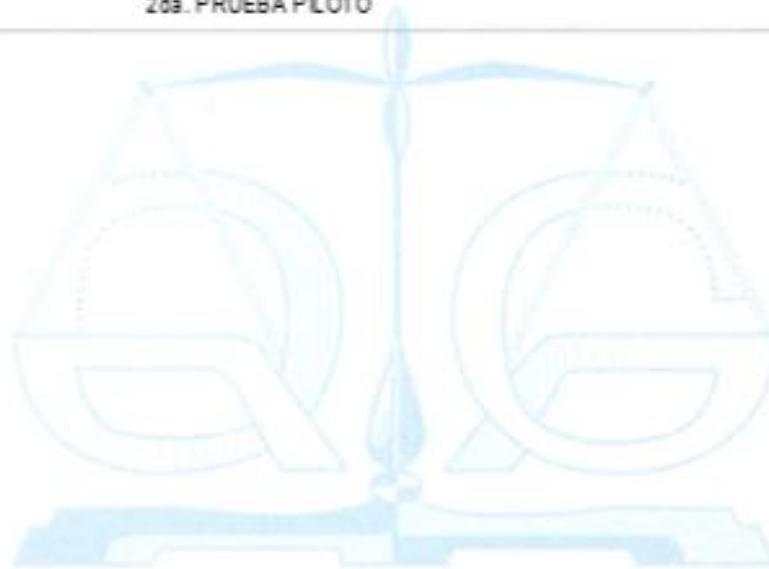
**IDENTIFICACION DEL
CLIENTE**

**Au
g/Kg**

KW 1863

**37157 - 01
2da. PRUEBA PILOTO**

4.608



* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente
* Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
* Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.
* Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses.
R.U.C. 20516566877

E-mail: recepcion@kwquimicagermana.com / kwgermana@kwquimicagermana.com / qgermana@kwquimicagermana.com
www.kwquimicagermana.com



K. W. QUIMICA GERMANA S.A.C.

Jr. La Maquinaria N° 210 Urb. La villa - Chorrillos - Lima - Perú.
Telf: 251 0442 - 251-0443 - 719 3560 / RPC : 984297625

Pág.: 1/1

INFORME DE ENSAYO

KW 1334 / 2022

Fecha : 05 / 08 / 2022

Cliente :

Referencia : Cot. KW 0730 / 2022

Material : CARBON

Orden de Trabajo : KW 0967 / 2022

Cantidad de Muestra(s) : 02

Cerrados

Abiertos

N° LAB.

**IDENTIFICACION DEL
CLIENTE**

**Au
g/Kg**

KW 3190

Código: Camp. ~ /
23.07.2022

4.7376

PRUEBA ESTANDAR



* La identificación y toma de muestra (s) es responsabilidad del cliente
* Este informe no podrá ser reproducido sin autorización de K.W. QUIMICA GERMANA S.A.C.
* Los resultados solo corresponden a la muestra indicada.
* Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo de 3 meses.
R.U.C. 20516566877

E-mail: recepcion@kwquimicagermana.com / kwgermana@kwquimicagermana.com / qgermana@kwquimicagermana.com
www.kwquimicagermana.com



Anexo 4. Planta de proceso CIP.



Anexo 5. Almacén de Reactivos.



Anexo 6. Muestras para análisis.



Anexo 7. Muestra de solución y Carbón



Anexo 8. Obtención de Oro Solido.



Anexo 9. Equipo de Trabajo - Minera Española Del Sur S.A.





Anexo 10. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo MILAGROS JULIETA QUISPE PAREDES
identificado con DNI 70143577 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERO METALURGISTA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

" PROYECTO DE EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LA INSTALACIÓN DEL ÁREA DE DESORCIÓN
EN LA EMPRESA MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A. CHALA – AREQUIPA "

" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 29 de mayo del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo 11. Autorización de depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo MILAGROS JULIETA QUISPE PAREDES
identificado con DNI 70143577 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERO METALURGISTA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"PROYECTO DE EVALUACIÓN TÉCNICA PARA LA INSTALACIÓN DEL ÁREA DE DESORCIÓN EN LA EMPRESA MINERA ESPAÑOLITA DEL SUR S.A. CHALA – AREQUIPA

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 29 de mayo del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella