



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



**OBTENCIÓN DE PLATA REFINADA A PARTIR DE CLORURO
DE PLATA CON AZÚCAR E HIDRÓXIDO DE SODIO EN LA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA
UNA – PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. GONZALO DAVID COLQUE COLQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO	AUTOR
OBTENCIÓN DE PLATA REFINADA A PARTIR DE CLORURO DE PLATA CON AZÚCAR E HIDRÓXIDO DE SODIO EN LA ESCUELA	GONZALO DAVID COLQUE COLQUE

RECuento DE PALABRAS
14756 Words

RECuento DE CARACTERES
76562 Characters

RECuento DE PÁGINAS
94 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO
9.7MB

FECHA DE ENTREGA
Jun 27, 2024 4:39 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME
Jun 27, 2024 4:40 PM GMT-5

● **14% de similitud general**

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

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% 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
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

H61-i
Ing. Hipólito Córdova Gutiérrez
Asesor



Dr. Hipólito Córdova Gutiérrez
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

Resumen



DEDICATORIA

Querida madre, esta tesis es un pequeño homenaje y agradecimiento por todo lo que has hecho por mí, pues en ella se ejemplifica tu sabiduría y constancia, me enseñaste que se puede lograr todo en esta vida si uno se lo propone, espero que en esta tesis pueda reflejarse el legado que me has transmitido y que pueda honrar tu nombre con mis logros.

Gracias por tus palabras de aliento, paciencia y amor incondicional pues estos fueron mis herramientas para no tirar la toalla sino perseverar y culminar poco a poco mis objetivos, mi deseo más sincero es hacerte sentir orgullosa en este día y todos los que vendrán pues esta tesis te lo dedico con todo mi amor y admiración.

Con muchísimo amor,
tu hijo Gonzalo Colque.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida, acompañado a lo largo de mi camino, dándome sabiduría y fortaleza para alcanzar mis objetivos.

Agradecer también a mis padres, mi hermana, que han estado apoyándome y formaron parte de la realización de este trabajo.

A la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional Del Altiplano Puno, pues me permitió usar los ambientes de laboratorios para las pruebas experimentales. Así como también agradezco a mis catedráticos, que me enseñaron académicamente con su profesionalismo y experiencia.

De manera especial al Señor Luis Fernando Remicio Arango como mi maestro en el aprendizaje y formación laboral, pues gracias a sus enseñanzas pude realizar todo lo aprendido en esta tesis.

*A mi asesor el **Dr. Hipólito Córdova Gutiérrez**, por su tiempo, apoyo y guía en la culminación del presente proyecto de tesis*

*A la **Dra. Darssy Argelida Carpio Ramos** que me guio con su conocimiento y entendimiento al realizar esta tesis.*

*A los miembros del jurado **D.Sc. Pedro Álvaro Edwin Gallegos**, **Dr. Héctor Clemente Herrera Córdova**, **M.Sc. Dalmiro Aurelio Cornejo**, por sus sugerencias y apoyo para el desarrollo de la presente tesis.*

Gonzalo David Colque Colque



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. Problema general.....	17
1.2.2. Problemas específicos	17
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.3.1. Hipótesis general	17
1.3.2. Hipótesis específicas	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	18
1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	18
1.5.1. Objetivo general	19
1.5.2. Objetivos específicos	19



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE ESTUDIO	20
2.2.	MARCO TEÓRICO	23
2.2.1.	Módulo I: Fundamentos teóricos.....	23
2.2.1.1.	Metalurgia de la plata (Ag)	23
2.2.1.2.	Hidróxido de sodio (NaOH).....	25
2.2.1.3.	Azúcar (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁):	27
2.2.1.4.	Tiempo	29
2.2.2.	Módulo II: Métodos para recuperar el metal.....	30
2.2.2.1.	Precipitación / purificación y concentración de la solución.....	30
2.2.3.	Módulo III: Métodos de refinación de plata.....	33
2.2.3.1.	Procedimiento Patera.....	33
2.2.3.2.	Procedimiento Kiss	35
2.2.3.3.	Procedimiento Russell.....	36
2.2.3.4.	Procedimiento Augustin.....	37
2.2.3.5.	Plata procedente de los lodos anódicos y procedimientos de fusión	40
2.2.3.6.	Proceso de la refinación de los ánodos dore (electrolisis) en celdas Thum	40
2.2.3.7.	Proceso de refinación de las celdas Moebius, material y diseño de celda	42
2.2.4.	Módulo IV: Definición de términos básicos	43



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	SEGURIDAD Y RIESGOS EN EL MANEJO DE INSUMOS QUÍMICO.	46
3.2.	DISEÑO, NIVEL Y TIPOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
3.2.1.	Diseño de la investigación.....	48
3.2.2.	Nivel de investigación.....	48
3.2.3.	Tipos de investigación.....	49
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	50
3.3.1.	Población.....	50
3.3.2.	Muestra	50
3.3.3.	Diseño estadístico.....	50
3.4.	VARIABLE DE ESTUDIOS.....	50
3.4.1.	Variable independiente(x).....	50
3.4.2.	Variable dependiente(y)	50
3.4.3.	Variables fijas.....	51
3.5.	TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	51
3.5.1.	Técnicas.....	51
3.5.2.	Instrumentos	51
3.5.3.	Procedimientos	51
3.6.	EQUIPO, MATERIALES, MATERIA PRIMA Y REACTIVOS	52
3.7.	PROCEDIMIENTO PARA LA EXPERIMENTACION	52
3.8.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA OBJETIVOS ESPECÍFICOS	54
3.8.1.	Influencia del azúcar - hidróxido de sodio	54



3.8.2. Intervalos de tiempo en la obtención de plata refinada.....	57
3.8.3. Aplicación de prueba estadística	58

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS PARA EXPERIMENTOS PREVIOS	61
4.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS OBJETIVO ESPECÍFICOS	63
4.2.1. De la influencia de la dosificación de diferentes proporciones de azúcar - hidróxido de sodio.....	63
4.2.2. Discusiones de la dosificación de azúcar – hidróxido de sodio	67
4.2.3. Influencia del tiempo.....	68
4.2.4. Discusión de la influencia del tiempo en la recuperación de plata	71
4.2.5. Prueba adicional para generar industrialmente	71
4.2.6. Discusión sobre generar industrialmente	72
4.3. RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO 2²	72
V. CONCLUSIONES	80
VI. RECOMENDACIONES	81
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	87

Área : Metalúrgica extractiva.

Tema : Refinación de plata.

Fecha de sustentación: 09 de julio del 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades de la plata.	24
Tabla 2. Propiedades físicas de la plata.	25
Tabla 3. Propiedades químicas de la plata.	25
Tabla 4. Propiedades físicas y termodinámicas de la soda caustica.	26
Tabla 5. Propiedades químicas de la soda caustica.	27
Tabla 6. Propiedades físicas de la azúcar rubia (Cartavio S.A.A).	29
Tabla 7. Propiedades químicas del azúcar.	29
Tabla 8. Distribución de proporciones: Azúcar – hidróxido de sodio.	53
Tabla 9. Dosificación de hidróxido de sodio con azúcar.	55
Tabla 10. Niveles y factores 2^2	59
Tabla 11. Matriz de diseño 2^2 con 3 réplicas.	59
Tabla 12. Resultados con diferentes dosificaciones de Azúcar - hidróxido de sodio.	61
Tabla 13. Resultados de la influencia de NaOH y Azúcar.	64
Tabla 14. % De pureza con replicas en la matriz del diseño.	72
Tabla 15. Combinación de los tratamientos en el diseño.	73
Tabla 16. Análisis de varianza.	74



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de procedimiento patera y Kiss.....	36
Figura 2. Diagrama de procedimiento Russell y Augustin.	39
Figura 3. Modelo de una celda Thum	42
Figura 4. Equipos, materiales, materia prima y reactivos.	52
Figura 5. Ataque químico del HNO ₃ con Ag	54
Figura 6. Diagrama de flujo desde plata impura - obtención de cloruro de plata.	57
Figura 7. Experimentación con la variable tiempo.	58
Figura 8. Imagen de las pruebas 4 y 3 respectivamente.....	62
Figura 9. Comparación de pruebas vs % de pureza (Tres Repeticiones).....	65
Figura 10. Resultados de % de pureza de las pruebas 1,2,3 y 4.	66
Figura 11. Resultados de % de pureza de las pruebas 5,6,7 y 8.	66
Figura 12. Resultados de las pruebas 9,10,11 y 12.	67
Figura 13. Resultados de la influencia del tiempo en diferentes intervalos.....	68
Figura 14. Comparación de tiempo prueba 1 y prueba 2.	69
Figura 15. % de pureza vs tiempo de las pruebas 13,14,15 y 16.	70
Figura 16. % de pureza con tiempo de las pruebas 17,18,19 y 20.	70
Figura 17. Diagrama de Pareto.	75
Figura 18. Efectos principales del Azúcar y NaOH.....	76
Figura 19. Interacción del factor A(azúcar) y B(NaOH).	77
Figura 20. Superficie de respuesta.	77
Figura 21. Contornos de la superficie de respuestas.	78
Figura 22. Prueba de normalidad.	79
Figura 23. Preparación de muestra para paletización del mineral.	87



Figura 24.	Lixiviación de mineral paletizada.....	87
Figura 25.	Preparacion de los catodos.	88
Figura 26.	Cosecha de cátodos depositados con plata.	88
Figura 27.	Ataque químico de la plata granallada con HNO_3	89
Figura 28.	Solucion de AgNO_3 posterior al ataque quimico.....	89
Figura 29.	Muestras precipitadas de AgCl	90
Figura 30.	Adición de azúcar al AgCl	90
Figura 31.	Reaccion al añadir NaOH despues de la adiccion de azúcar.....	91
Figura 32.	Reacción de las muestras con diferentes proporciones.	91
Figura 33.	Equipo de filtración.	92
Figura 34.	Filtración de muestras.....	92
Figura 35.	Fundición del precipitado de plata después de la filtración.....	93
Figura 36.	Producto final de la Refinación de plata.....	93
Figura 37.	DRX de plata refinada con alta pureza.....	94
Figura 38.	Plata antes de refinar.....	95
Figura 39.	Comparación de plata refinada.....	95



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Evidencias fotográficas.....	87
ANEXO 2. Análisis químico de plata cobre y hierro.....	96
ANEXO 3. Escorias De Pruebas Pre Experimentales.	97
ANEXO 4. Hidróxido De Sodio Utilizado.....	98
ANEXO 5. Azúcar rubia cartavio.....	99
ANEXO 6. Equipo de difracción de rayos X(XRF) Es de marca Thermo(scientific). Portátil Niton XL2 que analiza hasta 20 elementos metálicos.	99
ANEXO 7. Declaración jurada de autenticidad tesis	100
ANEXO 8. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional....	101



ACRÓNIMOS

NaOH:	Hidróxido de sodio.
AgNO ₃ :	Nitrato de plata.
pH:	Potencial de hidrogeno.
Ag ₂ O:	Óxido de plata.
Cu:	Cobre.
Fe:	Hierro.
Cr:	Cromo.
HCl:	Ácido clorhídrico.
%:	Porcentaje.
KJ/mol:	Kilojulios por mol.
ppm:	Partes por millón.
kg/m ³ :	Kilogramo por metro cúbico.
Pa:	Pascal.
K:	Kelvin.
°C:	Grados centígrados.
mL:	Mililitro.
Ag:	Plata.
mg/L:	Miligramo por litro.
NaCl:	Cloruro de sodio.
AgCl:	Cloruro de plata.
XRD:	Difracción por rayos X.
NaCN:	Cianuro de sodio.



RESUMEN

Los antecedentes indican que son muy pocos autores que investigaron nuevos métodos para refinar plata y en la actualidad hay poca difusión del tema gracias a eso se realizó este trabajo. La presente investigación tuvo como objetivo general estudiar la obtención de plata refinada a partir de cloruro de plata con Azúcar e Hidróxido de sodio, en la Universidad Nacional Del Altiplano con el propósito de determinar la influencia del azúcar - NaOH en la obtención de plata refinada. Para lo cual este proyecto de investigación utilizó la siguiente metodología: El diseño Experimental fue completamente al azar de 2^2 con 3 repeticiones, el enfoque de investigación es cuantitativo con un nivel de estudios tanto explicativo como exploratorio, para los tipos de investigación fueron: documental, laboratorio y aplicada. Asimismo, para las técnicas e instrumentos de estudio se realizó con tablas donde se determinó las concentraciones y con una toma de datos de las pruebas experimentales; También se aplicó hipótesis nulas y alternas para ver la significancia de las variables de estudio con una población constituida por plata impura procedente de una fundición y como muestra se utilizó 10.975 mL de AgNO_3 y una concentración 1.689 mol/L de plata y en los niveles de azúcar 0.82066 g – Hidróxido de Sodio 2.4602 g con un tiempo de 15 minutos. Este estudio llegó a una conclusión principal donde se determinó que las variables son significativas con un efecto positivo, este tiene un P-Valor < 0.05 , rechazando la hipótesis nula con un nivel de confianza de 98.78% y un error estándar de 0.0214 Dichos experimentos dieron unos resultados favorables, consiguiendo una pureza de plata: Replica I = 99.97; Replica II = 99.99 y Replica III = 99.96.

Palabras clave: Agente Reductor, Azúcar, Cloruro de plata, Hidróxido de sodio, Precipitación, Refinación, Sacarosa.



ABSTRACT

The background indicates that there are very few authors who investigated new methods to refine silver and currently there is little dissemination of the topic, which is why this work was carried out. The general objective of this research was to study the obtaining of refined silver from silver chloride with Sugar and Sodium Hydroxide, at the National University of the Altiplano with the purpose of determining the influence of sugar - NaOH in obtaining refined silver. For which this research project used the following methodology: The Experimental design was completely random of 2^2 with 3 repetitions, the research approach is quantitative with both an explanatory and exploratory level of studies, for the types of research were: documentary, laboratory and applied. Likewise, for the study techniques and instruments, it was carried out with tables where the concentrations were determined and with data collection from the experimental tests; Null and alternative hypotheses were also applied to see the significance of the study variables with a population consisting of impure silver from a smelter and as a sample 10,975 mL of AgNO_3 and a concentration of 1,691 mol/L of silver were used and at the levels of sugar 0.82066 g – Sodium Hydroxide 2.4602 g with a time of 15 minutes. This study reached a main conclusion where it was determined that the variables are significant with a positive effect, this has a P-Value < 0.05 , rejecting the null hypothesis with a confidence level of 98.78% and a standard error of 0.0214 These experiments gave favorable results, achieving silver purity: Replica I = 99.97; Replica II = 99.99 and Replica III = 99.96.

Keywords: Reducing Agent, Sugar, Silver Chloride, Sodium Hydroxide, Precipitation, Refining, Sucrose.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los antecedentes indican que muy pocos autores han investigado nuevos métodos para refinar plata y en la actualidad hay insuficiente difusión del tema; fruto de ello, es la existencia de tecnologías convencionales usadas en la mayoría de empresas dedicadas a este rubro. Dentro de las tecnologías más usadas se tiene, la precipitación con polvo de zinc a partir de soluciones de nitrato de plata (AgNO_3).

Candiotti & Salazar (2017) En su tesis de investigación logra obtener óxido de plata con condiciones favorables a partir de chatarra electrónica adicionando hidróxido de sodio al 5% en el nitrato de plata con un resultado del 99.9% en un tiempo de 50 min.

Asimismo, (De La Cruz Bustamante, 2017) logró recuperar plata a partir de placas radiográficas, con hidróxido de sodio a pH mayor a 7.5 (débilmente alcalino), obteniendo un precipitado de hidróxido de plata (AgOH) seguido de Ácido Clorhídrico, el cual se transformó espontáneamente en óxido de plata (Ag_2O), que es más estable e insoluble.

Estas investigaciones, hicieron posible el deseo de realizar el presente trabajo experimental titulado “OBTENCIÓN DE PLATA REFINADA A PARTIR DE CLORURO DE PLATA CON AZÚCAR E HIDRÓXIDO DE SODIO EN LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA UNA-PUNO”.

La experimentación se realizó en los laboratorios de la escuela profesional de ingeniería metalúrgica, considerando que los profesionales tengan nuevos métodos e incentivando la investigación de la metalúrgica extractiva en la refinación de la plata.



Se ejecutó la presente tesis de investigación para encontrar un método alternativo en la recuperación de plata refinada en menor tiempo y además económica en un proceso industrial.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Mediante esta investigación se obtendrá plata refinada a partir de cloruro de plata con mejores resultados que con métodos convencionales, utilizando como materia prima el azúcar y el hidróxido de sodio?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Influye la dosificación en diferentes proporciones de azúcar – hidróxido de sodio en la obtención de plata refinada a partir de cloruro de plata?
- ¿Mejora la recuperación de plata en diferentes intervalos de tiempos de reacción con azúcar e hidróxido de sodio?
- ¿Se puede generar a nivel industrial el proceso de refinación de plata a partir de cloruro de plata con azúcar e hidróxido de sodio?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

- Mejora los resultados de plata refinada a partir de cloruro de plata con azúcar e hidróxido de sodio que los métodos convencionales.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Influye la dosificación de diferentes proporciones de azúcar – hidróxido de sodio en la obtención de plata refinada a partir de cloruro de plata.



- Mejora la recuperación de plata en diferentes tiempos de reacción con azúcar e hidróxido de sodio.
- Genera a nivel industrial el proceso de refinación de plata a partir del cloruro de plata.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

- **Justificación teórica.** - Existen pocas investigaciones sobre la refinación de la plata, las cuales no han sido tocadas por los investigadores, sin embargo, se necesita experimentar para encontrar nuevas alternativas de refinación, aunque sean erróneas nos traerán más avances tecnológicos.
- **Justificación económica.** - La investigación de este estudio se realizó debido a que la sacarosa es más económica a nivel industrial y que mejor si los resultados son de calidad y resultado acelerado en el momento de la obtención del metal preciado.
- **Justificación social.** - Investigadores hicieron estudios con el propósito de obtener plata refinada, pero la variable tiempo hace que se tarde en la recuperación, esta investigación encaminó a encontrar otra alternativa que sea más rápida y de mejor calidad. Al mismo tiempo de obtener otro método de refinación.
- **Justificación práctica.** - La realización del presente estudio podrá resolver problemas en la facilidad de obtener plata refinada ya que el procedimiento del proceso de obtención es muy simple y se puede trabajar en grandes proporciones de plata.

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN



1.5.1. Objetivo general

- Evaluar la obtención de plata refinada a partir de cloruro de plata con azúcar e hidróxido de sodio en la Universidad Nacional Del Altiplano.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la dosificación de diferentes proporciones de azúcar - hidróxido de sodio en la obtención de plata refinada a partir de cloruro de plata en La Universidad Nacional Del Altiplano.
- Determinar el tiempo en la obtención de plata refinada a partir de cloruro de plata con azúcar e hidróxido de sodio en la Universidad Nacional Del Altiplano.
- Evaluar a nivel industrial el proceso de refinación de plata a partir del cloruro de plata.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

Hopf et al. (2021) En su tesis cuyo objetivo principal fue refinar materiales que contienen metales preciosos de fuentes secundarias por medio de lixiviación de gránulos de plata primarios con ácido metano sulfónico desde una vía ecológica y sustituyendo la electrolisis de Moebius existente. Estos resultados sugieren que el ácido metano sulfónico puede ser una base química alternativa adecuada para el desarrollo de tecnologías de refinación de plata menos dañinas para el medio ambiente. Incluso puede ser adecuado para materias primas secundarias con mayores concentraciones de impurezas, como el paladio. Se necesitan más estudios para dilucidar el mecanismo observado del consumo de Pd durante la lixiviación, desarrollar los próximos pasos para extraer plata del lixiviado e investigar el efecto de impurezas como Cu y Pd en el rendimiento de la lixiviación durante el reciclaje de electrolitos.

Candiotti & Salazar. (2017) En su tesis de investigación tiene como objetivo establecer las condiciones favorables para obtener oxido de plata a partir de la chatarra electrónica, para la realización de sus pruebas experimentales utilizo 150mL de ácido nítrico a diferentes concentraciones:2.64%, 2.08%, 1.54%, 1.01%; donde llevo a una temperatura de 90-95 °C con una duración de 3 Horas. Esta solución de nitrato de plata más contaminantes (Cu, Fe y Cr) se precipito con cloruro de sodio al 5%, obteniendo un precipitado de cloruro de plata, y posterior a esto fue tratado vía seca utilizando fundentes para luego ser disuelto con ácido nítrico, por último, adicionándole hidróxido de sodio al 5%, obtuvo un precipitado de hidróxido de plata. El precipitado fue hidratado en una



estufa con una temperatura menor de los **280°C** para finalmente obtener como resultado óxido de plata al **99.9 %** de pureza con una concentración de **2.64%**.

(En su tesis menciona como objetivo general determinar la recuperación de plata refinada iniciando con una solución de ácido de purificación de oro donde realizó una investigación experimental donde sus variables fueron el cloruro de sodio y la variación de fundentes (plomo, bórax, harina) la autora menciona sobre que si influye el cloruro de sodio en la recuperación de plata al igual que los fundentes también tiene influencia directa con la recuperación de plata y como resultado obtuvo una pureza de **97.64% de plata refinada**.

De La Cruz Bustamante, (2017) En su tesis de investigación donde cuyo objetivo fue determinar el método que permite una recuperación de plata a partir de placas radiográficas, donde sus variables fueron hidróxido de sodio, hipoclorito de sodio y dicromato de potasio que son tres métodos diferentes de recuperación de plata donde al terminar su procedimiento experimental obtuvo como resultados con el método de hidróxido de sodio utilizando 80% puro de HCl con 4M de NaOH llegó a una **recuperación de 98.3879%**. En la discusión de resultados el autor menciona que al añadir las placas radiográficas a las soluciones de hidróxido de sodio un pH mayor a 7.5 se precipitó el Hidróxido de Plata (AgOH), el cual se transformó espontáneamente en óxido de plata (Ag_2O) que es más estable y se observó que en la solución de 80% de ácido clorhídrico es la que obtuvo un color más oscuro que los demás debido al mayor contenido de plata y en donde las soluciones se precipitaron en **260 min**.

Ybarra (2003) Menciona en su libro el método de recuperación de plata con glucosa, este menciona que al cambiar el cloruro de plata con una disolución de carbonato de sosa en una proporción de 1 a 3, la mezcla se hierve por un tiempo con 1 parte de



glucosa, este al mismo tiempo se reduce en forma de polvo fino negro gris, añadiendo bórax anhidro al 5% y nitrato sódico al 05% seco, también se puede realizar por vía seca mezclando 5 partes de cloruro de plata purificado y seco con dos partes de carbonato sódico anhidro y una parte de nitrato potásico. Posterior a esto se mezcla en porciones pequeñas al interior de un crisol, y al finalizar se rompe el crisol separando el botón de plata.

López (2008) Menciona en su tesis sobre los azúcares reductores, este menciona que un grupo aldehído (RCHO) se oxida con gran facilidad a un grupo carboxilo(–COOH), tales como el reactivo de **Tollens** (Ag^+ en NH_3 acuoso), el reactivo de **Fehling** (Cu^{2+} en tartrato de sodio acuoso). O el reactivo de **Benedict** (Cu^{2+} en citrato de sodio acuoso), se denominan a estos azúcares reductores (**porque el azúcar reduce al agente oxidante**). Se llega a una conclusión que si un azúcar reduce el licor de Fehling a óxido de cobre (I) rojo, este indica que es un azúcar reductor. Este método es muy útil para demostrar la presencia de glucosa y también para detectar derivados de la glucosa como la sacarosa o la fructosa.

Cataluña (2022) Menciona que se tiene como objetivo realizar la prueba de semáforo químico, que consiste en demostrar la reacción redox con los efectos de cambio de color que produce el índigo carmín. Donde las variables son el hidróxido de sodio y glucosa con proporciones de 15g/l y 25g/l respectivamente; el autor menciona también que el índigo carmín es un indicador ácido base, que en soluciones de pH inferiores a 11.4 presenta un color azul y por encima de 13 presenta un color amarillo, y cuando está en forma oxidada es de color verde como también cuando este está en forma reducida es amarillo, también presenta un color rojo cuando está en un estado intermedio. El autor también menciona que el hidróxido de sodio (NaOH) con el azúcar y en cualquier medio alcalino este actúa como agente reductor. Y en donde como resultado al añadir glucosa al



hidróxido de sodio, este dará un tono verde amarillenta y al reposar la botella la disolución se volverá amarilla.

Abanto (2019) menciona en su tesis mejorar la recuperación de oro y plata a través del proceso de Merrill Crowe en el área desorción provenientes de una solución rica del proceso de lixiviación con método de pruebas experimentales, en donde tiene como variables independientes la dosificación de polvo de zinc (dependerá de la concentración de oro y plata presente en la solución), acetato de plomo (donde la excesiva cantidad de este puede recubrir por completo la superficie de las partículas e inhibir la cementación) y pH (rango entre 9 y 12). Y en cuyo resultado tiene un **tiempo de recuperación del proceso de 30 horas con 15 minutos**; y tiene una recuperación como de del **99.94 y 99.99** respectivamente.

2.2. MARCO TEÓRICO

Dentro de las bases teóricas me enfoqué en todo lo usado y que toda la investigación realizada esté clara, para lo cual se dividió en los siguientes módulos: Fundamentos teóricos.

2.2.1. Módulo I: Fundamentos teóricos

2.2.1.1. Metalurgia de la plata (Ag)

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), la producción mundial de plata se estima en 21.300 toneladas, o 648,8 millones de onzas, por año. Cabe señalar que sólo un tercio de la producción de plata corresponde a minas de plata, un tercio proviene de minería asociada a zinc, plomo y cobre, y un cuarto es subproducto de

minas de oro. Puede ver que sólo dos de las 15 principales minas de plata del mundo se especializan en la producción de plata.

La plata es un metal blanco blando que es ligeramente más denso que el cobre, y la presencia de pequeñas proporciones de arsénico, antimonio, bismuto y plomo hace que la plata se vuelva quebradiza. Su punto de fusión es de $960,5^{\circ}\text{C}$ y su punto de ebullición es de 1955°C . Sin embargo, la plata comienza a vaporizarse a temperaturas más bajas, lo que se hace evidente entre 1200 y 1500°C . En comparación con otros metales, la plata es el mejor conductor de electricidad. Aquí se puede visualizar las principales propiedades de la plata (Baena, notas de clase metalurgia extractiva(I.M.M. MSc, PhD, Colombia), 2019).

Tabla 1.

Propiedades de la plata.

Propiedades atómicas	
Radio medio	160 pm
Electronegatividad	1.93(Pauling)
Radio atómico	165ppm (radio de Bohr)
Radio covalente	153 ppm
Radio de Van Der Waals	172 ppm
Estados de oxidación	+1 +2 +3 +4
Oxido	Anfótero
1era energía de ionización	731 KJ/mol
2da energía de ionización	2070 KJ/mol
3era energía de ionización	3361 KJ/mol

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 2

Propiedades físicas de la plata.

Propiedades físicas	
Densidad	10490 kg/m ³
Punto de fusión	1234.93 k (961.78°C)
Punto de ebullición	2435 k (2162 °C)
Entalpia de vaporización	250.58 KJ/mol
Entalpia de fusión	11.3 KJ/mol
Presión de vapor	0.34 Pa a 1234 k

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.

Propiedades químicas de la plata.

Propiedades químicas	
Nombre	plata
Símbolo	Ag
numero atómico	47
serie química	metales en transición
masa atómica	107.8683 u
configuración electrónica	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹
estructura cristalina	cubica centrada en las caras
calor específico	232 j/kJ-K
conductividad eléctrica	63 × 10 ⁶ S/m
conductividad térmica	429 W / K-M
velocidad del sonido	2600 m/s a 293,15 K (20 °C)

Fuente: Elaboración propia

2.2.1.2. Hidróxido de sodio (NaOH)

El hidróxido de sodio es un sólido blanco que se utiliza industrialmente como solución al 50% debido a su facilidad de uso. Se

disuelve en agua y desprende calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo para metales y sustancias. En definitiva, se utiliza para procesar la celulosa para fabricar viscosa y celofán, que se utilizan en plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros. Se obtiene principalmente por electrólisis del cloruro de sodio, reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y tratamiento del sodio metálico con vapor a bajas temperaturas. (Rodolfo, hidroxido de sodio hoja de seguridad, 2016)

Tabla 4

Propiedades físicas y termodinámicas de la soda caustica

Propiedades físicas y termodinámicas	
Punto de ebullición	1388°C (a 760 mm de hg)
Punto de fusión	318.4 °C
Índice de refracción a 589.4 nm	1.433 (a 320 °) y 1.421 (a 420 °C)
Densidad	2.13 g/mL (25 °C)
Solubilidad	11 g/100 mL (20 °C) en agua
Insoluble	Acetona y éter
Calor específico	0.35 cal/g °C (20 °C)
Calor latente de fusión	40 cal/g
Temperatura de transición	299.6 °C
Energía libre de formación	90.7 kcal/ mol (a 25 °C)

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 5

Propiedades químicas de la soda caustica.

Propiedades químicas

Formula química	NaOH.
Composición	Na: 57.48 %; H: 2.52 % y O:40.00%
Peso molecular	40.01 g/mol
Estructura cristalina	Ortorrómicos
Nombre químico	Hidróxido de sodio
Tipo de reacción	Corrosiva, exotérmica
Familia química	Bases fuertes
Reacción con ácidos	Produce sales y agua
Reacción con óxidos ácidos	Produce gases ácidos nocivos y agua

Fuente: Elaboración Propia

- **Manipulación**

El equipo de protección personal: Se deben utilizar gafas, batas y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo cuando se trabaje con NaOH. Este compuesto siempre debe manipularse con capucha y no se deben usar lentes de contacto. Si está utilizando una pipeta para transferir una pequeña cantidad de refresco, úsela y nunca pipetee con la boca. (Rodolfo, hidroxido de sodio hoja de seguridad, 2016)

2.2.1.3. Azúcar (C₁₂H₂₂O₁₁):

La sacarosa es el nombre que los químicos le damos a lo que comúnmente se conoce como azúcar, su fórmula química general está compuesta por doce átomos de carbono, veintidós átomos de hidrogeno y once átomos de oxígeno (C₁₂H₂₂O₁₁). Esta molécula pertenece a la familia de moléculas conocida como carbohidratos o hidratos de carbono.



Los azúcares se pueden también llamar carbohidratos o hidratos de carbono ya que están compuestos por átomos de carbono y por cada uno de estos átomos, en los monosacáridos incorpora una molécula de agua. (Laura, 2022).

- **Tipos de azúcar**

Azúcar refinado: Azúcar de mesa de color blanco y con cristales pequeños.

Azúcar glas: Azúcar regular reducida a un polvo muy fino. Se disuelve rápidamente y adelgaza la masa, pero es higroscópico. Por lo tanto, se vende con una pequeña cantidad de almidón añadido para absorber la humedad. (Laura, 2022).

Azúcar Demerara: Sacarosa con cristales amarillentos más grandes. Contiene una proporción muy alta de sacarosa cristalizada (99%) y muy poca melaza (impurezas y residuos de la cristalización del azúcar). (Laura, 2022).

Azúcar moreno: Azúcar de caña con un menor refinado (95% de sacarosa). Los cristales de sacarosa están recubiertos por melaza por lo cual el azúcar resulta pastoso y húmedo. Además, contiene pequeñas proporciones de glucosa y fructosa que conducen a masas más húmedas y gomosas. (Laura, 2022).

Azúcar integral: Todos los azúcares que han recibido un refinado parcial. No existen valores de referencia universales para el grado de contenido de melaza, que puede variar de un producto a otro. (Laura, 2022).



Tabla 6

Propiedades físicas de la azúcar rubia (Cartavio S.A.A).

Propiedades físicas	
Estado de agregación	Solido
Apariencia	Cristales rubios
Densidad	1587 kg/m ³ ; 1.589 g/cm ³
Masa molecular	342.0 g/mol
Punto de fusión	K (186°C)
Punto de ebullición	K (102°C)
Punto de descomposición	K (-273.15 °C)
Temperatura critica	K (-273.15 °C)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Propiedades químicas del azúcar.

Propiedades químicas	
Nombre químico	A-d-glucopiranosil - (1→2) - β-d-fructofuranósido
Formula molecular	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
Solubilidad en agua	203.9/100mL (20°C)
Propiedad química	Higroscópica

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.4. Tiempo

El tiempo es una cantidad utilizada para medir la duración o el intervalo de uno o más eventos. Esto le permite ordenarlos en secuencia (pasado, presente, futuro) y determinar si sucede en simultaneo o no. Esta medida se representa con la variable t, su unidad de medición según el SI es el segundo(S), En un marco Sexagesimal (60 unidades forman una unidad mayor) y el aparato con el que se mide es el reloj.



El tiempo puede pensarse como la duración de las cosas sujetas al cambio, y una de las magnitudes físicas más importantes. En consideraciones físicas se la considera una variable que conjunto con otras puede determinar una posición, movimiento, velocidad y otras magnitudes de un sistema u objeto. (Leskow, Tiempo en Física, 2021)

- **Unidades de medida más usadas**

El segundo es una unidad de medida internacional para el tiempo, dentro de estas tienen variaciones que pueden ser menores o pueden ser mayores, con respecto a este y su relación con el día se encuentran: Minuto (60 segundos), Hora (60 minutos), Día (24 horas), Semana (7 días), Mes (4 semanas), Año (12 meses), Lustró (5 años), Siglo (100 años), Milenio (1000 años). (Karina, 23)

2.2.2. Módulo II: Métodos para recuperar el metal

2.2.2.1. Precipitación / purificación y concentración de la solución

Después de la separación sólido-líquido las soluciones de lixiviación, conteniendo un mínimo de partículas sólidas, son purificadas y a veces concentradas antes de realizar la operación final de precipitación del metal de interés. La purificación se realiza para eliminar de la solución metales secundarios que hayan sido codisueltos en la lixiviación y que interfieren con la etapa de precipitación del metal y/o contaminan el producto final.

Dependiendo de la mena tratada, el tipo de reactivo de lixiviación y el método de lixiviación empleado, las soluciones generadas por el proceso de lixiviación pueden ser de varios tipos. Las soluciones que son



más simples de tratar son aquellas que contienen el metal primario de interés en concentraciones adecuadas, junto con pequeñas proporciones de impurezas disueltas que no interfieren con la etapa posterior. La recuperación del metal de tales soluciones puede ser efectuada directamente o después de una precipitación química selectiva de las impurezas. (Baena, notas de clase metalurgia extractiva(I.M.M. MSc, PhD, colombia), 2019)

Existen varios métodos de tratar soluciones de lixiviación concentradas y diluidas. Las varias técnicas disponibles para recuperar el metal primario desde soluciones de lixiviación son:

a. Precipitación de compuestos por cristalización

Cristalización es el proceso físico de separar una sal a la forma de cristales desde una solución acuosa por sobresaturación de la solución en la sal de interés. Este es un procedimiento común para la obtención de compuestos puros y es usado ocasionalmente para la recuperación de algunos metales. Diferencias en solubilidades son usadas ventajosamente para separar metales desde una solución de lixiviación. (Baena, NOTAS DE CLASE METALURGIA EXTRACTIVA)

b. Precipitación de compuestos metálicos por precipitación iónica

La precipitación iónica se puede definir como un proceso en el cual el ion metálico presente en la solución se hace reaccionar con un agente apropiado para formar un compuesto metálico insoluble. La precipitación ocurre rápidamente porque el compuesto formado tiene baja solubilidad. Los metales pueden ser recuperados desde la solución por precipitación a la forma de un gran número de compuestos tales como: hidróxidos y otros

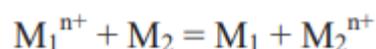
compuestos básicos, sulfuros, carbonatos, haluros, peróxidos, fosfatos, etc., dependiendo de su uso final. (Baena, notas de clase metalurgia extractiva(I.M.M. MSc, PhD, colombia), 2019)

c. Precipitación de metales o compuestos metálicos por reducción con gas

La reducción con gases como H₂, SO₂ o CO se utiliza para producir polvos de metales nobles y metales base desde sus soluciones acuosas. En el caso de metales 51 más reactivos como el U, V, Mo, y W, tales reducciones producirán sus respectivos óxidos. (Baena, notas de clase metalurgia extractiva(I.M.M. MSc, PhD, colombia), 2019)

d. Precipitación de metales por reducción electroquímica (cementación)

Cementación es un proceso para precipitar un metal, M₁, de su solución acuosa por la adición de otro metal M₂ menos noble:



La reacción global mostrada aquí es la suma de numerosos microsceldas en cortocircuito. El metal M₂ se disuelve anódicamente y el ion metálico, M₁ⁿ⁺ es descargado catódicamente. La transferencia de electrones ocurre a través del metal M₂ que es conductor. El proceso se denomina cementación porque M₁ generalmente se deposita o "cemento" sobre M₂. La elección del metal M₂ apropiado para cementar a M₁ está dictada por las posiciones relativas de ambos metales en la serie de fuerza electromotriz o serie de potenciales estándar. (Baena, notas de clase metalurgia extractiva(I.M.M. MSc, PhD, colombia), 2019)



e. Precipitación de metales por reducción electrolítica (electro obtención)

“Proceso electrometalúrgico que se realiza en celdas electrolíticas, donde se disponen alternadamente un ánodo (placa de plomo o de acero inoxidable) y cátodos (placa de acero inoxidable) dentro de la solución electrolítica previamente concentrada. Las placas metálicas están conectadas formando un circuito en que la corriente entra por los ánodos (polo positivo), viaja a través del electrolito y sale por los cátodos. El proceso se realiza mediante la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad”. (Baena, notas de clase metalurgia extractiva(I.M.M. MSc, PhD, Colombia), 2019)

2.2.3. Módulo III: Métodos de refinación de plata

2.2.3.1. Procedimiento Patera

Está basado en el hecho de que el cloruro de plata es insoluble en agua y soluble en hiposulfito de sodio, donde la solución puede precipitar la plata al estado sulfuro por la reacción del sulfuro de sodio o calcio y el proceso consta de las siguientes operaciones: 1) La molienda fina sirve como preparación previa para el procesamiento posterior. 2) Tostado clorurante para poner la plata al estado de cloruro. 3) Lavado preliminar con agua para eliminar sales insolubles y cloruros metálicos. 4) El lavado preliminar con agua se practica en las mismas tintas o cubas que son de madera que están provistas de un falso fondo a manera de filtro con lona, se carga el mineral y se cubre con agua, se abre el conducto de evacuación haciendo correr el agua hasta que todas las sales solubles hayan sido



eliminadas. 5) Lixiviación con hiposulfito de sodio, para disolver la plata luego que, bajo el agua por debajo del nivel del mineral, se deja correr la solución a través de la masa mineral hasta que en la lejía que sale de la tinta no haya indicios de plata; la reacción es la siguiente:



Una parte de hiposulfito de sodio disminuye 0.485 partes de cloruro de plata o 0.365 partes de la plata. El hiposulfito disuelto ve también el oro, óxidos de plata, arseniatos y antimoniatos de plata.

Precipitación de la plata al estado de sulfuro, empleando como agente precipitante el sulfuro de sodio, a la vez se regenera el hiposulfito de sodio; la reacción es la siguiente:



Junto a la plata se deposita el oro, cobre y los demás metales pesados. Durante la precipitación se agita el líquido por medio de paletas de madera o agitadoras mecánicas, luego se decanta el líquido empleando un tubo sifón, es regulable su altura según el líquido. 9) Tratamiento del precipitado de sulfuro de plata para obtener la plata metálica, los sulfuros precipitados pueden contener además de la plata. Cobre, plomo, arsénico, zinc, plomo, hierro u azufre libre. 10) Primero se filtra el precipitado en un filtro prensa para separar el azufre se trata en caliente el precipitado con soda caustica y se produce sulfuro de sodio que se puede emplear como precipitado o se hace destilar el azufre en retortas. Para separar las demás impurezas como fierro, cobre, zinc, plomo, se introduce el precipitado en



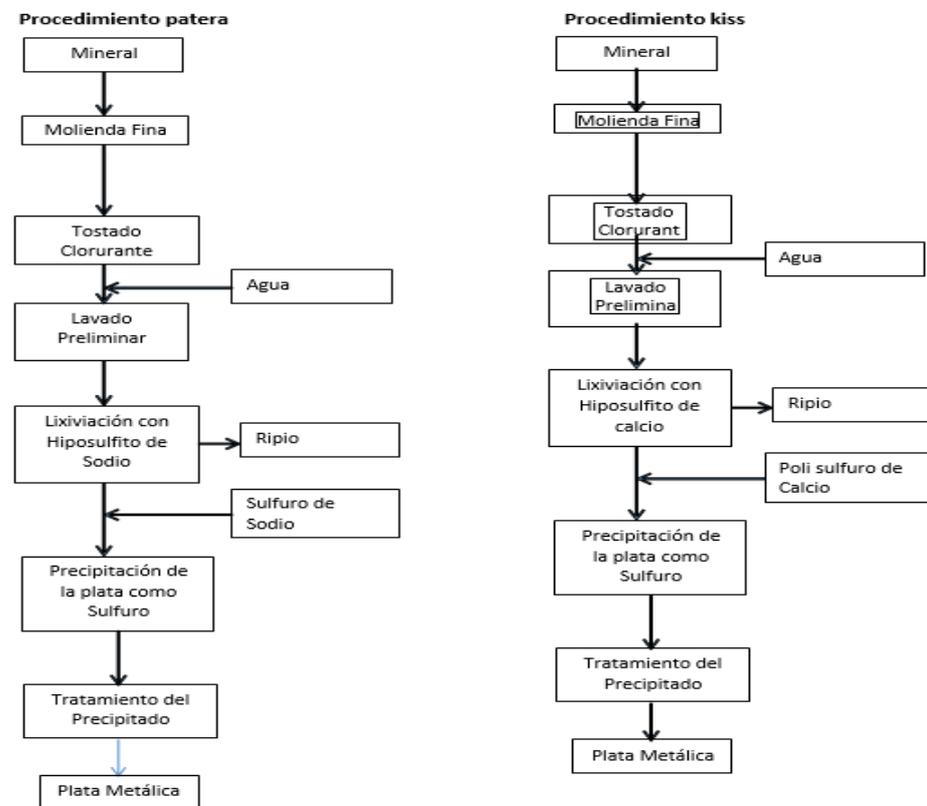
un horno de copelación dentro de un baño de plomo. Y finalmente se retira obteniéndose plata metálica. En este procedimiento se logra extraer el **70 a 85%** de plata contenida en el mineral. (Zea, 2016)

2.2.3.2. Procedimiento Kiss

Este procedimiento es tan solo una variante del procedimiento patera, consiste en emplear como disolvente el hiposulfito de calcio en lugar del hiposulfito de sodio, y precipitar en seguida con sulfuro de calcio, regenerando el hiposulfito de calcio. Las operaciones son las siguientes: 1) Molienda y tostado clorurante. 2) Lavado con agua. 3) Disolución del cloruro de plata con hiposulfito de calcio: $2AgCl + 3CaS_2O_3 \rightarrow Ag_2Ca_2(S_2O_3)_3 + CaCl_2$, 4) Precipitación por el polisulfuro de calcio: $Ag_2Ca_2(S_2O_3)_3 + CaS_x \rightarrow Ag_2S + CaS_2O_3 + S_{x-1}$, 5) Tratamiento del sulfuro de plata para llegar a plata metálica. El poder disolvente del hiposulfito de calcio sobre el cloruro de plata es ligeramente menor que el hiposulfito de sodio. El hiposulfito de calcio se descompone más rápidamente que el de sodio, transformándose en sulfuro de calcio que se elimina en los relaves. En resumen, este procedimiento no ofrece ventaja alguna sobre el procedimiento patera. (Zea E., 2016)

Figura 1

Diagrama de procedimiento patera y Kiss



Fuente: (Zea, 2016)

2.2.3.3. Procedimiento Russell

“Este procedimiento consiste en disolver por medio de un legía de hiposulfito doble de sodio y cobre, la plata contenida en el sulfuro y en los compuestos que contienen arsénico y antimonio. Se ha empleado más como procedimiento auxiliar del procedimiento patera, como tratar los residuos dejados por este último procedimiento n, que pueden contener aun minerales argentíferos inertes al hiposulfito de sodio, que hayan podido quedar después del tostado clorurante, como se observa en el diagrama, el procedimiento consta de: 1) Molienda y tostado clorurante, 2) Lavado con agua., 3) Lixiviación con hiposulfito de sodio, 4) Lixiviación de los residuos con hiposulfito doble de sodio y cobre, para



disolver la plata contenida en las especies minerales no atacadas, cuya reacción es: $Ag_2S + Na_2S_2O_3 \cdot Cu_2S_2O_2 \text{ -----} Cu_2S + Na_2S_2O_2 \cdot Ag_2S_2O_3$, 5) La solución Russell (hiposulfito doble de sodio y cobre) tiene sobre la plata un poder disolvente 9 veces mayor que el hiposulfito de sodio a la temperatura ordinaria.

El oro, los arseniatos y antimoniatos son tan fácilmente descompuestos como por el hiposulfito de sodio, el cobre se precipita al estado de cobre; la solución Russell no es regenerada por el tratamiento mismo, pues el cobre es precipitado junto con la plata y la solución debe ser preparada para cada lixiviación en el momento de utilizarla, porque se descompone en contacto con aire. Este proceso tiene como principal desventaja el costo de los reactivos, por lo que es limitado su empleo. 6) Precipitación por el poli sulfuro de calcio. Al estado de sulfuro de plata. 7) Tratamiento de sulfuro de plata, para llegar a plata metálica.” (Zea E., 2016)

2.2.3.4. Procedimiento Augustin

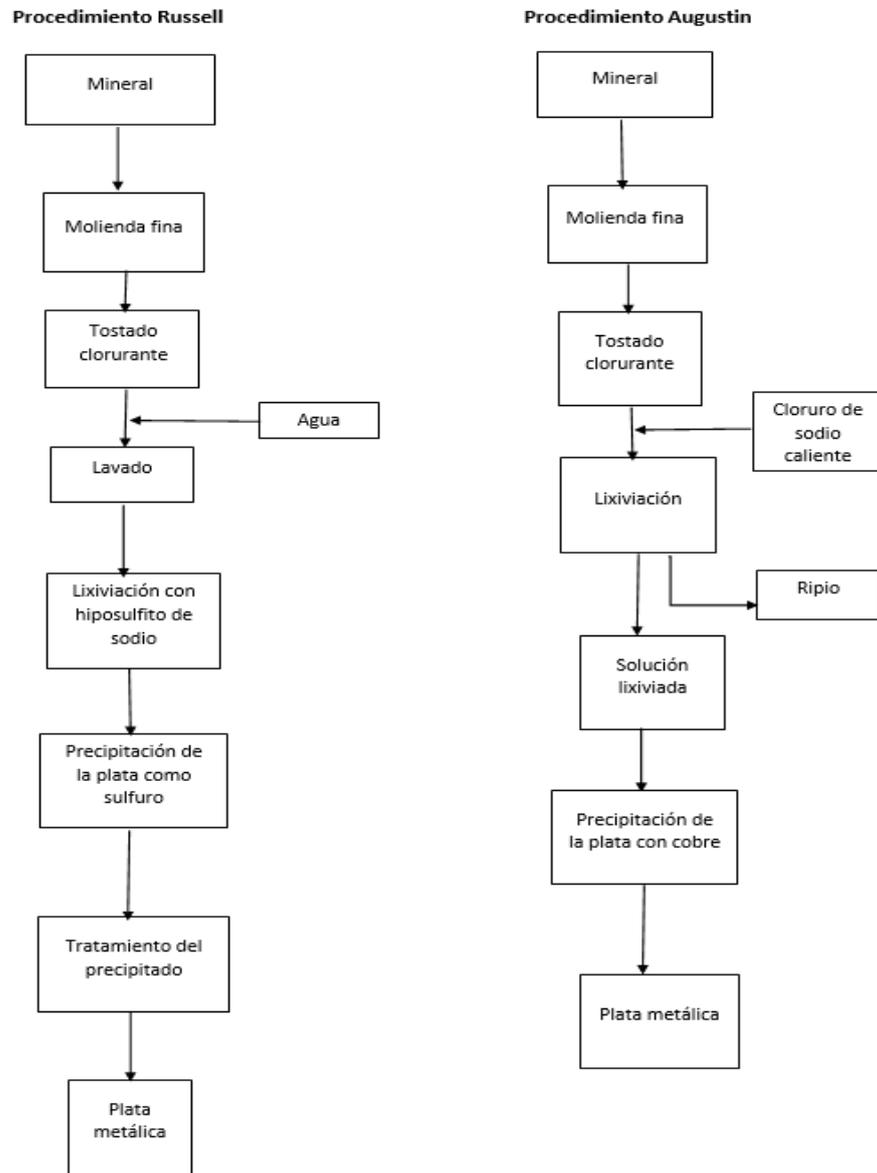
“Este procedimiento se basa en que después del tostado clorurante, se emplea como disolvente del cloruro de plata una solución concentrada y caliente de cloruro de sodio, como se observa en el diagrama de flujo, la plata esta disuelta se precipita por medio del cobre, el cual a su vez se precipita con fierro. Tiene la siguiente desventaja, se requiere 68 partes de cloruro de sodio para disolver una parte de cloruro de plata, mientras que bastan dos partes de hiposulfito de sodio para disolver una parte de cloruro de plata, como en el caso patera.



Como ventaja, en el procedimiento Augustin se precipita la plata al estado metálico, mientras que en el procedimiento se obtiene al estado de sulfuro de plata, lo que exige nuevos tratamientos del precipitado. El tostado clorurante se realiza en forma que todos los sulfuros metálicos se transformen en óxidos y el sulfuro plata se transforma el sulfato y luego como cloruro. El mineral tratado se somete a la acción disolvente del cloruro de sodio en solución caliente, en tintas provistas en el fondo de parrillas de manera sobre el cual se coloca la materia filtrante, el cobre que haya quedado como cloruro se disolverá y durante la precipitación de la plata se podrá precipitar parcialmente junto con esta, por la formación de un cloruro insoluble. La precipitación se realiza en tintas similares a las de lixiviación y se disponen en cascada de manera que la solución atraviesa sucesivamente, como precipitante se emplea el cobre en forma de granallas, colocándose en la tina superior gramallas pequeñas y en las interiores las más gruesas, sobre las parrillas de madera, cuando la plata ha sido ya precipitada la solución queda cargada de cobre y se precipita este con chatarra de hierro.” (Zea E., 2016)

Figura 2

Diagrama de procedimiento Russell y Augustin.



Fuente: (Zea, 2016)



2.2.3.5. Plata procedente de los lodos anódicos y procedimientos de fusión

“La plata se extrae de los plomos argentíferos y de los barros anódicos obtenidos de la refinación electrolítica del cobre, níquel, plomo o cinc. Los lodos anódicos de la refinación del cobre son desecados, oxidados y tratados con ácido sulfúrico diluido para extraer el exceso de cobre hasta el 1%, se le seca luego se le deseleniza, se le funde en copelas para escorificar el cobre, plomo y otros; el producto metálico (metal dore) que esta generalmente compuesto de un 95% de plata y hasta 5% de oro.

Luego estos ánodos son moldeados en forma rectangular para luego ser afinados electrolíticamente. El electrolito es una solución de nitrato de plata y nitrato de cobre, los métodos de refinación de la plata son dos: De Moebius y Thum.” (Zea E., 2016)

2.2.3.6. Proceso de la refinación de los ánodos dore (electrolisis) en celdas Thum

“El proceso de la refinación electrolítica de la plata se realiza en celdas del tipo Thum en la refinación electrolítica de la plata, pasa la corriente eléctrica continua del rectificador a través del ánodo, luego por el electrolito y de allí al cátodo, luego por el conductor al rectificador. En el ánodo se disuelven: la plata, el cobre y otros elementos solubles, incrementándose en mayor o menor medida en el electrolito y los insolubles como el oro, paladio, platino pasan a formar parte del lodo anódico de plata.



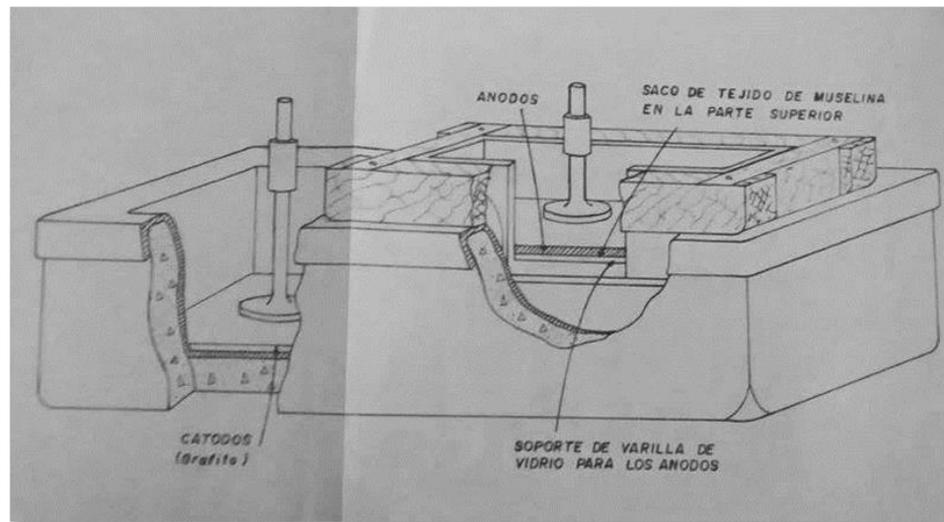
Si los perímetros de concentración se contienen dentro de sus límites, en el cátodo solo se depositará la plata en forma de cristales, lo mismo que son cosechados cada 2 a 4 horas, raspándose con un rastrillo y depositándoseles en un extremo de la celda luego son extraídos de la misma celda cada 24 horas. Los cristales de plata deben lavarse exclusivamente con agua destilada, para eliminar las impurezas presentes en el electrolito, especialmente el cobre; seguidamente se llevan al secado en una estufa a una temperatura de 120 °C a 150°C, durante 24 horas.

La cosecha de lodos anódicos de plata se realiza cada vez que se cambia ánodos, quedando estos en la canasta anódica junto con los scraps, ya que la cantidad dispone de un diafragma formado por dos capas de tela muselina y en el medio papel filtro, que impide mezclarse con los cristales. La extracción del lodo se realiza en conjunto con el diafragma, luego se lava y se filtra al vacío, el lodo se lava con abundante agua caliente, para luego llevarlos a una lixiviación nítrica para separar la plata, fusión de las arenas de oro, electrolisis y obtención de oro fino.

La composición del lodo puede variar dependiendo exclusivamente de la composición del ánodo Doré. Estos se van aumentando hasta que haya una buena cantidad y se empieza a tratar para la obtención de los demás elementos como oro fino, paladio, platino, etc.”
(Zea E., 2016)

Figura 3

Modelo de una celda Thum



Nota. Fuente: (Zea, 2016)

2.2.3.7. Proceso de refinación de las celdas Moebius, material y diseño de celda

“En el proceso de refinación en las celdas Moebius se lleva a cabo en la celda construida de hormigón y revestida en planchas de PVC, resistente a los ácidos; En la que la placa se deposita en el cátodo en forma de cristales poco adherentes, mientras que el oro, platino, paladio y otros elementos valiosos se recogen en los lodos anódicos.

La celda tiene ánodos y cátodos; deben ser la plata de 950 partes de ley. Los cátodos pueden de plata laminada de 0.8 mm de espesor o de acero inoxidable, hay un bastidor de madera o plástico que suspende el arreglo alternado de cátodos y ánodos.

Los ánodos se introducen en bolsas de lona o tela de muselina con el objeto de evitar que los lodos anódicos contaminen la plata depositada. La disposición terminal de los electrodos es bastante parecida a la



empleada en el proceso múltiple de afino del cobre; entre los ánodos y cátodos se encuentran raspadores mecánicos de madera que agitan el electrolito y desprenden los cristales de plata depositados en el cátodo, esto se efectúa varias veces por día a medida que se acumulen en el cátodo.

Para extraer la plata de la celda se tiene que levantar todo el arreglo de los ánodos y cátodos, para esto antes se tiene que cortar la corriente, evacuar el electrolito, además la solución hay que filtrarla constantemente, para lo cual se requiere otros equipos y accesorios como: filtros, bombas, motor y, los ánodos no se corroerán totalmente como en el método Thum.”
(Zea E., 2016)

2.2.4. Módulo IV: Definición de términos básicos

- **Preparación de minerales:** sección donde se realiza trituración, molienda y la clasificación del mineral.
- **Separación de fases:** proceso físico donde el cual se puede separar los componentes de una mezcla.
- **Trituración:** Dependiendo del tamaño a triturar puede existir 1, 2 o 3 etapas. Generalmente se conoce hasta etapa secundaria
- **Lixiviación:** es un proceso por el cual se extrae varios o un soluto, mediante la utilización de un disolvente líquido.
- **Adsorción en carbón activado:** es un proceso donde el carbón activado cumple la función de adsorber moléculas orgánicas en sus micro poros. Se activa mediante procesos químicos y térmicos para aumentar su capacidad de adsorción.



- **Desorción de carbón activado:** Es una operación donde el cual libera los valores metálicos mediante un proceso.
- **Electrodeposición:** Es un tratamiento electroquímico donde se adhieren los cationes metálicos contenidos en una solución acuosa para ser sedimentados sobre un objeto conductor creando una capa. Se puede usar una corriente eléctrica para reducir distancia del cátodo los cationes contenidos en una solución acuosa.
- **Dore:** es una mezcla impura y sin refinar de oro metálico y plata.
- **Probetas:** Permiten medir volúmenes de forma aproximada, o transvasar y recoger líquidos. Se fabrican de distintos tamaños y materiales (vidrio y plástico), siendo las capacidades más frecuentes son 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 mL.
- **Matraces Erlenmeyer:** recipientes de vidrio que permiten hacer valoraciones.
- **Buretas:** son recipientes con graduaciones y de forma alargada con un diámetro interno uniforme y de diferentes volúmenes.
- **Pipetas aforadas:** son recipientes de alta precisión, diseñadas para medir un solo volumen, su estructura es un tubo Larco y estrecho con un ensanchamiento en la parte central.
- **Pipetas graduadas:** son recipientes de menor precisión que las aforadas que permite medir soluciones.
- **Balanza:** Son instrumentos que puede medir la masa de objetos.



- **Propipeta:** Es un instrumento de laboratorio que se utiliza para traspasar líquidos de un recipiente a otro.
- **Varillas:** La varilla agitadora se utiliza para mezclar, disolver o agitar sustancias con el fin de homogeneizar.
- **Probeta:** es un instrumento de vidrio en forma de tubo transparente y con graduación de escalas que permite medir un volumen.
- **Cuentagotas:** es un instrumento o utensilio hecha de cristal y goma, que permite echar líquidos gota a gota,
- **Vidrios de reloj:** es un instrumento de vidrio con forma circular cóncava-convexa, que se utiliza para pesar o medir una masa y esta a su vez permite visualizar los precipitados.
- **Escobillas:** La escobilla de laboratorio es un cepillo utilizado para limpiar los instrumentos de laboratorio.
- **Piseta:** es un instrumento donde contiene agua o cualquier líquido, el recipiente tiene forma cilíndrica y sellado por una tapa rosca.
- **Calefactor agitador:** instrumento de agitación que sirve para agitar y este lo realiza mediante una varilla de vidrio.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. SEGURIDAD Y RIESGOS EN EL MANEJO DE INSUMOS QUÍMICOS

INFORMATIVA

Lee la información de las hojas MSDS de cada reactivo ya que estas te proporcionan información específica acerca de los peligros, precauciones, y medidas de emergencia con el fin de minimizar el riesgo a la persona. Localizar los dispositivos de seguridad más próximos. Tales como extintores, lavaojos, ducha de seguridad y salidas de emergencia antes de realizar ensayos en el laboratorio.

- **Protección**

- **En el laboratorio.** El uso de la bata es obligatorio. No se recomienda usar minifalda o pantalones cortos mucho menos cabello largo, pero se puede evitar recogéndolo en forma de cola. más se recomienda llevar zapatos cerrados y no sandalias.
- **Cuidado de los ojos.** - los ojos son susceptibles a daños por agentes químicos. Por lo mismo es obligatorio usar lentes o gafas de seguridad transparentes en todo momento.
- **Uso de guantes.** - es obligatorio usar guantes, sobre todo cuando se trabaja con sustancias corrosivas, tóxicas.

- **Realizar trabajo con seguridad**

Como normas higiénicas prohibido comer en el laboratorio, ya que es posible que las comidas o bebidas se puedan contaminar. Lavarse siempre las manos después de



realizar un experimento y salir del laboratorio. No inhalar ni probar los productos químicos si no estás informado. Jamás acerques la nariz para inhalar directamente de un tubo de ensayo.

- **Trabaja con orden y limpieza.** - Mantener el área de trabajo ordenado, y limpio y si hay algún derrame, se tiene que limpiar de manera inmediata.
 - **Actúa responsablemente.** - trabaja sin apurarte, un comportamiento irresponsable puede ser motivo de un accidente.
 - **Atención a lo desconocido.** - No utilices ni limpies ningún frasco de reactivo que no tenga etiqueta.
- **Precauciones específicas en un laboratorio químico.**
 - **Manipulación del vidrio.** No fuerces un tubo de vidrio, en caso de ruptura, los cortes pueden ser graves. Utilizar las pinzas y tenazas si los vidrios están calientes, evitando así quemaduras innecesarias.
 - **Manipulación de productos químicos.** Los productos químicos pueden ser peligrosos por sus propiedades tóxicas, corrosivas, inflamables o explosivas.
 - **No inhalar vapores de productos químicos.** Trabajar con un extractor con sustancias volátiles. No acerques la nariz para inhalar ninguna sustancia en reacción
 - **Transporte de reactivos.** No transportes innecesariamente los reactivos de un sitio a otro del laboratorio. Transportar las botellas cogiéndolas por el fondo y no por la tapa.



- **Riesgo eléctrico.** Para evitar descarga eléctrica accidental, seguir las instrucciones de funcionamiento y manipulación de los equipos.
- **Eliminación de residuos.**
 - **Material de cristal roto.** - se retirará estos materiales ya que pueden generar accidentes.
 - **Productos químicos tóxicos.** - se tiran en contenedores especiales para este fin. No tires al fregadero productos que reaccionen con el agua o que sean inflamables, tampoco los que huelen mal o lacrimógenos.

3.2. DISEÑO, NIVEL Y TIPOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación fue EXPERIMENTAL, para lo cual se realizó un diseño experimental completamente al azar de 22 con 3 repeticiones, es el que mejor se adapta a las necesidades de la investigación ya que se realizaron experimentos y hubo manipulación de manera intencional. (Sampieri; Fernández & Baptista, 2010, pág. 192). El enfoque del presente trabajo de investigación es CUANTITATIVO ya que se llevó a cabo mediante experimentos las cuales se adecuó al mejor resultado. (Sampieri; Fernández & Baptista, 2010, pág. 162).

3.2.2. Nivel de investigación

Dentro de los estudios de la investigación se optó por el nivel de investigación **explicativo**, también se consideró una parte del nivel de **investigación exploratorio** en una etapa inicial, ya que se tenía antecedentes muy pocos acerca del trabajo de investigación.



- **Estudios de nivel exploratorio.** - En una etapa inicial se consideró tomar de manera muy importante el nivel exploratorio, como su nombre lo indica se examinó porque es un tema poco estudiado e investigado y para aclarar algunas dudas se abordó por experimentos exploratorios. (**Sampieri; Fernández & Baptista, 2010, pág. 121**).
- **Estudios de nivel explicativo.** – Una vez se abarco en nivel exploratorio, mediante experimentos se pudo explicar algunos fenómenos por que se relacionaron más de dos variables. (**Sampieri; Fernández & Baptista, 2010, pág. 125**).

3.2.3. Tipos de investigación

El presente estudio de investigación se realizó experimentando con la dosificación y el tiempo, para este estudio se seleccionó los mejores tipos de investigación:

- **Documental:** Gracias a este medio se nos permitió consultar en bibliografías y otras fuentes de información los comportamientos físicos y otros, algunos de los antecedentes nos permitieron lograr los objetivos planteados.
- **Laboratorio:** Por este medio se logró realizar la experimentación con las variables, los fenómenos y condiciones en las que se pudo observar algunos cambios a nivel laboratorio.
- **Aplicada:** Finalizada la investigación se observó resultados muy significativos donde se puede dar una algunas recomendaciones gracias a los resultados obtenidos.



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.3.1. Población

La población de esta investigación fue constituida por plata impura procedente del proceso de fundición de oro y plata.

3.3.2. Muestra

Como muestra se obtuvo **700 mL de AgNO_3** , procedente de un ataque químico del dore donde se llevó a analizar una alícuota de 10 ml dando como resultado una ley de plata de **1.689mol/L** , la cual se consideró 10.975 mL de disolución para cada prueba experimental para continuar la investigación.

3.3.3. Diseño estadístico

El tratamiento estadístico se realizó utilizando el software **Excel** y el **Minitab**, con la alimentación de datos producto de las pruebas de refinación de plata a diferentes etapas, se organizó los datos obtenidos en gráficos y tablas luego de realizar diferentes pruebas a diferentes condiciones donde se determinó su comportamiento metalúrgico.

3.4. VARIABLE DE ESTUDIOS

3.4.1. Variable independiente(x)

- Hidróxido de sodio(g).
- Azúcar(g).

3.4.2. Variable dependiente(y)

- Pureza de refinación (%).



3.4.3. Variables fijas

- Concentración de plata (Ag).
- Temperatura(°C).
- Bórax(g).
- Disolución de AgNO_3 (mol).

3.5. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

3.5.1. Técnicas

- Tabla para la determinación de las concentraciones.
- Hoja de Excel para el procesamiento de la base de datos tomados de las corridas experimentales.

3.5.2. Instrumentos

Para una prueba estadística se utilizó ANOVA, ya que en función de las variables se tendrá que validar la hipótesis para hacer la prueba se tiene en cuenta lo siguiente.

Hipótesis nula (H_0): Indica que tiene igualdad o no hay diferencia significativa entre los resultados donde se compara.

Hipótesis alterna (H_1): Indica que no tiene igualdad o diferencia significativa entre valores de los resultados donde se compara.

3.5.3. Procedimientos

- Datos obtenidos de las variables son analizados por medio sistemático según la unidad de análisis, la efectividad de la solución es evaluada por el programa estadístico de MINITAB.
- Evaluación y análisis de resultados.
- Discusión de resultados.
- Recomendaciones y formulación de conclusiones.

3.6. EQUIPO, MATERIALES, MATERIA PRIMA Y REACTIVOS

Figura 4

Equipos, materiales, materia prima y reactivos.

EQUIPOS	MATERIALES
- Balanza electrónica	- pH metro tiras.
- Horno de fundición digital	- Copelas
- Destilador de agua	- Pinza
- Filtrador	- Guantes de cuero
- Agitador magnético	- Careta de fundición
- Celda electrolítica	- Vaso de precipitado de 250mL
- Fuente de energía.	- Vaso de precipitado de 50mL
REACTIVO	- Probeta
- HNO₃ QP	- Fiola de 250mL
- HCL 36%	- Pipeta graduada 50mL
- Bórax decahidratado	- Pipeta graduada 1mL
MATERIA PRIMA	- Piceta de ½ litro
- Agua destilada.	- Varilla de agitación
- Azúcar(C₁₂H₂₂O₁₁) rubia (cartavio)	- Vidrio de reloj
- Soda caustica (NaOH) 98% pureza	- Embudo de vidrio.
- cloruro de sodio (NaCl) o gránulos de sal en piedra	

Fuente: Elaboración propia.

3.7. PROCEDIMIENTO PARA LA EXPERIMENTACION

Se realizó la investigación bibliográfica sobre el tema de interés, tales paginas como Mendeley, Google Académico, Refworks, Endnote, EBSCO, Scielo, entre otros; Primeramente, se realizó un estudio, se investigó sobre el comportamiento de los reactivos y posterior a eso se realizó unas pruebas pre experimentales donde se verificó las pruebas de solubilidad y se realizó el siguiente cuadro de distribución para realizar las pruebas de cementación.

Tabla 8.

Distribución de proporciones: Azúcar – hidróxido de sodio.

Prueba N°01		Prueba N°02		Prueba N°03		Prueba N°04	
P ₁ R ₁	P ₁ R ₂	P ₂ R ₁	P ₂ R ₂	P ₃ R ₁	P ₃ R ₂	P ₄ R ₁	P ₄ R ₂
NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁

Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó 8 pruebas para verificar que la disolución del azúcar y soda caustica es apta, así también para ver si la reacción y obtención del cemento de plata el cual se trabajó con 1 g de AgNO₃. Efectuó la visualización de los resultados.

En esta parte se llevó a cabo pruebas de reacción se llevó a cabo dos procedimientos, el 1ero se llevó por experiencia y el 2do por estequiometria

- **Experiencia:** Al realizar la prueba por experiencia se llegó a una conclusión de 1 parte de Azúcar(C₁₂H₂₂O₁₁) por 3 partes de hidróxido de sodio (NaOH) para la reacción completa de 1 parte de Plata (Ag).
- **Estequiometria:** Al realizar los cálculos estequiométricos este indica que para cada dos gramo de plata se necesita 0.7414 g de hidróxido de sodio (NaOH) y 0.2644 g de azúcar(C₁₂H₂₂O₁₁).

3.8. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.8.1. Influencia del azúcar - hidróxido de sodio

- Obtención del cloruro de plata

Se llevó a cabo un ataque químico donde se añade ácido nítrico (AgNO_3) a la plata metálica impura en un vaso precipitado de 250 mL, se llevó a la estufa eléctrica y con la ayuda del calor se disolvió todo, tener encendida la campana extractora y con mucho cuidado sacar el vaso precipitado terminada la disolución.

Figura 5

Ataque químico del HNO_3 con Ag



Nota. Fotografía cuando reacciona el ácido nítrico con la plata.

Con la ayuda de papel filtro, Fiola, Varilla de agitación y embudo de vidrio se procedió a filtrar, al final se obtiene una disolución de color celeste (véase en el anexo 6), donde se llevó muestras con resultados de ensayos **1.689 mol/L de Ag; 4800.00 mg/L de Cu; 0.015 mg/L de Fe**, entre otros elementos metálicos. (Véase Anexo 18)

Obtenido el Nitrato de plata (AgNO_3) se distribuyó 12 vasos precipitados de 250mL y se añadió 10 mL (con la pipeta graduada de 50mL), mas 0.975 mL



(con la pipeta graduada de 1mL) de la disolución; En otro frasco añadir agua destilada y preparar la solución de cloruro de sodio (**NaCl**) con una concentración sobresaturada con la ayuda de una piseta se añadió sal en agua destilada donde se agitó con una varilla de vidrio constantemente.

Al obtener ambas disoluciones se añadió el cloruro de sodio (**NaCl**) a la disolución de nitrato de plata (AgNO_3) obteniendo como resultado cloruro de plata solido **AgCl(s)**, con una apariencia de precipitado solido color blanco (véase en el anexo 7) donde se procede a filtrar, enjuagar hasta un pH 7 Esto se realiza para las 12 pruebas.

- **Obtención de la plata refinada**

Tabla 9

Dosificación de hidróxido de sodio con azúcar.

Número de Pruebas	Azúcar(g)	NAOH(g)
1	0.26440	0.7414
2	0.82066	0.7414
3	0.26440	2.4602
4	0.82066	2.4602
5	0.26440	0.7414
6	0.82066	0.7414
7	0.26440	2.4602
8	0.82066	2.4602
9	0.26440	0.7414
10	0.82066	0.7414
11	0.26440	2.4602
12	0.82066	2.4602



Antes de iniciar en la tabla 9 hay ciertas dosificaciones que se consideró el mínimo y el máximo tanto de la estequiometria y de la experiencia para poder tener una base. Primeramente se codificó los 12 vasos precipitados y con la ayuda de una balanza electrónica, vidrio de reloj, pinzas, brocha se pesó el azúcar($C_{12}H_{22}O_{11}$) y el hidróxido de sodio ($NaOH$), primero se le añadió el azúcar ($C_{12}H_{22}O_{11}$) al solido de cloruro de plata $AgCl(s)$ utilizando una brocha para que no quede residuos en la luna de reloj, se le lleva al agitador magnético y cuando este homogenizado se añade el hidróxido de sodio($NaOH$) dando como resultado la formación casi inmediata de la plata metálica (véase el anexo 9) , este se reconoce por el color característico del cemento de plata se dio un tiempo estándar de **15 minutos** cada una de las pruebas. Al terminar la reacción se procede a lavar el sólido 4 a 5 veces hasta que este limpia, para esto nos ayudamos de 12 Fiolas de 250mL, 12 Embudos de vidrio, papel filtro, piseta ½ litro, agua destilada Y Equipo de filtrado.

Figura 6

Diagrama de flujo desde plata impura - obtención de cloruro de plata.



Nota: Elaboración Propia.

Finalmente se preparó el cemento de plata en papel filtro y se añadió 6g de Bórax; Se precalentó las copelas en el horno de fundición y con ayuda de una pinza de fundición se añadió la muestra a las copelas con una temperatura de 900°C donde se vigiló hasta su completa fundición.

Terminando la fundición se llevó las pruebas a analizar por difracción de rayos x (XRD), donde se dio su observación respectiva. (Véase el Anexo 13 y 14).

3.8.2. Intervalos de tiempo en la obtención de plata refinada

En estos ensayos se realizó experimentos con 4 pruebas y 2 repeticiones donde se consideró el mejor resultado y se distribuyó 8 frascos con la misma disolución de nitrato de plata (AgNO_3) con 10.975mL, posterior a esto, se añadió el cloruro de sodio saturado (NaCl) para su precipitación del cloruro de plata AgCl(s) , este se filtra y se lava de 4 a 5 veces con un pH 7.

Se codificó y pesó 0.82066 g de azúcar ($C_{12}H_{22}O_{11}$) con 2.4606 g de hidróxido de sodio ($NaOH$) para todas las muestras, mientras se consideró la variable tiempo de **5, 10, 15 y 20 minutos**, al terminar la reacción se procedió a lavar y enjuagar el precipitado de plata usando fiola, embudo de vidrio, papel filtro Whatman 42 de 125 mm y equipo de filtrado.

Figura 7

Experimentación con la variable tiempo.



Nota: Fotografía se visualiza la reacción en diferentes tiempos

Se codificó las copelas y con la ayuda de unas pinzas se introdujo para precalentarlas, se procedió a añadir al precipitado 6 g de bórax y se ponen muestra por muestra en el horno para que complete su fundición con una temperatura de $900^{\circ}C$ donde se vigiló hasta completar la fundición.

Las muestras se llevan a analizar por difracción de rayos X (XRD).

3.8.3. Aplicación de prueba estadística

Se aplicó el diseño experimental 2^2 donde tenemos a Los factores A con el nivel bajo 0.2644 y nivel alto de 0.82066; el factor B con un nivel mínimo de 0.7414 y un nivel máximo de 2.4602.



Tabla 10

Niveles y factores 2².

FACTORES	MIN (-)	MAX (+)
AZUCAR(A)	0.2644	0.82066
NAOH(B)	0.7414	2.4602

Nota: Se visualiza las cantidades en gramos.

a) Matriz de diseño

Se expresó los experimentos realizados bajo la siguiente tabla.

Tabla 11

Matriz de diseño 2² con 3 réplicas.

CORRIDA	A	B
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+
5	-	-
6	+	-
7	-	+
8	+	+
9	-	-
10	+	-
11	-	+
12	+	+

Fuente: Elaboración propia

b) Modelo estadístico

Para el trabajo realizado, se aplicó un diseño factorial de 2², con 3 réplicas por combinación, donde el modelo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Obtención de plata refinada a partir de cloruro de plata.



μ = Media poblacional o media general.

α_i = Efecto A (azúcar)

β_j = Efecto B (hidróxido de sodio)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Interacción de A y B

e_{ijk} = Error experimental.

- **Hipótesis en análisis son:**

H₀: Efecto del azúcar = 0 (el efecto no es significativo)

H₁: Efecto del azúcar \neq 0

H₀: Efecto del hidróxido de sodio = 0 (el efecto no es significativo)

H₁: Efecto del hidróxido de sodio \neq 0

H₀: Efecto del Azúcar x Hidróxido de sodio = 0 (el efecto no es significativo)

H₁: Efecto del Azúcar x Hidróxido de sodio \neq 0

Nivel de significancia $\rightarrow \alpha=0.05$



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se evidencia los resultados que se realizaron en los laboratorios de forma ordenada y relacionada; con los parámetros que permitieron realizar el análisis estadístico. En los diferentes ambientes de laboratorio químico metalúrgico de la Universidad Nacional Del Altiplano, se realizó las pruebas pre- experimentales y experimentales para mejorar los resultados de los análisis.

4.1. RESULTADOS PARA EXPERIMENTOS PREVIOS

Tabla 12

Resultados con diferentes dosificaciones de Azúcar - hidróxido de sodio.

Prueba n°01		Prueba n°02		Prueba n°03		Prueba n°04	
P _{1R1}	P _{1R2}	P _{2R1}	P _{2R2}	P _{3R1}	P _{3R2}	P _{4R1}	P _{4R2}
NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	NaOH	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
2.78	3.78	2.78	3.78	5.55	2.5	5.55	2.5
8.33	1.25	8.33	1.25	11.1	-	11.1	-

RESULTADOS

- Prueba P_{1R1} y P_{1R2}** Forma color marrón claro oscuro y se forma polvo por encima y no se sedimenta el precipitado
- Prueba P_{2R1} Y P_{2R2}** Forma color marrón oscuro.
- Prueba P_{3R1} Y P_{3R2}** Partículas en suspensión y la solución es turbia.
- Prueba P_{4R1} Y P_{4R2}** Genera buena temperatura y la solución es transparente, pero con partículas en suspensión escasa.

Fuente: Elaboración propia

Figura 8

Imagen de las pruebas 4 y 3 respectivamente.



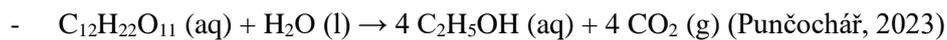
Nota: Fotografía de las reacciones con diferentes proporciones

En la **Tabla 12** se observa proporciones en base a la solubilidad de cada reactivo y en la **Figura 8** se observa que las prueba 3 tuvo deficiencia como la suspensión de partículas, pero se observó buena precipitación por parte de la prueba 4.

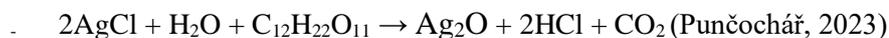
• Reacciones estequiométricas.



Nitrato de plata + Cloruro de sodio = Cloruro de plata + Nitrato de sodio



Sacarosa + Agua = Etanol + Dióxido de carbono



Cloruro de plata + Agua + Sacarosa = Óxido de plata + Cloruro de hidrógeno + Dióxido de carbono



Óxido de plata + Hidróxido de sodio = Hidróxido de plata + Óxido de sodio





Cloruro de plata + Hidróxido de sodio = Plata + Agua + Cloruro de sodio + Dioxígeno

- $48\text{AgCl} + 48\text{NaOH} + \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \rightarrow 48\text{Ag} + 48\text{NaCl} + 12\text{CO}_2 + 35\text{H}_2\text{O}$ (Punčochář, 2023)

Cloruro de plata + Hidróxido de sodio + Sacarosa = Plata + Cloruro de sodio + Dióxido de carbono + Agua

Se puede observar las reacciones químicas de los compuestos de cloruro de plata más los dos reactivos azúcar(sacarosa) con hidróxido de sodio (NaOH) como reacciones principales. Y se observa la formación de plata, cloruro de sodio, dióxido de carbono y agua.

En la **Figura 8** también se observó que la dosificación y la estequiometría es importante porque puede formarse partículas en suspensión y este en pérdidas, por eso se llegó a una conclusión donde se usó azúcar como min. 0.2644 y máx. 0.82066; hidróxido de sodio como min. 0.7414 y máx. 2.4602. como se muestra en la **Tabla 10**.

4.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LOS OBJETIVO ESPECÍFICOS

4.2.1. De la influencia de la dosificación de diferentes proporciones de azúcar - hidróxido de sodio

Los resultados de las experimentaciones realizadas se realizaron a un **tiempo** estándar de **15min**, con una solución de (AgNO_3) de **10.975mL** donde se obtuvieron los siguientes resultados.



Tabla 13

Resultados de la influencia de NaOH y Azúcar.

Nro. de corridas	AZÚCAR	NaOH	Pureza (%)
1	0,26440	0,7414	99,81
2	0,82066	0,7414	99,33
3	0,26440	2,4602	99,72
4	0,82066	2,4602	99,97
5	0,26440	0,7414	99,81
6	0,82066	0,7414	99,32
7	0,26440	2,4602	99,76
8	0,82066	2,4602	99,99
9	0,26440	0,7414	99,83
10	0,82066	0,7414	99,35
11	0,26440	2,4602	99,79
12	0,82066	2,4602	99,96

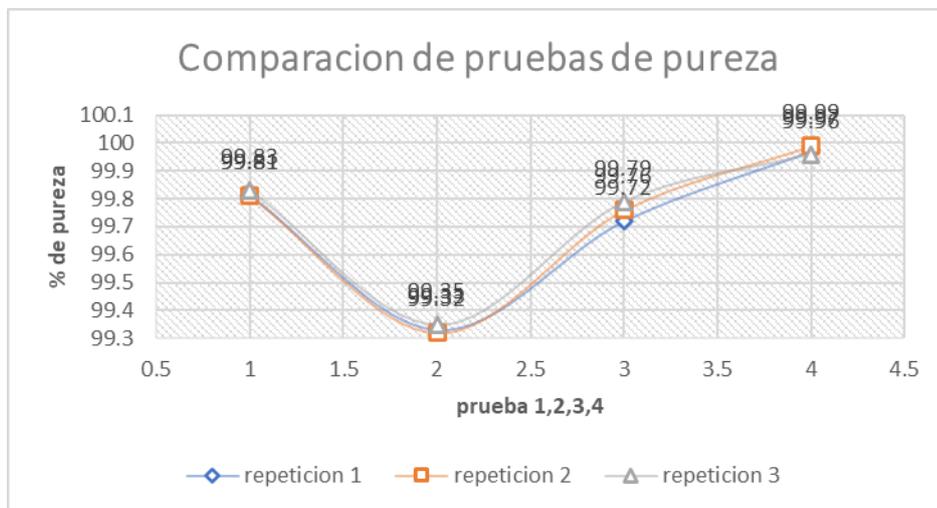
Nota: Resultados del laboratorio y elaboración propia y Minitab

Como se puede visualizar en la **Tabla 13**, las muestras 4, 8 y 12 tienen los puntajes más altos de pureza de plata metálica, con pureza de **99.97, 99.99 y 99.96** respectivamente

Estas muestras donde se obtuvo mejores resultados, el cual se dosificó con 0.82066 de azúcar y 2.4602 de NaOH.

Figura 9

Comparación de pruebas vs % de pureza (Tres Repeticiones).



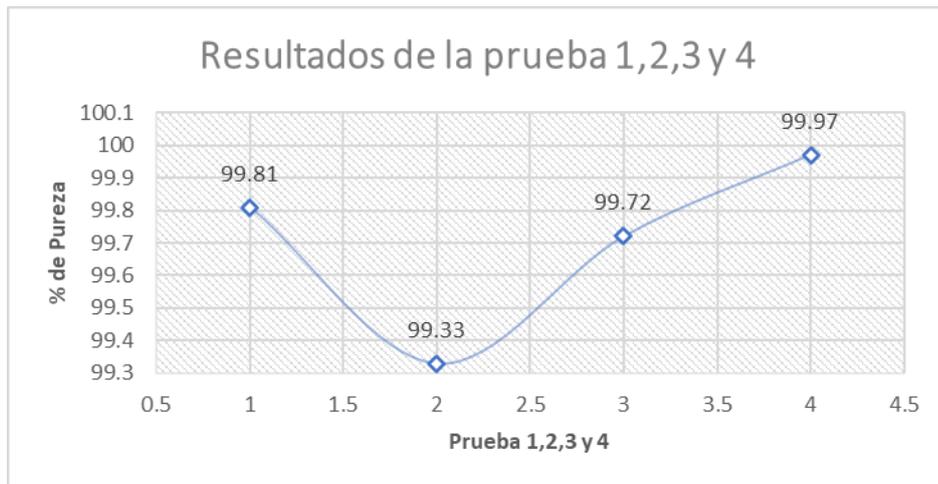
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la **Figura 9** los resultados indican que las pruebas 1,2,3,4(repetición de pureza 1) con respecto a 5,6,7,8(repetición de pureza 2) y 9,10,11,12(repetición de pureza 3), se observa también que los resultados tienen buen nivel de ajuste entre las curvas, lo cual da confianza al modelo.

También indican los resultados de las pruebas **4,8,12** son los que llegan a una pureza elevada de **99.97, 99.99, y 99.96** % respectivamente. Seguidamente de las pruebas 1,5,9 con una pureza de 99.81, 99.81 y 99.83 % respectivamente. Consecutivamente se obtuvieron de las pruebas 3,7,11 con una pureza de 99.72, 99.76 y 99.79 % respectivamente. Ya como último resultado que es la que tiene más baja pureza, las pruebas 2,6,10 se llegó a una refinación de 99.33, 99.32, y 99.35 % respectivamente.

Figura 10

Resultados de % de pureza de las pruebas 1,2,3 y 4.

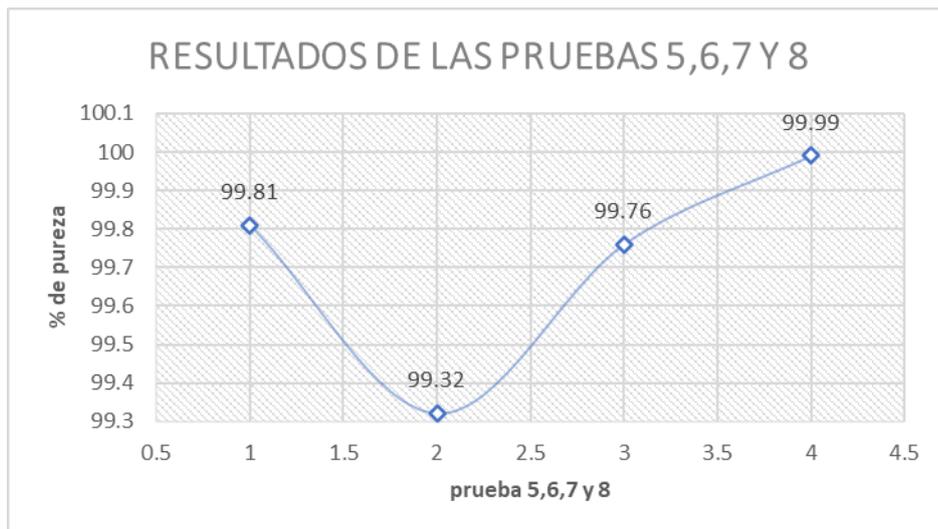


Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 10**, se visualiza al mejor resultado la prueba N°4(4), donde se obtiene el **99.97%** de pureza, seguidamente de las pruebas 1,3,2 con resultados de 99.81, 99.72 y 99.33% respectivamente.

Figura 11

Resultados de % de pureza de las pruebas 5,6,7 y 8.

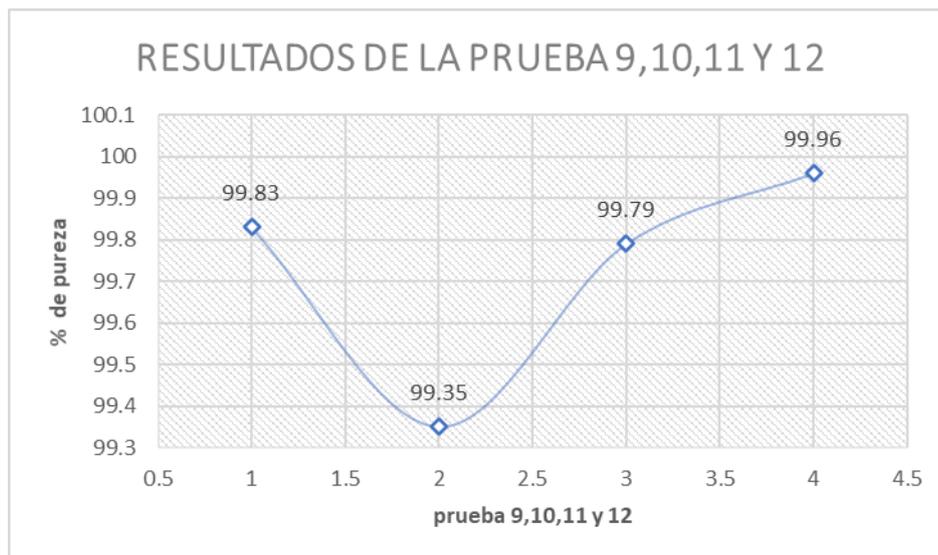


Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 11** muestra el mejor resultado la prueba N°8(4), con una pureza de **99.99%**, seguido de los resultados las pruebas 5(1),7(3),6(2) con resultados de 99.81, 99.76 y 99.32 % respectivamente.

Figura 12

Resultados de las pruebas 9,10,11 y 12.



Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 12** se observa como al mejor resultado la prueba N°12(4) con % de **pureza del 99.96%**, seguido de los resultados 9(1),11(3) y 10(2) con resultados de 99.83,99.79 y 99.35% respectivamente.

4.2.2. Discusiones de la dosificación de azúcar – hidróxido de sodio

El presente estudio se encontró que existe relación en la precipitación del óxido de plata (Ag_2O) con Hidróxido De Sodio, pero al añadir el azúcar este puede llegar a refinar en una mayor pureza donde se llegó a una pureza de 99.99% como mejor resultado.



El estudio de (Candiotti Serrano & Ramos Salazar, 2017) concluyó en sus resultados de óxido de plata al 99.9% de pureza utilizando hidróxido de sodio al 5%.

4.2.3. Influencia del tiempo

Los resultados de las experimentaciones realizadas se realizaron 8 pruebas con un **tiempo** variable de **5,10,15 y 20 minutos** respectivamente, con una solución de (AgNO₃) de **10.975mL** donde se obtuvieron los siguientes resultados

Figura 13

Resultados de la influencia del tiempo en diferentes intervalos.

No PRUEBAS	AZUCAR	NAOH	TIEMPO (min)	% DE PUREZA
13	0.82066	2.4602	5	99.42
14	0.82066	2.4602	10	99.54
15	0.82066	2.4602	15	99.72
16	0.82066	2.4602	20	99.95
17	0.82066	2.4602	5	99.4
18	0.82066	2.4602	10	99.55
19	0.82066	2.4602	15	99.76
20	0.82066	2.4602	20	99.99

Nota: Resultados del laboratorio

En la **tabla 13** se observa los mejores resultados las pruebas 16 y 20 obteniendo una pureza de **99,95** y **99.99** respectivamente.

Figura 14

Comparación de tiempo prueba 1 y prueba 2.



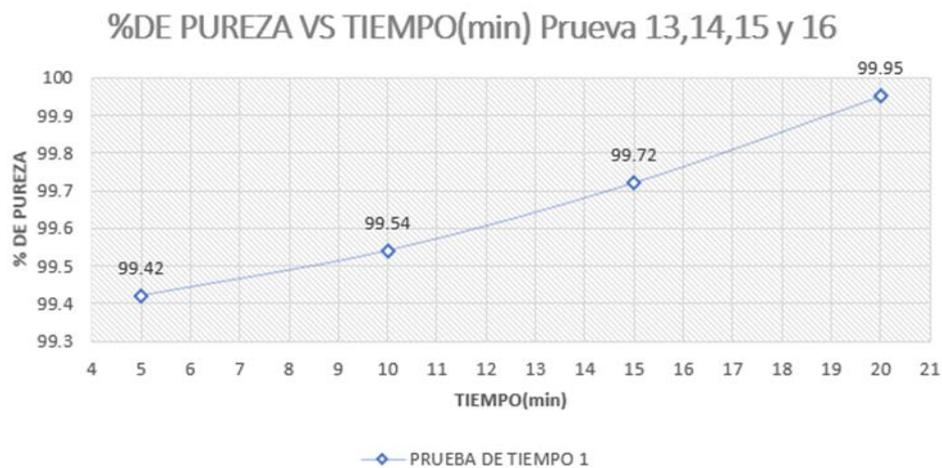
Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 14** se observa que las pruebas **13,14,15** y **16** con respecto a las pruebas **17,18,19** y **20** tiene una semejanza, esto indica que las pruebas han sido bien realizadas gracias a mantener los parámetros establecidos.

También indican que mientras más tiempo pasa mejor es la calidad de % de pureza, tal como se muestra al **min 5** donde como resultado tienen una pureza de **99.42** y **99.4**; En el **min 10** se tiene una pureza de **99.54** y **99.55**; En el **min 15** se tiene una pureza de **99.76** y **99.72**; y por último al **min 20** tiene un % de pureza de **99.99** y **99.95**

Figura 15

% de pureza vs tiempo de las pruebas 13,14,15 y 16.

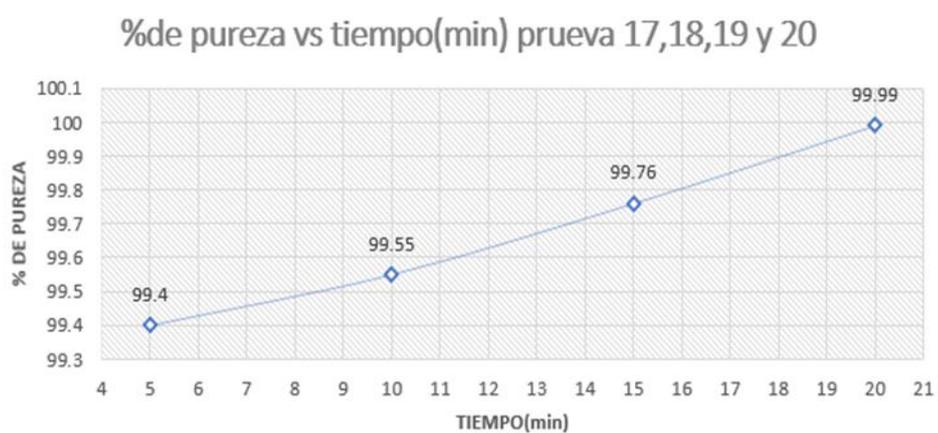


Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 15** se observa que la mayor recuperación se encuentra en la prueba 16 indicando que a mayor tiempo de reacción mejor % de pureza. **El mejor resultado se observa con 99.5 % de pureza de la prueba 16.**

Figura 16

% de pureza con tiempo de las pruebas 17,18,19 y 20.



Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 16** se observa que la mayor recuperación se encuentra en la prueba 20 indicando que a mayor tiempo de reacción mejor % de pureza. **El mejor resultado se Observa con 99.9 % de pureza de la prueba 20.**



4.2.4. Discusión de la influencia del tiempo en la recuperación de plata

En este estudio también se encontró que existe relación en el tiempo de recuperación de plata con hidróxido de sodio donde el proceso de filtración se realizó en 20 min en su punto máximo se llegó a una pureza de 99.99%.

La tesis de investigación de **(Bustamante, 2017)** concluyo que las soluciones se precipitaron en **260 minutos** también indica que, si este precipitado tiene un color más oscuro, este obtendrá mayor contenido de plata.

4.2.5. Prueba adicional para generar industrialmente

Primeramente, se logró conseguir el mineral de plata, los minerales de plata son la argentita, la carargirita, plata nativa galena argentífera, entre muchos.

Este mineral se procedió llevarlo a una malla entre de 65% a 70% -200. Añadimos cal (CaO) llevando a un pH 10.5 se llevó a la técnica de paletización con cemento con los siguientes datos: PH:10.5, %Malla-200: Entre 65% 70%, Mineral pesado: 20Kg, NaCN: 75g, Cemento: 600g, Agua:3 450mL, Tiempo de lixiviación: 7 días.

El electrolito de la cosecha de cianuración del mineral de plata por efecto de la electrolisis obtuvo la formación de Ag(s) en el cátodo para luego este ser cosechado.

Una vez obtenido la plata en la lana de acero se procedió con el ataque de HCL para eliminar impurezas como el hierro para luego llevarlo a fundición, seguidamente se realizó un granallado y atacar con HNO₃: **Ag(s) + 2 HNO₃ → AgNO₃ + NO₂ + H₂O**; y añadiéndole el cloruro de sodio se obtuvo el Cloruro de

plata y a partir de esto se trabajó con los mejores resultados obteniendo el precipitado de plata y fundiendo se llegó a resultados similares.

4.2.6. Discusión sobre generar industrialmente

El estudio realizado de investigación encontró que es factible su uso a nivel industrial, debido a que se realizó una prueba donde se simuló a escala real y los resultados fueron favorables y este se puede generar, gracias a que es rentable y fácil de conseguir. Este proceso puede ser más económico que el proceso que menciona (Abanto, 2019).

En su tesis de investigación (Abanto, 2019) utiliza el proceso de Merrill Crowe, donde precipitó 0.061 g de oro y plata con 2.5g de zinc. Resultados que también concuerdan en las investigaciones realizada por la autora (tapia) que menciona en su tesis.

4.3. RESULTADOS ESTADISTICOS DEL DISEÑO 2²

a) Resultados de la matriz de diseño

Tabla 14

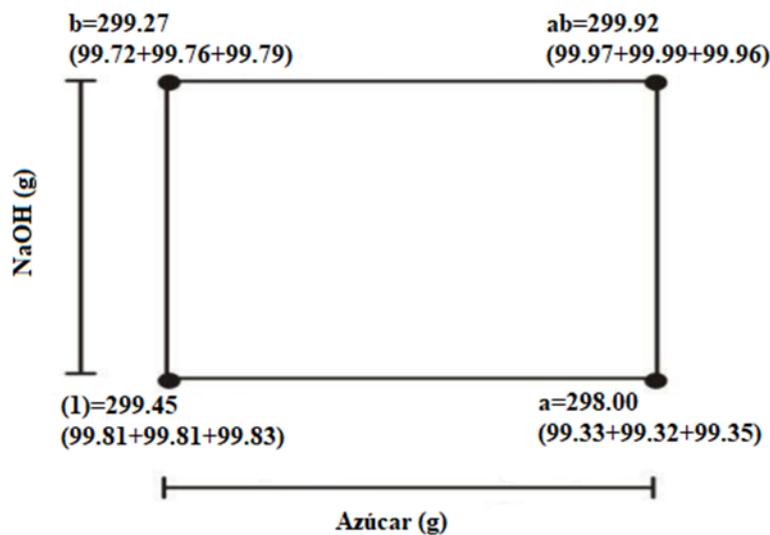
% De pureza con replicas en la matriz del diseño.

	FACTOR		REPLICAS		
	Azúcar (g)	NaOH(g)	%pureza (I)	%pureza (II)	%pureza (III)
(1)	0.2644(-)	0.7414(-)	99.81	99.81	99.83
A	0.82066(+)	0.7414(-)	99.33	99.32	99.35
B	0.2644(-)	2.4602(+)	99.72	99.76	99.79
ab	0.82066(+)	2.4602(+)	99.97	99.99	99.96

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15

Combinación de los tratamientos en el diseño.



b) Resultados de los efectos

$$A = \frac{1}{2(3)} [(298.00 + 299.92) - (299.45 + 299.27)] = -0.133$$

$$B = \frac{1}{2(3)} [(299.27 + 299.92) - (299.45 + 298.00)] = +0.290$$

$$AB = \frac{1}{2(3)} [(299.45 + 299.92) - (298.00 + 299.27)] = +0.350$$

De los resultados de los efectos podemos visualizar que quien más determina la pureza de plata es la interacción del efecto AB (**positivo**). Para la recuperación de plata se trabajó con una concentración de 1.689 mol/L de Ag y en los niveles de azúcar (0.82066) -hidróxido de sodio (2.4602) como indica la Tabla 10, con un tiempo de 15 minutos y consiguiendo una pureza de plata: Replica I = 99.97; Replica II = 99.99 y Replica III = 99.96.

Consecutivamente del efecto AB se observa que el efecto B también es **positiva** y este también tiene buenos resultados donde se trabajó con una concentración de 1.689



mol/l de Ag y en su nivel más bajo de azúcar (0.2644) y más alto de hidróxido de sodio con (2.4602) con tiempo de 15 minutos, y consiguiendo una pureza de plata: Replica I = 99.72; Replica II = 99.76 y Replica III = 99.79.

El efecto de A (concentración de azúcar) es **negativo**; se trabajó con la misma concentración y con su nivel alto de azúcar con 0.82066 y nivel bajo de hidróxido de sodio (0.7414); Tiempo de 15 minutos como resultado una pureza de plata: Replica I = 99.33; Replica II = 99.32 y Replica III = 99.35.

c) Resultados del análisis de varianza

Para interpretar el efecto de los factores se usa análisis de varianza.

Tabla 16

Análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F_0	Valor P
Azúcar	1	0,053333	0,053333	116,36	0,000
NaOH	1	0,252300	0,252300	550,47	0,000
Azúcar*NaOH	1	0,367500	0,367500	801,82	0,000
Error	8	0,003667	0,000458		
Total	11	0,676800			

Nota: Resultados del programa Minitab.

En la **tabla 16** de análisis de varianza (ANOVA) se observa que:

Factor 1: Valor $P < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula. Este indica que si es significativa el azúcar en la refinación de plata.

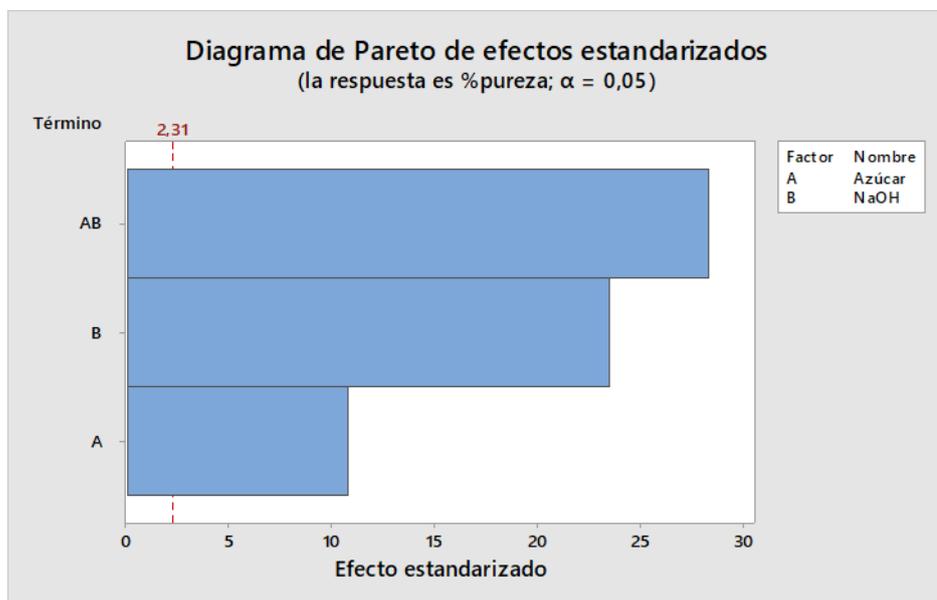
Factor 2: Valor $P < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula. Este indica que si es significativa el hidróxido de sodio en la refinación de plata.

Interacción Factor 1 * factor 2: Valor $P < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula. Este indica que si es significativa en la interacción del azúcar -NaOH para la obtención de plata refinada. Los resultados tienen un nivel de confianza del 98.78 %. Con un error estándar de 0.0214.

d) Resultados del diagrama de pareto

Figura 17

Diagrama de Pareto.



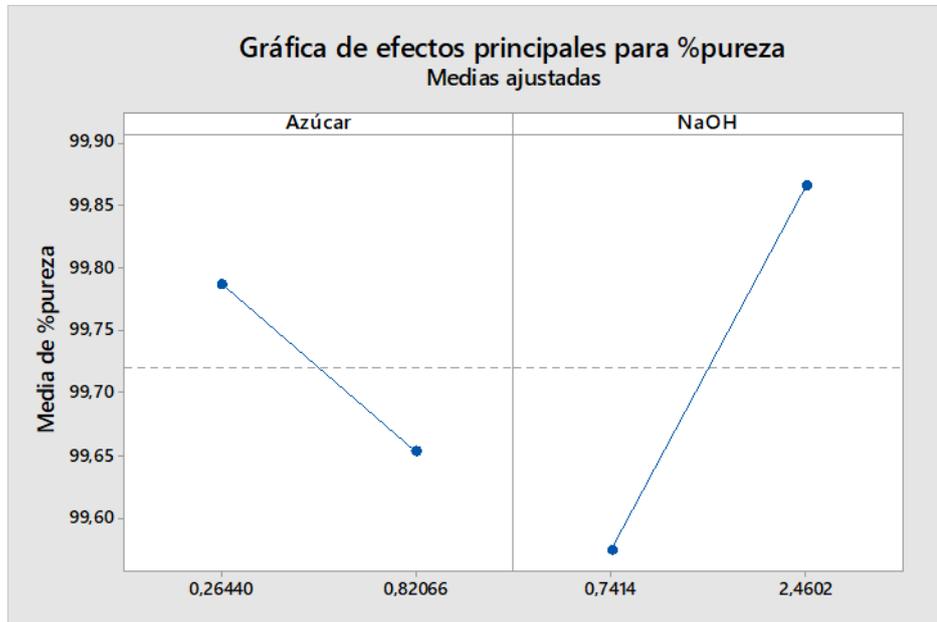
Nota: Resultados del programa Minitab.

En la figura se identifica que los factores **Azúcar**, **hidróxido de sodio (NaOH)**, **interacción azúcar y NaOH**. Son significativos en el % de pureza. Cuando tienen interacción ambos factores se visualiza mejores resultados, donde se trabajó con cantidad de azúcar 0.82066 e hidróxido de sodio 0.2.4602 llegando a una pureza de 99.97% Replica I; 99.99% Replica II; y 99.96% Replica III de porcentaje de pureza, también se nota buenos resultados por parte del factor B como menciona el autor (**Candiotti Serrano & Ramos Salazar,2017**).

e) Efectos de las variables

Figura 18

Efectos principales del Azúcar y NaOH.

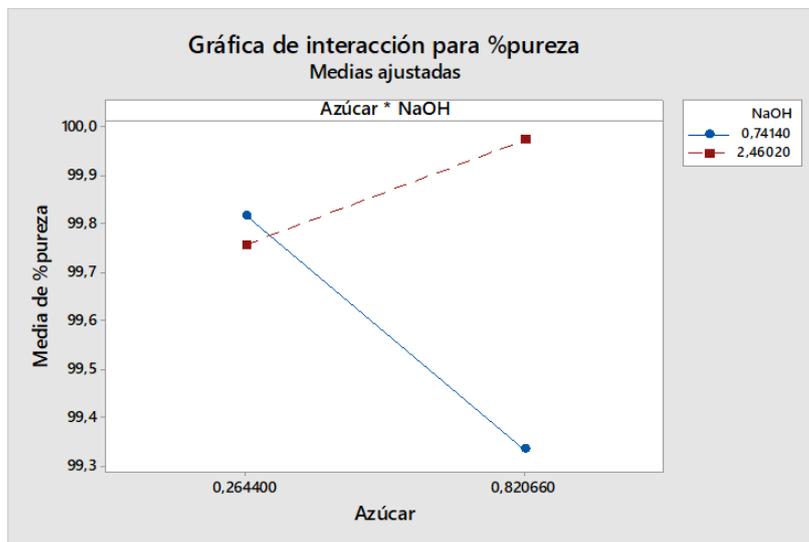


Nota: Resultados del programa Minitab.

En la **Figura 18** Se observa los efectos principales de ambas variables donde el factor A con el nivel bajo con 0.26440 g de azúcar se obtiene una refinación alta de pureza y con el nivel alto de 0.82066 g de azúcar se tiene una refinación baja de pureza por lo que hubo un decremento en la respuesta Δ de **-0.55626** por lo que tiene un efecto negativo ; Para el factor B se observa que con el nivel bajo con 0.7414 g de NaOH obtiene una refinación baja y con el nivel alto con **2.4602** g de NaOH obtiene una refinación alta por lo que se ve un Incremento significativo delta de **1.7188** este indica un efecto positivo, estos resultados fueron con un tiempo de 15 minutos.

Figura 19

Interacción del factor A(azúcar) y B(NaOH).



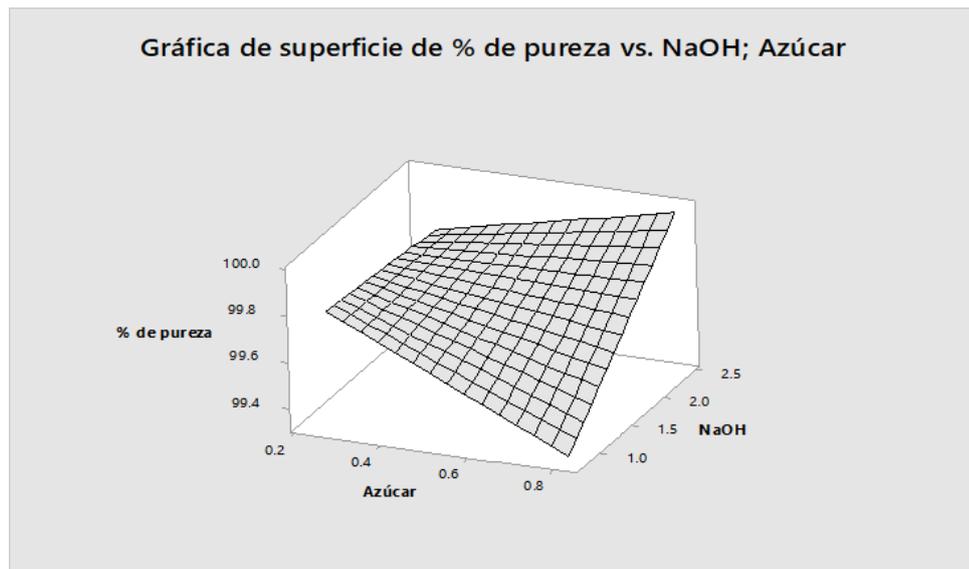
Nota: Resultados del programa Minitab.

En la **figura 19** Se observa la interacción de ambos factores donde la combinación de 0.82066 de azúcar con 2.46020 de NaOH se obtiene el promedio más alto de pureza con 99,9733%. Y en la combinación de 0.820660 de azúcar con 0.74140 de NaOH se obtiene el promedio más bajo de pureza con 99.3333%.

f) Mas resultados estadísticos.

Figura 20

Superficie de respuesta.

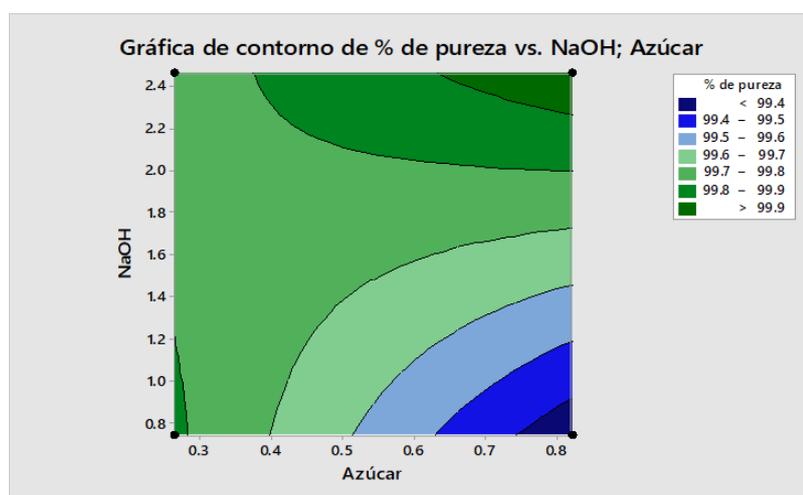


Nota: Resultados del programa Minitab.

En la **figura 20**, se observa y se comprende de forma sencilla los resultados de diferentes porcentajes de pureza. trabajando con el nivel alto de **NaOH** y con el nivel alto de **azúcar** se obtiene el resultado máximo, así también trabajando con el nivel más bajo de **NaOH** y con el nivel más alto de **azúcar** se obtiene el resultado mínimo.

Figura 21

Contornos de la superficie de respuestas.

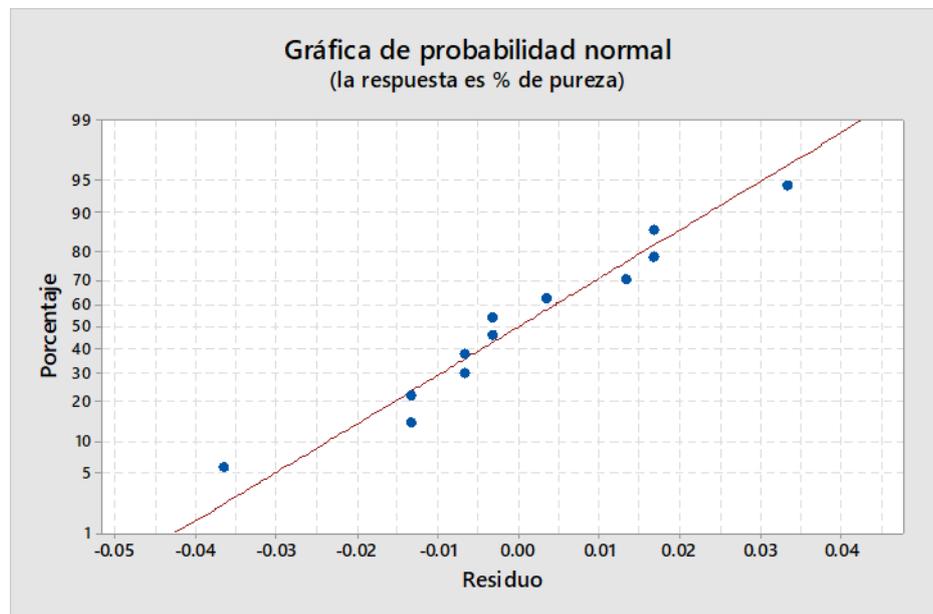


Nota: Resultados del programa Minitab.

En la **figura 21**, se puede observar como el área coloreada aumenta su pureza de azul a verde, la representación de mejores resultados con una pureza < 99.4 que indica el color azul oscuro y con una pureza > 99.9 que indica el color verde oscuro, cada área indica una cantidad de azúcar – NaOH con su respectivo resultado, siendo la mejor área de trabajo el área verde más oscuro.

Figura 22

Prueba de normalidad.



Nota: Resultados del programa Minitab.

En la gráfica, se observa que existe un comportamiento normal de los residuos. Ya que estos siguen una distribución normal.

- Evaluación económica del proceso.

ITEMS	cantidad	Unidad de medida	Costo S/
NaOH	25	Kg	71.36
Azúcar Rubia Cartavio	50	Kg	187.00

Por cada 10kg de Ag se utilizará 13.033 kg de azúcar con 39.071 kg de NaOH tendrías un gasto de S/48.74 más S/111.52; Es decir S/ 160.27.



V. CONCLUSIONES

- Los resultados de plata refinada indican que los efectos más significativos son: la concentración de NaOH y la interacción de azúcar – NaOH. Donde se visualiza que quien más determina la pureza de plata es la interacción del efecto AB (**positivo**). Ya que para la recuperación de plata se trabajó con una muestra de 10.975 mL de AgNO_3 y una concentración de 1.689 mol/l de Ag y en los niveles de Azúcar 0.82066 g - Hidróxido de Sodio 2.4602 g, con un tiempo de 15 minutos y consiguiendo una pureza de plata: Replica I = 99.97; Replica II = 99.99 y Replica III = 99.96. como indica la **Tabla 13** donde se aplicó un diseño factorial 2^2 . Además, se visualizó que el estudio tiene una similitud con el estudio de Candiotti donde concluye en sus resultados de óxido de plata al 99.9% de pureza utilizando hidróxido de sodio al 5%.
- Se determinó que el mejor resultado fue con 20 minutos de reacción donde se obtuvieron 99.95 y 99.99 % de pureza, estos experimentos se trabajaron con 0.82066 g de azúcar y 2.4602 g de NaOH con una muestra de 10.975 mL AgNO_3 y una concentración de 1.689 mol, además se logró evidenciar que la pureza de plata aumenta significativamente a medida que se le da más tiempo. Por otra parte, se mejoró en el tiempo de precipitado, ya que la tesis de investigación de Bustamante concluyo que las soluciones se precipitaron en **260 min**.
- Este proceso puede ser aplicado a nivel industrial porque el costo de los reactivos es económico además de mejorar el porcentaje de pureza, reduce el tiempo del precipitado y es un proceso más limpio; sin embargo, usar el polvo de zinc con acetato de plomo puede ser cancerígeno.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** La importancia que tiene esta investigación en función a los resultados obtenidos se recomienda utilizar floculante a la hora de precipitar, como también tener en cuenta el pH de la solución en cada etapa, causará interferente si no se tiene cuidado con la limpieza de los precipitados.
- SEGUNDA:** También se recomienda realizar un análisis de la solución de nitrato de plata para saber la cantidad de reactivos se utilizará, otro punto se recomienda utilizar full fase a la hora de añadir los reactivos ya que su reacción es exotérmica y este podría causar quemaduras.
- TERCERA:** Se recomienda aplicar y fomentar esta investigación a nivel industrial, es conocido en muchos lugares, pero no son estudiados por muchos motivos, por ello también se recomienda profundizar el estudio de investigación para refinar plata a través de este estudio.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, I. S. (2019). *Propuesta de mejora de la recuperación de oro a través del proceso de Merrill Crowe en el área de desorción de la planta La Joya Mining S.A.C.(Tesis de obtencion de titulo,arequipa)*. repositorio institucional UTP. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/1979>
- Baena, O. J. (2019). *notas de clase metalurgia extractiva(I.M.M. MSc, PhD, colombia)*. universidad nacional de colombia, Medellin. Obtenido de <https://docplayer.es/153335751-Oscar-jaime-restrepo-baena-notas-de-clase-metalurgia-extractiva.html>
- Baena, O. J. (s.f.). NOTAS DE CLASE METALURGIA EXTRACTIVA. En O. J. Baena, *NOTAS DE CLASE METALURGIA EXTRACTIVA*. COLOMBIA. Obtenido de <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-superior-de-cananea/instalaciones-electricas/metalurgia-extractiva-guia-de-clase/26403754>
- Candiotti Serrano, C. V., & Ramos Salazar, J. C. (2017). *Condiciones Favorables Para La Obtenición De Óxido De Plata De Chatarra Electronica Tratada Con Ácido Nítrico(Tesis Para Obtir Titulo,Lima)*. repositorio institucional unac. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/2869>
- Candiotti, C. V., & Salazar, J. C. (2017). *Condiciones Favorables Para La Obtenición De Óxido De Plata De Chatarra Electronica Tratada Con Ácido Nítrico(Tesis Para Obtir Titulo,Lima)*. repositorio institucional unac. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/2869>
- Catacora, R. H. (2021). *Recuperacion De Plata Refinada A Partir De Una Solucion De Acidos De Purifiacion De Oro En Laboratorio Quimico De La Empresa Minalcor*



Sac.(tesis para optar titulo). repositorio unap. Obtenido de
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16033>

De La Cruz Bustamante, E. A. (2017). *Estudio comparativo de recuperación de plata; mediante hidróxido de sodio, hipoclorito de sodio y dicromato de potasio a partir de placas radiográficas(tesis para optar titulo, trujillo).* repositorio UNT. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9857>

Hopf, j. A. (2021). Refining of Precious Metal Bearing Materials from SecondarySources-Methanesulfonic Acid Leaching of Raw SilverGranules as a Promising Approach towards a Green Way ofSilver Refining. *mdpi*. doi:10.3390/ma14206095

Hopf, weigelt, Bombach, Stelter, & charitos. (2021). Refining of precious metal bearing materials from secondary sources- methanesulfonic Acid Leaching of Raw Silver granules as a Promising Approach towards a Green Way of silver Refining.

Karina. (13 de 04 de 23). *Conceptoabc*. Obtenido de Conceptoabc:
<https://conceptoabc.com/tiempo/>

Laura, V. (2022). *El azucar*. universidad del pais vasco, euskal herriko unibersitatea. Obtenido de https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/59656/mod_resource/content/0/T1%20EL%20AZUCAR.pdf

Leskow, E. C. (15 de 07 de 2021). *Concepto*. Obtenido de Concepto:
<https://concepto.de/tiempo-en-fisica/>

Leskow, E. C. (15 de 07 de 2021). *CONCEPTO*. Obtenido de CONCEPTO:
<https://concepto.de/tiempo-en-fisica/>



- López, L. C. (2008). *control de la inversion de la sacarosa en el proceso de elaboracion de jarabe simple de bebidas carbonatadas.(Tesis para optar titulo, guatemala).* biblioteca usac. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1078_Q.pdf
- Punčochář, M. (12 de 04 de 2023). *Chemequations.com*. Obtenido de Chemequations.com:
<https://chemequations.com/es/?s=Ag+%2B+HNO3+%3D+AgNO3+%2B+NO2+%2B+H2O>
- Quimico, S. (2022). *labvirtual. iciq*. Obtenido de semaforo quimico:
<http://labvirtual.iciq.es/es/experimento/semafor-quimic/?pdf=1310>
- Rodolfo. (3 de 05 de 2016). hoja de seguridad Hidroxido de sodio. Obtenido de Regenciaquimica:
<http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/Hidroxidodesodio.pdf>
- Rodolfo. (3 de 05 de 2016). *Regenciaquimica*. Obtenido de Regenciaquimica:
<http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/Hidroxidodesodio.pdf>
- Sampieri, Fernandez, & Baptista. (2020). *Metodologia de la investigacion*. Mc graw Hill, Mexico. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- ybarra, r. (2003). *refinacion y fundicion de metales*. Obtenido de <http://www.raulybarra.com/online>
- Zea E., P. P. (2016). *tecnicas-de-refinacion-de-oro-y-plata*. Arequipa. Obtenido de https://www.academia.edu/26493183/TECNICAS_DE_REFINACION_DE_ORO_Y_PLATA_docx



- Zea, P. P. (2016). Cinética metalúrgica. En i. p. E..
- ZeaE., P. P. (2016). *tecnicas-de-refinacion-de-oro-y-plata*. Arequipa. Obtenido de https://www.academia.edu/26493183/TECNICAS_DE_REFINACION_DE_ORO_Y_PLATA_docx
- Muralidharan, S., Thangavel, P., Raju, K. V., et al. (2007). *Recovery of silver from X-ray film processing effluents using glucose as reducing agent*. Journal of Hazardous Materials, 143(1-2), 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.073>
- Yoo, K., & Choi, D. (2001). *Recovery of silver from waste X-ray film by alkaline sulfide leaching and electrolysis with selective precipitation*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 76(9), 881-886. <https://doi.org/10.1002/jctb.439>
- Inglezakis, M., & Loizidou, P. (2006). *Kinetics and mechanism of silver dissolution in alkaline solutions containing glucose*. Hydrometallurgy, 81(1), 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2005.10.008>
- Hwang, J. Y., Park, K. J., & Kim, H. (1998). *Recovery of silver from waste photographic films with sodium hydroxide*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 73(3), 204-208. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199811\)73:3<204:AID-JCTB934>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199811)73:3<204:AID-JCTB934>3.0.CO;2-6)
- Muralidharan, S., Raju, K. V., & Thangavel, P. (2006). *Recovery of silver from photographic waste by chemical reduction with glucose*. Hydrometallurgy, 82(3-4), 162-166. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.03.009>
- Adebayo, A. O., Ajala, E. O., & Hassan, S. B. (2014). *Silver extraction from waste hypo fixer solution using a chemical method with thiourea dioxide*. Journal of Materials and Environmental Science, 5(5), 1509-1516.
- Park, H., Lee, J., & Park, C. H. (2009). *Recovery of silver from nitrate leaching solution of electronic scrap using glucose as reducing agent*. Journal of Hazardous Materials, 165(1-3), 944-948. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.017>



Muralidharan, S., Raju, K. V., & Thangavel, P. (2005). *Silver recovery from waste photographic films by chemical reduction with sodium hypophosphite*. *Journal of Hazardous Materials*, 121(1-3), 241-247.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.02.021>

ANEXOS

ANEXO 1. Evidencias fotográficas

Figura 23.

Preparación de muestra para paletización del mineral.



Figura 24.

Lixiviación de mineral paletizada.



Figura 25.

Preparacion de los catodos.



Figura 26.

Cosecha de cátodos depositados con plata.

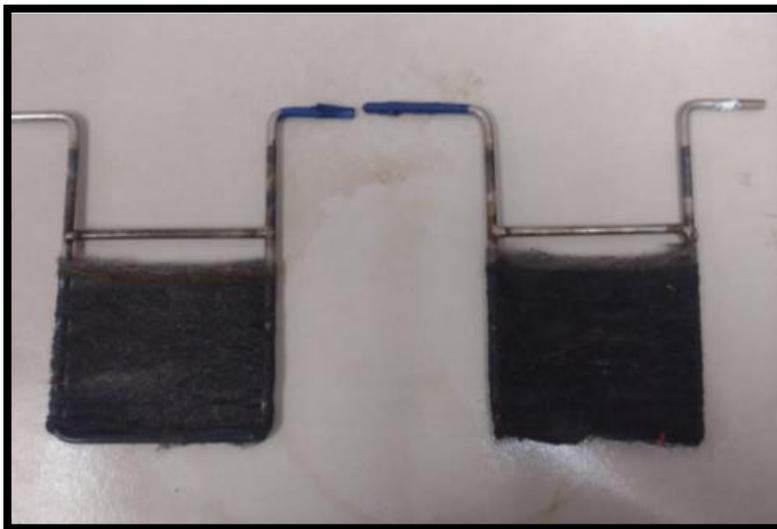


Figura 27.

Ataque químico de la plata granallada con HNO_3 .



Figura 28.

Solucion de AgNO_3 posterior al ataque químico.



Figura 29.

Muestras precipitadas de AgCl.



Figura 30.

Adición de azúcar al AgCl.



Figura 31.

Reaccion al añadir NaOH despues de la adicion de azúcar.



Figura 32.

Reacción de las muestras con diferentes proporciones.



Figura 33.

Equipo de filtración.



Figura 34.

Filtración de muestras.

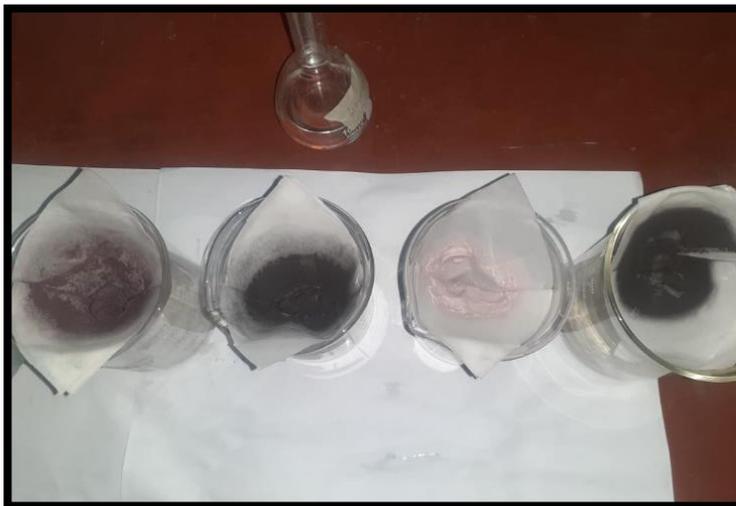


Figura 35.

Fundición del precipitado de plata después de la filtración.

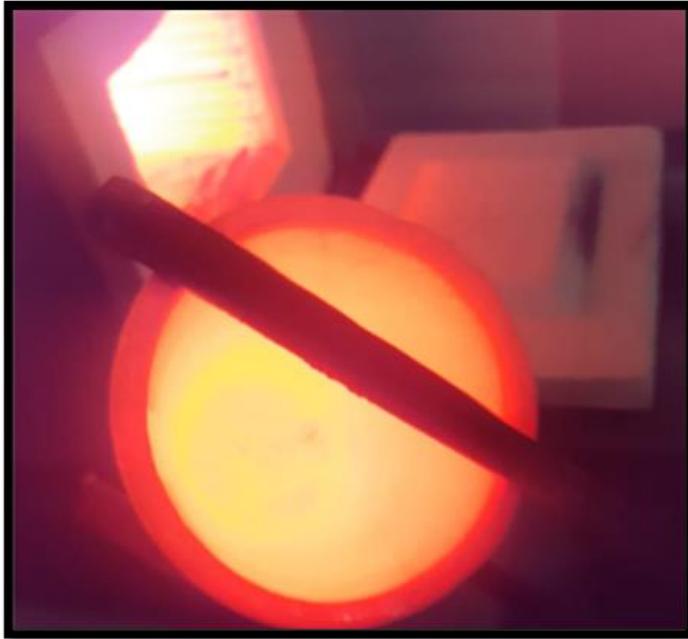


Figura 36.

Producto final de la Refinación de plata.



Figura 37.

DRX de plata refinada con alta pureza.

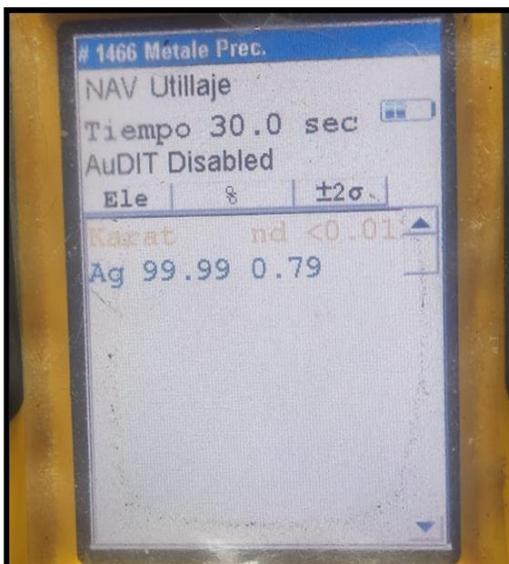


Figura 38.

Plata antes de refinar.



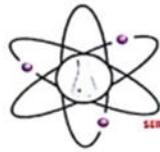
Figura 39.

Comparación de plata refinada.





ANEXO 2. Análisis químico de plata cobre y hierro.



RHLAB S.A.C.
SERVICIOS ANALITICOS QUIMICO - METALURGICO

RH-M99-2079

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL CLIENTE	:	SR. GONZALO COLQUE COLQUE
A SOLICITUD DE	:	
ASUNTO	:	Determinación Analítica del contenido metálico total en la muestra
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	01
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis Químico elemento Plata (Ag), Cobre (Cu), Hierro (Fe) en Solución
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Botella de vidrio
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	27/10/2022 al 04/11/2022
DETALLE DEL INFORME	:	

RESULTADO DE ENSAYO

N°	N° RH	Código de Cliente	Ag	Cu	Fe
			mg/L	mg/L	mg/L
1	RH-M90524	Solución 10 ml	182300,00	4800,000	0,015

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

METODOS DE REFERENCIA

* Determinación de Plata (Ag), Cobre (Cu), Hierro (Fe) en Solución - Método por Absorción Atómica

ANEXO 3. Escorias De Pruebas Pre Experimentales.



ANEXO 4.

Hidróxido De Sodio Utilizado.



ANEXO 5.

Azúcar rubia cartavio.



ANEXO 6.

Equipo de difracción de rayos X(XRF) Es de marca Thermo(scientific). Portátil Niton XL2 que analiza hasta 20 elementos metálicos.





ANEXO 7. Declaración jurada de autenticidad tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Gonzalo David Colque Colque
, identificado con DNI 43040368 en mi condición de egresado de:

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

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

Título Profesional denominado:

" OBTENCIÓN DE DIATA REFINADA A PARTIR DE CLORURO DE DIATA CON AZÚCAR
E HIDROXIDO DE SODIO EN LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNA-PUNO
" 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 28 de Junio del 2024


DNI: 43040368
FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 8. Autorización para el 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 Gonzalo David Loique Colque
, identificado con DNI 73040368 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Metalúrgica

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

Título Profesional denominado:

"OBTENCIÓN DE PLATA REFINADA A PARTIR DE CLORURO DE PLATA CON AZÚCAR E HIDROXIDO DE SODIO EN LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA UNA-PUNO"

" 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 28 de Junio del 20 24


DNI: 73040368

FIRMA (obligatoria)



Huella