

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



“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CIANURACIÓN
APLICANDO DISEÑOS EXPERIMENTALES A
NIVEL LABORATORIO EN LA COMPAÑÍA
MINERA TITÁN DEL PERÚ”

TESIS

PRESENTADA POR:

APAZA ZELA YOBANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CIANURACIÓN
APLICANDO DISEÑOS EXPERIMENTALES A
NIVEL LABORATORIO EN LA COMPAÑÍA
MINERA TITÁN DEL PERÚ”

PRESENTADA POR:

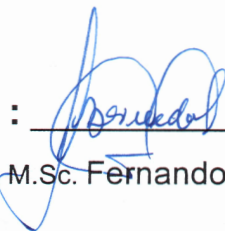
APAZA ZELA YOBANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA



APROBADA POR:

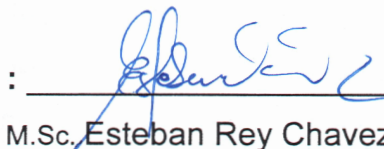
PRESIDENTE

: 
M.Sc. Fernando Bernedo Colca

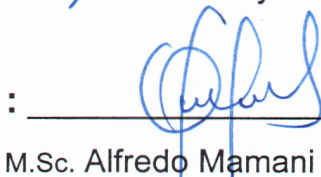
PRIMER MIEMBRO

: _____
M.Sc. Darssy Carpio Ramos

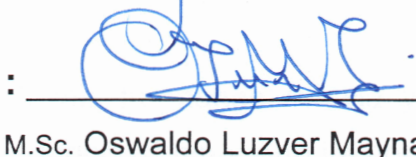
SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. Esteban Rey Chavez Gutierrez

DIRECTOR DE TESIS

: 
M.Sc. Alfredo Mamani Canqui

ASESOR DE TESIS

: 
M.Sc. Oswaldo Luzver Maynas Condori

Área: Metalurgia extractiva.

Tema: Diseño Experimental.

Fecha de sustentación: 28 de diciembre del 2017

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a: Dios por siempre guiar mi camino.

A mis padres Juan Apaza Quispe y Victoria Zela Zela por el apoyo que año tras año me dieron y no sería realidad este trabajo sin su ayuda.

A mis docentes por la enseñanza en las aulas para poder realizarme como profesional y a mi director de tesis M.Sc. Alfredo Mamani Canqui, a mi asesor Ing. Oswaldo Maynas por el apoyo en la elaboración del trabajo de investigación.

A mis hermanas Amalia y Rosmery; a mis sobrinos Juan y Ana Lía por ser mi motivación a ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme salud y oportunidades a lo largo de mi vida.

Agradezco al superintendente el Ing. Emilio Uribe, por la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales, a mis compañeros de trabajo y equipo en la realización de diferentes trabajos de optimización de procesos.

A todos mis familiares y amigos por su apoyo y motivación día a día para alcanzar mis metas.

Al Director y Asesor de mi tesis, por su invaluable dirección y enseñanzas, que permitieron el desarrollo y culminación de este trabajo.

A todos mis docentes que han guiado mi formación como profesional y como persona útil para la sociedad.

A la Universidad del Altiplano, Facultad de ingeniería Geológica y Metalúrgica en especial a nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, por haberme brindado la oportunidad de culminar y hacer realidad mi profesión.

Yobana Apaza Zela

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE GENERAL.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE FIGURAS	XII
INDICE DE ANEXOS.....	XIII
ACRÓNIMOS	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. HIPÓTESIS.....	4
1.5.1. Hipótesis general	4

1.5.2. Hipótesis específicas	5
1.6. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	5
1.6.1. Ubicación	5
1.6.2. Vías de acceso	6
1.6.3. Clima y temperatura.....	6
1.6.4. Energía Eléctrica.....	7
1.6.5. Recursos Hídricos.....	7
CAPITULO II	8
REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1. TERMINOLOGÍA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS	8
2.2. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	9
2.3. EXPERIMENTOS Y DISEÑOS	9
2.4. TIPOS DE EXPERIMENTACIÓN	10
2.5. MÉTODO TRADICIONAL O EXPERIMENTACIÓN PASIVA.....	10
2.6. EXPERIMENTACIÓN ACTIVA	11
2.7. DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS	11
2.8. PRINCIPIOS DEL DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS	12
2.8.1. Reducción de variabilidad.....	12
2.8.2. Validación de datos.....	13
2.9. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN	13
2.10. PAUTAS GENERALES.....	15
2.10.1. Función respuesta.....	15
2.10.2. Cerca y lejos del óptimo.....	16
2.11. ESQUEMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL	16
2.11.1. Primera etapa: selección de variable	17

2.11.2. Plantillas más conocidas en selección de variable	18
2.12. ESTRATEGIA PARA INVESTIGAR EN SELECCIÓN DE VARIABLE ..	21
2.12.1. Segunda etapa: optimización	21
2.13. CIANURACIÓN.....	24
2.13.1. Generalidades.....	24
2.13.1.1. Factores que influyen en la disolución del oro	25
2.14. ADSORCIÓN.....	28
2.14.1. Adsorción con carbón activado	29
2.14.1.1. Factores que afectan en la adsorción del oro.	29
2.14.1.2. Procesos de recuperación del oro con carbón activado.....	31
2.15. ANTECEDENTES.....	32
CAPÍTULO III	35
MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. ESTADÍSTICAS GENERALES	35
3.1.1. Cuadros estadísticos.....	35
3.1.2. Resumen de data estadística.....	42
3.1.3. Análisis de cuadros de control de planta y gráficos	48
3.2. MATERIA PRIMA.....	50
3.2.1. Composición química.....	50
3.2.2. Análisis del estudio minerografico.....	50
3.2.3. Análisis del informe minerografico	51
3.2.4. Materia prima	53
3.3. METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS.....	55
3.3.1. Reactivos	56
3.3.2. Materiales	56

3.3.3. Equipo de seguridad (EPP).....	57
3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO DE LOS EXPERIMENTOS.....	58
3.4.1. Diseño factorial	58
3.4.2. Diseño hexagonal	60
CAPÍTULO IV.....	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1. DIAGNOSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL.....	62
4.2. PRUEBAS PRELIMINARES DE ALCALINIZADOR	63
4.2.1. Análisis de las pruebas preliminares de alcalinizador	65
4.3. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE SELECCIÓN DE VARIABLE	65
4.3.1. Análisis de pruebas de selección de variables.....	77
4.4. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE OPTIMIZACIÓN	83
4.4.1. Resumen de pruebas de optimización	93
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas.....	5
Tabla 2: Vías de Acceso.	6
Tabla 3: Plantilla de selección 2 ²	18
Tabla 4: Plantilla de diseño factorial 2 ³	19
Tabla 5: Plantilla de diseño factorial 2 ⁴	19
Tabla 6: Plantilla de diseño factorial 2 ⁵	20
Tabla 7: Plantilla de diseño factorial Planckett Burmann.....	20
Tabla 8: Plantilla de diseño Hexagonal.....	22
Tabla 9: Plantilla de diseño Octogonal.....	23
Tabla 10: Cuadro de control de planta 2011	36
Tabla 11: Cuadro de control de planta 2012	37
Tabla 12: Cuadro de control de planta 2013	38
Tabla 13: Cuadro de control de planta 2014	39
Tabla 14: Cuadro de control de planta 2015	40
Tabla 15: Cuadro de control de planta 2016	41
Tabla 16: Resumen parámetros de Planta.....	42
Tabla 17: Resumen parámetros de Planta.....	43
Tabla 18: Resumen parámetros de Planta.....	44
Tabla 19: Composición Química	50
Tabla 20: Procedencias comunes	53
Tabla 21: Leyes de Cabeza	55
Tabla 22: Diseño Factorial 2 ³	59
Tabla 23: Diseño de optimización.	61
Tabla 24: Prueba disolución de oro con alcalinizador NaOH	63

Tabla 25: Prueba disolución de oro con alcalinizador CAL	64
Tabla 26: Niveles de variables para pruebas.	65
Tabla 27: Variables fijadas constantes para nuestras pruebas	66
Tabla 28: Matriz de experimentos para selección de variable	66
Tabla 29: Prueba 1 de selección de variable	67
Tabla 30: Prueba 2 de selección de variable	68
Tabla 31: Prueba 3 de selección de variable	69
Tabla 32: Prueba 4 de selección de variable	70
Tabla 33: Prueba 5 de selección de variable	71
Tabla 34: Prueba 6 de selección de variable	72
Tabla 35: Prueba 7 de selección de variable	73
Tabla 36: Prueba 8 de selección de variable	74
Tabla 37: Prueba 9 de selección de variable	75
Tabla 38: Prueba 10 de selección de variable	76
Tabla 39: Función respuesta de cada prueba con niveles de experimentación	77
Tabla 40: Variables con niveles de experimentación	77
Tabla 41: Efectos de variables en primera etapa	78
Tabla 42: Análisis de varianza de selección de variable	78
Tabla 43: Coeficientes del modelo matemático.....	80
Tabla 44: Niveles de pruebas de Optimización.....	83
Tabla 45: Descodificación de variables.....	83
Tabla 46: Prueba 1 de optimización.....	84
Tabla 47: Prueba 2 de optimización.....	85
Tabla 48: Prueba 3 de optimización.....	86
Tabla 49: Prueba 4 de optimización.....	87

Tabla 50: Prueba 5 de optimización.....	88
Tabla 51: Prueba 6 de optimización.....	89
Tabla 52: Prueba 7 de optimización.....	90
Tabla 53: Prueba 8 de optimización.....	91
Tabla 54: Prueba 9 de optimización.....	92
Tabla 55: Función respuesta de optimización.....	93
Tabla 56: Efectos de las variables	93
Tabla 57: Análisis de varianza de pruebas de optimización.....	94
Tabla 58: Coeficientes del modelo matemático.....	95
Tabla 59: Análisis de Residuos.....	96
Tabla 60: Valores ajustados.....	96
Tabla 61: Camino de Máximo ascenso para disolución	97
Tabla 62: Optimizar respuesta.....	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la compañía Minera Titán.....	6
Figura 2: Reacciones de reducción y oxidación.....	25
Figura 3: Peróxido de hidrogeno.....	26
Figura 4: Cianuro de Sodio.....	27
Figura 5: Hidróxido de sodio.....	28
Figura 6: % Malla -200 del año 2011 al 2016.....	45
Figura 7: Tiempo de residencia del año 2011 al 2016.....	46
Figura 8: Concentración de cianuro de sodio del año 2011 al 2016.....	47
Figura 9: Partículas libres de oro (Au), arsenopirita (apy) y goethita (gt). 200X...52	
Figura 10: Partículas libres de electrum (el), pirita (py), goethita (gt) y gangas (GGs). 100X.....	52
Figura 11: Partícula entrelazada de oro (Au) con la ganga (GGs) y partículas libres de pirita (py) y gangas (GGs). 200X.....	52
Figura 12: Área de titulación.....	57
Figura 13: Tanques de Agitación.....	57
Figura 14: Trabajador con sus Epps.....	58
Figura 15: Diagrama de Pareto del Proceso de Cianuración.....	81
Figura 16: Graficos de efectos.....	81
Figura 17: Superficie Respuesta del diseño.....	82
Figura 18 : Contornos de la Superficie Respuesta.....	82
Figura 19: Diagrama de Pareto del Proceso de Cianuración.....	98
Figura 20: Efectos principales, siendo la variable de pendiente positiva.....	99
Figura 21: Superficie respuesta.....	99
Figura 22: Contornos de Superficie.....	100

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Flow sheet de la compañía minera titán.....	105
Anexo 2: Reporte de prueba de Work Index	106
Anexo 3: Tabla de t- Student.....	116
Anexo 4: Fotografía en el laboratorio de la Compañía Minera Titán	117
Anexo 5: Tamizado de muestras.....	117
Anexo 6: Cuarteo de Muestras.....	118
Anexo 7: Titulación con Nitrato de Plata	118
Anexo 8: Titulación de Muestras	119
Anexo 9: Titulación de Solución	119
Anexo 10: Obtención de la Solución a Titular	120
Anexo 11: Circuito de chancado de la Compañía Minera Titán	120
Anexo 12: Diagrama de Flujos del Circuito de Chancado.....	121
Anexo 13: Molino de bolas 6 x 6	122
Anexo 14: Circuito de la Planta de Cianuración.....	123
Anexo 15: Preparación de yoduro de potasio	124
Anexo 16: Preparación de Hidróxido de sodio	125
Anexo 17: Preparación de nitrato de plata	126
Anexo 18: Manipulación del cianuro	127
Anexo 19: Titulación con nitrato de plata	128
Anexo 20: Hoja de Seguridad Cianuro de Sodio.....	129

ACRÓNIMOS

DOE	Diseños de experimentos.
PETS	Procedimiento escrito de trabajo seguro.
pH	Potencial de Hidrogeno.
ANAVA	Análisis de varianza.
DEE	Diseños de experimentos.
RPM	Revoluciones por minuto.
VUFCV	Variación de un factor cada vez.
KCN	Cianuro de potasio.
NaCN	Cianuro de sodio.
CIP	Carbón en pulpa.
CIL	Carbón en lixiviación.
CIC	Carbón en columna.
CNNa	Concentración de cianuro de Sodio.
FIGIM	Facultad e Ingeniería Geológica y Metalúrgica.
PETAR	Procedimientos Escrito de Trabajo Seguro.
g/T	Gramos en una tonelada.
Kg/T	Kilogramos en una tonelada.
% - m	Porcentaje de malla pasante
Au	Oro

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de la compañía minera Titán del Perú en el año 2017 con el objetivo de optimizar el proceso de cianuración mediante diseños experimentales, se delimito el área del espacio experimental con la realización de pruebas metalúrgicas de cianuración en laboratorio como primera etapa identificaremos las variables que influyen en el proceso de cianuración respecto a la selección adecuada de la función respuesta, que para nuestro diseño es el % de disolución siendo esta función la que queremos optimizar. Se recogen en una lista todas las variables que podrían influir en la respuesta, fijaremos las variables que no interesa modificar y las que no podamos controlar. Pasando después a la etapa de selección de variable donde se estudiará los niveles de las variables que ingresarán al diseño, los niveles de cada variable serán obtenidos por los cuadros de control de planta, las variables estudiadas en la investigación fueron granulometría, porcentaje de cianuro y tiempo de residencia para una cianuración. Se realiza la construcción de la matriz del diseño para la toma de datos combinando los niveles máximo y mínimo para cada variable. Tanto el % de disolución, como % de adsorción llegan a un 95.86 % de recuperación siendo esta mayor al porcentaje de disolución y adsorción que antes se mantenía en un 91 % fijándose como parámetros una granulometría al 91 % m-200 con una residencia de 60 horas. Se descarta que el pH, la cantidad de carbón sean de influencia en nuestro proceso.

Palabras clave:

Cianuración, diseño experimental, parámetros, rangos, efecto.

ABSTRACT

The present research work was carried out in the laboratory of the mining company Titan of Peru in the year 2017 with the objective of optimizing the cyanidation process by means of experimental designs, delimiting the area of the experimental space with the performance of metallurgical tests of cyanidation in As a first stage, we will identify the variables that influence the cyanidation process with respect to the appropriate selection of the response function, which for our design is the% dissolution, this function being the one we want to optimize. All the variables that could influence the response are listed, we will fix the variables that we do not want to modify and those that we can not control. Moving on to the variable selection stage where the levels of the variables that enter the design will be studied, the levels of each variable will be obtained by the plant control tables, the variables studied in the investigation were granulometry, percentage of cyanide and residence time for a cyanidation. The construction of the design matrix for the data collection is carried out by combining the maximum and minimum levels for each variable. Both the% of dissolution and the% of adsorption reach a 95.86 % recovery, this being greater than the percentage of dissolution and adsorption that was previously maintained at 91%, with a 91% m-200 granulometry as parameters, with a residence of 57 hours. It is ruled out that the pH, the amount of carbon is influencing our process.

Keywords:

Cyanuration, experimental design, parameters, ranges, effect.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata de la “Aplicación de los diseños experimentales en el proceso de cianuración”. Tiene el objetivo de establecer las consideraciones y aspectos necesarios en el desarrollo del proyecto de optimización del circuito de cianuración, tomando en cuenta cambios que necesite el proceso; siguiendo las normas y recomendaciones establecidas para este propósito. De acuerdo con el objetivo de mi investigación, esto hace que los metalurgistas busquen nuevas tecnologías apropiadas para un eficiente procesamiento de los minerales o menas que lo contienen, tratando de investigar desde el punto de vista aplicativo, nuevos métodos o mejorar los ya existentes y así obtener el oro metálico con mejores recuperaciones. El objetivo que se ha estructurado fue el de mejorar la recuperación del oro en el proceso de cianuración utilizando como herramienta los diseños experimentales de selección de variables y de superficie respuesta.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Minera Titán del Perú. Actualmente beneficia minerales de oro. La realización de pruebas a nivel laboratorio es la primera etapa que actualmente se

realiza por pruebas de descarte una a una cada variable en tiempos diferentes, por lo cual es necesario reducir el tiempo de estas pruebas.

El costo en mano de obra y reactivos; considerando que se realice la selección por el método de descarte el proceso ya en si contiene una incertidumbre ya que se tendrá que escoger las variables sobre las cuales se trabajara dejando al vacío los efectos que puedan tener las variables no seleccionados.

Esta primera etapa de pruebas preliminares a operación en la planta de cianuración define la selección de los rangos adecuados de cada variable lo cual es importante para optimizar el proceso de cianuración.

En la actualidad esta compañía minera viene realizando trabajos de aplicación de herramientas estadísticas que permitan mejorar el análisis y así poder entender cuáles son los efectos de cada variable en su proceso de cianuración, puesto que al conocer que variables significantes se podrá controlar estas variables en un rango de trabajo óptimo.

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo optimizar el proceso de cianuración aplicando diseños experimentales a nivel de laboratorio en la compañía Minera Titán del Perú?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será el rango adecuado de trabajo de la granulometría del mineral?
- ¿Influirá el Tiempo de Residencia en el proceso de cianuración?
- ¿Cuál será la concentración de cianuro adecuado para el proceso?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Desde hace muchos años se realiza pruebas metalúrgicas de investigación con descarte de parámetros que interfieren en los procesos al no poder analizar de manera correcta por la gran cantidad de pruebas y variables.

Se ha creado con ello una duda sobre el efecto que tienen estas variables sobre diferentes respuestas que se quieren obtener, siendo esta la principal razón por lo cual las empresas mineras prefieran analizar al detalle cada variable que interfiere en su proceso para así optimizarlo.

En la actualidad la tendencia mundial hacia una economía globalizada, ha incrementado competitividad en las industrias mineras en general, obligando por lo tanto a las empresas a incrementar su eficiencia, a través de la optimización de sus diferentes procesos, así como el desarrollo de nuevos procesos y tecnologías.

La aplicación de los programas estadísticos es muy notoria ´creando así áreas que se dediquen exclusivamente a la aplicación de diseños experimentales para análisis y optimización de sus procesos.

Organizaciones e industrias de todo tipo están cada vez más interesadas en alcanzar, demostrar un desempeño eficiente en sus operaciones y poder así optimizar sus procesos, en base a su política y objetivos como empresa, la minería no es un caso excepcional. Por ello la compañía Minera Titán del Perú no es una excepción en materia del campo de producción con programas estadísticos, el presente trabajo tiene como objetivo poner a disposición el análisis y optimización del proceso de cianuración con diseños experimentales a nivel laboratorio en la compañía Minera Titán del Perú.

Existe una infinita variedad de poder realizar pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio, esta clase de pruebas por descarte genera costo en mano de obra e

insumos y en ocasiones no considera todos los efectos de las variables sobre el proceso de cianuración.

Es necesario poder conocer los parámetros adecuados en una planta metalúrgica, por lo cual el laboratorio metalúrgico realiza pruebas preliminares para determinar dichos parámetros. De esta manera se realiza la presente investigación y así determinar aquellas variables que tiene mayor efecto sobre la función respuesta.

También se justifica por la necesidad de ir implementando tecnologías que permitan aprovechar en una forma más óptima los recursos estadísticos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- Optimizar proceso de cianuración aplicando los diseños experimentales en la compañía Minera Titán del Perú, que nos permiten ubicar el rango de los factores que influyen en el proceso.

1.4.2. Objetivos específicos

- Encontrar el rango adecuado de trabajo de la granulometría del mineral.
- Determinar si el tiempo de residencia influye en el proceso de cianuración.
- Hallar la concentración de cianuro de trabajo para el proceso de cianuración.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- La aplicación de diseños experimentales optimizará el proceso de cianuración a nivel laboratorio en la compañía Minera Titán del Perú, de la misma forma se realizará un análisis y selección de las variables adecuadas para la disolución

del oro que reflejará la posible proyección de los rangos de estas ya optimizadas.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La adecuada granulometría del mineral optimizara el proceso de cianuración en la Compañía Minera Titán del Perú S.R.L.
- El tiempo de residencia influye en proceso de cianuración para una mejor disolución de oro.
- La concentración adecuada de cianuro de sodio en el proceso de cianuración es favorable para el proceso.

1.6. ÁMBITO DE ESTUDIO

1.6.1. Ubicación

La planta de beneficio de la compañía Minera Titán del Perú S.R.L. está ubicada en el distrito de Chala de la Provincia de Caravelí, ubicada en el Departamento de Arequipa, bajo la administración del Gobierno regional de Arequipa, en el sur del Perú. Limita por el norte con el distrito de Atiquipa, por el este con el distrito de HUANUHUANU, por el sur con el distrito de Chaparra y por el oeste con el Océano Pacífico.

Tabla 1: Coordenadas.

COORDENADAS	
Altitud	12 msnm
Latitud	15°52'00" Sur.
Longitud	74°14'50" Oeste.
Superficie	378.38 Km ²

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Chala.



Figura 1: Ubicación de la compañía Minera Titán.

1.6.2. Vías de acceso

Para acceder a la planta concentradora desde la región de puno se usa la Carretera Arequipa - Valle de Majes - Camaná - Chala: Toda la Carretera Correctamente Asfaltada y Señalizada, tomando el Camino rumbo Noroeste por el Kilómetro 48, pasando por el Cruce y Vitor hasta llegar al desvío hacia Camaná, siguiendo la carretera pegada al océano pasando por Ocoña y Atico hasta llegar al poblado de Chala en un viaje que dura 8 Horas.

Tabla 2: Vías de Acceso.

Localidad	Distancia (Km)	Tiempo de viaje (hr)	Tipo de ruta
Puno – Juliaca	45.00	0.45	Asfaltada
Juliaca – Arequipa	220.00	5.00	Asfaltada
Arequipa –chala	2.500	8.00	Asfaltada

Fuente: Elaboración propia vías de acceso a la Minera Titán del Perú.

1.6.3. Clima y temperatura

El clima por estar ubicado en la zona costera y formando parte de un desierto pre montañoso, presenta un clima semi cálido, seco y árido con presencia de

vientos constantes.

La humedad relativa máxima mensual tiene un rango de variación de 91 % en agosto, y 77 % en enero. Mientras que la humedad relativa mínima tiene un rango de 45 % para julio y 35 % para octubre.

La temperatura en el área corresponde al clima semi - cálido registrada en la estación meteorológica de Arequipa del SENAMHI (2500 msnm, latitud de 32 °C para febrero y una temperatura mínima media mensual de 7.9 °C registrada en agosto).

1.6.4. Energía Eléctrica

La planta minera de la compañía Minera Titán del Perú S.R.L. no cuenta con una red de sistema de energía eléctrica por lo que recibe energía eléctrica del sistema de un generador eléctrico a combustible con capacidad de 240 Kws que abastece a toda la planta para su respectivo proceso.

1.6.5. Recursos Hídricos

Este recurso es muy importante debido a que si no hubiera agua no hay operación en la planta concentradora, traen agua diariamente de río en cisternas y lo almacena en tanques y de ahí se distribuye a toda la planta para su respectiva operación. Y la otra parte es recuperación de los relaves denominados como reciclado de flotación y cianuración, estos son bombeados a los tanques de almacenamiento de planta para su posterior recirculación.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. TERMINOLOGÍA DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Montgomery (1991). Los términos de mayor uso en el diseño de experimentos son: factor, nivel, tratamiento, y unidad experimental.

- a. Factores: Son cada una de las variables independientes del proceso o sistema.
- b. Niveles: Son los valores que pueden tomar los factores o variables independientes. Es el experimentador quien decide donde es interesante estudiar dichos factores. Esta decisión requiere un conocimiento previo del sistema, obtenido de referencias bibliográficas o experiencia previa.
- c. Tratamientos: los tratamientos vienen a constituir los diferentes procedimientos, procesos, factores o materiales cuyos efectos van a ser medidos y comparados.
- d. Unidad Experimental: Es el objeto (proceso o sistema) sobre el cual se hacen las mediciones, es decir donde se efectúa el tratamiento, donde se mide y analiza la variable que se investiga.

2.2. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Álvarez (2006). Es una técnica que consiste en realizar una serie de experimentos en los que se inducen cambios deliberados en las variables de un proceso, de manera que es posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida.

2.3. EXPERIMENTOS Y DISEÑOS

Álvarez (2006). La experimentación a partir de lo conocido (definiciones, conceptos), utilizar las operaciones lógicas y validar o desaprobar hipótesis mediante la observación o la experimentación científica.

La planificación de la experimentación debe considerar los siguientes aspectos importantes:

- La experimentación es normalmente costosa. Exige personal, tiempo, instrumentación, etc. Se debe por tanto contemplar el menor número de experimentos que permitan obtener la información buscada.
- El resultado observado de un experimento (y) tiene incertidumbre; si h es el resultado verdadero (desconocido) del experimento: $y = h + e$ donde “e” es una contribución aleatoria, que varía cada vez que se repite el experimento. Por ello, en el diseño de los experimentos y en la evaluación de los resultados experimentales, la estadística juega un papel fundamental pues es la disciplina que proporciona las herramientas para trabajar en ambientes de incertidumbre.

Diseñar un experimento significa planear un experimento de modo que reúna la información pertinente al problema bajo investigación. El diseño de un experimento es la secuencia completa de pasos tomados de la mano para asegurar que los datos apropiados se obtendrán de modo que permitan un

análisis objetivo que conduzca a deducciones validadas con respecto al problema establecido.

2.4. TIPOS DE EXPERIMENTACIÓN

Álvarez (2006). En la práctica de la experimentación científica o tecnológica se trabajan con experimentos previamente planificados o diseñados. Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar en la variable respuesta las causas de los cambios.

Al planear una experimentación, esta puede hacerse en dos formas: pasiva o de un factor a la vez, y activa o mediante el diseño estadístico de experimentos (DEE).

2.5. MÉTODO TRADICIONAL O EXPERIMENTACIÓN PASIVA

Álvarez (2006). Viene de la intuición y consiste en variar un factor cada vez: para unas condiciones iniciales, se realizan experimentos en los cuales los factores se mantienen constantes excepto el que está bajo estudio; así, la variación de la respuesta solo se debe al factor; lo mismo se repite para los demás factores.

En este caso los experimentos se hacen por aproximaciones sucesivas, de manera que, si el sistema o proceso tiene dos o más variables, en cada ensayo se modifican una variable, manteniendo constantes las demás. Por eso también se le conoce como método VUFCV o variación de un factor cada vez.

Sin embargo, esta conclusión no es confiable por tres razones:

- No da información del efecto de la interacción entre variables.
- No da información de la variabilidad de los datos.
- No proporciona la posición del óptimo.

El experimentador percibe que se ha llegado al óptimo porque cambiando un factor cada vez por la ruta escogida, la respuesta no mejora, pero se puede encontrar lejos del óptimo real. Aunque se puede reiniciar la experimentación partiendo del “óptimo” encontrado hasta agotar todas las opciones, esta solución es extremadamente ineficiente cuando se deben estudiar muchos factores, puesto que requeriría demasiados experimentos y tiempo.

2.6. EXPERIMENTACIÓN ACTIVA

Álvarez (2006). Los inconvenientes del método tradicional provienen de variar un factor cada vez. La solución, por lo tanto, debe consistir en variar más de un factor simultáneamente. Ello permitiría mejorar la eficiencia del esfuerzo experimentador, para obtener información sobre las interacciones.

La experimentación activa, también llamada Diseño Estadístico de Experimentos o DEE, proporciona el marco matemático para cambiar todos los factores simultáneamente, y obtener la información buscada con un número reducido de experimentos, es decir, con la máxima eficiencia. El DEE conduce a una planificación con menos experimentos que el método VUFCV para obtener un conocimiento equivalente.

2.7. DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

Palacios (2004). Diseñar estadísticamente un experimento es planear el experimento para obtener datos apropiados que puedan ser analizados mediante

métodos estadísticos, con el objeto de producir conclusiones objetivas.

Su objetivo es ayudar al experimentador:

- Seleccionar la estrategia experimental óptima que permita obtener la información buscada con el mínimo costo.
- Evaluar los resultados experimentales obtenidos, garantizando la máxima fiabilidad en las conclusiones que se obtengan.

2.8. PRINCIPIOS DEL DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

Palacios (2004). Al realizar un experimento debe tenerse en cuenta que los resultados que se tengan del mismo están sujetos a los efectos de variabilidad e incertidumbre, por lo que la incertidumbre acerca del valor verdadero de las variables respuesta siempre es grande. Considerando estos criterios, existen dos principios básicos que determinan la calidad de un experimento: La reducción de la variabilidad y la validación de los datos.

2.8.1. Reducción de variabilidad

Palacios (2004). Todas las investigaciones experimentales siguen el modelo de Caja Negra, donde se observa en forma general, una o más variables dependientes o respuestas (y) cuyo valor depende de los valores de una o más variables independientes (x) llamadas factores, pero las respuestas además pueden estar influidas por otras variables no controladas por el experimentador.

El diseño estadístico de experimentos se basa en dos principios básicos para reducir las interferencias en la claridad de la respuesta de un experimento. Estas son; la obtención de réplicas y la aleatorización.

- a) Las réplicas. Son las repeticiones que se hacen de cada ensayo. Este concepto es de suma importancia porque se puede deducir la media y desviación estándar de los datos obtenidos, lo que permite obtener una estimación del error experimental y por tanto de la confiabilidad de los datos obtenidos.
- b) La aleatorización: es el hecho que tanto la asignación del material experimental como el orden en que se realizan las pruebas o ensayos se determinan al azar. La aleatorización ayuda a anular los efectos de factores extraños que pudieran estar presentes, reduciendo el error sistemático y la consecuente confusión de causas del fenómeno.

2.8.2. Validación de datos.

Montealegre (1997). Los datos obtenidos de un experimento diseñado son datos muestrales y siempre están sujetos a error, por lo que la única forma de darles objetividad es mediante la aplicación de los métodos estadísticos de análisis, es decir aplicando a los datos muestrales los principios de la estadística descriptiva e inferencial.

En resumen, el DEE permite eficiencia y economía en el proceso experimental, y el uso de métodos estadísticos de análisis de los datos, brinda objetividad científica a las conclusiones.

2.9. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

Montealegre (1997). La aplicación del diseño estadístico de experimentos requiere considerar los siguientes pasos:

Paso 1. Comprender el problema y definir claramente el objetivo: El DEE es una herramienta para encontrar respuestas a problemas perfectamente identificados y especificados. Cuanto más claramente se plantea el problema y se identifica la información que se desea conseguir con los experimentos, mayor será la ayuda del DEE.

Paso 2. Identificar los factores y el dominio experimental de interés: Es conveniente identificar, listar todos los factores (variables independientes) que se cree puedan influir en el proceso, y seleccionar de ellas las variables de interés para el problema planteado. Los factores no controlados pueden introducir variaciones en la respuesta que dificultan el análisis de los resultados experimentales, por lo que también deben hacerse esfuerzos por ser identificados y controlarlos.

Paso 3. Definir la hipótesis

Paso 4. Planificar la experimentación: Consiste en elegir el número, ubicación y la secuencia de ensayos, es decir la elección del diseño experimental. Es frecuente realizar la experimentación en diversas etapas secuencialmente. En cada etapa, las series de experimentos se agrupan en diseños denominados matrices de experimentos.

Paso 5. Realización de la experimentación: Consiste en tomar los datos de la variable respuesta, para los valores seleccionados de los factores. Aquí es importante considerar dos aspectos:

a) Los datos deben ser obtenidos aleatorizados y con replicas a fin de estimar la variabilidad y la confiabilidad de los mismos, el orden aleatorio es necesario para asegurar que los factores no contemplados introduzcan confusión y sesgo

en los resultados.

- b)** El diseño experimental escogido suele estar descrito mediante variables codificadas, por lo que estas deben convertirse a sus valores reales para los factores de estudio.

Paso 6. Interpretar los resultados: Una vez que se dispone de los resultados experimentales se pueden calcular los efectos de los factores, así como sus interacciones. Las pruebas estadísticas permiten comprobar si los efectos calculados son significativos comparándolos con el error experimental.

Si se construyen modelos de respuesta, se pueden calcular los coeficientes por el método de los mínimos cuadrados y se puede evaluar el modelo aplicando la prueba de ANOVA.

2.10. PAUTAS GENERALES

Inicialmente se recomienda tener algunas pautas generales como las siguientes:

2.10.1. Función respuesta

Manzaneda (2000). También denominada función de rendimiento, es el objetivo final de un proceso de investigación. En lo posible debe procurarse que no sea un asunto solamente teórico. Se debe estar seguro que, si Z es una función respuesta, depende a través de una función “ f ” de variables controlables y no controlables.

Normalmente la forma de dicha función “ f ” es desconocida, pero si se hiciera conocida, proporciona la manera de conocer Z a distintos valores de las variables, luego se podrían estimar valores máximos o mínimos de Z .

Generalmente z es una función polinómica que es aproximadamente una superficie de respuesta. El modo más práctico para hallar esta relación entre la respuesta y las variables independientes es haciendo regresión lineal, que es un procedimiento sencillo, rápido y útil.

2.10.2. Cerca y lejos del óptimo

La relación entre variables independientes y que producen determinada respuesta crean un modelo. Los distintos modelos tienen aplicación dependiendo la fase en que se encuentra el estudio de investigación. Normalmente se distinguen dos fases:

2.11. ESQUEMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Manzaneda (2000). De acuerdo al Esquema del Diseño Experimental es posible distinguir dos grandes rutas, diferentes y excluyentes entre sí: los diseños dinámicos que son factoriales secuenciales entre ellos el evop, ssevop; son pequeñas variaciones en el rango de las variables para lograr mejorar resultados sucesivamente.

Se inician con un simplejo o pruebas con variables codificadas en un triángulo descartando en cada vez la peor respuesta siguiendo la ruta contrapuesta conformando nuevamente otro simplejo y así avanzando hasta la respuesta mejorada paulatinamente (normalmente la secuencia termina en una figura poligonal cerrada).

Para lograr resultados favorables es necesario que la materia prima sea constante, equivalente en minería a que la ley de cabeza no varíe y ello es difícil de lograr, por esta razón estos son de poca utilidad.

La otra ruta es la de diseños estáticos, que se usan en laboratorio o en escala de pilotaje. En este esquema del Diseño estático se distinguen dos grandes etapas (recomendablemente secuenciales) ambas complementarias, la primera o de selección de variable que es el primer intento de estudiar y determinar la significancia de cada una de la mayor parte de variables y determinar su influencia metalúrgica alrededor de la respuesta elegida usando como estadístico de discreción el “t - student”.

La segunda etapa o de optimización, en la que con el uso de modelos cuadráticos se ajusta un modelo en dos o tres variables como máximo, estimando finalmente los mejores valores de las variables para lograr un valor máximo en la respuesta elegida, usando en este caso, como estadístico de discreción el “F”.

Entonces, la primera escala descarta variables que no son influyentes e identifica dos o tres sobre las cuales se debe trabajar para modelos de optimización generalmente cuadráticos.

2.11.1. Primera etapa: selección de variable

Manzaneda (2000). Para esta etapa se cuenta con los diseños factoriales 2^n si las variables son 2 y 3, al incrementar el número de variables entre 4 y 5 se usan las factoriales fraccionados a mitad y un cuarto (son diseños factoriales recortados en bloques y que evitan hacer un mayor número de pruebas como lo indicaría una factorial 2^n).

Si el número de variables crece más, será necesario usar plantillas de diseño tipo planckett - burmann que permiten estudiar hasta 20 variables con un mínimo de 22 pruebas, pero el criterio de las plantillas es el mismo: evitar un gran número de pruebas de factorial 2^n por bloqueo de columnas codificadas

que tienen la misma distribución de signos (en el lenguaje técnico se conoce como “alias”).

Las plantillas normalmente aparecen en variable codificada siendo -1 el rango real inferior elegido y $+1$ el rango superior, 0 expresa el punto central y la relación entre variable real y codificada es la siguiente:

$$V \text{ cód.} = (\text{Valor Real} - \text{Valor Central}) / \text{Radio}$$

Dónde:

V cód. = Es el valor codificado.

V real. = Valor de la variable en unidades reales elegidas.

Valor Central = El centro del rango real elegido.

Radio = Distancia en el rango del centro a un extremo en valor real.

2.11.2. Plantillas más conocidas en selección de variable

a. Factorial con dos variables $2^2 = 4$ pruebas

Tabla 3: Plantilla de selección 2^2

PRUEBA	X_1	X_2
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1

Fuente: Diseño experimental - Palacios C. Severo

b. Factorial con tres variables $2^3 = 8$ pruebas**Tabla 4:** Plantilla de diseño factorial 2^3

PRUEBA		X ₁	X ₂	X ₃
1		-1	-1	-1
2		1	-1	-1
3		-1	1	-1
4		1	1	-1
5		-1	-1	1
6		1	-1	1
7		-1	1	1
8		1	1	1

Fuente: Diseño experimental - Palacios C. Severo

Cuando son más de cuatro variables se usan diseños factoriales fraccionados para evitar hacer un mayor número de pruebas:

c. Factorial con 4 variables, fraccionando mitad de $2^4 = 8$ pruebas**Tabla 5:** Plantilla de diseño factorial 2^4 .

PRUEBA	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-1	-1	-1	-1
2	1	1	-1	-1
3	1	-1	1	-1
4	-1	1	1	-1
5	1	-1	-1	1
6	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1
8	1	1	1	1

Fuente: Diseño experimental - Palacios C. Severo

d. Factorial con 5 variables, fraccionando un cuarto de $2^5 = 8$ pruebas.

Tabla 6: Plantilla de diseño factorial 2^5 .

PRUEBA	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	1	-1
3	-1	-1	1	-1	1
4	1	-1	1	1	1
5	1	1	-1	-1	1
6	-1	1	-1	1	1
7	1	1	1	-1	-1

Fuente: Diseño experimental - Palacios C. Severo

e. Factorial con más de 6 variables.

Se utilizan las plantillas de Planckett Burmann.

Tabla 7: Plantilla de diseño factorial Planckett Burmann.

PRUEBA	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
2	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
3	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
4	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
5	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
6	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
7	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
8	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
9	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
10	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1

Fuente: Diseño experimental - Palacios C. Severo

2.12. ESTRATEGIA PARA INVESTIGAR EN SELECCIÓN DE VARIABLE

La estrategia propuesta para una investigación en selección de variable es:

- Elegir las variables da mayor influencia hacia determinada respuesta, o pueden ser varias respuestas.
- Según el número de variables elegir la plantilla adecuada.
- Escoger los rangos reales de las variables lo más ajustadamente posible a la experiencia metalurgia.
- Realizar las pruebas de la plantilla por sorteo a fin de evitar tendencias.
- Análisis estadísticos de resultados para hallar la significancia, esta puede hacerse por el método de signos, Yates, etc.
- Elegidas las dos o tres variables más influyentes en la respuesta, planificar un diseño de optimización con modelos cuadráticos: Hexagonal, octogonal o composito central.

2.12.1. Segunda etapa: optimización

Manzaneda (2000). En la etapa de selección de variables corresponde a investigar en la parte baja de la “cima” (que representa la función objetivo) cuyo máximo se alcanzara estando alrededor de dicha “punta de cerro imaginario” en esta etapa superior de la investigación generalmente se aplica para dos variables: el diseño hexagonal.

a. Plantilla codificada del diseño hexagonal

Tabla 8: Plantilla de diseño Hexagonal.

PRUEBA	X_1	X_2
1	1	0
2	0.5	0.866
3	-0.5	0.866
4	-1	0
5	-0.5	-0.866
6	0.5	-0.866
7	0	0
8	0	0

Fuente: Diseño experimental - Palacios C. Severo

Ese modelo consta de 6 pruebas que codificadas están ubicadas en las coordenadas de un hexágono regular con centro en el origen (0,0) inscrito en una circunferencia de radio 1 y para realizar las pruebas se decodifica los valores de acuerdo a la expresión (1) y también se agregan dos o tres pruebas adicionales al centro esto con la finalidad de analizar el error experimental.

Un segundo diseño usado para dos variables es el denominado OCTOGONAL, que es un diseño compuesto conformado por un factorial 2^n (cuadrilátero de radio 1 y centro en el origen) al que se le agrega el diseño ESTRELLA 2^n (rotación del factorial hasta que el vértice del cuadrilátero coincida con las coordenadas) y las consiguientes pruebas al centro para el análisis del error experimental, así cuando $n=2$ el número de prueba será $2^2 + 2 \times 2 = 8$ que corresponden a un octágono regular con "alfa" que tiene como valor numérico codificado $2^{1/n}$ así, cuando son dos variables se tiene que $\alpha = 1.4142$.

b. Plantilla codificada del diseño octogonal

Tabla 9: Plantilla de diseño Octogonal

PRUEBA	VARIABLE CODIFICADA		OBSERVACIÓN
	X1	X2	
1	-1	-1	FACTORIAL 2 ^a
2	1	-1	
3	-1	1	
4	1	1	
5	ALFA	0	ESTRELLA 2 ⁿ
6	-ALFA	0	
7	1	0	Alfa = 2 ^{1/n} =1.4142 Pruebas al centro
8	1	ALFA	
9	0	-ALFA	
10	0	0	

Fuente: Diseño experimental - Palacios C. Severo

Generalmente ambas tienen una función respuesta y cuadrática de la forma:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{12}X_1X_2$$

Luego para hacer la regresión será necesario contar en la matriz de las variables independientes tantas columnas como constantes $a_0, a_1, a_2, a_{11}, a_{22}, a_{12}$ se desea como indica la ecuación, naturalmente que con las pruebas adicionales al centro se tendrá finalmente los suficientes grados de libertad como para proceder a la regresión sin dificultad.

El tercer diseño típico de optimización es el composito central para tres variables, en este caso el número de pruebas sería $2^3 + 2 \times 3 = 14$ pruebas añadiendo las tres pruebas al centro para analizar el error experimental resultan total 17 y el “alfa” codificada sería igual a $2^{1/3}$, este es un modelo de figura

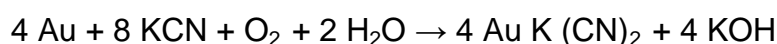
geométrica tridimensional y otorga los suficientes grados de libertad para analizar los coeficientes de las variables simples, elevadas al cuadrado y las interacciones entre las tres variables.

2.13. CIANURACIÓN

2.13.1. Generalidades

Mardens y House (1993). El principio básico de la cianuración es aquella en que las soluciones alcalinas débiles tienen una acción directa disolvente preferencial sobre el oro y la plata contenidos en el mineral.

La reacción enunciada por Elsher en su Journal Prakchen (1946), es la siguiente:



La química involucrada en la disolución de oro y plata en el proceso de cianuración en pilas es la misma aplicada en los procesos de cianuración por agitación. El oxígeno, esencial para la disolución del oro y plata, es introducido en la solución de cianuro mediante la inyección directa de aire al tanque solución de cabeza, por irrigación en forma de lluvia y por bombeo de la solución recirculante.

La velocidad de disolución de los metales preciosos en soluciones de cianuro depende del área superficial del metal en contacto con la fase líquida, lo que hace que el proceso de disolución sea un proceso heterogéneo; la velocidad de disolución depende también de la velocidad de agitación lo que indica que el proceso sufre la presión de un fenómeno físico.

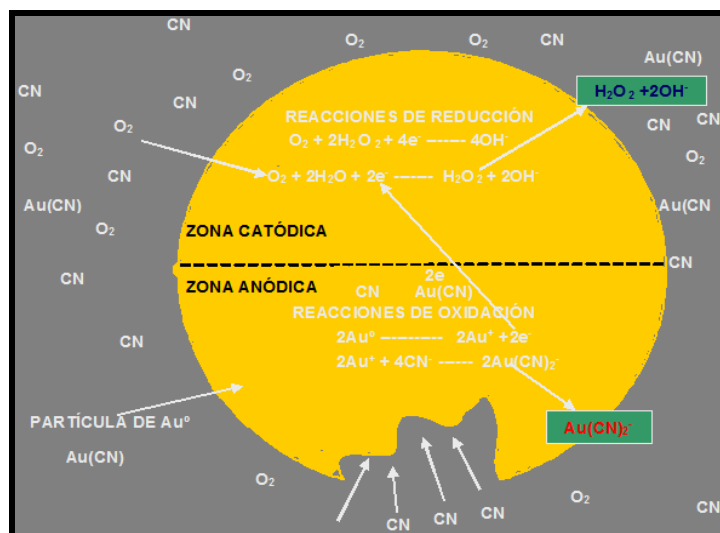


Figura 2: Reacciones de reducción y oxidación.

2.13.1.1. Factores que influyen en la disolución del oro

- a. **Tamaño de la partícula.** - Misari (1993). Cuando se presenta oro grueso libre en la mena, la práctica generalizada es recuperarlo por medio de trampas antes de la cianuración ya que las partículas gruesas podrían no disolverse en el tiempo que dura el proceso. Bajo condiciones consideradas ideales con respecto a la aireación y agitación, Barsky encontró que la velocidad mínima de disolución de oro es 3.25 mg/cm²/hora.
- b. **Oxígeno.** - Mardens y House (1993). Es un elemento indispensable en la disolución del oro y plata (aireación de la pulpa); siendo el aire atmosférico la fuente de oxígeno utilizado en el proceso de cianuración. El peróxido de hidrógeno (H_2O_2), también conocido como agua oxigenada, dióxido de hidrógeno, hidroperóxido, es un compuesto químico con características de un líquido altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, que por lo general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso que esta. Es conocido por ser un poderoso oxidante.



Figura 3: Peróxido de hidrogeno

c. Concentración de cianuro. - Mardens y House (1993). La solubilidad del oro en una solución de CN aumenta al pasar de las soluciones diluidas a las concentradas. La solubilidad es muy baja con menos de 0.005% NaCN, crece rápidamente cuando contiene 0.01% NaCN y después lentamente, llegando al máximo cuando contiene 0.25% NaCN. La proporción más eficaz es de 0.05 a 0.07% NaCN. La concentración usual de CN para el tratamiento de menas de oro es de 0.05% NaCN y para menas de plata de 0.3% para concentrados de oro-plata, la fuerza de NaCN está entre 0.3 - 0.7%. El NaCN es el más usado en el proceso de cianuración, aunque también se emplea el KCN.



Figura 4: Cianuro de Sodio

- d. Temperatura.** - La velocidad de disolución de los metales en una solución de NaCN aumenta con el incremento de la temperatura, hasta 85°C arriba de esta temperatura; las pérdidas por descomposición del cianuro es un serio problema.
- e. Alcalinidad protectora.** - Las funciones del hidróxido de calcio en la cianuración son los siguientes:
- Evitar pérdidas de cianuro por hidrólisis.
 - Prevenir pérdidas de cianuro por acción del CO₂ del aire.
 - Neutralizar los componentes ácidos.
 - Facilitar el asentamiento de las partículas finas de modo que pueda separarse la solución rica clara de la mena cianurada.



Figura 5: Hidróxido de sodio

- **pH:** Mardens y House (1993). Es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución. Por lo general, la lixiviación con cianuro se realiza a niveles $\text{pH}=9.4$ para prevenir la pérdida excesiva del cianuro mediante hidrólisis.
- **Rapidez de agitación.** - La velocidad de disolución del oro y plata en soluciones de cianuro se incrementa con la rapidez de agitación, sin embargo, para el caso del oro la velocidad se incrementa únicamente hasta una cierta rapidez de agitación (150 RPM), después de la cual disminuye y permanece casi constante.

NOTA: La velocidad depende del espesor de la capa de difusión y características de la mezcla de la solución total.

2.14. ADSORCIÓN

McCabe, Smith y Harriot (2007). La adsorción es el fenómeno en el cual interactúan un adsorbente y un adsorbato, mediante la acción de fuerzas intermoleculares que atraen al segundo hacia la superficie del primero. En el caso específico de la adsorción del oro en carbón activado. La interacción entre

adsorbente y adsorbato se debe a la formación de enlaces químicos, también llamada quimisorción, o a la adsorción física, provocada por las fuerzas de Van der Waals, en la cual el peso molecular o polaridad de las moléculas provoca que éstas sean atraídas con mayor o menor fuerza frente a otras. McCabe W.L., Smith J.C. y Harriot P, (2007).

Mardens y House (1993). Muchas teorías se han propuesto con el fin de explicar la adsorción del oro en carbón activado. Una de ellas describe este fenómeno como la adsorción de oro metálico; otra, en cambio, la describe como la adsorción molecular de AuCN. Sin embargo, la que más aceptación ha tenido es aquella que sostiene que es el complejo aurocianuro, la especie adsorbida en la superficie del carbón activado.

2.14.1. Adsorción con carbón activado

Mardens y House (1993). La adsorción en carbón activado del oro disuelto en soluciones alcalinas de cianuro es uno de los métodos utilizados para la recuperación del metal en solución. La alta capacidad de adsorción de este material permite concentrar el oro extraído al adsorber éste de una solución cianurada y luego, mediante una desorción en un volumen menor, aumentar su concentración con el fin de recuperar con mayor eficiencia el metal precioso a través de un proceso de cementación con cinc o mediante métodos electroquímicos.

2.14.1.1. Factores que afectan en la adsorción del oro.

Mardens y House (1993). Entre los factores físicos que afectan la adsorción se encuentran el tipo y tamaño del carbón activado: un carbón con mayor grado de gasificación posee una mayor capacidad de adsorción, pero su resistencia

mecánica al desgaste se ve reducida y las pérdidas en el proceso son mayores. Adicionalmente, el tamaño de las partículas del carbón influye en la cinética del proceso; así, mientras menor sea el tamaño de éstas, mayor será la velocidad de adsorción porque disminuye la longitud promedio del poro. La capacidad de adsorción es la misma debido a que el tamaño tiene un efecto muy reducido en el área superficial específica.

McCabe, Smith y Harriot (2007). Además, la adsorción está limitada por las moléculas del adsorbato cuando su tamaño es mayor al tamaño del poro del adsorbente.

Mardens y House (1993). La agitación favorece la difusión del oro en fase líquida a través de la capa límite sólido-líquido, permitiendo el acceso del metal a la superficie del carbón. En contraste, la presencia de sólidos en la solución altera el proceso de adsorción, puesto que éstos impiden una adecuada transferencia de masa, alterando de este modo la eficiencia de la agitación.

El cianuro libre provoca una disminución en la velocidad de adsorción y capacidad de carga del carbón, debido a que compite por los sitios activos del carbón. En adición, un pH bajo permite velocidades de adsorción y capacidades de carga altas, pero el pH está limitado por la liberación de HCN a pH bajo.

Entre los factores químicos que afectan la adsorción se encuentra también la temperatura. La adsorción es un proceso exotérmico, por lo que un aumento de temperatura provoca el fenómeno inverso, es decir, una desorción, en la cual el adsorbato regresa a la fase líquida, principio utilizado industrialmente en los procesos de recuperación de oro adsorbido en carbón activado Mardens. J. y House. L. (1993). Debe considerarse también la relación entre oro y plata

presentes en el mineral, pues una alta concentración de plata provoca que ésta compita por los sitios activos del carbón y disminuye la eficiencia de recuperación de oro. De esta manera, para minerales con alta concentración de plata se prefiere la recuperación mediante cementación con cinc Hagel J.E., 1994, Una baja concentración de plata no representa un problema en el proceso puesto que la cantidad que se adsorbe es baja y porque el complejo aurocianuro es capaz de desplazar esta pequeña cantidad de plata adsorbida Mardens. J. y House. L. (1993). Otros metales que afectan en el proceso de adsorción son cobre y mercurio, siendo este último el que más fuertemente compite con el oro. Por ello, es importante considerar la cantidad de mercurio presente en el mineral pues esta sustancia puede ser adsorbida y desorbida, al igual que el oro. En general, el mercurio no causa inconvenientes de consideración porque su concentración en los minerales es muy pobre y su solubilidad es baja. A pH alcalino y alta concentración de cianuro libre la adsorción del cobre es pobre, por lo que su interferencia en la adsorción del oro no es considerable si el mineral no contiene altas cantidades de esta sustancia.

2.14.1.2. Procesos de recuperación del oro con carbón activado

Hofstadter (1990). La aplicación del carbón activado para la adsorción del oro y la plata de sus soluciones cianuradas ya fue conocida y usada en menor escala desde el año 1800; en la actualidad se han perfeccionado y desarrollado las técnicas de cianuración - carbón activado, permitiendo el diseño de circuitos sencillos, de bajo costo de operación y mayor flexibilidad.

Los siguientes tres procesos se pueden considerar como los más avanzados entre aquellos desarrollados para la cianuración del oro:

- a)** Carbón en pulpa (CIP): Puede ser llamado también carbón en pulpa preñada. El proceso consiste esencialmente en agregar carbón suelto a la pulpa después de haber efectuado la cianuración con agitación. El carbón es introducido usualmente en contracorriente al flujo de la pulpa que contiene la solución preñada o rica y las partículas cianuradas. El carbón cargado se extrae de la pulpa por tamizado.
- b)** Carbón en lixiviación (CIL): El carbón activado se introduce junto a la pulpa en el tanque de cianuración. De esta forma la cianuración y la adsorción ocurren en el mismo tanque y teóricamente el oro es adsorbido inmediatamente después de haber sido disuelto. La lixiviación del oro es en realidad más lenta que su adsorción por el carbón activado.
- c)** Carbón en columna (CIC): En este proceso el carbón activado se introduce a una solución preñada clarificada. Normalmente el contacto entre ambos ocurre en una columna con tabiques horizontales; el carbón circula en contracorriente al flujo de la solución y en forma intermitente.

2.15. ANTECEDENTES

Ryan (2007), en su trabajo *Modern experimental design*. Nos explica que la experimentación proporciona la descripción aproximada de cómo se comportan los procesos. La mejora de procesos es generalmente el objetivo hasta que este alcanza el nivel deseado.

Lye (2005), en su trabajo *Tools and toys for teaching design of experiments methodology*. Nos da a conocer la metodología estadística por excelencia para optimizar la experimentación se conoce como diseño de experimentos, la cual se

abrevia como DoE el cual se define simplemente como un método para aplicar sistemáticamente la estadística al proceso de experimentación.

Montgomery (2005), en su trabajo *Design and Analysis of Experiments*. Se define como realizar un conjunto de pruebas en las cuales se realizan cambios voluntarios a los parámetros de control de un proceso o sistema, para observar e identificar las razones de los cambios en la variable de salida o respuesta del proceso.

Ochoa (2013), en su trabajo de tesis con título *Evaluación de los Reactivos de Flotación para mejorar la concentración de oro en la planta concentradora de la Minera Aurífera Retamas S.A." MARSA"*, se utiliza los diseños experimentales como método estadístico para evaluar tres factores: pH, Granulometría y reactivos obteniendo que al dosificar con Z – 6 al 10% y espumante Mt – 346 al 100%, con dosis de 20 a 26 cc/min; pH = 8 – 8.5; Granulometría de 50 – 52 % malla -200. Obtiene una recuperación de 90 a 93 %. Destacándose el apoyo de los diseños experimentales en la determinación de los parámetros de cada factor evaluado.

Manzaneda (2000), en su trabajo de tesis de posgrado *Aplicación de microscopia en el Procesamiento de Minerales por Flotación*. Nos explica que las herramientas de regresión estadística y microscopia óptica son actualmente poco difundidas, pero se espera que a medida que se conozcan más aplicaciones se construyan nuevos enlaces en el puente lingüístico.

López (2008) en el trabajo *Caracterización y optimización de flotación a nivel laboratorio del mineral de cobre de la minera Candelaria* donde con la aplicación de diseños experimentales se logra incrementar la recuperación del cobre de 87 %, obtenida en la planta, a 92.57 % a nivel laboratorio; optimizando las variables

principales de mayor influencia como: grado de molienda, incrementando a 94 % - malla 100 Tyler, y grado de agitación, reduciendo a 915 rpm. Las otras variables se mantuvieron en sus puntos medios, en vista que no tenían efectos significativos sobre la recuperación de cobre.

Galbiati (2000) En su trabajo Diseño de experimentos factoriales aplicados a procesos industriales, da a conocer que es posible realizar el experimento con menos combinaciones de tratamientos que las indicadas arriba. En tal caso se habla de un diseño factorial fraccionado. El precio que se paga por este ahorro es el hecho que algunos contrastes miden no un solo efecto (efecto principal o interacción), sino más de uno a la vez.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ESTADÍSTICAS GENERALES

Como nuestro problema básicamente es optimizar el proceso de cianuración, presentamos a continuación datos estadísticos del funcionamiento de la planta de beneficio de la compañía minera Titán del Perú, respecto a la sección de molienda y cianuración de los últimos seis años (2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016).

3.1.1. Cuadros estadísticos

- Datos estadísticos en el año 2011.
- Datos estadísticos en el año 2012.
- Datos estadísticos en el año 2013
- Datos estadísticos en el año 2014.
- Datos estadísticos en el año 2015.
- Datos estadísticos en el año 2016.

Tabla 10: Cuadro de control de planta 2011

Mes	TMS	Ley Au gr/TM	densidad o-f gr/l	Au O/F		Au T-9		O/F		T-9		Tiempo de residencia	C* kg/M ³						
				Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	% disolución	% Adsorción	% disolución	% Adsorción			%CN (O/f)	%CN (A-9)	%malla 200			
Enero	5,968	17.70	1.297	2.56	7.30	1.31	4.45	85.51	15.91	92.62	50.24	0.155	0.096	6.82	4.34	88.58	47.30	17.95	
Febrero	6,252	17.59	1.284	2.62	7.50	1.25	4.35	85.10	9.10	92.88	48.75	0.144	0.089	4.96	4.38	87.43	43.15	17.40	
Marzo	6,585	16.40	1.287	3.24	6.49	1.34	4.05	80.26	10.68	91.86	48.41	0.151	0.092	5.71	3.69	87.36	44.37	17.32	
Abril	4,523	17.17	1.270	2.88	6.30	1.13	4.18	83.23	13.77	93.44	47.34	0.143	0.074	6.29	4.22	85.92	46.62	16.60	
Mayo	6,129	15.82	1.286	3.74	5.90	1.33	3.91	76.38	10.43	91.58	47.93	0.159	0.086	5.82	3.67	87.76	45.91	16.90	
Junio	6,274	17.00	1.291	2.44	6.88	1.18	3.47	85.62	15.63	93.08	57.80	0.160	0.090	5.06	3.67	88.49	44.10	17.76	
Julio	7,021	16.99	1.290	3.87	6.13	1.35	3.94	77.20	14.64	92.04	51.84	0.167	0.089	5.21	3.3	88.17	42.10	17.59	
Agosto	6,499	17.91	1.285	3.85	6.09	1.54	4.07	78.52	18.25	91.38	51.05	0.139	0.088	5.28	3.2	87.28	41.69	17.13	
Setiembre	6,476	17.68	1.286	5.65	5.35	1.57	3.67	68.05	14.68	91.13	54.51	0.142	0.085	6.73	3.3	87.55	42.00	17.22	
Octubre	6,203	16.41	1.284	4.13	5.38	1.32	3.49	74.80	16.42	91.96	54.11	0.142	0.076	6.46	3.4	87.88	45.10	17.27	
Noviembre	6,561	16.03	1.290	4.54	5.01	1.57	3.57	71.69	17.30	90.19	51.45	0.144	0.071	6.69	3.1	87.24	40.45	16.48	
Diciembre	6,915	15.86	1.288	4.98	4.72	1.55	4.07	68.62	16.48	90.23	45.31	0.141	0.071	6.50	3.9	88.11	42.43	15.14	
Total	75,404																		
Promedio		16.86	1.287	3.75	6.06	1.38	3.93	77.75	14.49	91.82	50.83	0.149	0.084	5.95	3.67	87.65	43.77	17.06	
2011	75,404	16.86	1.287	3.75	6.06	1.38	3.93	77.75	14.49	91.82	50.83	0.149	0.084	5.95	3.67	87.65	43.77	17.10	

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

Tabla 11: Cuadro de control de planta 2012

Mes	TMS	Ley Au gr/TM	densidad o-f gr/l	Au O/F		Au T -9		O/F		T -9		C* kg/M3	Tiempo de residencia						
				Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	% disolución	% Adsorción	% disolución	% Adsorción			%CN (O/f)	% CN (A-9)				
																CNNa KTM	Soda KTM	%malla -200	
Enero	6,532	14.90	1.290	4.18	4.89	1.20	3.72	71.97	15.08	91.95	48.70	0.143	0.072	6.38	4.08	88.35	43.73	17.91	
Febrero	6,287	15.49	1.290	6.11	4.40	1.81	3.65	60.57	11.17	88.30	47.31	0.139	0.072	5.49	3.80	88.64	43.77	17.55	
Marzo	6,801	15.32	1.290	4.54	5.04	1.50	3.67	70.36	13.18	90.21	48.55	0.144	0.078	4.77	3.59	88.98	43.35	18.30	
Abril	3,873	16.20	1.288	3.91	6.14	1.90	3.71	75.87	9.51	88.26	48.16	0.145	0.079	5.11	4.11	89.24	50.51	18.17	
Mayo	3,889	16.43	1.272	3.87	6.10	1.40	3.97	76.44	6.64	91.46	46.10	0.148	0.072	5.02	3.76	88.00	42.70	18.11	
Junio	5,279	16.43	1.277	5.89	4.89	2.42	4.50	64.12	9.53	85.24	35.05	0.171	0.084	5.65	4.46	88.94	42.80	18.42	
Julio	6,359	17.44	1.281	6.30	5.06	2.66	3.93	63.89	11.58	84.74	44.10	0.153	0.085	4.69	3.5	89.77	42.04	19.46	
Agosto	6,011	16.26	1.288	6.42	4.70	2.36	3.52	60.49	9.91	85.49	47.63	0.127	0.068	3.81	3.6	89.56	45.60	19.44	
Setiembre	6,057	15.22	1.288	7.00	3.53	2.74	3.40	53.97	13.22	82.01	42.75	0.127	0.062	3.88	3.3	88.90	45.10	19.47	
Octubre	5,634	16.17	1.292	7.11	3.93	2.91	3.55	56.05	14.19	82.00	44.26	0.125	0.052	4.21	3.8	88.95	43.99	19.18	
Noviembre	5,500	16.32	1.302	6.78	4.74	2.39	3.97	58.42	10.46	85.35	45.11	0.122	0.049	4.17	3.8	89.85	52.19	19.40	
Diciembre	6,840	16.76	1.305	6.65	5.05	2.78	4.24	60.31	11.14	83.43	42.10	0.113	0.044	3.96	3.4	89.54	46.91	19.66	
Total	69,064																		
Promedio		16.05	1.289	5.82	4.81	2.19	3.81	63.75	11.51	86.35	44.93	0.137	0.068	4.75	3.74	89.06	45.22	18.76	
2012	49,443	16.05	1.289	5.82	4.81	2.19	3.81	63.75	11.51	86.35	44.93	0.137	0.068	4.75	3.74	89.06	45.22	18.76	

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

Tabla 12: Cuadro de control de planta 2013

Mes	TMS	Ley Au gr/TM	densidad o-f gr/l	Au O/F		Au T - 9		O/F		T - 9			Tiempo de residencia	C* kg/Mt3					
				Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	% disolución	% Adsorción	% disolución	% Adsorción	% CN (O/f)			% CN (A-9)	CNNa KTM	Soda KTM	%malla -200	
Enero	6,010	14.73	1.313	6.25	4.33	2.74	3.66	57.61	11.13	81.42	42.16	0.140	0.059	4.60	3.32	91.05	51.02	20.10	
Febrero	4,777	15.74	1.307	6.33	3.88	3.34	3.52	59.77	19.80	78.80	42.52	0.136	0.066	4.76	3.56	90.45	54.26	19.73	
Marzo	6,656	15.56	1.296	5.02	5.13	1.68	4.15	67.77	11.78	89.17	43.93	0.127	0.058	3.83	3.57	86.97	46.49	19.09	
Abril	7,101	15.47	1.295	4.45	5.53	2.19	4.12	71.24	10.49	85.84	40.63	0.130	0.055	3.49	3.02	85.46	42.14	19.35	
Mayo	7,290	14.78	1.290	5.00	4.61	2.57	3.46	66.21	12.01	82.62	41.96	0.127	0.052	3.93	2.50	82.78	40.30	20.28	
Junio	7,720	14.71	1.291	5.49	4.15	2.18	3.12	62.67	13.81	85.17	48.43	0.121	0.056	3.08	2.09	79.87	38.21	23.42	
Julio	7,975	15.08	1.292	5.81	3.86	2.61	3.76	61.45	17.31	82.68	39.75	0.123	0.057	3.06	2.6	79.66	38.33	20.05	
Agosto	7,862	14.44	1.289	4.80	4.12	2.06	3.68	66.72	17.02	85.74	41.33	0.117	0.055	3.05	3.2	81.60	37.30	21.54	
Setiembre	8,051	14.18	1.307	5.08	4.16	2.24	3.75	64.16	16.55	84.20	41.37	0.125	0.053	3.25	2.5	81.61	38.61	21.15	
Octubre	8,309	14.35	1.296	5.96	0.47	0.65	0.79	58.48	52.97	95.48	86.11	0.117	0.053	3.19	2.7	83.10	37.31	19.33	
Noviembre	6,909	16.36	1.291	7.13	4.54	0.21	4.28	56.43	8.42	98.71	53.48	0.114	0.050	3.51	3.1	81.89	41.25	18.90	
Diciembre	8,021	17.07	1.293	6.20	4.74	2.59	4.67	63.67	16.12	84.86	38.04	0.096	0.040	3.21	2.4	81.68	37.05	19.46	
Total	86,682																		
promedio		15.18	1.296	5.60	4.08	2.05	3.55	63.12	17.55	86.52	46.89	0.122	0.054	3.51	2.82	83.84	41.85	20.72	

PROMEDIO	86,682	15.18	1.296	5.60	4.08	2.05	3.55	63.12	17.55	86.52	46.89	0.122	0.054	3.51	2.82	83.84	41.85	20.72
----------	--------	-------	-------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

Tabla 13: Cuadro de control de planta 2014

Mes	TMS	Ley Au gr/TM	densidad o-f gr/l	Au O/F		Au T - 9		O/F		T - 9		% CN (O/f)*TMS (A-9)	% CN (A-0)*TMS	%malla -200	Tiempo de residencia	C* kg/Mt3
				Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	% disolución	% Adsorción	% disolución	% Adsorción					
Enero	6,764	15.82	1.298	6.74	4.20	3.00	4.03	57.39	12.74	81.03	38.14	0.100	500.57	83.61	44.77	20.02
Febrero	6,456	17.75	1.294	6.54	4.96	1.01	3.63	63.17	15.35	94.30	59.28	0.102	1891.51	81.16	43.19	18.99
Marzo	6,211	18.62	1.295	6.31	3.79	2.89	3.49	66.08	31.40	84.50	52.60	0.103	459.62	81.80	45.12	19.04
Abril	4,507	15.26	1.288	6.31	3.79	2.89	3.49	58.62	15.11	81.08	41.07	0.084	270.44	78.37	45.58	18.70
Mayo	1,244	24.72	1.275	8.35	8.80	3.66	5.93	66.22	0.23	85.20	40.73	0.104	129.35	77.61	67.49	16.67
Junio	2,890	18.16	1.283	5.38	6.28	1.90	4.55	70.39	8.53	89.52	44.69	0.091	263.00	77.59	66.44	17.32
Julio	4,849	16.69	1.290	5.16	5.81	1.96	3.55	69.09	8.59	88.29	51.28	0.085	412.13	75.52	60.85	19.02
Agosto	5,412	15.49	1.294	5.64	5.17	2.34	3.49	63.59	6.48	84.87	46.33	0.090	487.10	76.36	57.09	17.32
Setiembre	4,202	14.30	1.302	5.05	4.92	1.86	3.60	64.67	7.69	87.00	45.38	0.077	323.58	73.01	65.79	18.94
Octubre	2,948	14.32	1.293	4.72	4.65	2.07	3.11	67.04	11.17	85.55	48.24	0.080	235.81	73.41	60.61	19.21
Noviembre	4,130	16.19	1.292	4.82	5.56	2.25	3.79	70.21	10.92	86.09	45.71	0.088	363.44	76.44	57.53	19.19
Diciembre	4,403	14.93	1.290	4.96	5.34	2.25	3.77	66.80	4.68	84.95	41.05	0.083	365.44	77.78	58.08	19.71
Totales	54,016												4933.14			
Promedio		16.46	1.293	5.81	4.96	2.28	3.73	64.70	12.89	86.15	47.17	0.091		77.72	56.05	18.68
PROMEDIO	54,016	16.46	1.293	5.81	4.96	2.28	3.73	64.70	12.89	86.15	47.17	0.091		77.72	56.05	18.68

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

Tabla 14: Cuadro de control de planta 2015

AÑO	TMS	Ley Au gr/TM	densidad o-f gr/l	Au O/F		Au T - 9		O/F		T-9		% CN (A-9)	% CN (O/f)	% CN O/F)*TMS	%CN (A-0)* TMS	%malla -200	Tiempo de residencia	C* kg/Mt3
				Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lit)	Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lit)	% disolución	% Adsorción	% disolución	% Adsorción							
Enero	3,319	15.17	1.291	4.40	5.92	4.06	4.06	70.96	3.54	89.35	43.12	0.100	0.030	331.86	232.30	76.65	65.22	19.25
Febrero	3,493	14.95	1.289	4.63	5.30	3.75	3.75	69.03	7.27	88.34	44.69	0.091	0.018	317.83	195.59	81.01	64.35	19.18
Marzo	4,378	15.38	1.286	4.27	6.14	4.03	4.03	72.25	1.71	90.13	43.81	0.103	0.034	450.94	323.97	81.80	64.04	19.36
Abril	5,041	15.81	1.293	5.89	5.44	4.28	4.28	62.75	3.73	88.97	42.56	0.102	0.044	514.17	373.03	76.34	56.94	20.35
Mayo	5,977	15.52	1.302	4.10	5.66	4.37	4.37	73.56	13.28	89.67	43.11	0.114	0.053	681.42	490.14	77.00	49.46	20.86
Junio	6,384	15.40	1.305	3.28	6.34	3.87	3.87	78.72	11.62	90.78	49.74	0.103	0.043	657.59	504.37	76.62	46.83	27.63
Julio	4,832	17.18	1.304	4.29	6.74	2.78	2.78	75.03	10.65	90.81	64.29	0.102	0.037	492.89	343.1	78.65	48.87	37.93
Agosto	3,348	19.31	1.303	5.58	7.05	3.87	3.87	71.09	10.89	89.75	56.73	0.110	0.028	368.33	234.4	73.58	67.14	35.98
Setiembre	3,509	17.19	1.302	4.45	5.98	2.74	2.74	74.12	16.56	91.06	64.66	0.106	0.021	371.97	231.6	74.27	63.87	35.29
Octubre	5,694	17.45	1.304	3.46	7.05	3.63	3.63	80.19	14.02	90.62	56.55	0.097	0.024	562.35	370.1	80.91	50.52	35.11
Noviembre	5,445	17.25	1.306	3.98	6.86	3.69	3.69	76.95	12.31	90.00	55.28	0.100	0.020	544.51	332.1	81.36	49.40	35.56
Diciembre	4,196	17.87	1.299	4.85	7.13	3.77	3.77	72.86	6.13	90.94	55.67	0.094	0.021	394.42	243.4	74.72	60.22	36.68
Totales	55,617													5678.26	3874.12			
Promedio		16.49	1.299	4.34	6.31	3.77	3.77	73.68	9.75	90.11	51.94	0.102	0.032			77.74	57.24	28.60
PROMEDIO	55,617	16.49	1.299	4.34	6.31	3.77	3.77	73.68	9.75	90.11	51.94	0.102	0.032			77.74	57.24	28.60

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

Tabla 15: Cuadro de control de planta 2016

Mes	TMS	Ley Au gr/TM	densidad o-f gr/l	O/F		T-9		O/F		T-9		866		C* kg/MK3			
				Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	Relave Solido (gr/tm)	Relave Liquido (mg/lt)	% disolución	% Adsorción	%CN (O/f)	% CN (A-9)	%CN (O/F)*T MS	%CN (A-0)*TMS		%malla -200	Tiempo de residencia	
Enero	3,417	20.67	1.301	4.69	8.37	1.46	4.60	77.33	7.73	92.93	54.65	0.108	0.111	225.52	76.74	55.29	40.12
Febrero	3,648	27.82	1.307	6.67	9.61	2.40	4.85	76.03	18.08	91.39	62.15	0.100	0.018	233.47	77.72	52.86	39.39
Marzo	3,886	30.11	1.299	6.94	11.03	2.76	5.39	76.97	13.49	90.85	59.84	0.093	0.022	229.27	76.62	55.92	40.07
Abril	2,854	37.18	1.292	6.39	14.10	2.52	5.19	82.81	15.11	93.23	68.28	0.105	0.017	185.51	76.64	70.94	39.58
Mayo	1,981	29.42	1.296	6.34	12.68	2.70	5.13	78.44	2.67	90.81	60.13	0.101	0.015	130.73	77.47	78.87	40.83
Junio	2,150	34.40	1.292	8.81	13.23	3.11	7.02	74.40	5.65	90.97	54.48	0.102	0.124	133.30	76.64	85.10	40.58
Julio	3,829	33.63	1.304	6.70	13.30	2.69	6.56	80.07	12.72	92.00	58.76	0.097	0.019	237.4	80.74	70.68	44.87
Agosto	3,852	28.35	1.306	10.14	7.53	4.26	5.62	64.25	19.37	84.98	51.51	0.098	0.019	234.9	85.70	62.85	45.27
Setiembre	3,295	31.45	1.300	8.42	11.14	3.74	6.39	73.24	12.03	88.13	53.01	0.089	0.019	168.0	79.93	75.15	45.03
Octubre	3,066	33.59	1.299	8.02	14.06	2.61	6.33	76.13	3.61	92.23	59.57	0.100	0.017	184.0	79.98	74.11	44.87
Noviembre	2,213	31.24	1.297	7.16	11.99	3.23	5.77	77.10	9.98	89.66	57.38	0.111	0.016	150.5	78.98	75.34	43.11
Diciembre	3,438	39.67	1.302	8.74	14.98	3.41	8.44	77.97	13.11	91.40	54.84	0.112	0.018	226.9	81.39	81.07	44.26
Total	37,629													3793.73			
Promedio	3,136	31.30	1.300	7.44	11.66	2.91	5.94	76.23	11.88	90.70	57.93	0.101	0.033		79.04	69.85	42.33
PROMEDIO	37,629	31.30	1.300	7.44	11.66	2.91	5.94	76.23	11.88	90.70	57.93	0.101	0.033		79.04	69.85	42.33

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

3.1.2. Resumen de data estadística

Tabla 16: Resumen parámetros de Planta

Año	TMS	Agua Mol. (m3)	Ley Au gr/TM	Agua total m3	densidad o-f gr/l	L/S	Relave solido g/TM	Relave liquido g/m ³	Relave total gr/TM
2011	75,40	21,93	16.86	132,72	1.29	1.76	0.787	0.035	0.849
2012	49,44	14,31	16.05	120,42	1.29	1.74	0.926	0.036	0.989
2013	86,68	24,90	15.18	146,88	1.30	1.69	0.864	0.107	0.971
2014	54,01	15,70	16.46	92,85	1.29	1.72	0.815	0.060	0.918
2015	55,61	16,08	16.49	92,94	1.30	1.67	0.867	0.050	0.950
2016	37,62	11,12	31.30	64,97	1.300	1.73	1.425	0.044	1.501
TOTAL	358,79	104,07		650,80					
PROMEDIO			17.74		1.294	1.72	0.908	0.059	0.992

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

Tabla 17: Resumen parámetros de Planta.

Año	%CN (O/f)	% CN (A-0)	% CN (A-9)	CN Na KTM	Soda KTM	%malla -200	dias operados	Tiempo de residencia	Vol. Liq	C* kg/Mt3	Kgs C*
2011	0.149	0.137	0.084	5.95	3.67	88	28	44	551	17	9,426
2012	0.137	0.100	0.068	4.75	3.74	89	26	45	551	19	10,329
2013	0.122	0.087	0.054	3.51	2.82	84	30	42	546	20	11,066
2014	0.091	0.087	0.027	3.52	2.88	78	24	56	548	19	10,247
2015	0.102	0.070	0.032	3.49	2.17	78	26	58	542	29	15,475
2016	0.101	0.062	0.033	4.36	2.14	79	22	70	549	42	23,236
PROMEDIO	0.120	0.094	0.053	4.28	2.96	83	26	52	548	24	13,296

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

Tabla 18: Resumen parámetros de Planta.

Año	O/F		T-9		O/F		T-9	
	Sol	Liq	Sol	Liq	% disol	% Adsor	% disol	% Adsor
2011	3.75	6.06	1.38	3.93	77.75	14.49	91.82	50.83
2012	5.82	4.81	2.19	3.81	63.75	11.51	86.35	44.93
2013	5.60	4.08	2.05	3.55	63.12	17.55	86.52	46.89
2014	5.81	4.96	2.28	3.73	64.70	12.89	86.15	47.17
2015	4.34	6.31	1.63	3.77	73.68	9.75	90.11	51.94
2016	7.44	11.66	2.91	5.94	76.23	11.88	90.70	57.93
PROMEDIO	5.27	5.88	2.07	4.12	77.75	14.49	88.61	49.95

Fuente: Compañía Minera Titán del Perú

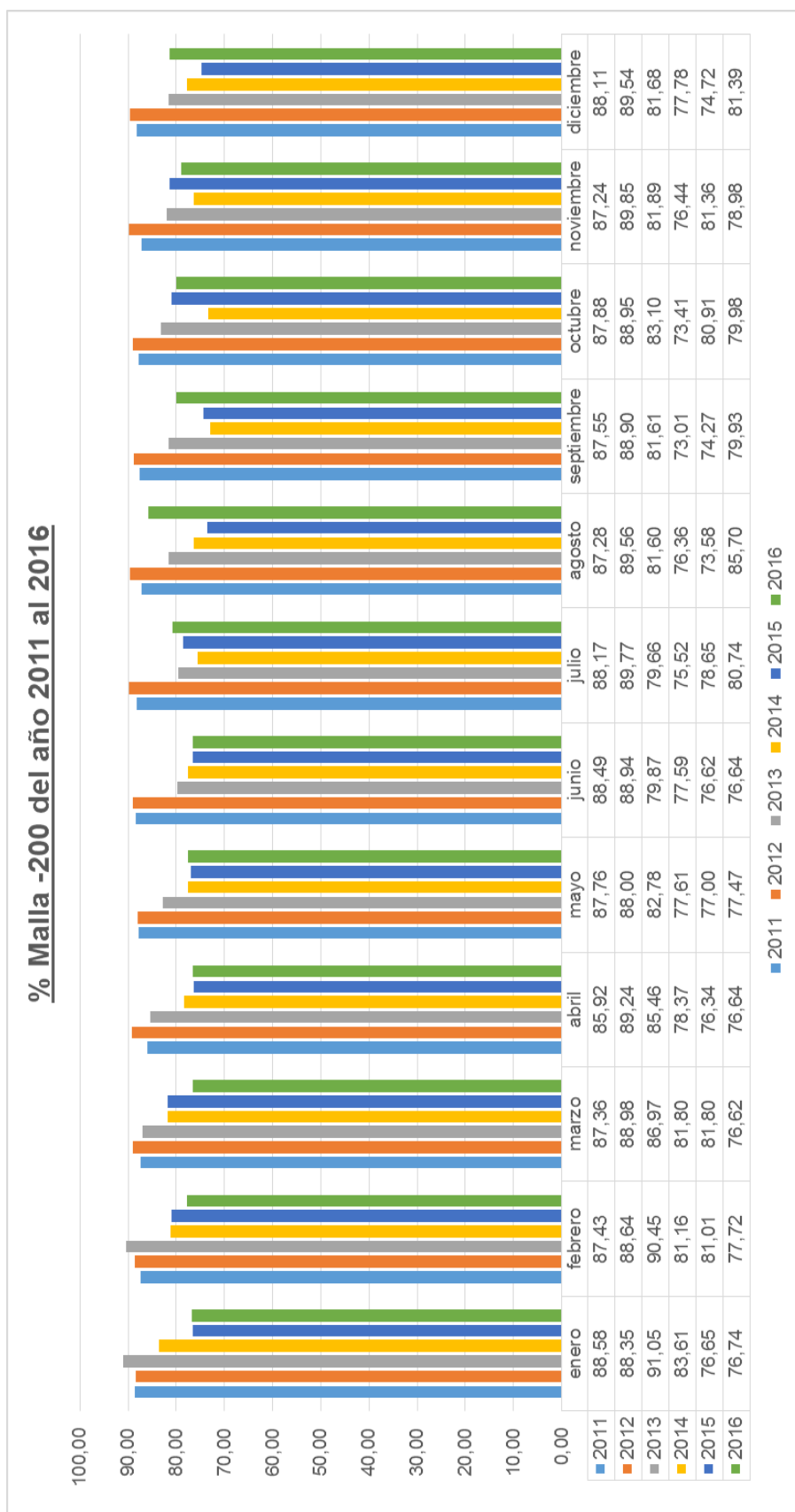


Figura 6: % Malla -200 del año 2011 al 2016

Fuente: Elaboración Propia.

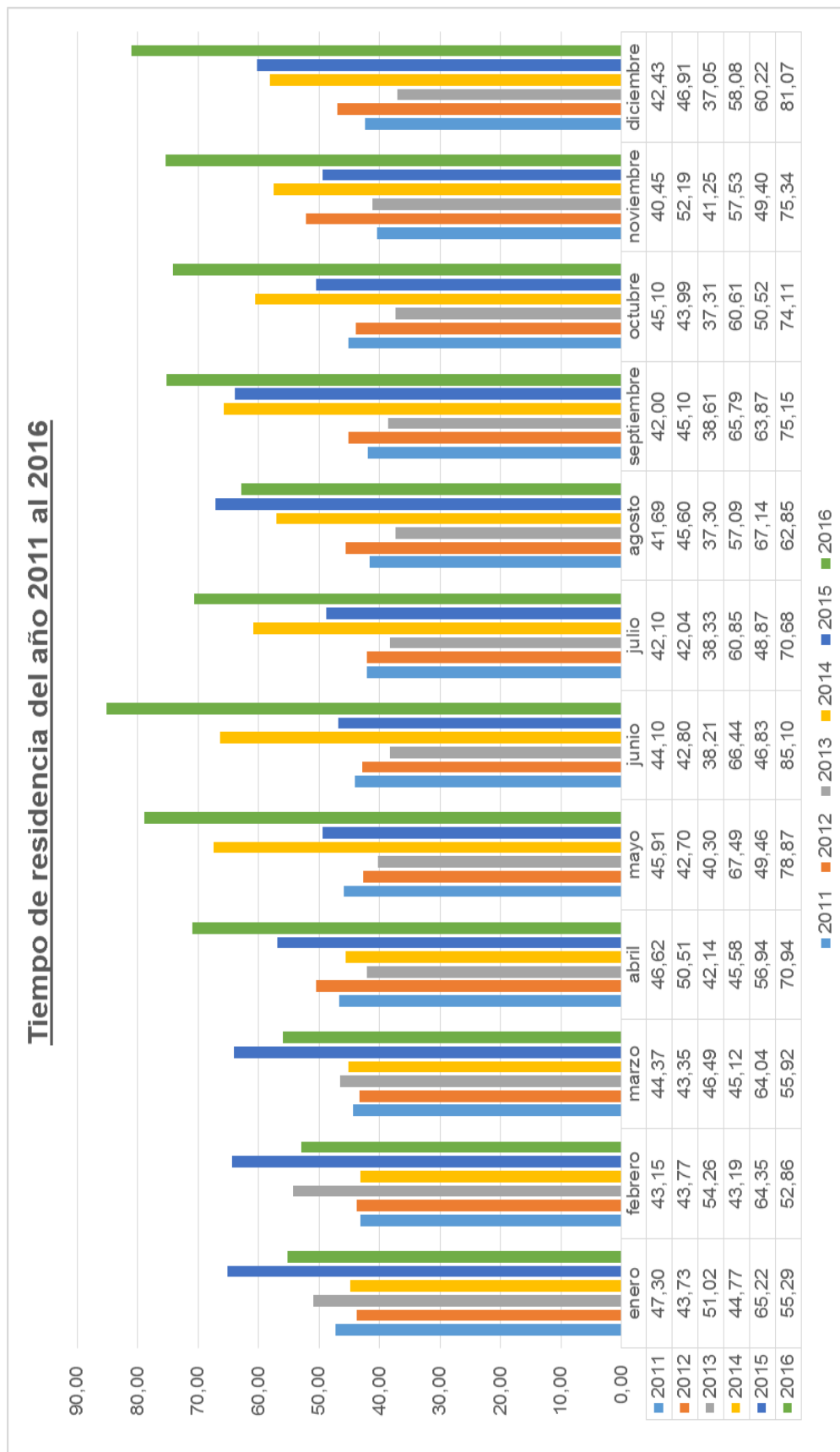


Figura 7: Tiempo de residencia del año 2011 al 2016
Fuente: Elaboración Propia.

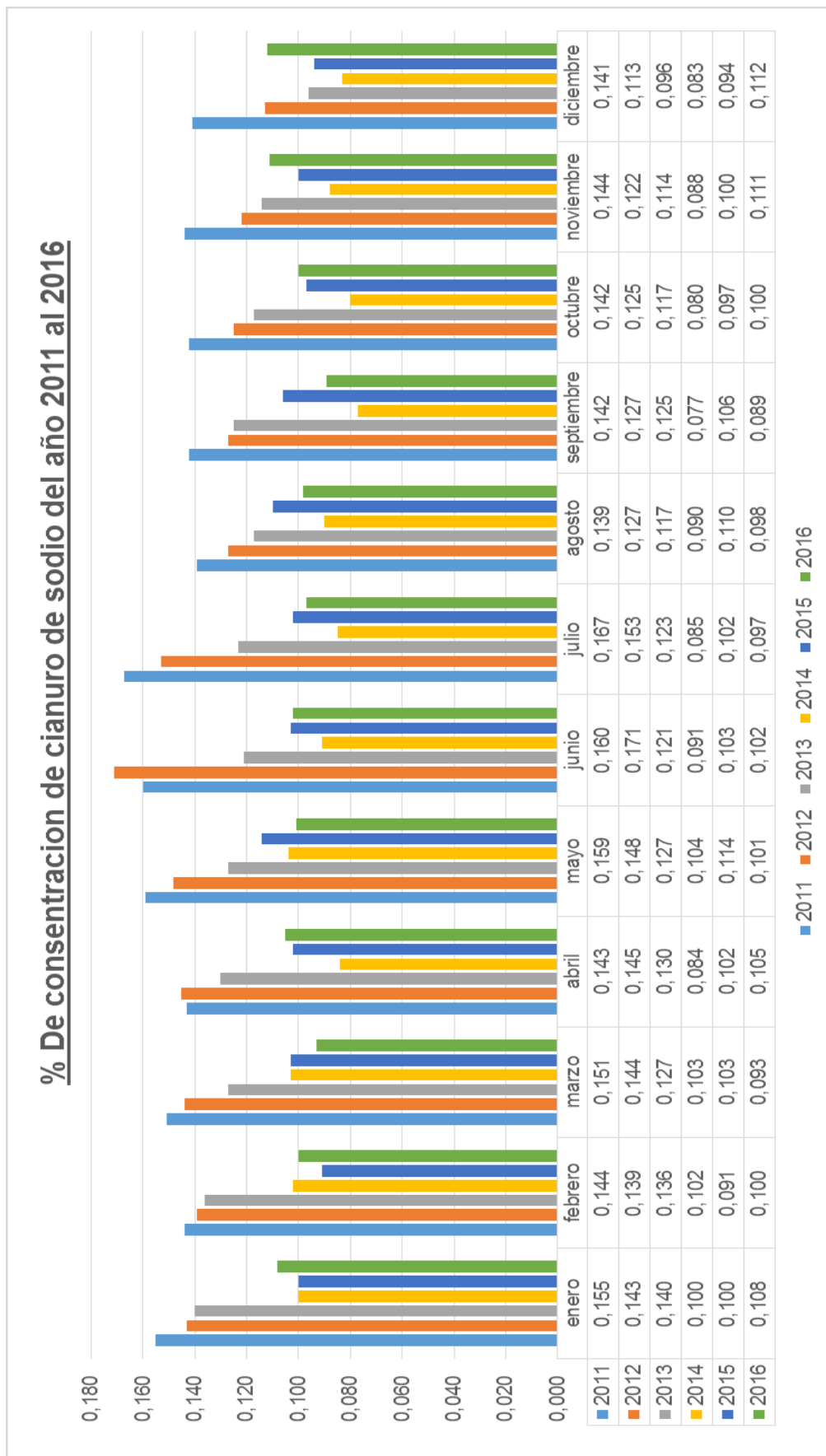


Figura 8: Concentración de cianuro de sodio del año 2011 al 2016
Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3. Análisis de cuadros de control de planta y gráficos

En los cuadros de control de planta anual se puede observar la variación de las diferentes variables en cuanto a seis años anteriores a nuestra investigación para poder obtener una idea de los rangos en los cuales han estado trabajando estas variables, y así tomar los correctos rangos para la realización de nuestras pruebas experimentales. Cabe recalcar que la elección de un rango amplio o menor puede que una variable sea o no significativa por lo cual si no se tiene una data estadística se realizaran pruebas preliminares.

Se observa un resumen de la variación de las variables % de granulometría, concentración de cianuro y tiempo de residencia.

Granulometría

- 2011: entre 85.92 %m-200 y 88.58 %m-200.
- 2012: entre 88.00 %m-200 y 89.85 %m-200.
- 2013: entre 79.66 %m-200 y 91.05 %m-200.
- 2014: entre 73.01 %m-200 y 81.80 %m-200.
- 2015: entre 73.58 %m-200 y 81.80 %m-200.
- 2016: entre 76.62 %m-200 y 85.70 %m-200.

Concentración de cianuro de sodio

- 2011: entre 0.139 % CN Y 0.167 % CN.
- 2012: entre 0.113 % CN y 0.171 % CN.

- 2013: entre 0.096 % CN y 0.140 % CN.
- 2014: entre 0.077 % CN y 0.104 % CN.
- 2015: entre 0.091 % CN y 0.114 % CN.
- 2016: entre 0.089 % CN y 0.112 % CN.

Tiempo de Residencia

- 2011: entre 40.45 horas y 47.30 horas.
- 2012: entre 42.04 horas y 52.19 horas.
- 2013: entre 37.06 horas y 54.26 horas.
- 2014: entre 43.19 horas y 67.49 horas.
- 2015: entre 46.89 horas y 67.14 horas.
- 2016: entre 52.86 horas y 85.10 horas.

Con estos datos estadísticos fijamos los niveles (rangos) adecuados para la realización de pruebas de selección y optimización quedando de esta manera.

Granulometría:

- Nivel mayor: 85 %m-200
- Nivel menor: 72 %m-200

Concentración de cianuro

- Nivel mayor: 0.171 % CNNa
- Nivel menor: 0.077 % CNNa

Tiempo de residencia

- Nivel mayor: 60 horas.
- Nivel menor: 36 horas

3.2. MATERIA PRIMA

3.2.1. Composición química

Como materia prima tenemos Oro, Electrum, Calcopirita, Covelita, Calcocita, Esfalerita, Galena, Pirita, Arsenopirita, Pirrotita, Magnetita, Hematita, Limonita, Goethita, Gangas.

Tabla 19: Composición Química

Electrum	AuAg
Calcopirita	CuFeS ₂
Covelita	CuS
Calcocita	Cu ₂ S
Esfalerita	ZnS
Galena	PbS
Pirita	FeS ₂
Arsenopirita	AsFeS
Pirrotita	Fe _{1-x} S
Magnetita	Fe ₃ O ₄
Hematita	Fe ₂ O ₃
Limonita	mFeO ₂ .nH ₂ O
/Goethita	α-Fe ³⁺ O(OH)
Oro	Au ⁰

Fuente: Investigaciones metalúrgicas.

3.2.2. Análisis del estudio minerográfico

Considerando que era necesario contar con la mayor información técnica posible, para cumplir con el objetivo propuesto; la empresa por iniciativa nuestra, encargó al laboratorio Chapi, el estudio minerográfico de una serie de muestras

del mineral a procesar por planta de cianuración de una compañía minera titán del Perú.

Con la finalidad de obtener el mayor provecho de los estudios minerográficos, fue necesario supervisar personalmente la preparación de la serie de muestras que iban a ser observadas al microscopio, las cuales se realizaron con el mayor cuidado, para minimizar el error por muestreo y garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

El peso total de nuestra muestra empleada en este estudio fue de 5.000 Kgs de mineral, la misma que se obtuvo representativamente de un lote de 50 Kgs de mineral y que luego se clasificó por mallas para la elaboración de las briquetas que iban a ser analizadas.

3.2.3. Análisis del informe minerográfico

Los informes minerográficos presentan como resultados, valores cualitativos y referenciales que en muchos casos no se ajustan a la realidad, debido a que son estudios de muestras no representativas.

Previendo esta posibilidad, fue que se tomaron muchas precauciones en la preparación de las muestras, y ahora podemos analizar estos resultados con toda confiabilidad en forma cuantitativa, siendo esta forma de presentación mucho más objetiva.

En resumen, lo que podemos establecer del estudio minero gráfico, es que las especies, que tienen mayor influencia en el mineral son: pirita, goethita, pirrotita, esfalerita, magnetita, arsenopirita, calcocita, covelita, calcopirita, oro, electrum

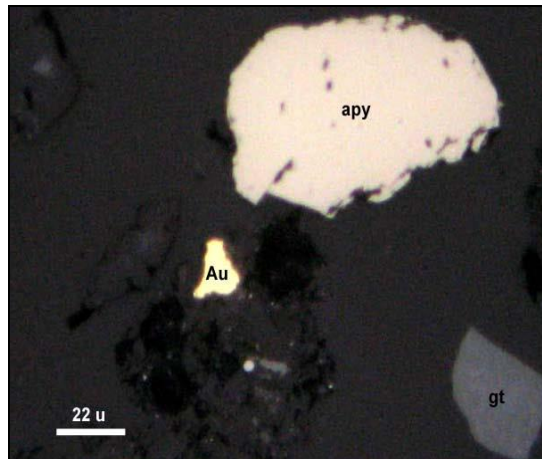


Figura 9: Partículas libres de oro (Au), arsenopirita (apy) y goethita (gt). 200X.

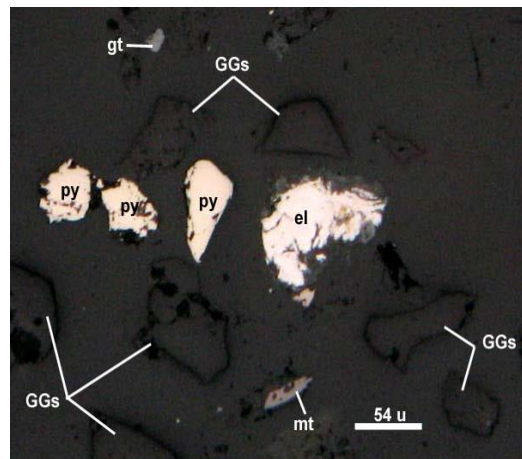


Figura 10: Partículas libres de electrum (el), pirita (py), goethita (gt) y gangas (GGs). 100X.

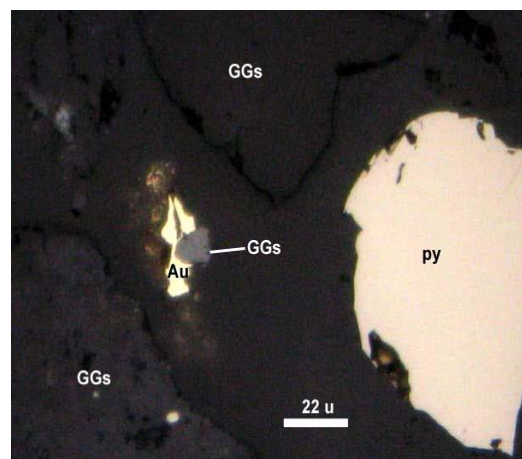


Figura 11: Partícula entrelazada de oro (Au) con la ganga (GGs) y partículas libres de pirita (py) y gangas (GGs). 200X.

3.2.4. Materia prima

Se realizó pruebas experimentales de cianuración a nivel laboratorio, para esto se homogenizo una muestra de la cabeza composito de planta CIL unos 200 kilos siendo esta una muestra representativa de la operación.

Tabla 20: Procedencias comunes

N° Lote	Procedencia	Tipo de mineral	Planta	TMS
124188	Lluta	Oxido	CIANURACIÓN	20.66
124240	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	4.32
124273	Chaparra	Sulfuro	CIANURACIÓN	6.94
124274	Pullo	Sulfuro	CIANURACIÓN	0.94
124275	Pullo	Sulfuro	CIANURACIÓN	5.57
124314	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	5.22
124317	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	0.89
124318	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	1.44
124319	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	1.85
124320	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	1.76
124321	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	0.55
124322	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	1.11
124323	Chaparra	Oxido	CIANURACIÓN	1.31
124328	Secocha	Oxido	CIANURACIÓN	6.11
124332	Secocha	Sulfuro	CIANURACIÓN	6.6
124333	Secocha	Sulfuro	CIANURACIÓN	5.4
124334	Secocha	Sulfuro	CIANURACIÓN	5.43
124339	Secocha	Oxido	CIANURACIÓN	9.4
124341	Puno	Oxido	CIANURACIÓN	5.22
124342	Puno	Oxido	CIANURACIÓN	10.01
124343	Puno	Oxido	CIANURACIÓN	5.13
124351	Majes	Oxido	CIANURACIÓN	12.82
124352	Majes	Oxido	CIANURACIÓN	11.87
124353	Majes	Oxido	CIANURACIÓN	9.74
124356	Untuca	Oxido	CIANURACIÓN	0.61
124358	Untuca	Sulfuro	CIANURACIÓN	0.57

124359	Untuca	Sulfuro	CIANURACIÓN	1.22
124360	Untuca	Sulfuro	CIANURACIÓN	1.93
124361	Untuca	Oxido	CIANURACIÓN	0.37
124362	Untuca	Sulfuro	CIANURACIÓN	2.65
124363	Jaqui	Oxido	CIANURACIÓN	0.09
124366	Jaqui	Oxido	CIANURACIÓN	2.64
124367	Españolita	Oxido	CIANURACIÓN	1.36
124370	Españolita	Oxido	CIANURACIÓN	1.13
124371	Españolita	Oxido	CIANURACIÓN	4.68
124372	Sifuentes	Oxido	CIANURACIÓN	5.72
124373	Secocha	Oxido	CIANURACIÓN	1.08
124374	Secocha	Oxido	CIANURACIÓN	9.25
124375	Secocha	Oxido	CIANURACIÓN	2.63
124376	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	10.43
124377	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	1.58
124378	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	1.74
124379	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	1.11
124380	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	1.84
124381	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	0.53
124382	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	1.46
124383	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	5.58
124384	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	7.27
124386	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	2.41
124387	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	7.12
124390	Trujillo	Sulfuro	CIANURACIÓN	3.07
124392	Secocha	Sulfuro	CIANURACIÓN	3.31
124393	Secocha	Oxido	CIANURACIÓN	5.33
124394	Secocha	Oxido	CIANURACIÓN	8.26
124395	Secocha	Sulfuro	CIANURACIÓN	8.72
124407	San cristobal	Oxido	CIANURACIÓN	15.96
TOTAL				261.94

Fuente: Elaboración propia.

Nos permitirá conocer el comportamiento de este composito de minerales con procedencias comunes, para fijar los parámetros óptimos de la cianuración a nivel laboratorio en planta Minera Titán Del Perú S.R.L. y así poder proyectar

su aplicación industrialmente en la mencionada planta, para el beneficio de la planta y la región.

Tabla 21: Leyes de Cabeza

Detalle	Peso	Ley			
	%	Au Gr/TMS	Ag Oz/TC	Cu %	Fe %
Cabeza CIL	100	32.93	4.09	0.10	12.33

Fuente: Laboratorio químico Compañía Minera Titán.

3.3. MÉTODOLÓGIA Y PROCEDIMIENTOS

Los métodos serán exclusivamente experimentales y los procedimientos de acuerdo a las técnicas más avanzadas sobre cianuración de minerales.

Para que el presente trabajo de investigación, tuvieran las mismas condiciones de operación, ya sean climáticas como técnicas, éste se realizó en el laboratorio metalúrgico que la compañía minera tiene instalada en su asiento minero, en chala Las pruebas de cianuración que se realizaron en dicho laboratorio, fueron lixiviación por agitación. Empleando materia prima (mineral de cabeza), agua, reactivos, etc. De la misma fuente que ingresaba a la planta de beneficio. Aunque estas condiciones no influyen en forma trascendental, siempre serán resultados más reales que si se realizaran en estas condiciones. Empezando con la revisión de la data estadística para fijar los rangos adecuados para la granulometría, concentración de cianuro y el tiempo de residencia. Se estudia comparativamente el efecto de las siguientes variables. Se aplicará un método de diseño experimental para lograr determinar los parámetros óptimos de operación en los minerales de oro.

Cabe mencionar que el laboratorio químico a través de su Ing. Responsable ha prestado gran apoyo a este trabajo al analizar todos los resultados de las pruebas realizadas.

3.3.1. Reactivos

- NaCN : cianuro de sodio
- NaOH : hidróxido de sodio
- AgNO₃ : nitrato de plata
- KI : yoduro de potasio
- H₂O₂ : peróxido de hidrogeno

3.3.2. Materiales

- Balanza capacidad 10 Kg.
- Sacos de polietileno
- Chancadora de Quijadas de Laboratorio
- Malla # 150, 200
- Recipientes de acero inoxidable
- Molino de Bolas de Laboratorio
- Baldes de 20 litros
- Cronometro
- Probeta de 1 litro
- Pizeta
- Brocha
- Balanza de 250 gr.
- Celda de Cianuración de 1.5 Kg.

- Embudos.
- Papel Pampa medidor de pH



Figura 12: Área de titulación



Figura 13: Tanques de Agitación.

3.3.3. Equipo de seguridad (EPP)

- Casco
- Zapatos de Seguridad

- Mameluco
- Tapón de Oído
- Respirador
- Guantes Quirúrgico
- Gafas de seguridad.



Figura 14: Trabajador con sus Epps

3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO DE LOS EXPERIMENTOS

3.4.1. Diseño factorial

Los experimentos realizados por investigadores, ya sea en laboratorio o a nivel industrial, están orientados a determinar la influencia de uno o más factores sobre el rendimiento, calidad, eficiencia, etc. del proceso.

Uno de los métodos que cumple con esta función, son los diseños experimentales (factorial, hexagonal), que permiten obtener el máximo de información, con el mínimo número de experiencias.

Estos diseños estudian los efectos que producen sobre la respuesta, todas las combinaciones de “n” variables, cada una de ellas a dos niveles.

La representación de estos diseños es 2^n , en donde “n” es el número de variables en estudio, y el número dos (2), indican los niveles de estas variables. Si la variable es continua, los niveles serán el mínimo y el máximo; si es cualitativa, los niveles corresponderán a la presencia o ausencia de la variable. En nuestro caso particular aplicaremos el diseño experimental para tres variables, (2^3), que en forma general se pueden representar por A, B y C. Estas variables están representadas en un espacio tridimensional por los vértices de un cubo.

Las posibles combinaciones de estas variables (A, B y C), para su aplicación a un diseño factorial se resume en el cuadro.

Tabla 22: Diseño Factorial 2^3 .

N ^a	NOTACIÓN	NIVELES DE VARIABLES		
		A	B	C
1	1	-	-	-
2	A	-	-	+
3	B	-	+	-
4	Ab	-	+	+
5	C	+	-	-
6	Ac	+	-	+
7	Bc	+	+	-
8	abc	+	+	+
9	⊖	0	0	0
10	⊖	0	0	0

Fuente: www.Internetperu.com

Los niveles de las variables, han sido representadas por los símbolos (-) y (+). Donde el primero representa al nivel inferior y el segundo al nivel superior.

También se observa las condiciones de operación que exige el diseño en cuanto a los niveles que deben unirse, ya sea para la variable sola o para sus posibles combinaciones. Así por ejemplo en la prueba N^a3, muestra el efecto de la variable “b” es el resultado, cuando la variable “A” se encuentra en su nivel mínimo, la variable “B” en su nivel máximo y la variable “C” en su nivel mínimo.

Algo semejante ocurre, cuando se trata de alguna combinación de variables; así, por ejemplo, la prueba N^a4, denota por “ab” indica la interacción de las variables a y b en los resultados, cuando la variable; A está en su nivel máximo, B en su nivel máximo y C en su nivel mínimo.

Así podemos calcular los efectos de las variables de la siguiente manera: Para el caso de los efectos principales, estos se obtienen efectuando la diferencia entre el promedio de los niveles superiores menos los niveles inferiores.

3.4.2. Diseño hexagonal

Este es un diseño de segundo orden que pertenece al tipo de diseños rotables, es el cual se tienen igual facultad de predicción en todas direcciones a partir de un punto experimental central y donde los otros puntos experimentales están a una distancia constante del punto central.

Las características de este diseño, es que los puntos experimentales corresponden a las coordenadas de los vértices del hexágono regular y además considera cuatro puntos experimentales en el centro del diseño.

A diferencia del experimento de 3 variables, este diseño, considera el estudio de solo dos variables (A y B), y los niveles de estas variables, vienen a ser las coordenadas de los vértices de hexágono regular.

Tabla 23: *Diseño de optimización.*

N ^o Prueba	NIVELES DEL DISEÑO	
	X 1	X 2
1	+1.0	0.000
2	+0.5	+0.866
3	-0.5	+0.866
4	-1.0	0.000
5	-0.5	-0.866
6	+0.5	-0.866
7	0.0	0.000
8	0.0	0.000
9	0.0	0.000

Fuente: www.Internetperu.com

El modelo matemático que se ajusta a este tipo de problema, es el que se rige por la siguiente expresión:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

Los coeficientes de la ecuación, se obtienen aplicando métodos matemáticos. Una vez calculados estos coeficientes, se sustituyen en la ecuación antes mencionada, y se obtiene el modelo matemático codificado en función de las variables en estudio. Esta expresión nos va a permitir hallar los resultados por cálculo, y establecer un cuadro de discrepancia con los resultados experimentales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNOSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL

El laboratorio de control e investigación metalúrgica realiza pruebas metalúrgicas de evaluación de lotes de mineral y de muestras de exploración e investigación.

El laboratorio de control e investigación metalúrgica tiene como función el determinar toda la información necesaria para su procesamiento y optimización del proceso CIL.

La realización de pruebas es la primera etapa que actualmente se realiza por pruebas de descarte una a una cada variable en tiempos diferentes, llevándose en tiempos prolongados.

El costo de mano de obra y reactivos, es elevado puesto que se tiene que escoger las variables y fijar parámetros usando pruebas de descarte, estudiando una a una cada variable.

4.2. PRUEBAS PRELIMINARES DE ALCALINIZADOR

Tabla 24: Prueba disolución de oro con alcalinizador NaOH

MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica

REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Área:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba		14256		
Procedencia		Acopio		
Tipo		Investigación de alcalinizador		
Ley Au				
Cab. Analizada	gr/TM	38.900		
Cinética	Horas	% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0	hr.	0.120	38.900	0.00
6	hr.	0.100	13.500	65.30
24	hr.	0.062	6.200	84.10
36	hr.	0.045	5.400	86.10
48	hr.	0.040	3.650	90.60
60	hr.	0.035	3.500	91.00
Granulometría -200 m		%	77	
Fuerza de Lix.			0.120	
Inicio de Cianuración			MOLIENDA	
NaCN inicial	Gr		7	
Fuerza CN- (i)	%		0.120	
Fuerza CN- (f)	%		0.035	
Consumo				
NaCN	KTM		2.91	
Soda	KTM		3.75	
Soda inicial	ml		30	
Mineral	Kg.		3.000	
Agua	ml		2.500	
Agua Total	ml		5.000	
Tiempo de Molienda	min.		Sin molienda	
pH			10.5	
N° P.M.			14256	
Disolución	%		91.00	

Fuente: Compañía minera titán.

Tabla 25: Prueba disolución de oro con alcalinizador CAL
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Área:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba		14257		
Procedencia		Acopio		
Tipo		Investigación de alcalinizador		
Ley Au				
Cab. Analizada	gr/TM	38.900		
Cinética	Horas	% CN-	gr/TM	% Rec.
0	hr.	0.120	38.900	0.00
6	hr.	0.065	13.050	66.50
24	hr.	0.060	8.780	77.40
36	hr.	0.057	5.210	86.10
48	hr.	0.032	4.750	87.80
60	hr.	0.027	4.100	89.50
Granulometría -200 m	%	77		
Fuerza de Lix.		0.120		
Inicio de Cianuración		MOLIENDA		
NaCN inicial	Gr	7		
Fuerza CN- (i)	%	0.120		
Fuerza CN- (f)	%	0.027		
Consumo				
NaCN	KTM	3.05		
Soda inicial	Ml	30		
Mineral	Kg.	3.000		
Agua	Ml	2.500		
Agua Total	Ml	5.000		
Tiempo de Molienda	min.	Sin molienda		
pH		10.5		
N° P.M.		14257		
Disolución	%	89.50		

Fuente: Compañía minera titán

4.2.1. Análisis de las pruebas preliminares de alcalinizador

En cuanto a % de disolución se observa una pequeña diferencia en los dos casos, esto puede ser reducido con mayor control en operación.

La recuperación de Au por adsorción con carbón activado para ambos casos es similar, así como se observa en las leyes finales de los carbones, que están en 2.406 g/kg y 2.536 g/kg (en el uso de Soda y cal respectivamente) y los relaves líquidos finales promedio que este alrededor de 0.3 y 0.31 g/m³.

No se ha visto incremento de carbonatos en el carbón en las pruebas realizadas, por lo cual no se ha afectado la adsorción del carbón activo.

El consumo del alcalinizante es de 1.2 de cal a 1 de soda. Como se observa en los resultados obtenidos para el proceso de cianuración, la disolución promedio están en 91.00 % y 89.80%, respectivamente. Por lo cual se utilizará hidróxido de sodio en nuestras pruebas de cianuración.

4.3. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE SELECCIÓN DE VARIABLE

Tabla 26: Niveles de variables para pruebas.

VARIABLES	UNIDAD	NIVELES REALES		
		MINIMO	CENTRO	MAXIMO
Granulometría	% - m200	72	78.5	85
Concentración CNa	% CNa -	0.077	0.124	0.171
Residencia	Horas	36	48	60

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 27: Variables fijadas constantes para nuestras pruebas

VARIABLES FIJAS	PARAMETRO
Ph Natural	7
Peso del Mineral	3 Kilos
Cantidad de Agua	5 litros
Gravedad Especifica	2.6
Temperatura	Ambiente

Fuente: Elaboración Propia.

Tres variables requieren un diseño factorial $2^3 = 8$ pruebas, se realiza dos pruebas centrales adicionales.

MATRIZ DE DISEÑO EXPERIMENTAL

Tabla 28: Matriz de experimentos para selección de variable

N ^a	NOTACIÓN	VARIABLES CODIFICADAS			VARIABLES REALES		
		A	B	C	- 200 m	% CN -	Residencia
		1	1	-	-	-	72
2	A	+	-	-	85	0.077	36
3	B	-	+	-	72	0.171	36
4	Ab	+	+	-	85	0.171	36
5	C	-	-	+	72	0.077	60
6	Ac	+	-	+	85	0.077	60
7	Bc	-	+	+	72	0.077	60
8	Abc	+	+	+	85	0.171	60
9	Θ	0	0	0	78.5	0.124	48
10	Θ	0	0	0	78.5	0.124	48

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 29: Prueba 1 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46280		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.077	32.90	0.00
6		hr.	0.060	4.43	86.54
12		hr.	0.052	4.01	87.81
24		hr.	0.037	3.23	90.20
36		hr.	0.030	3.13	90.50
Granulometría -200 m		%	72		
Fuerza de Lix.			0.077		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.077		
Fuerza CN- (f)		%	0.03		
Consumo					
NaCN		KTM	3		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		ml	2.500		
Agua Total		ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46280		
Disolución		%	90.50		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 30: Prueba 2 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46254		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.077	32.93	0.00
6		hr.	0.047	4.27	87.03
12		hr.	0.035	2.44	92.59
24		hr.	0.022	2.35	92.86
36		hr.	0.015	2,33	92.93
Granulometría -200 m		%	85		
Fuerza de Lix.			0.077		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.077		
Fuerza CN- (f)		%	0.015		
Consumo					
NaCN		KTM	3.25		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		ml	2.500		
Agua Total		ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
Ph			11		
N° P.M.			46254		
Disolución		%	92.93		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 31: Prueba 3 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**
Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46281		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.171	32,93	0,00
6		hr.	0.175	3,25	90,12
12		hr.	0.165	3,46	89,50
24		hr.	0.127	3,13	90,50
36		hr.	0.117	2,89	91,24
Granulometría -200 m		%	72		
Fuerza de Lix.			0.171		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.171		
Fuerza CN- (f)		%	0.117		
Consumo					
NaCN		KTM	4.04		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		Ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46281		
Disolución		%	91.24		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 32: Prueba 4 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**
Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46255		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.171	32.95	0.00
6		hr.	0.167	3.40	89.67
12		hr.	0.140	2.86	91.30
24		hr.	0.122	2.45	92.57
36		hr.	0.093	2.05	93.78
Granulometría -200 m		%	85		
Fuerza de Lix.			0.171		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.171		
Fuerza CN- (f)		%	0.093		
Consumo					
NaCN		KTM	4,41		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		Ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46255		
Disolución		%	93.78		

Fuente: Compañía minera titán

Tabla 33: Prueba 5 de selección de variable

MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica

REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46282		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.077	32.93	0.00
6		hr.	0.062	3.46	89.48
12		hr.	0.055	3.31	89.96
24		hr.	0.035	3.25	90.12
36		hr.	0.03	3.00	90.87
48		hr.	0.015	2.83	91.40
60		hr.	0.01	2.50	92.40
Granulometría -200 m		%	72		
Fuerza de Lix.			0.077		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.08		
Fuerza CN- (f)		%	0.01		
Consumo					
NaCN		KTM	3.33		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		Ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46282		
Disolución		%	92.28		

Fuente: Compañía minera titán

Tabla 34: Prueba 6 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46256		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.077	32.93	0
6		hr.	0.052	2.59	92.13
12		hr.	0.037	2.39	92.74
24		hr.	0.027	1.96	94.04
36		hr.	0.017	2.54	92.28
48		hr.	0.005	2.24	93.21
60		hr.	0.005	1.94	94.10
Granulometría -200 m		%	85		
Fuerza de Lix.			0.077		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.08		
Fuerza CN- (f)		%	0.005		
Consumo					
NaCN		KTM	3.51		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		ml	2.500		
Agua Total		ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46256		
Disolución		%	94.10		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 35: Prueba 7 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL
Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS**

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46283		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.171	32.93	0.00
6		hr.	0.170	3.56	89.23
12		hr.	0.162	2.90	90.25
24		hr.	0.137	2.91	91.16
36		hr.	0.122	2.83	91.40
48		hr.	0.100	2.57	92.21
60		hr.	0.085	2.35	92.87
Granulometría -200 m		%	72		
Fuerza de Lix.			0.171		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.171		
Fuerza CN- (f)		%	0.085		
Consumo					
NaCN		KTM	4.57		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		Ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46283		
Disolución		%	92.87		

Fuente: Compañía minera titán

Tabla 36: Prueba 8 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46257		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.171	32.93	0.00
6		hr.	0.157	5.43	83.52
12		hr.	0.137	3.30	89.97
24		hr.	0.177	1.96	94.04
36		hr.	0.090	1.83	94.44
48		hr.	0.052	1.78	94.60
60		hr.	0.050	1.45	95.60
Granulometría -200 m		%	85		
Fuerza de Lix.			0.171		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.171		
Fuerza CN- (f)		%	0.052		
Consumo					
NaCN		KTM	5.13		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		Ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46257		
Disolución		%	95.60		

Fuente: Compañía minera titán

Tabla 37: Prueba 9 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46258		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.124	32.93	0.00
6		hr.	0.045	3.73	88.67
12		hr.	0.035	3.55	89.23
24		hr.	0.022	3.25	90.14
36		hr.	0.015	2.80	91.49
48		hr.	0.037	2.41	92.67
Granulometría -200 m		%	79		
Fuerza de Lix.			0.124		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.08		
Fuerza CN- (f)		%	0.037		
Consumo					
NaCN		KTM	4.27		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		ML	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		ML	2.500		
Agua Total		ML	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46258		
Disolución		%	92.67		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 38: Prueba 10 de selección de variable
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Área:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46259		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.124	32.93	0.00
6		hr.	0.107	3.34	89.86
12		hr.	0.085	3.05	90.73
24		hr.	0.067	2.88	91.26
36		hr.	0.050	2.52	92.34
48		hr.	0.032	2.30	93.00
Granulometría -200 m		%	79		
Fuerza de Lix.			0.124		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	10.5		
Fuerza CN- (i)		%	0.124		
Fuerza CN- (f)		%	0.032		
Consumo					
NaCN		KTM	4.35		
Soda		KTM	2.83		
Soda inicial		Ml	34		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46259		
Disolución		%	93.00		

Fuente: Compañía minera titán

4.3.1. Análisis de pruebas de selección de variables

Tabla 39: Función respuesta de cada prueba con niveles de experimentación

Nº Prueba	VARIABLES CODIFICADAS			VARIABLES REALES			FUNCIÓN RESPUESTA
	x1	x2	x3	% m - 200	CNNa	Residencia	% Disolución
1	-1	-1	-1	72	0.077	36	90.50
2	1	-1	-1	85	0.077	36	92.93
3	-1	1	-1	72	0.171	36	91.24
4	1	1	-1	85	0.171	36	93.78
5	-1	-1	1	72	0.077	60	92.40
6	1	-1	1	85	0.077	60	94.10
7	-1	1	1	72	0.171	60	92.87
8	1	1	1	85	0.171	60	95.60
9	0	0	0	78.5	0.124	48	92.67
10	0	0	0	78.5	0.124	48	93.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40: Variables con niveles de experimentación

Factores	Bajo	Alto	Unidades	Continuo
Granulometría	75	82	% m-200	Sí
CNNa	0.077	0.171	%	Sí
Tiempo de Residencia	36	60	Horas	Sí

Respuestas	Unidades
Disolución	%

Fuente: Programa statgraphics Centurion.

a. Efectos estimados para disolución (%)

Tabla 41: Efectos de variables en primera etapa

Efecto	Estimado	Error Estd.
Promedio	92.909	0.0761446
A:Granulometria	2.35	0.170265
B:CNNa	0.89	0.170265
C:Tiempo de Residencia	1.63	0.170265
AB	0.285	0.170265
AC	-0.135	0.170265
BC	0.095	0.170265

Fuente: Programa statgraphics Centurion

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

b. Interpretación de los efectos

Si observamos el signo de los efectos A, B Y C, notamos que son positivos, por lo tanto, están en su nivel mínimo, por lo cual deberán ser maximizado, es decir que estos tres factores son variables, deberán ser optimizados y establecidos sus rangos de trabajo óptimo.

c. Análisis de varianza para disolución - diseño factorial

Tabla 42: Análisis de varianza de selección de variable

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Granulometria	11.045	1	11.045	190.50	0.0008
B:CNNa	1.5842	1	1.5842	27.32	0.0136
C:Tiempo de	5.3138	1	5.3138	91.65	0.0024

Residencia					
AB	0.16245	1	0.16245	2.80	0.1928
AC	0.03645	1	0.03645	0.63	0.4858
BC	0.01805	1	0.01805	0.31	0.6158
Error total	0.17394	3	0.05798		
Total (corr.)	18.3339	9			

Fuente: STHATGRFICHS centurión.

R-cuadrada = **99.0513** por ciento

En nuestra tabla ANOVA vemos que la mayor significancia se basa a la variable granulometría, seguido de la variable tiempo de residencia para un coeficiente correlación del 99.0513 %.

En el mismo vemos que el cuadro medio del error es 0.05798, el cual viene a ser la varianza del error, dicho valor es menor que uno por lo cual la variabilidad de los datos es adecuada para el trabajo realizado.

En este caso, 2 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

La prueba de falta de ajuste está diseñada para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para describir los datos observados o si se debería usar un modelo más complicado.

La prueba se realiza comparando la variabilidad de los residuos del modelo actual con la variabilidad entre observaciones obtenidas en condiciones repetidas de los factores. Dado que el valor-P para la falta de ajuste en la tabla ANOVA es mayor que 0.05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados al nivel de confianza del 95.00%

d. MODELO MATEMÁTICO

Tabla 43: Coeficientes del modelo matemático

Coeficiente	Estimado
Constante	92.909
A: Granulometría	2.35
B: Concentración de cianuro	0.89
C: Tiempo de residencia	1.63

Fuente: STATGRAPHICS Centurion.

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

Disolución = $92.909 + 2.35 * \text{Granulometría} + 0.89 * \text{Concentración de cianuro} + 1.63 * \text{Tiempo de residencia}$.

La constante del modelo matemático, viene a ser el promedio de los valores del vector respuesta, así mismo es el valor inicial del proceso de estudio, el signo positivo de la constante nos indica que está en el mínimo y que puede ser maximizado, para llegar al valor óptimo.

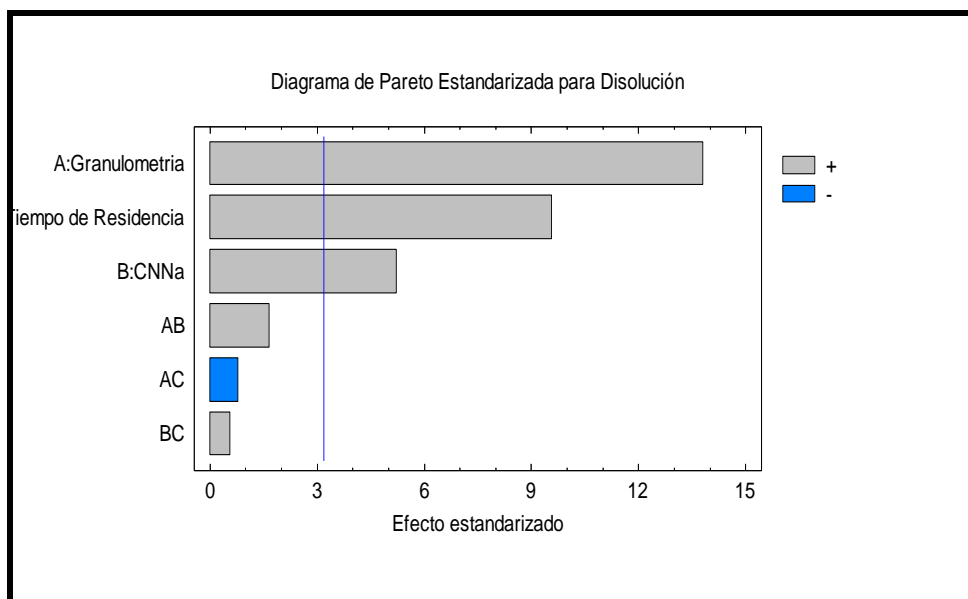


Figura 15: Diagrama de Pareto del Proceso de Cianuración.

En el diagrama de Pareto nos indica gráficamente cuál de los factores o interacciones son más significativas, para un 95% de significancia. Siendo la variable granulometría la más significativa.

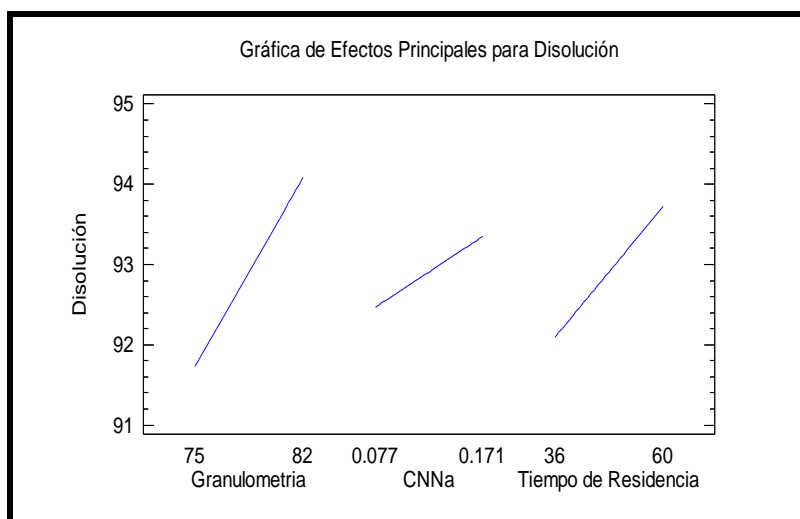


Figura 16: Gráficos de efectos.

En el diagrama de efectos las tres variables cuentan con pendientes positivas, siendo esta directamente proporcional al factor respuesta.

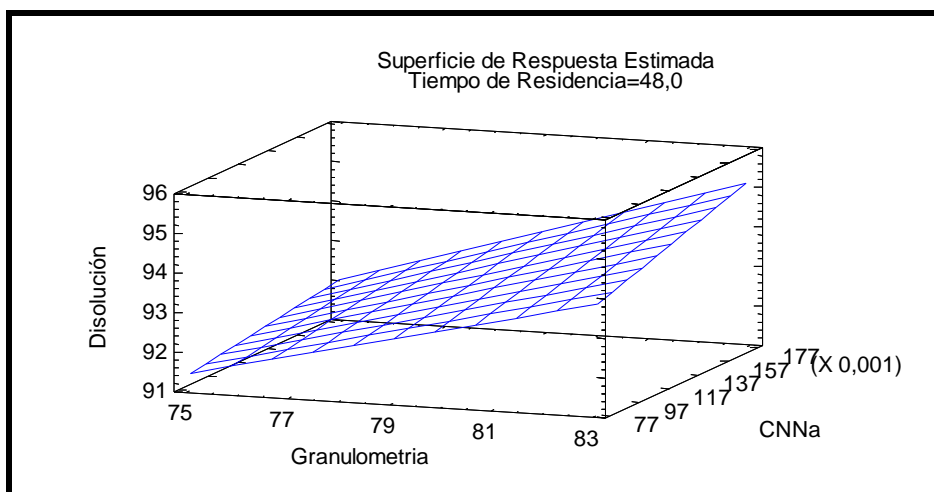


Figura 17: Superficie Respuesta del diseño.

Tanto en el gráfico de superficie respuesta y contorno de superficie se observa que la % disolución es proporcionalmente a la granulometría y concentración de cianuro fijándose el tiempo de residencia en unas 48 horas.

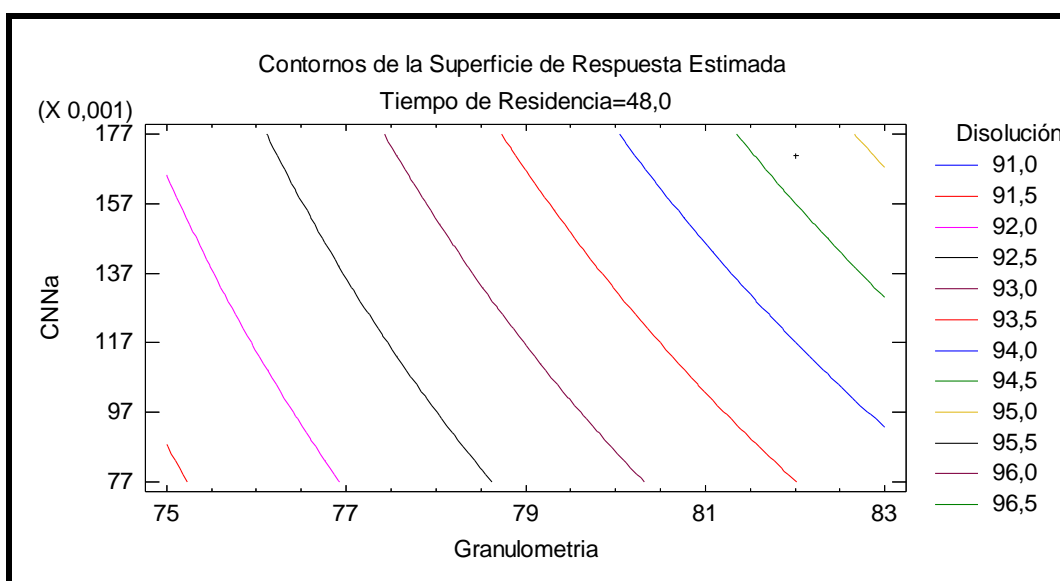


Figura 18 : Contornos de la Superficie Respuesta

4.4. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE OPTIMIZACIÓN

Tabla 44: Niveles de pruebas de Optimización

VARIABLES	UNIDAD	NIVELES REALES			
		MINIMO	CENTRO	MAXIMO	RADIO
Granulometría	% - m200	75	83	91	8
Concentración CNNa	% CN -	0.077	0.139	0.2	0.0615

VARIABLES FIJOS	PARAMETRO
pH Natural	7
Peso del Mineral	3 Kilos
Cantidad de Agua	5 litros
Gravedad Especifica	2.6
Temperatura	Ambiente
Tiempo de residencia	60 horas

Fuente: STATGRAPHICS Centurion.

Dos variables requieren un diseño de Hexagonal que consta de seis pruebas y haremos tres pruebas más para el ajuste de error experimental.

Tabla 45: Descodificación de variables..

Na Prueba	VARIABLES CODIFICADAS		VARIABLES REALES	
	X 1	X 2	Granulometría	Concentración de CNNa
1	1	0	91	0.139
2	0.5	0.866	87	0.192
3	-0.5	0.866	79	0.192
4	-1	0	75	0.139
5	-0.5	-0.866	79	0.085
6	0.5	-0.866	87	0.085
7	0	0	83	0.139
8	0	0	83	0.139
9	0	0	83	0.139

Fuente: STATGRAPHICS Centurion.

**Tabla 46: Prueba 1 de optimización
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46367		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Ley Au					
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.139	32.93	0.00
6		hr.	0.110	3.47	89.46
12		hr.	0.102	3.24	90.15
24		hr.	0.072	2.81	91.46
36		hr.	0.060	2.46	92.55
48		hr.	0.045	2.18	93.39
60		hr.	0.040	1.91	94.20
Granulometría -200 m		%	91		
Fuerza de Lix.			0.139		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.6		
Fuerza CN- (i)		%	0.139		
Fuerza CN- (f)		%	0.031		
Consumo					
NaCN		KTM	4.33		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		ml	2.500		
Agua Total		ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46367		
Disolución		%	94.20		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 47: Prueba 2 de optimización
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL
Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS**

Area: Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46368		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32,93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.192	32.93	0.00
6		hr.	0.170	2.65	91.95
12		hr.	0.150	2.35	92.86
24		hr.	0.120	2.22	93.25
36		hr.	0.107	1.99	93.96
48		hr.	0.090	1.93	94.14
60		hr.	0.072	1.70	94.84
Granulometría -200 m		%	87		
Fuerza de Lix.			0.192		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.6		
Fuerza CN- (i)		%	0.192		
Fuerza CN- (f)		%	0.072		
Consumo					
NaCN		KTM	4.82		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		ml	2.500		
Agua Total		ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46368		
Disolución		%	94.84		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 48: Prueba 3 de optimización
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46402		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.192	32.93	0.00
6		hr.	0.185	2.65	91.95
12		hr.	0.165	2.55	92.26
24		hr.	0.132	2.20	93.32
36		hr.	0.117	2.20	93.33
48		hr.	0.097	2.10	93.62
60		hr.	0.072	1.91	94.20
Granulometría -200 m		%	79		
Fuerza de Lix.			0.192		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.6		
Fuerza CN- (i)		%	0.192		
Fuerza CN- (f)		%	0.072		
Consumo					
NaCN		KTM	4.82		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		ml	2.500		
Agua Total		ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46402		
Disolución		%	94.20		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 49: Prueba 4 de optimización
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46404		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.139	32.93	0.00
6		hr.	0.155	4.79	85.46
12		hr.	0.132	4.35	86.78
24		hr.	0.106	4.20	87.25
36		hr.	0.100	3.84	88.35
48		hr.	0.060	3.62	89.02
60		hr.	0.052	2.56	92.24
Granulometría -200 m		%	75		
Fuerza de Lix.			0.139		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.6		
Fuerza CN- (i)		%	0.139		
Fuerza CN- (f)		%	0.052		
Consumo					
NaCN		KTM	4.16		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		Ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46404		
Disolución		%	92.24		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 50: Prueba 5 de optimización
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46403		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.085	32.93	0.00
6		hr.	0.052	3.58	89.13
12		hr.	0.045	3.14	90.45
24		hr.	0.022	2.89	91.23
36		hr.	0.017	2.77	91.58
48		hr.	0.017	2.58	92.17
60		hr.	0.015	2.50	92.40
Granulometría -200 m		%	79		
Fuerza de Lix.			0.085		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.6		
Fuerza CN- (i)		%	0.085		
Fuerza CN- (f)		%	0.015		
Consumo					
NaCN		KTM	2.91		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		Ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46403		
Disolución		%	92.40		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 51: Prueba 6 de optimización
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46369		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.085	32.93	0.00
6		hr.	0.042	3.30	89.98
12		hr.	0.032	3.14	90.45
24		hr.	0.022	2.92	91.12
36		hr.	0.017	2.81	91.46
48		hr.	0.014	2.59	92.14
60		hr.	0.012	2.40	92.70
Granulometría -200 m		%	87		
Fuerza de Lix.			0.085		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.60		
Fuerza CN- (i)		%	0.085		
Fuerza CN- (f)		%	0.012		
Consumo					
NaCN		KTM	2.25		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		Ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46369		
Disolución		%	92.70		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 52: Prueba 7 de optimización
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46370		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.139	32.93	0.00
6		hr.	0.107	3.25	90.14
12		hr.	0.100	2.93	91.09
24		hr.	0.080	2.80	91.50
36		hr.	0.065	2.35	92.87
48		hr.	0.050	2.20	93.31
60		hr.	0.045	2.04	93.80
Granulometría -200 m		%	83		
Fuerza de Lix.			0.139		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.6		
Fuerza CN- (i)		%	0.139		
Fuerza CN- (f)		%	0.045		
Consumo					
NaCN		KTM	3.93		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		Ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46370		
Disolución		%	93.80		

Fuente: Compañía minera titán

Tabla 53: Prueba 8 de optimización MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46371		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución
0		hr.	0.139	32.93	0.00
6		hr.	0.112	3.30	89.98
12		hr.	0.102	3.08	90.65
24		hr.	0.075	2.66	91.93
36		hr.	0.060	2.41	92.67
48		hr.	0.055	2.29	93.03
60		hr.	0.037	2.15	93.47
Granulometría -200 m		%	83		
Fuerza de Lix.			0.139		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.60		
Fuerza CN- (i)		%	0.139		
Fuerza CN- (f)		%	0.037		
Consumo					
NaCN		KTM	3.93		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		Ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46371		
Disolución		%	93.47		

Fuente: Compañía minera titán

**Tabla 54: Prueba 9 de optimización
MINERA TITÁN DEL PERÚ SRL**

Laboratorio de Control e Investigación Metalúrgica
REPORTE PRUEBAS METALÚRGICAS

Area:

Lab. Metalúrgico

N° Prueba			46372		
Procedencia			Acopio		
Tipo			Investigación		
Cab. Analizada		gr/TM	32.93		
Cinética			% CN-	Ley Au gr/TM	% Disolución.
0		hr.	0.139	32.93	0.00
6		hr.	0.112	3.20	90.28
12		hr.	0.100	2.92	91.13
24		hr.	0.075	2.62	92.04
36		hr.	0.060	2.49	92.45
48		hr.	0.050	2.28	93.06
60		hr.	0.040	2.10	93.62
Granulometría -200 m		%	83		
Fuerza de Lix.			0.139		
Inicio de Cianuración			MOLIENDA		
NaCN inicial		Gr	15.6		
Fuerza CN- (i)		%	0.139		
Fuerza CN- (f)		%	0.040		
Consumo					
NaCN		KTM	3.93		
Soda		KTM	2.92		
Soda inicial		Ml	35		
Mineral		Kg.	3		
Agua		Ml	2.500		
Agua Total		Ml	5.000		
Tiempo de Molienda		min.	Sin molienda		
pH			11		
N° P.M.			46372		
Disolución		%	93.62		

Fuente: Compañía minera titán

4.4.1. Resumen de pruebas de optimización

Tabla 55: Función respuesta de optimización

Nº prueba	VARIABLES CODIFICADAS		VARIABLES REALES		FUNCION RESPUESTA
	X ₁	X ₂	Granulometría	Residencia	% Disolución
1	1	0	91	48	94.20
2	0.5	0.866	87	58.392	94.84
3	-0.5	0.866	79	58.392	94.20
4	-1	0	75	48	92.24
5	-0.5	-0.866	79	37.608	92.35
6	0.5	-0.866	87	37.608	92.70
7	0	0	83	48	93.80
8	0	0	83	48	93.47
9	0	0	83	48	93.62
Factores		Bajo	Alto	Unidades	Continuo
Granulometría		75	91	% m-200	Sí
Tiempo de Residencia		36	60	Horas	Sí
Respuestas	Unidades				
Disolución	%				

Fuente: STATGRAPHICS Centurion.

a. Efectos estimados para disolución (%)

Tabla 56: Efectos de las variables

Efecto	Estimado
Promedio	93.63
A:Granulometria	1.63667
B:Tiempo de Residencia	2.3037
AA	-0.82
AB	0.334873
BB	-0.0133341

Fuente: Programa STATGRAPHICS CENTURION.

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo.

b. Interpretación de los efectos

Si observamos el signo de los efectos A y B, notamos que son positivos, por lo tanto, están en su nivel mínimo, por lo cual deberán ser maximizados, es decir que estos dos factores son variables, deberán ser optimizados y establecidos sus rangos de trabajo óptimo.

c. Análisis de varianza para disolución

Tabla 57: Análisis de varianza de pruebas de optimización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Granulometría	2.00901	1	2.00901	73.59	0.0133
B: Tiempo de Residencia	3.98002	1	3.98002	145.79	0.0068
AA	0.20172	1	0.20172	7.39	0.1129
AB	0.021025	1	0.021025	0.77	0.4727
BB	0.0000533333	1	0.0000533333	0.00	0.9688
Falta de ajuste	0.156817	1	0.156817	5.74	0.1388
Error puro	0.0546	2	0.0273		
Total (corr.)	6.43029	8			

Fuente: Programa STATGRAPHICS.

R-cuadrada = 96.7122 por ciento

En nuestra tabla ANOVA vemos que la mayor significancia se basa a la variable granulometría, seguido de la variable tiempo de residencia para un coeficiente correlación del 96.7122%.

En el mismo vemos que el cuadro medio del error es 0.1568, el cual viene a ser la varianza del error, dicho valor es menor que uno por lo cual la variabilidad de los datos es adecuada para el trabajo realizado.

En este caso, 2 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.00%.

La prueba de falta de ajuste está diseñada para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para describir los datos observados o si se debería usar un modelo más complicado.

Dado que el valor-P para la falta de ajuste en la tabla ANOVA es mayor que 0.05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados al nivel de confianza del 95.0%.

d. Modelo matemático

Tabla 58: Coeficientes del modelo matemático

Coeficiente	Estimado
Constante	43.2417
A: Granulometría	1.08201
B: Tiempo de Residencia	-0.0443308
AA	-0.00640625
AB	0.00174413
BB	-0.000046299

Fuente: STATGRAPHICS Centurión.

La ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Disolución} = 43.2417 + 1.08201 * \text{Granulometría} - 0.0443308 * \text{Tiempo de Residencia} - 0.00640625 * \text{Granulometría}^2 + 0.00174413 * \text{Granulometría} * \text{Tiempo de Residencia} - 0.000046299 * \text{Tiempo de Residencia}^2.$$

Tabla 59: Análisis de Residuos

FILA	Y EXPERIMENTAL	Y CALCULADA	R RESIDUO	R^2
1	94.20	94.0383	0.161667	0.026136219
2	94.84	95.0017	-0.161667	0.026136219
3	94.20	94.0383	0.161667	0.026136219
4	92.24	92.4017	-0.161667	0.026136219
5	92.35	92.1883	0.161667	0.026136219
6	92.70	92.8617	-0.161667	0.026136219
7	93.80	93.63	0.17	0.0289
8	93.47	93.63	-0.16	0.0256
9	93.62	93.63	0.01	0.0001
			Suma R^2	0.211417313

SCMr =	0.070472438	F (tablas)
Fo =	2.581407977	F(0,05;glr;gle)
		F(0,05;3;2)
	2.581407977	<
		19.2
Modelo aceptado.		

Fuente: Elaboración Propia.

e. Resultados estimados para disolución

Tabla 60: Valores ajustados

	Observados	Ajustados
Fila	Valores	Valores
1	94.20	94.038
2	94.84	95.002
3	94.20	94.038
4	92.24	92.402
5	92.35	92.188
6	92.70	92.862
7	93.80	93.63

8	93.47	93.63
9	93.62	93.63

Fuente: STATGRAPHICS Centurion.

f. **Camino de máximo ascenso para disolución**

Tabla 61: Camino de Máximo ascenso para disolución

Granulometría (% m-200)	Tiempo de Residencia (Horas)	Predicción para Disolución (%)
83.00	48.00	93.63
84.322	51.00	94.0485
85.4759	54.00	94.4442
86.4962	57.00	94.8243
87.409	60.00	95.1939
88.2347	63.00	95.5563

Fuente: STATGRAPHICS Centurion.

Este cuadro se observa el trayecto de máximo ascenso, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas locaciones para correr experimentos adicionales si el objetivo es incrementar disolución.

g. **Optimizar respuesta**

Meta: maximizar Disolución

Valor óptimo = 95.86

Tabla 62: Optimizar respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Granulometría	75.00	91.00	91.00
Tiempo de Residencia	37.61	58.39	58.39

Fuente: STATGRAPHICS Centurion.

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Disolución sobre la región indicada.

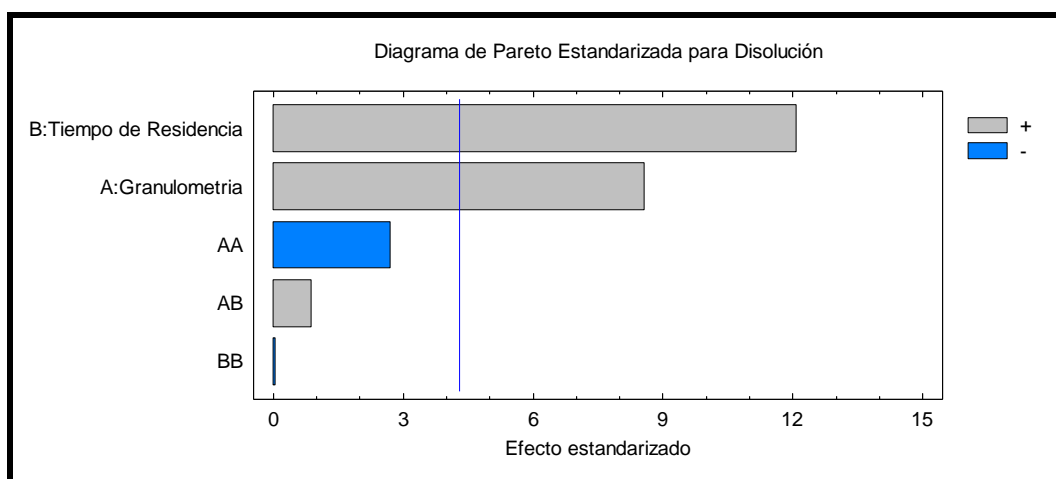


Figura 19: Diagrama de Pareto del Proceso de Cianuración.

En el diagrama de Pareto nos indica gráficamente cuál de los factores o interacciones son más significativas, para un 95% de significancia. Siendo el tiempo de residencia y granulometría los más significantes.

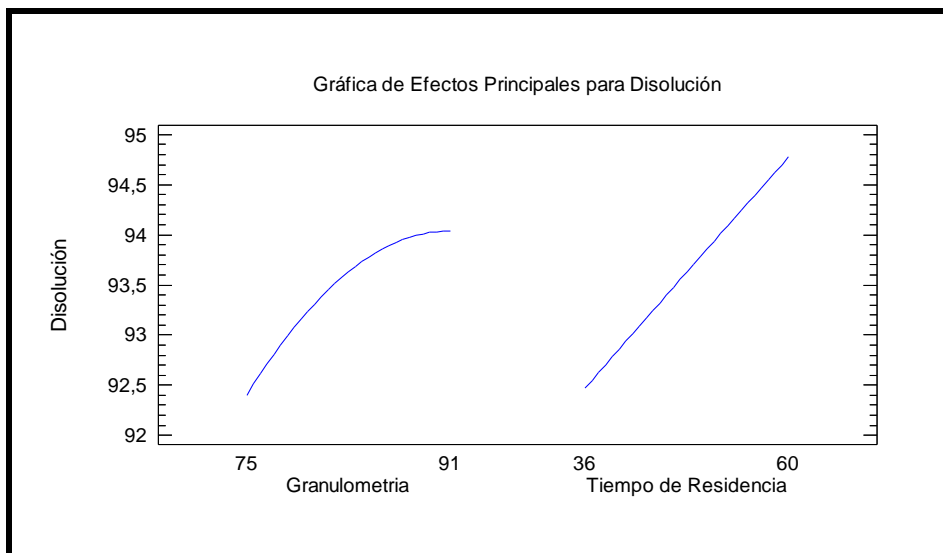


Figura 20: Efectos principales, siendo la variable de pendiente positiva.

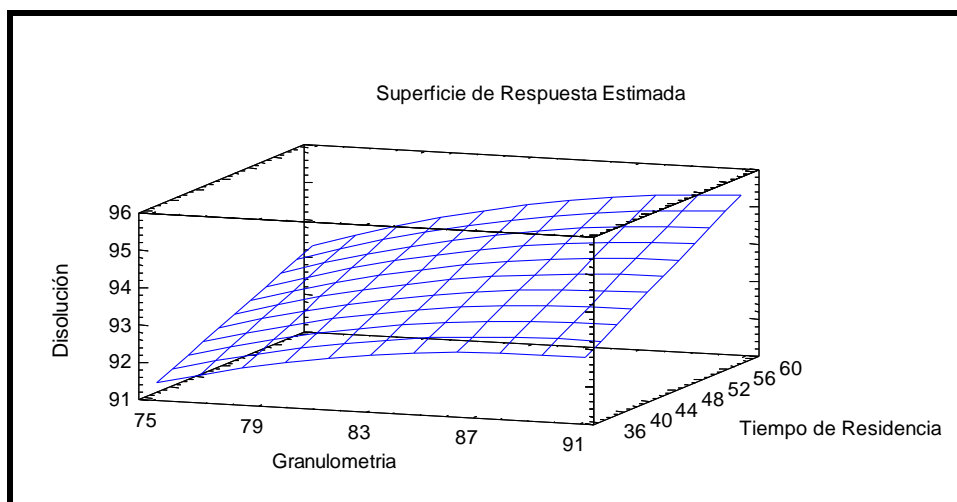


Figura 21: Superficie respuesta.

Tanto en el gráfico de superficie respuesta y contorno de superficie se observa que la % disolución es proporcionalmente a la granulometría y el tiempo de residencia.

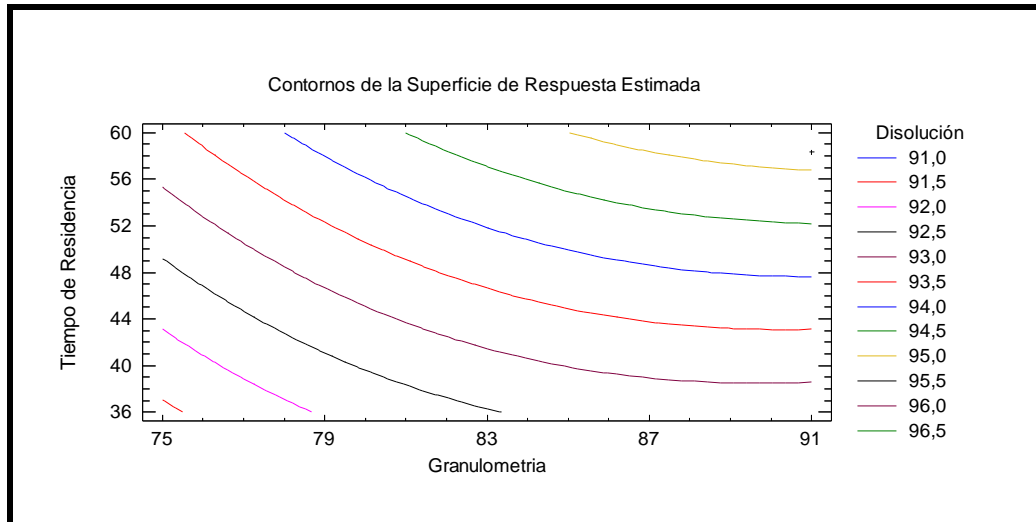


Figura 22: Contornos de Superficie.

CONCLUSIONES

PRIMERA : La interacción de las variables en todos los diseños aplicados indica que la granulometría y el tiempo de residencia son las variables más significantes en nuestro proceso de cianuración, las variables como T°, RPM, Concentración de Oxígeno, Concentración de cianuro y cantidad de carbono. Estudiadas preliminarmente por pruebas de descarte una a una, son significativas, pero en menor grado para nuestro proceso de cianuración.

SEGUNDA : Viendo que tenemos que disolver el mineral para que este se adsorba entre los poros del carbón es que se define los parámetros adecuados para la disolución del oro: se trabajara con la granulometría al 91 % m-200 con una concentración de cianuro de al 0.192 %CNNa con una residencia de 60 horas.

$$\begin{aligned} \text{Disolución} = & 43.2417 + 1.08201 * \text{Granulometría} - 0.0443308 * \text{Tiempo de} \\ \text{Residencia} & - 0.00640625 * \text{Granulometría}^2 + \\ & 0.00174413 * \text{Granulometría} * \text{Tiempo de Residencia} - 0.000046299 * \text{Tiempo de} \\ & \text{Residencia}^2. \end{aligned}$$

Tanto el % de disolución, como % de adsorción son de un 95.86 % siendo esta mayor al porcentaje de disolución y adsorción que se mantenía en un 91.00 %.

Se descarta que el PH, la cantidad de carbón sean de influencia en nuestro proceso.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: Se recomienda, de acuerdo a los resultados obtenidos, trabajar con una granulometría de 91.00 % m -200 en el molino primario 6x6 ya que este es influyente en la disolución del oro, la cual se realiza en los primeros tanques de cianuración.

SEGUNDO: Se debe tener mayor control en las variables de cianuración: trabajar con un pH 11, granulometría 91.00 %malla -200, concentración de cianuro 0.192%, un tiempo de residencia de 60 horas.

TERCERO: Se recomienda continuar con las investigaciones así seguir conociendo el comportamiento de las diferentes procedencias del mineral para poder realizar en un futuro un diseño dinámico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J., (2006). *Diseños de experimentos como herramienta para la mayoría de los procesos*, Bogotá, Colombia: Ed. TECNURA.
- Hagel, J.E., (1994). *Minería del Oro*, Instituto de Geología Económica Aplicada, Concepción, Chile: Ed. Universitaria.
- Manzaneda, J., (2000). *Diseño Experimental estadística aplicada*, Lima, Perú: Ed. Lima UNI.
- Marsden, J. y House, L., (2006). *The chemistry of gold Extraction*: Ed. SME.
- Mc.Cabe, W.L., Smith J.C. y Harriot P., (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, México, México.: Ed. McGraw-Hill.
- Misari, F.S., (1993). "METALÚRGIA DEL ORO": Ed. Centro de Estudios.
- Montealegre, J.R., (1977). *Diseño experimental para la ejecución del diseño experimental*.
- Montgomery, D., (2004). *Diseño y análisis de experimentos*.: Ed. LIMUSA de CV GRUPO NORIEGA EDITORES.
- Ryan., (2007). *Modern experimental design*.
- Lye., (2005). *Tools and toys for teaching design of experimentos methodology*. Toronto, Otario, Canadá.
- Ochoa., (2013). *Evaluación de los Reactivos de Flotación para mejorar la concentración de oro en la planta concentradora de la Minera Aurífera Retamas S.A." MARSA"*, Puno, Perú.

López., (2008). *Caracterización y optimización de flotación a nivel laboratorio del mineral de cobre de la minera Candelaria*. Trujillo, Perú: UNT.

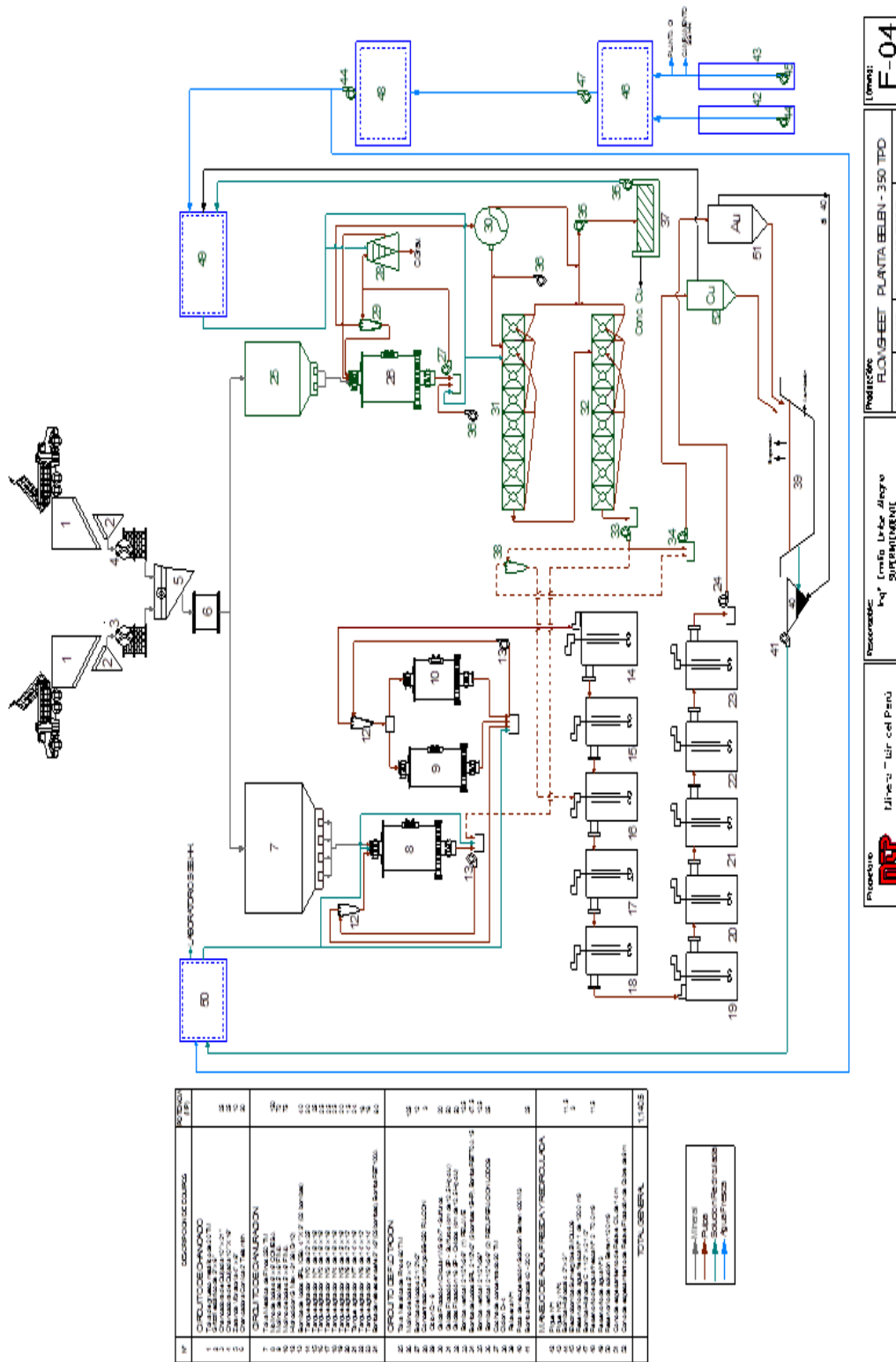
Galbiati., (2000). *Diseño de experimentos factoriales aplicados a procesos industriales*, Lima, Perú.: Ed: Universidad Técnica Federico Santa María.

Moya, C. R., (1991). *Estadística Descriptiva*, Lima, Perú: Ed. San Marcos.

Palacios, C.S., (2004). *Diseño experimental aplicado a ciencia y tecnología (análisis e interpretación)*, Lima, Perú: Ed. CONCYTEC LIMA.

ANEXOS

Anexo 1: Flow sheet de la compañía minera titán



Proyecto: El Hierro - Sur del Perú
 Responsable: Ing. Erick Alegre Surediment
 Producción: FLOW SHEET PLANTA BELÉN - 350 TPD
 Escala: 1:1000
 Fecha: 10/05/2017
 Hoja: 10 de 10
 Límite: F-04

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
1	GRUPO DE CHANCADO	TPD	350
2	GRUPO DE FLOTACIÓN	TPD	350
3	GRUPO DE LECHADO	TPD	350
4	GRUPO DE RECUPERACIÓN	TPD	350
5	GRUPO DE AGUAS	TPD	350
6	GRUPO DE TENDIDOS	TPD	350
7	GRUPO DE PRODUCTOS	TPD	350
8	TOTAL GENERAL	TPD	350

Legend:
 - Solid (black line)
 - Liquid (red line)
 - Air (blue line)

Anexo 2: Reporte de prueba de Work Index



Laboratorio Metalúrgico CHAPI SAC

Reporte

**PRUEBA DE WORK INDEX
MÉTODO DE BOND**

1 Muestra

Preparado para:

Minera Titán del Perú S.R.L.

Proyecto 1510LM

Laboratorio Metalúrgico Chapi S.A.C.

Calle 5 Mz P Lt-11 Parcela II Parque Industrial – Lima42 – Perú

Telef: 51 1- 2875858 Celular: 51-1-975443283

www.laboratoriometalurgico.com

Lima, 30 de marzo del 2017

Señores:

Minera Titán del Perú S.R.L.

Presente. -

Atención: Ing. Emilio Uribe Alegría

Asunto: Prueba de Work Index por el Método de Bond - 1 Muestra

Estimado Ing. Emilio Uribe:

Adjunto a esta carta encontrará el reporte de la prueba de Work Index por el método de Bond (1 muestra). Para cualquier consulta no dude en comunicarse con nosotros.

Saludos cordiales.



María L. Pecho Ancasi

Gerente General

Laboratorio Metalúrgico C12pl S.A.S.
Proyecto N° 1530 – LM

Reporte

PRUEBA DE WORK INDEX MÉTODO DE BOND

1 Muestra

Preparado por:

Jaime Gómez Moreno
Jefe de Laboratorio

Gina Lavado Huarcaya
Metalurgista

Aprobado por:

María L. Pechis Ancasi
Gerente General

LM3E SAC



Proyecto N° 1510-LM

I. RESUMEN GENERAL

Laboratorio Metalúrgico Chapi S.A.C. (LMCH) fue contratado por Minera Titán del Perú S.R.L., para realizar 1 prueba de Work Index por el Método de Bond. La prueba se realizó con sub muestras de granulometría estándar, 100% menos malla 6 Tyler. Las condiciones de trabajo, se detallaron en nuestra cotización N° 20-2016, dirigida al Ing. Emilio Uribe Alegría de Minera Titán del Perú S.R.L.

El presente reporte corresponde a **1 muestra**, recibida el 17 de marzo del 2017. El código y peso de la muestra se describe en los anexos.

El resultado de la prueba de Work Index (Método de Bond) se presenta en la tabla siguiente:

Tabla Nro. 1

P-1510: LMCH – Proyecto Minera Titán del Perú S.R.L.

Resultado de la Prueba

Item	Código de muestra		Work Index de Bond
	Cliente	LMCH	(kWh/tc)
1	Cabeza CIL	MT	13.64

*Al servicio de la Minería,
Energía y Ambiente*

Proyecto N° 1510-LM

II. INTRODUCCIÓN

La energía, es uno de los ítems de mayor relevancia en los costos de una planta de procesamiento de minerales, por lo que todo esfuerzo en optimizar los consumos energéticos tendrá un beneficio directo en los costos de operación.

En procesamiento de minerales, es muy importante conocer el Work Index, para optimizar el consumo de energía. El Work Index es un parámetro empírico, no es como la ley de un mineral que puede ser absolutamente precisa, por lo tanto, depende tanto del mineral (resistencia a la conminución), como el equipo utilizado (incluyendo la malla de corte del clasificador para un circuito cerrado), el cual debe ser determinado experimentalmente a escala estándar de laboratorio para cada aplicación específica. El Work Index para la sección molienda de bolas, se denomina Work Index de Bond (bolas).

El Método de Bond para determinar el Work Index, es el más difundido y requiere contar con un molino especial, con carga de bolas y granulometría de muestra estándar.

El presente reporte contiene el procedimiento y resultado de la determinación del Work Index por el método de Bond. Los detalles de la prueba se muestran en los anexos.



III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1.- Work Index por el Método de Bond

La prueba de Work Index de Bond (bolas), consiste en un proceso de ciclo cerrado de molienda y clasificación en seco, el cual es realizado hasta obtener un estado de equilibrio.

EQUIPO

La prueba es realizada en un molino especial de bolas, con características específicas, las dimensiones internas del molino son de 12" X 12". La velocidad de trabajo es de 70 RPM y está equipado con un contador de revoluciones. La carga de bolas es de 285 unidades (bolas de acero), con dimensiones y pesos estándar de Bond.

MUESTRA

La granulometría estándar de alimentación para la prueba de Work Index de Bond es 100% menos malla 6 Tyler.

Para cerrar el ciclo de molienda se requiere una malla de corte, en este caso se consideró la malla 100 Tyler.

Las muestras con alta proporción de finos, presentan dificultad para ser tamizadas en seco, motivo por el cual se recomienda un especial cuidado en la preparación mecánica de la muestra.

PROCEDIMIENTO

La muestra es homogenizada, conada y cuartada usando un Jonnes Splitter hasta obtener sub-muestras de 500 a 600 gramos. Obtenidas las sub-muestras se inicia con:



*Al servicio de la Región,
Cargos y Continuidad*

Proyecto N°
1510-LM

Determinar el *F₉₀* de la muestra.

- Llenar una probeta de 1000 *cm³*, hasta alcanzar un volumen de 700 *cm³*. El peso de este volumen de muestra, es la carga inicial para el molino y es mantenido durante el desarrollo de la prueba.
- El primer ciclo de molienda es corrido a 100 revoluciones para producir fino pasante a la malla de corte seleccionada.
- La fracción de sobre tamaño, es retornada al molino para un segundo ciclo, en el cual se restablece el peso original de los 700 *cm³*; siendo la carga fina reemplazada por un peso igual de muestra fresca.
- La unidad de peso del producto fino producido en términos de *g/revolución*, se le denomina moliendabilidad del ciclo, y es usado para estimar el número de revoluciones requerido para el próximo ciclo de molienda.
- Los ciclos cerrados se continúan hasta encontrar un estado de equilibrio, esta condición es indicada por la estabilidad de la moliendabilidad de un ciclo a otro. En este punto, el peso del producto fino, deberá alcanzar el 250% de la carga requerida.
- Una alimentación apropiada, permite llegar al equilibrio realizando 6 a 8 ciclos de molienda; pero la presencia de excesivas partículas finas en el alimento fresco, podría prolongar el tiempo para llegar al estado de equilibrio.



*Asociación de la Minería,
Geología y Construcción*

Proyecto N° 1510-LM

IV. RESULTADOS

4.1.- Prueba de Work Index por el Método de Bond

Tabla Nro. 2

P-1610: LMCH – Proceso Minera Titán del Perú S.B.L.

Datos de resultados:

Ítem	Código de muestra		F ₈₀	P ₈₀	Moliendabilidad	Work Index de Bond
	Cliente	LMCH	(μm)	(μm)	(g/rev.)	(kWh/ton)
1	Cabeza CIL	MT	2499	111	1.47	13.64

V. ANEXOS

5.1.- Prueba de Work Index por el Método de Bond



5.1.1 Hoja de cálculo de prueba de Work Index: Muestra Cabeza CIL (MT)

Tabla No. 3
Test de Molinabilidad

#	Cilindro (litro)	Alimentación		# Rev.	Producto			Carga Circulante (%)	# Rev. Para Próxima ciclo
		Total (gr)	-150 µm (gr)		+150 µm (gr)	-150 µm (gr)	Neto (gr)		
		1894.93							
1	350	993.0	401.9	100	869.0	525.93	134.0	1.34	145
2	350	374.4	151.5	100	953.4	441.50	290.0	1.46	146
3	350	314.3	127.2	100	995.9	399.08	271.9	1.46	144
4	350	284.1	113.0	100	994.8	420.10	283.1	1.47	149
5	350	264.8	113.0	100	996.5	398.47	283.2	1.47	149
6	350	243.7	114.8	100	996.4	398.56	283.7	1.47	149
7	350	283.7	114.8	100	996.4	398.55	283.7	1.47	149
8	350	283.7	114.8	100	996.4	398.54	283.7	1.47	149
		Promedio de los 8 últimos ciclos			998.55			1.47	149

INFORMACIÓN DETALLADA

Mailla de Corte (100 Tyler), (µm) 350

Peso de Muestra (700 cm³), (gr) 1894.93

% -150 µm en la alimentación 16.81

Peso para 250% carga circ., (gr) 968.58

Molinabilidad, (gr/rev.) 1.47

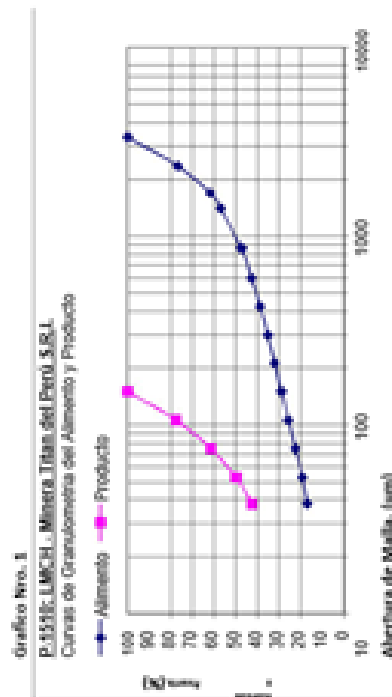
Pes.(µm) 2499

Pes. (µm) 111

Work Index de Bond, kWh/ftc 11.64

Tabla No.4
Análisis Granulométrico del Alimento y Producto

Mailla (Tyler)	Abertura (µm)	Alimento Supasante	Producto Supasante	80% Pasante, (µm)	
				Env	Pes
6	2125	650.00			
8	2160	76.73			
20	1750	61.81			
30	1400	56.90			
40	850	47.40			
50	650	42.77			
60	475	38.64			
80	300	35.11			
100	250	31.90			
150	1000	24.81	100.00		111
200	750	25.77	77.71		
250	600	23.51	61.58		
300	500	19.18	49.65		
400	350	16.96	42.58		



5.2 Descripción de la muestra recibida

Tabla Nro. 5

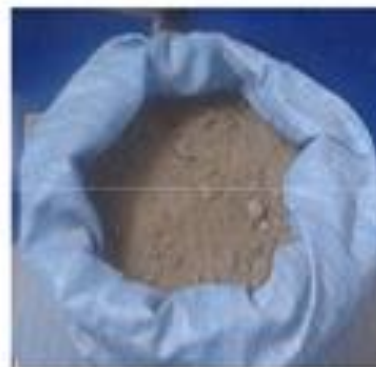
P-15-10: LMCH – Proveedor Minera Titán del Perú S.R.L.

Identificación de la muestra recibida

Nro. Saco	Código Cliente	Código LMCH	Peso Bruto (Kg)	Condiciones y granulometría
1	Cabeza CIL	MT	23.5	Muestra 80%-6M

5.3 Fotografías

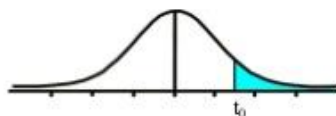
Muestra recibida



- La muestra recibida presentó 80% menos malla 6 Tyler, con un alto porcentaje de finos, como se puede apreciar en la fotografía.

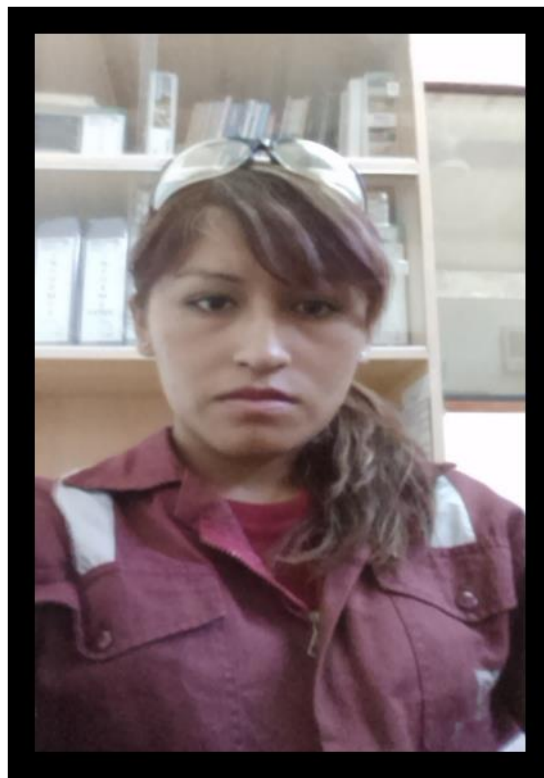
Anexo 3: Tabla de t- Student

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

Anexo 4: Fotografía en el laboratorio de la Compañía Minera Titán



Anexo 5: Tamizado de muestras



Anexo 6: Cuarteo de Muestras



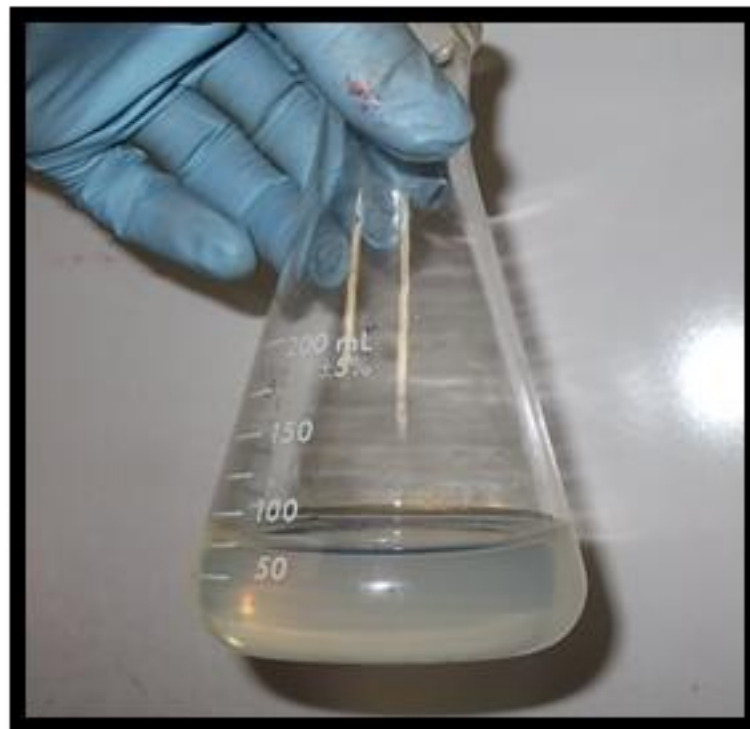
Anexo 7: Titulación con Nitrato de Plata



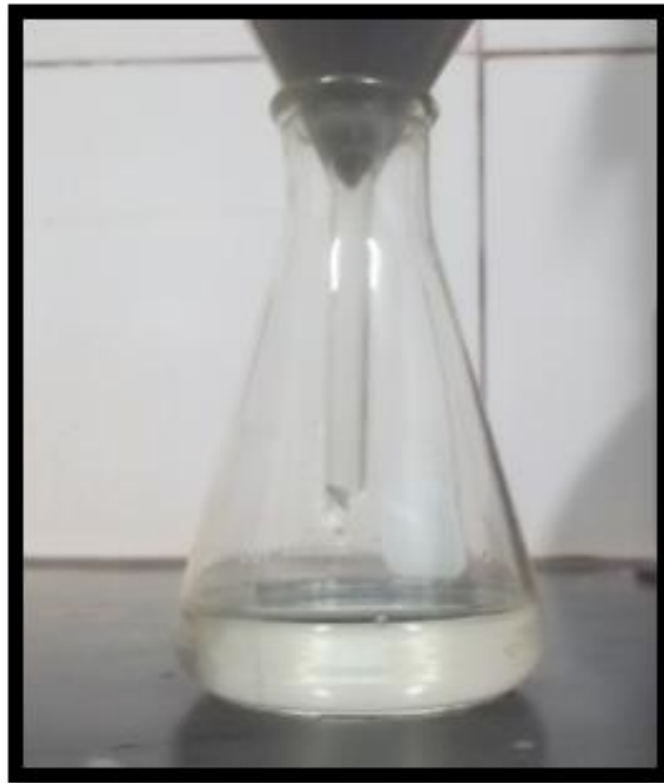
Anexo 8: Titulación de Muestras



Anexo 9: Titulación de Solución



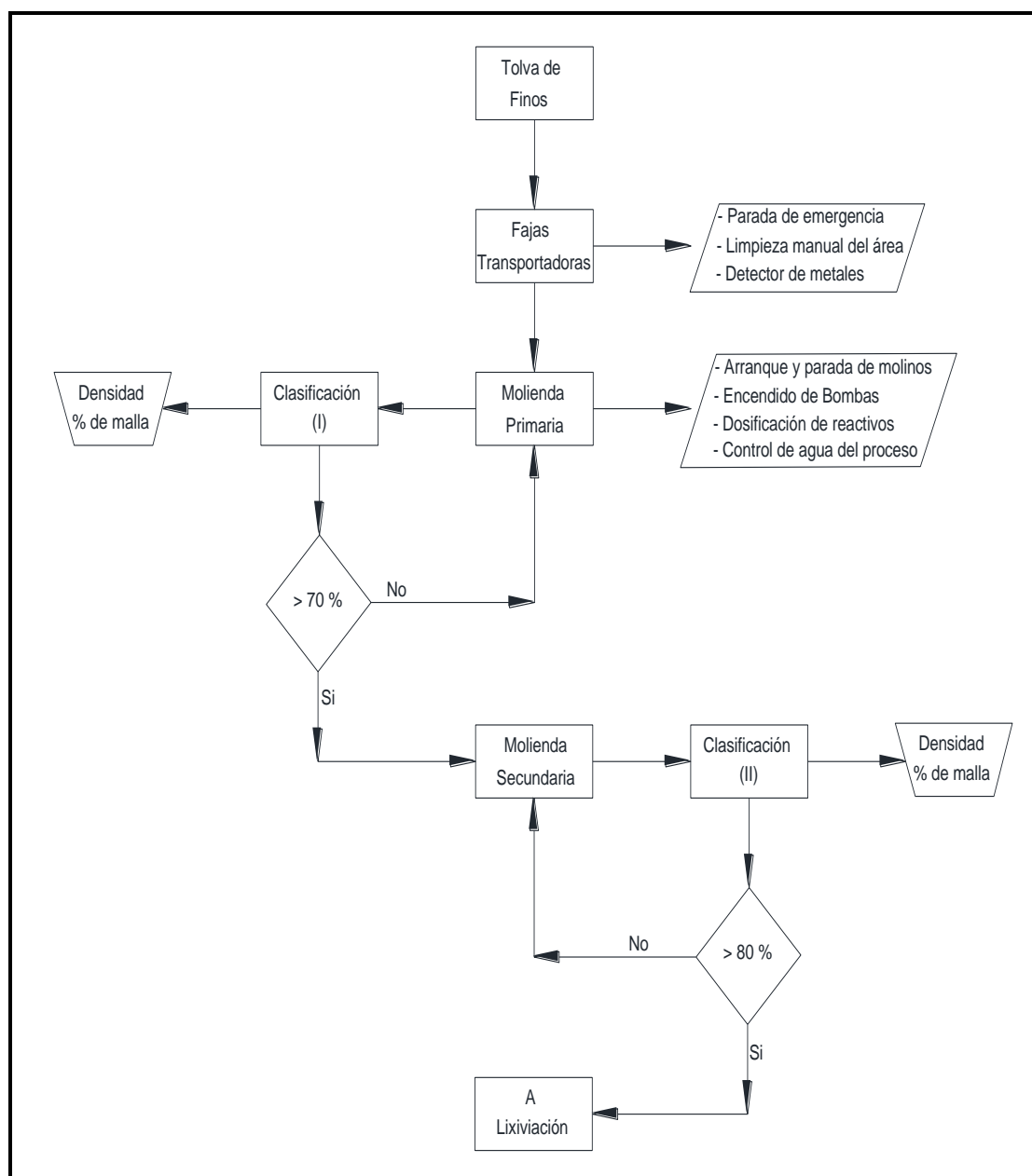
Anexo 10: Obtención de la Solución a Titular



Anexo 11: Circuito de chancado de la Compañía Minera Titán



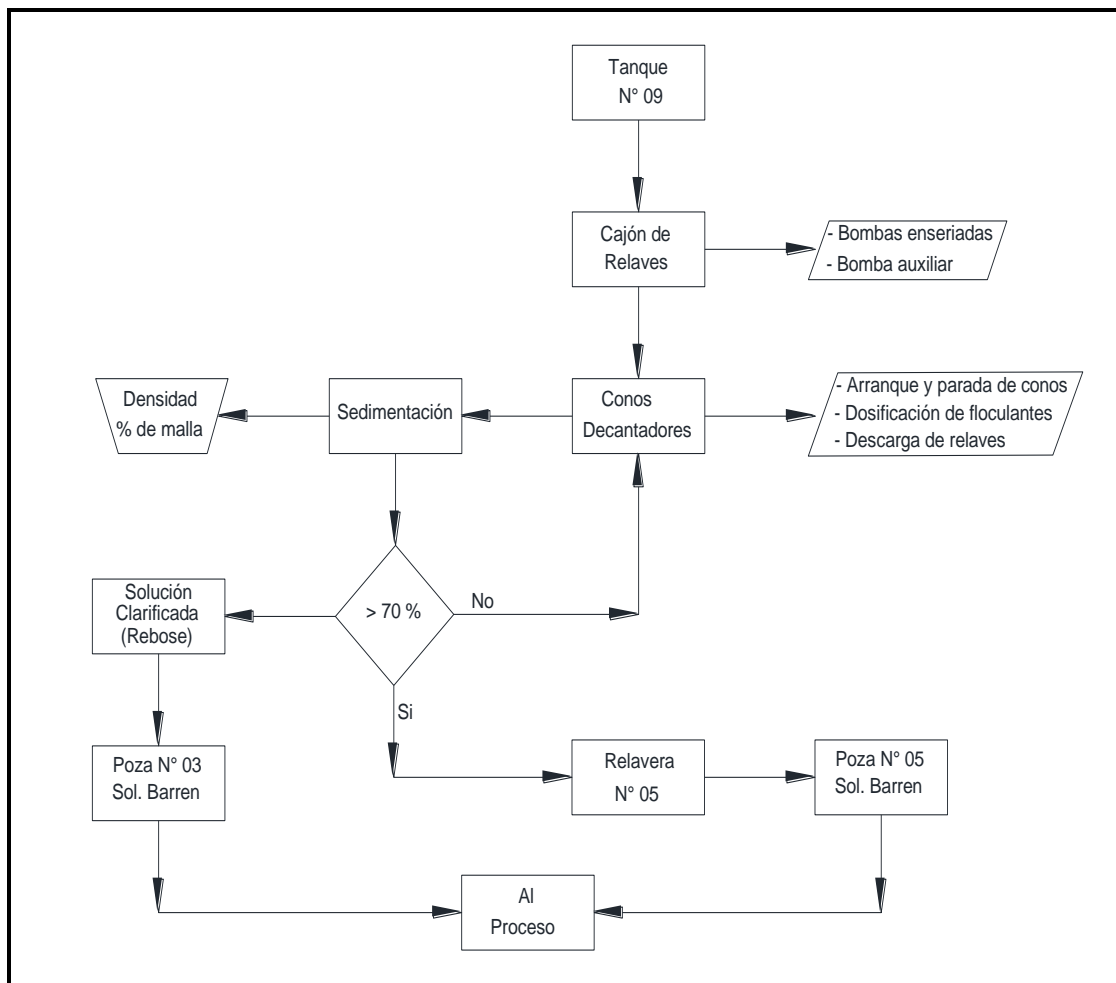
Anexo 12: Diagrama de Flujos del Circuito de Chancado



Anexo 13: Molino de bolas 6 x 6



Anexo 14: Circuito de la Planta de Cianuración



Anexo 15: Preparación de yoduro de potasio

	PREPARACIÓN DE YODURO DE POTASIO		PLANTA
	Departamento: Laboratorio Metalúrgico	Versión: 01	BELEN
	Código: SG-004B-PROCD-011	Página:01	

- 1. PERSONAL.**
 - 1.1. Ensayista metalúrgico (01)

- 2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL**

2.1. Casco	2.4. Respirador
2.2. Botin punta de acero	2.5. Guantes de látex
2.3. Lentes	

- 3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.**

3.1. Espátula	3.5. Embudo
3.2. Luna de reloj	3.6. Piceta.
3.3. Balanza electrónica de 4 dígitos	3.7. Tenaza
3.4. Fiola de 1L	

- 4. REACTIVOS**
 - 4.1. 1Litro de agua destilada.
 - 4.2. 50g I₂

- 5. PROCEDIMIENTO**
 - 5.1. El personal para la preparación de este reactivo deberá estar puesto con los epps adecuados.
 - 5.2. Con la ayuda de la espátula tomar el reactivo y colocar en la luna de reloj, sujete la luna de reloj con la tenaza para llevarla a balanza, luego pesar 50g de yoduro de potasio y colocarlo en una fiola.
 - 5.3. Mediante un embudo vierta los insumos en la fiola y proceda a diluirla con un litro de agua destilada.

- 6. RESTRICCIONES**
 - 6.1. No ingerir alimentos en el laboratorio.

PREPARADO POR	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
	Ing. Jesús Rojas P.	Ing. Víctor Ayvar C.	Ing. Emilio Uribe A.
Supervisor de área y trabajadores			Supervisor de Planta Belén
FECHA DE ELABORACIÓN: 01-08-2013	JEFE DE AREA	GERENTE DEL PROGRAMA DE SEGURIDAD	FECHA DE APROBACION:

Anexo 16: Preparación de Hidróxido de sodio

	PREPARACIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO		PLANTA
	Departamento: Laboratorio Metalúrgico	Versión: 01	BELEN
	Código: SG-004B-PROCD-009	Página: 01	

- 1. PERSONAL.**
 - 1.1. Ensayista metalúrgico (01)
- 2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL**

2.1. Casco	2.4. Respirador
2.2. Botín punta de acero	2.5. Guantes de látex
2.3. Lentes	
- 3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.**

3.1. Espátula.	3.5. Agitador Metálico.
3.2. Cucharón.	3.6. Embudo
3.3. Balde Plástico de medida 3 lts.	3.7. Probeta 1L.
3.4. Balanza electrónica de 4 dígitos.	
- 4. REACTIVOS**
 - 4.1. 1Litro de agua potable.
 - 4.2. 750g NaOH.
- 5. PROCEDIMIENTO**
 - 5.1. El personal para la preparación de este reactivo deberá estar puesto con los epps adecuados.
 - 5.2. Con la ayuda del cucharón tomar el reactivo y pesar en la balanza 750g de soda cáustica, luego colocar dentro del balde de 3 lts.
 - 5.3. Vierta agua fresca al balde, rasar 2.25 lts. Equivalente a un 25 % en sólido.
 - 5.4. Luego agite constantemente hasta obtener la solución, inmediatamente después prosiga a almacenarla en el lugar designado.
- 6. RESTRICCIONES**
 - 6.1. No ingerir alimentos en el laboratorio.

PREPARADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
	Ing. Jesús Rojas P.	Ing. Víctor Ayala C	Ing. Emilio Uribe A.
Supervisor de Área y trabajadores			Supervisor de Planta Belén
FECHA DE ELABORACION: 01-05-2013	JEFE DE AREA	GERENTE DEL PROGRAMA DE SEGURIDAD	FECHA DE APROBACION:

Anexo 17: Preparación de nitrato de plata

	PREPARACION DE NITRATO DE PLATA		PLANTA
	Departamento: Laboratorio Metalúrgico	Versión: 01	BELEN
	Código: SG-004B-PROCD-010	Página:01	

1. PERSONAL.

1.1. Ensayista metalúrgico (01)

2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

- 2.1. Casco
- 2.2. Botin punta de acero
- 2.3. Lentes
- 2.4. Respirador
- 2.5. Guantes de látex

3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

- 3.1. Espátula
- 3.2. Luna de reloj
- 3.3. Balanza electrónica de cuatro dígitos.
- 3.4. Fiola de 1 litro.
- 3.5. Embudo de vidrio
- 3.6. Tenaza
- 3.7. Piceta

4. REACTIVOS

- 4.1. 1 litro de agua destilada.
- 4.2. Nitrato de plata, 4.33 grs.

5. PROCEDIMIENTO

- 5.1. El personal debe estar con los epps adecuados para dicho acto.
- 5.2. Con una espátula tomar el reactivo y colocar en la luna de reloj, sujete la luna de reloj con la tenaza para llevar a la balanza, luego pesar 4.33g de AgNO₃.
- 5.3. Luego, colocar el reactivo dentro de una fiola, con una piceta, luego agregue agua destilada 1 litro, con un embudo.
- 5.4. Proceda agitarlo hasta que se diluya el Nitrato de plata.
- 5.5. Conservar la solución preparada en un frasco de color ámbar.

6. RESTRICCIONES

- 6.1. No ingerir alimentos en el laboratorio.

PREPARADO POR	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
	Ing. Jesús Rojas P.	Ing. Víctor Ayala C.	Ing. Emilio Uribe A.
Supervisor de área y trabajador			Supervisor de Planta Belén
FECHA DE ELABORACIÓN: 01-08-2013	JEFE DE AREA	GERENTE DEL PROGRAMA DE SEGURIDAD	FECHA DE APROBACIÓN:

Anexo 18: Manipulación del cianuro

	MANIPULACION DE CIANURO		PLANTA BELEN
	Departamento: Laboratorio Metalúrgico	Versión: 01	
	Código: SG-004B-PROCD-013	Página: 01	

- 1. PERSONAL.**
 - 1.1. Ensayista Metalúrgico (01)
- 2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL**

2.1. Casco	2.4. Mascara Facial de gases
2.2. Botin punta de acero	2.5. Guantes de jebe
2.3. Lentes	
- 3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.**

3.1. Fiolas de 1 y 0.5 lt	3.5. Agitador de pedestal
3.2. Balanza.	3.6. Carbón activo
3.3. Pipeta	3.7. Soda caústica
3.4. pH metro	3.8. Cianuro de sodio
- 4. PROCEDIMIENTO**
 - 4.1. Preparar la solución alcalinizando cianuro, el personal de Laboratorio Metalúrgico aprovechara en recolectar partículas finas de cianuro con el fin evitar el desmenuzando de las pepas de cianuro. Lo realizara puesto sus EPP's adecuados. Traje impermeable, guantes, máscara facial contra gases.
 - 4.2. Caso contrario si no hubiese cianuros finos se procederá a tomar 2 kg. De cianuro para desmenuzarlo, colocando este dentro de una bolsa de doble capa y darle golpes con la comba hasta que el cianuro quede desmenuzado en pequeñas partículas. El personal lo realizará puesto con los EPP's adecuados, traje impermeable, guantes, mascara facial de gases.
 - 4.3. Una vez obtenido el cianuro, guardar en un contenedor con tapa.
 - 4.4. Cuando se manipula el cianuro en la etapa de dosificación será pesado y puesto en los molinos y/o agitadores. El personal estará con los EPP's adecuados; mandil, respirador, lentes, guantes de neopreno.
- 5. RESTRICCIONES**
 - 5.1. El trabajo será realizado bajo estricta seguridad y alta concentración personal.

PREPARADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
	Ing. Jesús Reyes P.	Ing. Víctor Ayala C	Ing. Emilio Uribe A.
Supervisor de área y trabajadores			Superintendente Planta Belén
FECHA DE ELABORACIÓN: 01-08-2013	JEFE DE AREA	GERENTE DEL PROGRAMA DE SEGURIDAD	FECHA DE APROBACION:

Anexo 19: Titulación con nitrato de plata

	TITULACIÓN CON NITRATO DE PLATA		PLANTA
	Departamento: Laboratorio Metalúrgico	Versión: 01	BELEN
	Código: 8G – 004B – PROCD- 014	Página:01	

1. PERSONAL.
 - 1.1. Ensayista metalúrgico (01)
2. EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

2.1. Casco	2.4. Respirador
2.2. Botin punta de acero	2.5. Guantes de látex
2.3. Lentes	
3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

3.1. Matraz	3.4. Bureta
3.2. Embudo de vidrio	3.5. Vaso de precipitados
3.3. Papel filtro	3.6. Gotero
4. REACTIVOS
 - 4.1. Nitrato de plata
 - 4.2. Ioduro de potasio
5. PROCEDIMIENTO
 - 5.1. Tomar una muestra de pulpa del tanque agitador y filtrar con el uso del papel filtro, el matraz y el embudo.
 - 5.2. Tomar una alícuota de 10 ml de solución clarificada del matraz y agregar 3 gotas de ioduro de potasio (KI) al 5% como indicador, agitar unos segundos y luego agregar la solución valorada de nitrato de plata ($AgNO_3$) hasta obtener un cambio de color en la solución del cristalino al opaco (color de clara de huevo), anotar la lectura del consumo de la solución valorada, realizar el cálculo, multiplicando el gasto de nitrato de plata por el factor.
6. RESTRICCIONES
 - 6.1. No ingerir alimentos en el laboratorio.

PREPARADO POR	REVISADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
	Ing. Jesús Reyes P.	Ing. Víctor Ayvar C	Ing. Emilio Uribe A.
Supervisor de área y trabajadores			Supervisor Planta Belén
FECHA DE ELABORACIÓN: 01-08-2013	JEFE DE AREA	GERENTE DEL PROGRAMA DE SEGURIDAD	FECHA DE APROBACIÓN:

Anexo 20: Hoja de Seguridad Cianuro de Sodio

		SEGURIDAD E HIGIENE MINERA -MTP			PLANTA BELEN	
MSDS		HOJA DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO			NaCN	
		Criterio de Seguridad	Color	Valor	Característica	
		Inflamabilidad	Rojo	0	NO INFLAMABLE	Peso Molecular 49
		Toxicidad	Azul	4	EXTREMAD. TOXICO	Punto de Ebullición 1500 °C
		Reactividad	Amarillo	3	MUY REACTIVO	Punto de Fusión 560 °C
		Q: Producto Químico	Blanco	Gx.	PRODUCTO Gx.	Gravedad Específica No disponible
Inflamabilidad		Equipo de protección personal				
<p>En caso de incendio: Usar extintor de espuma o de polvo seco</p> <p>IMPORANTE: Nunca usar agua ya que libera ácido cianhídrico gas extremadamente tóxico.</p> <p>Usar equipo de respiración autónomo y vestimenta de protección total.</p>		<p>Respirador semi-facial con cartucho</p> <p>Protección ocular facial</p> <p>Guantes de jebe</p> <p>Mameluco TIBEX</p> <p>Botas de jebe.</p>				
Toxicidad		Consideraciones ante emergencias				
<p>Dosis letal mínima en el hombre 2-3 mg/Kg.</p> <p>INHALACION: Muy tóxico, la concentración en la atmósfera puede dar lugar al colapso instantáneo, al fallo respiratorio, a la pérdida de la consciencia y a la muerte.</p> <p>INGESTION: Muy tóxico, se producen efectos adversos similares a los de la inhalación.</p> <p>CONTACTO CON LA PIEL: Muy tóxico, se producen efectos adversos similares a los de la inhalación.</p> <p>CONTACTO CON LOS OJOS: Puede producir efectos sistémicos significativos.</p>		<p>Disponer antes de la manipulación el tratamiento de emergencia apropiado J13</p> <p>EN CASO DE INHALACION: Apartar al afectado del lugar de ingestión, mantenerlo abrigado y en reposo. Administrar oxígeno, NO aplicar la técnica de respiración boca a boca. Si no se aprecian señales de recuperación administrar cápsulas de NITRITO DE AMILO.</p> <p>EN CASO DE INGESTION: Tratar al paciente como en el caso de Inhalación.</p> <p>CONTACTO CON LOS OJOS: Irrigar con solución lava ojos, mantener los párpados separados por espacio de 15 minutos. Tratarlo como en el caso de Ingestión.</p> <p>CONTACTO CON LA PIEL: Quitar la ropa contaminada y lavar la piel, tratarlo como en el caso de Ingestión.</p>				
Reactividad		Documentación Asociada				
<p>La presencia de humedad y dióxido de carbono en el aire libera lentamente Acido Cianhídrico y Amoniaco gas.</p> <p>En contacto con los ácidos se produce la liberación de Acido Cianhídrico-gas.</p> <p>Puede reaccionar violentamente con agentes oxidantes.</p>		<p>Procedimiento para emergencias</p>				