

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica**




TESIS

**Optimización de un concentrado de cobre aplicando diseño de experimentos para el incremento de la ley de oro y cobre**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Metalurgista


Elaborado por

Roger Noel Cubas Ramon

 0009-0007-6341-5288

Asesor

Dr. Santiago Gualberto Valverde Espinoza

 0009-0002-1830-2587

LIMA – PERÚ

2023

---

Citar/How to cite	Cubas Ramon [1]
Referencia/Reference	[1] R, Cubas Ramon, “ <i>Optimización de un concentrado de cobre aplicando diseño de experimentos para el incremento de la ley de oro y cobre</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE 2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Cubas, 2023)
Referencia/Reference	Cubas, R. (2023). <i>Optimización de un concentrado de cobre aplicando diseño de experimentos para el incremento de la ley de oro y cobre</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

## Resumen

El presente trabajo de investigación experimental se ha llevado a cabo en la Planta Concentradora Centenario ubicado en la provincia de Huaral departamento de Lima, el cual tiene por estudio la evaluación metalúrgica de los factores que se involucren en el proceso de flotación del concentrado de cobre, para dar solución a la baja ley y recuperación de cobre y oro en el concentrado de cobre.

Para ello, utilizamos el apoyo del diseño experimental para evaluar y optimizar los parámetros que afectan el proceso de flotación del concentrado de cobre, reduciendo así de manera efectiva y significativa el costo de la investigación.

En este estudio utilizamos la primera etapa de eliminación en la cual utilizamos un diseño factorial fraccionado con dos variables de respuesta: la primera variable es el % de recuperación de cobre y la segunda variable es el % de recuperación de oro. Los factores o parámetros experimentales que se estudiarán en el proceso de flotación del concentrado de cobre son: cianuro de sodio (NaCN), Xantato isopropílico de sodio (Z-11), grado de liberación (% m-200) y Di-(2-etilhexil) fosfato (P-204) para determinar el efecto y la significancia que tiene cada uno de estos en la recuperación de cobre y oro, para así quedarnos con los dos factores más influyentes e importantes para pasar a la etapa de optimización.

Detallando lo antes escrito, determinando los dos factores de mayor importancia para luego con la aplicación del diseño octogonal optimizar el objetivo de este estudio, que es aumentar la ley de cobre y oro. Finalmente, este procedimiento experimental de optimización tendrá un impacto positivo en los costos de procesamiento como, por ejemplo: menor consumo de reactivos, menor energía utilizada de los equipos y también este concentrado de cobre tendrá mayor valor en su comercialización.

Palabras claves — Factores, flotación, recuperación, optimización.

## Abstract

The present experimental research work has been carried out at the Centenario Concentrator Plant located in the province of Huaral, department of Lima, which studies the metallurgical evaluation of the factors involved in the flotation process of the copper concentrate. to solve the low grade and recovery of copper and gold in the copper concentrate.

To this end, we use the support of experimental design to evaluate and optimize the parameters that affect the copper concentrate flotation process, thus effectively and significantly reducing the cost of research.

In this study we used the first stage of elimination in which we used a fractional factorial design with two response variables: the first variable is % copper recovery and the second variable is % gold recovery. The experimental factors or parameters that will be studied in the copper concentrate flotation process are: sodium cyanide (NaCN), sodium isopropyl xanthate (Z-11), degree of release (% m-200) and Di-(2 -ethylhexyl) phosphate (P-204) to determine the effect and significance that each of these has in the recovery of copper and gold, in order to remain with the two most influential and important factors to move to the optimization stage.

Detailing what was previously written, determining the two most important factors and then with the application of the octagonal design optimize the objective of this study, which is to increase the grade of copper and gold. Finally, this experimental optimization procedure will have a positive impact on processing costs such as: lower consumption of reagents, lower energy used by the equipment and also this copper concentrate will have greater value in its commercialization.

Keywords —,Factors, floatation, recovery, optimization.

## Tabla de contenido

	Pág.
RESUMEN.....	III
ABSTRACT .....	IV
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO I. PARTE INTRODUCTORIA DEL TRABAJO .....	1
1.1 GENERALIDADES.....	2
1.1.1 Ubicación.....	2
1.1.2 Acceso.....	3
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	4
1.3 Objetivo del Estudio.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	6
1.4.1 Antecedentes Referenciales .....	6
1.4.2 Hipótesis.....	7
1.4.3 Hipótesis Específicas.....	7
1.4.4 Justificación de la Investigación.....	7
1.4.5 Tipo de Investigación.....	7
1.4.6 Marco metodológico del diseño experimental .....	7
2.1 MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.1 Etapa de Chancado .....	10
2.1.2 Etapa de molienda de minerales.....	12
2.1.3 Etapa de flotación de minerales.....	12
2.1.4 Etapa de espesamiento de concentrado y relaves.....	14
2.1.5 Filtración.....	15
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	15

2.2.1	Descripción del proceso.....	15
2.3	TEORÍA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL .....	22
2.3.1	Experimento .....	22
2,3,2	Unidad experimental.....	23
2.3.3	Etapas en el diseño de experimentos .....	23
2.3.4	Arreglos ortogonales.....	25
3.1	LISTADO DE EQUIPOS EMPLEADOS EN LABORATORIO METALÚRGICO .....	26
3.2	CÁLCULO DEL TIEMPO DE MOLIENDA PARA UN 60% MALLA -200 .....	26
3.3	CONSUMO DE REACTIVOS POR G/TN A NIVEL PLANTA Y DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS PARA LAS PRUEBAS METALÚRGICAS .....	28
3.4	PLANTEAMIENTO DE LAS VARIABLES CONTROLABLES PARA LA FORMULACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO .....	29
3.5	PRUEBAS DE MOLIENDA Y FLOTACIÓN.....	31
3.6	PREPARACIÓN DE REACTIVOS .....	32
3.7	PRUEBA DE MOLIENDA Y DE FLOTACIÓN ACORDE AL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO ...	32
3.7.1	Prueba Metalúrgica # 1:.....	34
3.7.2	Prueba de Metalúrgica # 2:.....	35
3.7.3	Prueba Metalúrgica # 3:.....	36
3.7.4	Prueba Metalúrgica # 4:.....	36
3.7.5	Prueba Metalúrgica # 5:.....	37
3.7.6	Prueba Metalúrgica # 6:.....	38
3.7.7	Prueba Metalúrgica # 7:.....	38
3.7.8	Prueba Metalúrgica # 8:.....	39
3.7.9	Prueba Metalúrgica # 9:.....	40
3.7.10	Prueba Metalúrgica # 10:.....	40
3.7.11	Prueba Metalúrgica # 11:.....	41
3.8	BALANCES METALÚRGICOS DE LAS PRUEBAS METALÚRGICAS.....	42
3.9	RESULTADOS DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE Y RECUPERACIÓN DE ORO OBTENIDO	

POR EL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO.....	45
3.10 ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE COBRE.....	46
3.11 ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE ORO .....	51
3.12 DISEÑO OCTOGONAL PARA OPTIMIZAR EL AUMENTO DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE Y LA RECUPERACIÓN DE ORO EN EL CONCENTRADO DE COBRE .....	54
3.12.1 Prueba metalúrgica #1:.....	56
3.12.2 Prueba metalúrgica #2:.....	56
3.12.3 Prueba metalúrgica #3:.....	57
3.12.4 Prueba metalúrgica #4:.....	58
3.12.5 Prueba metalúrgica #5:.....	58
3.12.6 Prueba metalúrgica #6:.....	59
3.12.7 Prueba metalúrgica #7:.....	60
3.12.8 Prueba metalúrgica #8:.....	60
3.12.9 Prueba metalúrgica #9:.....	61
3.12.10 Prueba metalúrgica #10:.....	62
3.12.11 Prueba metalúrgica #11:.....	62
3.12.12 Prueba metalúrgica #12:.....	63
3.12.13 Prueba metalúrgica #13:.....	64
3.13 Balances metalúrgicos de las pruebas de flotación.....	64
3.14 RESULTADOS DEL DISEÑO OCTOGONAL CON LA PLANTILLA DECODIFICADA PARA LA RECUPERACIÓN DE COBRE Y LA RECUPERACIÓN DE ORO.....	69
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	70
4.1 ANÁLISIS DE LA RECUPERACIÓN DE COBRE APLICANDO EL DISEÑO OCTOGONAL .....	70
4.2 ANÁLISIS DE LA RECUPERACIÓN DE ORO APLICANDO EL DISEÑO OCTOGONAL .....	76
4.3 OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE NACN Y EL % DE CORTE DE MALLA PARA OBTENER LA MÁXIMA RECUPERACIÓN DE COBRE Y ORO.....	83
4.4 PRUEBA METALÚRGICA OPTIMIZADA .....	83
4.5 BALANCE METALÚRGICO DE LA PRUEBA METALÚRGICA OPTIMIZADA .....	84

4.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	85
	CONCLUSIONES .....	86
	RECOMENDACIONES .....	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88
	ANEXOS.....	1



## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Vía terrestre-1 <sup>era</sup> forma de llegar+ .....	3
Tabla 2: Vía terrestre-2 <sup>da</sup> forma de llegar .....	3
Tabla 3: Calculo del tiempo de moliendabilidad .....	27
Tabla 4: Tiempo de moliendabilidad .....	28
Tabla 5: Consumo de reactivos en planta .....	28
Tabla 6: Consumo de reactivos en laboratorio .....	29
Tabla 7: Valores de los consumos por diseño factorial fraccionado .....	29
Tabla 8: Dosificaciones de reactivos .....	31
Tabla 9: Leyes de cabeza del cobre, plata .....	31
Tabla 10: Dosificacion de la prueba metalúrgica #1 .....	34
Tabla 11: Resultados de la prueba metalúrgica #1 .....	35
Tabla 12: Dosificacion de la prueba metalúrgica #2 .....	35
Tabla 13: Resultados de la prueba metalúrgica #2 .....	35
Tabla 14: Dosificacion de la prueba metalúrgica #3 .....	36
Tabla 15: Resultados de la prueba metalúrgica #3 .....	36
Tabla 16: Dosificacion de la prueba metalúrgica #4 .....	36
Tabla 17: Resultados de la prueba metalúrgica #4 .....	37
Tabla 18: Dosificacion de la prueba metalúrgica #5 .....	37
Tabla 19: Resultados de la prueba metalúrgica #5 .....	37
Tabla 20: Dosificacion de la prueba metalúrgica #6 .....	38
Tabla 21: Resultados de la prueba metalúrgica #6 .....	38
Tabla 22: Dosificacion de la prueba metalúrgica #7 .....	38
Tabla 23: Resultados de la prueba metalúrgica #7 .....	39
Tabla 24: Dosificacion de la prueba metalúrgica #8 .....	39
Tabla 25: Resultados de la prueba metalúrgica #8 .....	39
Tabla 26: Dosificacion de la prueba metalúrgica #9 .....	40
Tabla 27: Resultados de la prueba metalúrgica #9 .....	40
Tabla 28: Dosificacion de la prueba metalúrgica #10 .....	40
Tabla 29: Resultados de la prueba metalúrgica #10 .....	41
Tabla 30: Dosificacion de la prueba metalúrgica #11 .....	41
Tabla 31: Resultados de la prueba metalúrgica #11 .....	41
Tabla 32: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #1 .....	42
Tabla 33: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #2 .....	42

Tabla 34: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #3 .....	42
Tabla 35: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #4 .....	43
Tabla 36: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #5 .....	43
Tabla 37: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #6 .....	43
Tabla 38: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #7 .....	44
Tabla 39: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #8 .....	44
Tabla 40: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #9 .....	44
Tabla 41: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #10 .....	45
Tabla 42: Balance metalúrgico de la prueba de metalúrgica #11 .....	45
Tabla 43: Recuperación de Cu y recuperación de Au en el concentrado de cobre .....	46
Tabla 44: Coeficientes codificados de la recuperación de cobre (%) .....	46
Tabla 45: Coeficientes codificados de la recuperación de oro (%) .....	51
Tabla 46: Factores controlables para la recuperacion de cobre y oro .....	55
Tabla 47: Plantilla de diseño octogonal para la recuperacion de cobre y oro .....	55
Tabla 48: Dosificacion de la prueba metalúrgica #1 por diseño octogonal .....	56
Tabla 49: Resultados de la prueba metalúrgica #1 por diseño octogonal.....	56
Tabla 50: Dosificacion de la prueba metalúrgica #2 por diseño octogonal .....	56
Tabla 51: Resultados de la prueba metalúrgica #2 por diseño octogonal.....	57
Tabla 52: Dosificacion de la prueba metalúrgica #3 por diseño octogonal .....	57
Tabla 53: Resultados de la prueba metalúrgica #3 por diseño octogonal.....	57
Tabla 54: Dosificacion de la prueba metalúrgica #4 por diseño octogonal .....	58
Tabla 55: Resultados de la prueba metalúrgica #4 por diseño octogonal.....	58
Tabla 56: Dosificacion de la prueba metalúrgica #5 por diseño octogonal .....	58
Tabla 57: Resultados de la prueba metalúrgica #5 por diseño octogonal.....	59
Tabla 58: Dosificacion de la prueba metalúrgica #6 por diseño octogonal .....	59
Tabla 59: Resultados de la prueba metalúrgica #6 por diseño octogonal.....	59
Tabla 60: Dosificacion de la prueba metalúrgica #7 por diseño octogonal .....	60
Tabla 61: Resultados de la prueba metalúrgica #7 por diseño octogonal.....	60
Tabla 62: Dosificacion de la prueba metalúrgica #8 por diseño octogonal .....	60
Tabla 63: Resultados de la prueba metalúrgica #8 por diseño octogonal.....	61
Tabla 64: Dosificacion de la prueba metalúrgica #9 por diseño octogonal .....	61
Tabla 65: Resultados de la prueba metalúrgica #9 por diseño octogonal.....	61
Tabla 66: Dosificacion de la prueba metalúrgica #10 por diseño octogonal .....	62
Tabla 67: Resultados de la prueba metalúrgica #10 por diseño octogonal.....	62
Tabla 68: Dosificacion de la prueba metalúrgica #11 por diseño octogonal .....	62
Tabla 69: Resultados de la prueba metalúrgica #11 por diseño octogonal.....	63
Tabla 70: Dosificacion de la prueba metalúrgica #12 por diseño octogonal .....	63

Tabla 71: Resultados de la prueba metalúrgica #12 por diseño octogonal.....	63
Tabla 72: Dosificación de la prueba metalúrgica #13 por diseño octogonal .....	64
Tabla 73: Resultados de la prueba metalúrgica #13 por diseño octogonal.....	64
Tabla 74: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #1 por diseño octogonal .....	64
Tabla 75: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #2 por diseño octogonal .....	65
Tabla 76: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #3 por diseño octogonal .....	65
Tabla 77: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #4 por diseño octogonal .....	65
Tabla 78: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #5 por diseño octogonal .....	66
Tabla 79: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #6 por diseño octogonal .....	66
Tabla 80: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #7 por diseño octogonal .....	66
Tabla 81: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #8 por diseño octogonal .....	67
Tabla 82: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #9 por diseño octogonal .....	67
Tabla 83: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #10 por diseño octogonal .....	67
Tabla 84: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #11 por diseño octogonal .....	68
Tabla 85: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #12 por diseño octogonal .....	68
Tabla 86: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #13 por diseño octogonal .....	68
Tabla 87: Recuperación de Cu y Au en el concentrado de cobre por diseño octogonal..	69
Tabla 88: Coeficientes codificados de la recuperación de cobre por diseño octogonal ...	70
Tabla 89: Resumen del modelo de recuperación de cobre por diseño octogonal.....	71
Tabla 90: Análisis de varianza de la recuperación de cobre por diseño octogonal.....	71
Tabla 91: Coeficientes codificados de la recuperación de oro por diseño octogonal.....	76
Tabla 92: Resumen del modelo de recuperación de oro por diseño octogonal .....	77
Tabla 93: Análisis de varianza de la recuperación de oro por diseño octogonal.....	78
Tabla 94: Dosificación de NaCN y % de corte de malla optimizados .....	84
Tabla 95: Resultados de la prueba metalúrgica optimizada .....	84
Tabla 96: Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica optimizada.....	84

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Vista satelital de la planta concentradora centenario .....	3
Figura 2: Reserva N°1 y N°2 de agua fresca .....	4
Figura 3: Chancadora de quijada .....	10
Figura 4: Chancadora cónica .....	11
Figura 5: Chancadora de rodillos .....	11
Figura 6: Cancha de acumulación de mineral .....	15
Figura 7: Reservorio de agua recirculada .....	16
Figura 8: Criba estática .....	16
Figura 9: Area de chancado .....	17
Figura 10: Chancadora conica .....	17
Figura 11: Area de molienda .....	18
Figura 12: Cajon de descarga de pulpa de los molinos .....	18
Figura 13: Circuito de flotación de plomo .....	19
Figura 14: Circuito de flotación de cobre .....	20
Figura 15: Circuito de flotación de zinc .....	20
Figura 16: Presa de relaves .....	21
Figura 17: Filtro de disco .....	21
Figura 18: Despacho de concentrado .....	22
Figura 19: Molino de bolas nivel laboratorio .....	27
Figura 20: Curva de moliendabilidad .....	28
Figura 21: Molino de bolas del laboratorio .....	33
Figura 22: Burbujas de la flotación de cobre .....	33
Figura 23: Concentrado de cobre .....	34
Figura 24: Diagrama de pareto para la recuperacion de cobre .....	48
Figura 25: Grafica de los efectos principales para la recuperacion de cobre .....	49
Figura 26: Diagrama de pareto para la recuperacion de oro .....	52
Figura 27: Grafica de los efectos principales para la recuperacion de oro .....	53
Figura 28: Diagrama de pareto de la recuperacion de cobre por diseño octogonal .....	72
Figura 29: Grafica de los efectos principales para la recuperacion de cobre .....	73
Figura 30: Grafica de contorno para la recuperacion de cobre vs corte de malla y NaCN74	
Figura 31: Grafica de superficie de la recuperacion de cobre vs corte de malla y NaCN	75
Figura 32: Diagrama de pareto de la recuperacion de oro por diseño octogonal .....	79
Figura 33: Grafica de los efectos principales para la recuperacion de oro .....	80

Figura 34: Grafica de contorno para la recuperacion de oro vs corte de malla y NaCN ..	81
Figura 35: Grafica de superficie de la recuperacion de oro vs corte de malla y NaCN ....	82
Figura 36: Valores óptimos de NaCN y % de corte de malla para la máxima recuperacion de cobre y oro.....	83

## Introducción

La Planta Concentradora Centenario es una empresa que brinda servicios de procesamiento de minerales a terceros por medio de flotación ubicada en la provincia de Huaral. Su capacidad de procesamiento actual es de 320 toneladas métricas secas por día.

Actualmente en la planta concentradora se está procesando un mineral de cobre con contenido de plata y oro cuyo origen proviene de la zona de Cerro de Pasco. Se cuenta en la cancha de almacenamiento de mineral de la planta concentradora con 28 800 toneladas de este mineral que se procesara en el tiempo de 3 meses la primera campaña (se tiene proyectado procesar 10 campañas de este mineral).

Mi persona, en aquel tiempo tenía el puesto de asistente de proyectos y tome la iniciativa de hacer un estudio del concentrado de cobre para mejorar las leyes y recuperaciones de cobre y oro, ya que el valor del concentrado se relaciona directamente a estos elementos, por ello demostrar que se puede aumentar la ley y recuperación de cobre y oro en dicho concentrado aumentaría el valor de este, teniendo por finalidad aumentar las ganancias hacia la empresa que se le brinda el servicio de procesamiento.

Inicie el estudio haciendo un correcto muestreo del mineral en cancha, de lo cual obtuve 45 kilos de este mineral. Estos 45 kilos se llevaron al laboratorio metalúrgico y procedí a pasar todo el mineral a través de la chancadora de quijada hasta llegar a un 100% malla -10. Seguidamente realice un correcto homogenizado y cuarteo de estos 45 kilos al 100% malla -10 para obtener 1000 gramos del mineral a malla -10, estos 1000 gramos se homogenizaron y cuarteo para obtener 5 partes de 200 gramos cada uno. Estas 5 partes se llevaron a la pulverizadora por el tiempo de 1 minuto para finalmente llevar estas 5 muestras o partes al laboratorio químico para su respectivo análisis de las leyes de cabeza de cobre, oro y plata teniendo como resultado promedio las siguientes leyes: cobre de 2.36%, plata de 1.48 oz/tn y oro de 1.12 g/tn. Con la aplicación práctica del correcto homogenizado y cuarteo, estos 44 kilos que quedaron al 100% malla -10, se

obtuvieron 44 muestras de 1 kilo cada una, que se pusieron cada muestra en una bolsa para posteriormente usarlos para las pruebas de molienda y pruebas metalúrgicas con la aplicación del diseño experimental para evaluar el aumento de la ley y recuperación de cobre y oro de acuerdo a los parámetros o factores usados en el proceso de planta.

En el transcurso del estudio en la planta concentradora ya se estaba procesando dicho mineral a nivel de planta obteniéndose hasta ese momento en el concentrado de cobre las siguientes leyes: cobre de 21.62%, plata de 13.79 oz/tn y oro de 2.25 g/tn. Estos resultados de las leyes iban a servir como base para el objetivo de estudio del aumento de ley y recuperación de cobre y oro evaluando los factores que influyen en dicha ley y recuperación de cobre y oro en el concentrado ya que se iban a procesar 9 campañas más de 28 800 toneladas de mineral en cada campaña.

## Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

Según las investigaciones actuales y los métodos experimentales en metalurgia, el proceso de optimización en la metalurgia de extracción de minerales no se ha explorado completamente y, debido a la complejidad heterogénea de los minerales a procesar, los minerales tienen un mayor contenido de metal en comparación con otros países mineros por ello se necesita investigación para optimizar sus parámetros de rendimiento, lo que significa mayor tecnología de proceso y eficiencia económica.

La optimización del procesamiento de minerales y la metalurgia basada en el diseño experimental no es más que una planificación racional de los experimentos a realizar para obtener la máxima información con un mínimo de experimentos. Estos métodos de optimización son modelos estadísticos que pueden reducir de manera efectiva y significativa el costo de la investigación industrial.

En la metalurgia de la minería de minerales, a través del estudio del comportamiento de los minerales en procesos como flotación, lixiviación, separación magnética u otros procesos, nuestro objetivo es determinar las condiciones de operación que permitan la extracción de leyes minerales de alta calidad. Un polvo fino de cobre, plomo, zinc, plata, oro u otros metales. En estos casos, no hay duda de que se trata de un problema de optimización extremadamente difícil, ya que hay que tener en cuenta un gran número de variables debido al diferente origen de la composición del material a procesar o a la adición de determinadas cantidades de reactivos. procesamiento de minerales. Existen muchos métodos de optimización, uno de los cuales es cada vez más aceptado en la mayoría de las ramas de la ciencia y la ingeniería y es el método experimental de superficie de respuesta, desarrollado originalmente por Box y Wilson y posteriormente por Hunter et al. La metodología de la superficie de respuesta básicamente implica ajustar el modelo matemático del proceso y encontrar las condiciones óptimas. Este método proporciona una perspectiva diferente sobre la interpretación y análisis de resultados experimentales.



## **1.1 Generalidades**

Huaral es conocida por su clima, agricultura y gente amable. Por ello, en 2017, el ingeniero de sistemas César Wilfredo Cavero Guerrero y el empresario Marco Antonio Zambrano tomaron la iniciativa de fundar la empresa CMCZ.SAC, la cual consta de una planta de procesamiento de minerales polimetálicos, un laboratorio químico y un laboratorio metalúrgico, ubicadas en el centro poblado Huacho chico-provincia de Huaral, con sus respectivas oficinas centrales ubicadas en el Callao, desde donde prestan servicios de procesamiento de minerales polimetálicos a terceros en la concentradora Centenario.

La Concentradora Centenario pertenece al rubro de pequeña minería y se especializa en la comercialización al por mayor de metales y minerales metálicos. Fue fundada y registrada el 29 de mayo de 2017 y registrada como sociedad de responsabilidad limitada con empresas comerciales y empresas comerciales. Actualmente, se dedica principalmente a aprovechar los beneficios de los minerales polimetálicos mediante la flotación selectiva de diversos concentrados, análisis químicos apropiados de terceros de las calidades originales y, en ocasiones, pruebas metalúrgicas de minerales polimetálicos. La capacidad de procesamiento diaria es de 320 toneladas por día y la capacidad máxima de procesamiento permitida es de 350 toneladas por día.

Los minerales se transfieren primero desde las distintas minas de los clientes (Gloree, Copemina, América Real Estate, Minera Javes) donde se almacenan individualmente en campos de mineral donde se toman muestras para determinar sus respectivas leyes principales.

### **1.1.1 Ubicación**

La concentradora Centenario está ubicada en el centro poblado Huacho Chico perteneciente a Huaral, Provincia de Lima, a una altitud de 188 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra al norte de Lima. Sus relieves se caracterizan por formaciones a veces planas y otras empinadas.

## Figura 1

Vista Satelital de la Planta Concentradora Centenario.



### 1.1.2 Acceso

Tabla 1

Vía terrestre-1<sup>era</sup> forma de llegar.

Lima-Terminal Zbuss	20 km	40 minutos
Terminal Zbuss-Huaral	80 km	90 minutos
Huaral-Huacho Chico (Planta Concentradora Centenario)	18 km	25 minutos

Tabla 2

Vía terrestre-2<sup>da</sup> forma de llegar.

Lima-Terminal Zbuss	20 km	40 minutos
Terminal Zbuss-Desvió a Huacho Chico	95 km	105 minutos
Desvió a Huacho Chico-Huacho Chico (Planta Concentradora Centenario)	2.5 km	7 minutos

### 1.1.3 Recurso Hídrico

La Planta Concentradora Centenario tiene dos reservorios de agua, las cuales son alimentados por una reserva de agua proveniente del río, dicha reserva de agua está ubicada en el centro poblado Huacho Chico. La alimentación de esta agua fresca es mediante bombas.

La reserva de agua fresca N°1 tiene un volumen de 650 m<sup>3</sup> y la reserva de agua N°2 tiene un volumen de 1000 m<sup>3</sup>, la cual en conjunto dura para 3 días de proceso en la

planta concentradora.

## Figura 2

*Reserva N°1 y N°2 de agua fresca.*



### 1.2 Descripción de la problemática

Los minerales procesados por Corporación CMCZ S.A.C en la concentradora Centenario se obtienen de pequeños mineros; suele consistir en una mezcla de diferentes categorías de minerales que tienen diferentes composiciones mineralógicas:

- Esfalerita (Sulfuro de zinc-ZnS): Tiene Zn=67% y S=33%, dureza de 3.79 aproximadamente y una gravedad específica de 4. Siempre está asociado al hierro y azufre.
- Galena (Sulfuro de plomo-PbS): Tiene Pb=86.6%; S=13.14%, dureza de 2.5 y una gravedad específica de 7.5. La plata está asociada a la galena, también puede estar asociado a cantidades de Zn, Cd, Sb, Bi, Cu.
- Chalcopirita (Sulfuro de cobre y hierro-CuFeS<sub>2</sub>): Tiene Cu=34.62%; Fe=30.43%; S=34.94%, dureza de 3.75 y una gravedad específica de 4.2. El oro mayormente este asociado a este mineral de cobre.

El concentrado de cobre se obtiene añadiendo reactivos con el objetivo de deprimir

los minerales no valiosos y flotar el mineral valioso de cobre. Actualmente, el método más utilizado es la flotación.

Las dificultades en el proceso de flotación surgen principalmente en minerales polimetálicos donde los sulfuros tienen diferentes propiedades.

Los KPI's críticos que se encuentran en la Planta son los siguientes:

- Alta dureza del mineral que se procesa.
- Falta de requerimientos de repuestos para los equipos.
- Molino de bolas presentan desgastes en sus forros internos.
- Baja recuperación de cobre.
- Baja recuperación de oro.
- Las posibles razones estudiadas son:
  - El mineral de mina viene de tamaño muy grandes.
  - Problemas operativos y operacionales con los equipos.
  - Mala dosificación de reactivos de flotación.

Por lo tanto, evaluaremos los factores o parámetros importantes relacionados con el proceso de flotación del concentrado de cobre, los cuales son: consumo de Cianuro (g/tn), % malla -200, consumo de Xantato Z-11, consumo de P-204. Optimizando estas variables se pondrá tener una mejor calidad de cobre y una mayor recuperación de cobre también el objetivo es mejorar la calidad y recuperación de oro en el concentrado de cobre.

### **1.3 Objetivo del Estudio**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar los factores que influyen en el proceso de flotación del concentrado de cobre y determinar las variables más significativas con la finalidad de optimizar la dosificación de reactivos para mejorar la calidad y recuperación de cobre y oro.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Establecer el grado de influencia los factores y sus respectivas interacciones (NaCN, Xantato Z-11, grado de liberación, P204), en el proceso de flotación de cobre.

- Determinación del rango óptimo de los factores más significativos en el proceso de flotación de cobre.
- Obtención del aumento del % de recuperación de cobre de acuerdo a los resultados de la aplicación del diseño factorial fraccionado
- Obtención del aumento del % de recuperación de oro de acuerdo a los resultados de la aplicación del diseño factorial fraccionado.
- Obtención del aumento del % de recuperación de cobre de acuerdo a los resultados en la etapa de optimización aplicando diseño octogonal.
- Obtención del aumento del % de recuperación de oro de acuerdo a los resultados en la etapa de optimización aplicando diseño octogonal.

#### **1.4 Antecedentes Investigativos**

##### **1.4.1 Antecedentes Referenciales**

Actualmente, el negocio de concentrados polimetálicos atraviesa una etapa muy difícil debido a los cambios de costos en el mercado internacional, lo que significa que es necesario optimizar los procesos para sobrevivir y competir en el mercado reduciendo costos y gastos de procesamiento.

Por lo tanto, los estudios de pruebas de flotación son importantes y la experiencia también es un factor importante para reducir el número de variables y el grado en que estas variables deben analizarse.

El número de variables que afectan los resultados metalúrgicos durante la flotación es muy grande y se puede resumir en tres grupos:

- Mineral de alimentación a la etapa de molienda (pH de la pulpa, tamaño de partícula del mineral, densidad del overflow, características microscópicas del mineral chancado.
- Tiempo de molienda y dosificación de reactivos.
- Etapa de flotación (altura del colchón de espuma, dimensión de las burbujas, forma geométrica de las celdas de flotación y dosificación de reactivos de flotación).

De ahora en adelante, considerando las variables del estudio y evaluando su efecto

en el proceso de flotación, realizaremos pruebas de investigación utilizando el diseño experimental para obtener la máxima información, mientras utilizamos métodos estadísticos para analizar el efecto de cada variable para explicar y resolver el estudio, así como solucionar problemas metalúrgicos entre ellos tenemos a mejorar la calidad y recuperación de cobre y oro.

#### **1.4.2 Hipótesis**

“Si optimizamos los parámetros o factores que más influyen en el proceso de flotación del cobre, mejoraremos la calidad y recuperación de cobre y oro”.

#### **1.4.3 Hipótesis Específicas**

- Verificar la mayor recuperación de cobre con una buena calidad comercial de cobre (%).
- Verificar la mayor recuperación de oro con una buena calidad comercial de oro (g/tn).
- Lograr optimizar para así generar mayores ingresos por la venta de cada tonelada de concentrado de cobre.

#### **1.4.4 Justificación de la Investigación**

Este trabajo de investigación se realizó para solucionar problemas operativos, ya que la mayoría de las empresas mineras que procesan minerales polimetálicos tienen estos problemas operativos que dificultan la recuperación de minerales valiosos en el concentrado de cobre.

#### **1.4.5 Tipo de Investigación**

Este estudio es una investigación innovadora en la industria minera que relacionará los datos obtenidos experimentalmente y llevarlos a la aplicación de nivel industrial.

#### **1.4.6 Marco metodológico del diseño experimental**

**1.4.6.1 Operación de las Variables.** Para la etapa de descarte de datos se hará uso de la técnica del diseño factorial fraccionado y para la etapa de optimización se empleará el diseño octogonal.

En este análisis nos apoyaremos en la aplicación del software estadístico Minitab

con el objetivo de evaluación, interpretación y optimización de los factores que se estudiarán.

Con la finalidad de la realización de este estudio se analizarán los siguientes factores:

- Factores controlables ( $X_i$ )
  - Consumo de NaCN (g/tn), Xantato Z-11 (g/tn), P-204 (g/tn).
  - Grado de liberación (%m-200).
- Factor dependiente ( $Y_i$ )
  - Calidad de cobre (%) en el concentrado de cobre.
  - Recuperación de cobre (%) en el concentrado de cobre.
  - Calidad de oro (g/tn) en el concentrado de cobre.
  - Recuperación de oro (%) en el concentrado de cobre.
- Variables intervinientes no controlables ( $U_i$ )
  - Ph
  - Espumante MIBC.

**1.4.6.2 Población y muestra.** El mineral que se procesa en la Planta Concentradora Centenario tiene la siguiente característica mineralógica:

- Mena: Chalcopirita con contenido de oro.
- Ganga: Cuarzo-pirita.

De este mineral de cobre por medio del proceso de flotación obtenemos concentrado de cobre con contenido de oro.

**1.4.6.3 Técnicas de análisis de datos.** Utilice estrategias estadísticas para ajustar datos y derivar patrones que indiquen variables relacionadas con el proceso. Para ello se utilizó un diseño factorial fraccionado para comprobar la significancia o no significancia de los factores controlables y un diseño octogonal en la etapa de optimización.

Para el estudio del análisis e interpretación de datos estadísticos nos apoyamos en la aplicación del software estadístico Minitab en el cual nos dará:

- Los efectos de la significancia de las variables controlables mediante el diagrama

de Pareto, grafica de efectos principales y grafica de efectos con interacciones.

- Análisis de varianza y su modelo matemático.
- Grafica de contorno y grafica de superficie.
- Parámetros óptimos de la etapa de optimización.



## Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

### 2.1 Marco Teórico

#### 2.1.1 Etapa de Chancado

En la conminución de minerales el Chancado es el primer paso mecánico del proceso y su objetivo principal es liberar minerales valiosos del mineral a tratar.

Suele ser una operación en seco y suele realizarse en dos o tres etapas. Los bloques de mineral extraído directamente del tajo ya sea de minera subterráneo o superficial son del tamaño de diámetro aproximado de 1,5 m, que se reduce a 20 cm en la etapa de trituración primaria en máquinas que soportan estos minerales duros.

Objetivo:

- Liberación de los minerales valiosos de la ganga previo a la etapa de concentración.

En la industria de pequeña, media y gran minería cuentan con diferentes equipos de trituración y mayormente se clasifica conforme al tamaño de alimento del mineral.

Por ejemplo, tenemos la siguiente clasificación:

**2.1.1.1 Chancadoras Primarias.** Chancan y rompen las rocas hasta un tamaño de producto de aproximadamente 6" a 8". En esta etapa se usa la chancadora de quijada.

#### Figura 3

*Chancadora de quijada.*



**2.1.1.2 Chancadoras Secundarias.** Chancan y rompen las rocas hasta un tamaño de producto de aproximadamente 2" a 3". En esta etapa se usa la chancadora cónica.

**Figura 4**

*Chancadora cónica.*



**2.1.1.3 Chancadoras Terciarias.** Chancan y rompen el mineral hasta un tamaño de producto de aproximadamente 3/8" a 1/2". En esta etapa se usa la chancadora de rodillos.

**Figura 5**

*Chancadora de rodillos.*



Por tanto, el proceso de molienda se considera un paso esencial en cualquier operación metalúrgica. Además, la mayor parte del insumo de energía en la operación se

centra en reducir el tamaño de los materiales de la mina en los procesos de trituración y molienda (Kobashicawa, 2009).

### **2.1.2 Etapa de molienda de minerales**

Este es el siguiente paso mecánico en el proceso posterior al chancado, donde el tamaño de las partículas de los minerales entrantes continúa disminuyendo a tamaños de partículas de aproximadamente 70 y 180 micrones, liberando finalmente la mayoría de los minerales a procesar. Las partículas ya liberadas pueden recuperarse mediante el proceso de flotación u otros procesos de concentración como lixiviación.

El proceso se lleva a cabo utilizando grandes equipos rotativos o molinos cilíndricos existentes y consta de dos esquemas de molienda diferentes: molienda convencional y molienda no convencional. Durante esta etapa de molienda, se agrega una gran cantidad de agua al material mineralizado, suficiente para formar un líquido denominado pulpa en unión con los reactivos necesarios para el proceso de flotación.

### **2.1.3 Etapa de flotación de minerales**

La etapa de flotación de minerales es un proceso fisicoquímico en el que se concentran minerales finamente molidos un tamaño de 60% malla -200. Este proceso implica el tratamiento químico del mineral molido para crear las condiciones óptimas para que las partículas de los minerales valiosos se puedan unir o adherir con las burbujas de aire en la celda de flotación.

#### **Factores que intervienen en la flotación:**

En esencia, en la etapa de flotación de minerales participan cuatro factores muy importantes y son:

#### **La pulpa de mineral**

Es una mezcla heterogénea de minerales que ha pasado previamente por la etapa de molienda y es el principal elemento de flotación porque contiene todos los elementos que componen los minerales. Esta lechada de pulpa debe cumplir ciertas condiciones, lo que significa que el mineral debe molerse finamente a un tamaño no mayor a 320 micras y no menor a 54 micras. Dentro de este rango de parámetros o tamaños de partículas, se

pueden recuperar eficazmente valiosas partículas de sulfuro. (Realmente depende de la estructura mineralógica del tipo de mineral).

En el caso se tenga una pulpa que este compuesta por partículas gruesas, debido a que la ineficiencia de la etapa de molienda, ocasionara que estas partículas se precipiten en la parte inferior de las celdas de flotación, a este problema operativo se le conoce como arenamiento de las celdas de flotación, ocasionando en ocasiones atoramientos de las tuberías, paradas inesperadas del impulsor provocando que se puedan malograr los motores de las celdas.

Por el otro lado si la pulpa está compuesta por partículas muy finas, ocasionara que estas partículas floten en forma de lamas en las celdas de flotación, a este problema operativo se le conoce como lameado de las celdas de flotación, ocasionado que la recuperación disminuya ya que estas partículas de minerales valiosos lameadas se van al relave.

### **El aire en las celdas de flotación**

El aire es uno de los factores más primordiales en la formación de burbujas necesarias en la celda de flotación. Por lo cual, este nos brinda su apoyo en la agitación con la pulpa. La función de la espuma es que se encarga de elevar o hacer flotar los elementos valiosos hacia la parte superior o superficie de la pulpa en cada tanque de flotación o circuito de flotación.

El origen del aire se produce a través de la utilización de compresoras y son mandados por medio de ventilador denominados Blowers.

### **Los reactivos químicos**

Los reactivos son productos químicos que se utilizan para recuperar sulfuros valiosos, precipitar o retardar el progreso y sulfuros insolubles. Al agregar reactivos, de alguna manera podemos seleccionar los elementos valiosos y luego procesarlos en los concentrados correspondientes.

Para obtener una comprensión más amplia de las funciones específicas de cada reactivo, se puede dividirlo en tres grupos: agentes espumantes, colectores y

modificadores; más adelante profundizaremos en los reactivos químicos utilizados en la preparación de este trabajo de investigación.

Finalmente, en la etapa de flotación los reactivos de flotación hacen que los elementos valiosos que queremos recuperar se peguen generando su flotabilidad.

### **La Agitación**

El factor de la agitación de la pulpa del mineral permite la formación de burbujas de aire para la flotación de minerales y también ayuda a crear una mezcla homogénea dentro de la celda de flotación. Otro punto importante es que la agitación evita que los sólidos de la pulpa de mineral se sedimenten en lo profundo de la celda de flotación (Azañero, 2009).

#### **2.1.4 Etapa de espesamiento de concentrado y relaves**

Esta etapa de espesamiento implica la sedimentación de partículas sólidas suspendidas en un líquido bajo la influencia de la gravedad. En el procesamiento de minerales polimetálicos, los concentradores se utilizan a menudo para concentrar o sedimentar desechos y recuperar el agua del proceso y muchos concentrados antes de la filtración. Estos dispositivos, llamados espesadores, forman parte de un circuito decantador a contracorriente (CCD) y son los más utilizados. También se pueden utilizar como capacidad de almacenamiento para mezcla y deshidratación intermedia de productos de flotación mineral.

Por tanto, se considera que la precipitación es una técnica para separar un sólido de un líquido mediante un dispositivo cilíndrico, normalmente de gran diámetro, llamado espesador.

En general, todos los espesadores se basan en el principio de gravedad para la decantación de sólidos. La cantidad de espesante aplicada está relacionada con las propiedades de la pulpa a espesar. A veces parte de la pulpa se asienta y deja una línea de separación distinta. Los principales factores que afectan la velocidad de sedimentación son la dilución inicial de la alimentación, el tamaño de las partículas, la forma de las partículas, la densidad de las partículas y la viscosidad de la mezcla.

### **2.1.5 Filtración**

La filtración es la extracción mecánica de líquidos de la pulpa con el objetivo de extraer sus sólidos y/o recuperar líquidos valiosos en concentración suficiente para su procesamiento, transporte, disposición final o reciclaje. Existen varios tipos de filtros, los más destacados son el filtro prensa, el filtro de tambor, el filtro de vacío y muchos otros.

## **2.2 Marco conceptual**

### **2.2.1 Descripción del proceso**

La Planta Concentradora Centenario brinda servicios de procesamientos de minerales polimetálicos a través de flotación de minerales. La planta tiene un permiso de tratamiento máximo de 320 tn/d. Los minerales que se procesan en la planta son en su mayoría sulfuros de cobre, plomo y zinc. El concentrado de cobre está asociado al oro y la plata. El concentrado de plomo y zinc está asociado a la plata. La acumulación de mineral a procesar viene de diferentes partes del país entre ellos tenemos a Casma, Cerro de Pasco, Huaraz y son almacenados en la cancha de mineral para esperar su respectivo proceso.

### **Figura 6**

*Cancha de acumulación de mineral.*



Nuestra fuente de recurso hídrico es el agua de río que se almacena en dos reservorios el cual denominamos reservorios de agua fresca. También contamos con dos

reservas de agua que salen del proceso el cual le denominamos reserva de agua recirculada.

**Figura 7**

*Reservorio de agua recirculada.*



**2.2.1.1 Etapa de Chancado.** Esta etapa está conformada por un chancado primario y un chancado secundario. El material de minerales que se tiene en la cancha se transporta mediante un camión y esta descarga encima de la criba estática de 7" la cual llena a la tolva de gruesos con una capacidad de 100 toneladas.

**Figura 8**

*Criba estática.*



Cuando se tiene el nivel de la tolva de gruesos al 100% se procede a pasar al chancado primario el cual está conformada por una chancadora de quijada 15"x24", la cual se alimenta del mineral fresco de la tolva de gruesos a través de una zaranda estacionaria de abertura 3/4".

**Figura 9**

*Área de Chancado.*



El producto de chancado primario es clasificado mediante una zaranda vibratoria de abertura de 1/2". El undersize sirve de alimento a la tolva de finos de capacidad para 140 toneladas. El oversize sirve de alimento a la chancadora cónica 3' que es considerado chancado secundario.

**Figura 10**

*Chancadora cónica.*





**2.2.1.2 Etapa de molienda y clasificación por hidrociclones.** Esta etapa está formada por molinos de bolas: un molino Denver 5'x 5', un molino Delta de 5'x 6' y un molino Delta de 6'x 8'.

**Figura 11**

*Área de molienda.*



La tolva de finos alimenta al molino 5'x 5' y al molino de 6'x 8' mediante dos fajas transportadoras. La descarga de estos molinos es mandada al cajón de pulpa el cual es bombeado al hidrociclón D-10 para su clasificación. Del hidrociclón se obtienen dos productos el overflow y el underflow. El overflow es el alimento al circuito de flotación y el underflow retorna hacia el molino 5'x 6' el cual es considerado molino de remolienda.

**Figura 12**

*Cajón de descarga de pulpa de los molinos.*



**2.2.1.3 Etapa de Flotación de minerales polimetálicos.** Esta etapa consta por 3 circuitos:

**Circuito de flotación de plomo**

Este circuito se conforma por 01 celda WS 6'x 6', 01 WS 7'x 8', 03 banquitos de celdas 42"x 42".

**Figura 13**

*Circuito de flotación de plomo.*



En este circuito la pulpa que es alimentada por el overflow del ciclón D-10 es el alimento al circuito de flotación de plomo y es aquí donde se obtiene por medio de flotación un concentrado de plomo, el cual su pH está en un rango de 7.5 a 9 y un relave que es bombeado directamente a la presa de relaves.

**Circuito de flotación de cobre**

Este circuito está formado por 01 celda WS 6'x 7', 01 bancode celdas 32"x 32" de 4 celdas, 01 banco de celdas 28"x 28" de 4 celdas y 01 banco de celdas 32"x 36" de 4 celdas.

**Figura 14**

*Circuito de flotación de cobre.*



Solo este circuito se dará uso cuando tengamos un concentrado Bulk Cu-Pb.

**Circuito de flotación de zinc**

Este circuito está formado por 03 celda WS 7'x 8', 02 celdas WS 6'x 7', 01 banco de celdas 34"x 40" de 3 celdas, 01 banco de celdas 34"x 45" de 3 celdas.

**Figura 15**

*Circuito de flotación de zinc.*



En este circuito el relave proveniente de la flotación de Pb pasa a un cajón de alimentación donde se echará cal y sulfato de cobre que son los reactivos que se usan

para flotar en los parámetros al zinc y el relave de este circuito de zinc se manda a la presa de relaves.

**Figura 16**

*Presa de relaves.*



**2.2.1.4 Etapa de Filtrado.** Esta etapa está constituida por un filtro de discos el cual consiste que la carga del concentrado de cobre es el alimento a este filtro de discos. El operador en campo cada determinado tiempo palettea los discos en donde es atrapado el concentrado para que se almacene en la cancha de concentrado.

**Figura 17**

*Filtro de disco.*



**2.2.1.5 Etapa de recojo de concentrado.** En esta etapa el concentrado recepcionado en la cancha con una humedad aproximada del 9% se forma en rumas por medio de máquinas el cual también procederá al llenado de los camiones encapsulados con el respectivo concentrado.

**Figura 18**

*Despacho de concentrado.*



### **2.3 Teoría del diseño experimental**

El diseño experimental es la aplicación del método científico con el fin de tener el conocimiento de un proceso a partir de la aplicación de experimentos debidamente diseñados. Este diseño experimental se incorpora con un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería con el objetivo de entender las situaciones complejas o difíciles.

La finalidad del diseño experimental es el estudio de los efectos de las variables controlables sobre las variables de respuesta.

Existen dos formas de factores controlables, el primero es cualitativo (equipos, tipos de material, trabajadores, formas de contorno, depreciación de equipos, etc.), y el segundo que es cuantitativo (pH, temperaturas, consumo de reactivos, tiempo de secado, variación de presiones, porcentaje de sólidos, etc.) con el fin de estudiar en que forma influyen cada variable controlable sobre las variables de respuesta.

#### **2.3.1 Experimento**

Un experimento se define como un cambio o variación en las condiciones operativas de un sistema o proceso para medir el efecto del cambio en una o más características clave de un producto o resultado. Por tanto, los experimentos nos permiten mejorar nuestra comprensión de un sistema o proceso. Un ejemplo es que un proceso químico puede probarse a temperaturas y presiones múltiples o diferentes y medirse los

cambios observados en el rendimiento o la eficiencia del proceso. El análisis de los efectos o datos conducirá a una mejor comprensión del proceso químico, lo que conducirá a una mejor ejecución del proceso (Ayala Mina Jorge, 1995).

### **2.3.2 Unidad experimental**

La definición de unidades experimentales es que son piezas o muestras utilizadas para obtener los valores que mejor representen los resultados de un experimento o prueba. En cualquier aplicación del diseño experimental, es importante entender cuidadosamente la definición de unidad experimental, ya que es una pieza o muestra de una sustancia, o un conjunto de piezas producidas que dependerán del proceso que se lleve a cabo él estudió. Un ejemplo sería si se quisiera explorar algunas alternativas para reducir el porcentaje de piezas defectuosas, al producir una gran cantidad de piezas en poco tiempo, sería obvio que el dispositivo experimental no sería confiable. Al estar formado por una sola pieza, los defectos se observan en una sola condición experimental. Una unidad experimental es un cierto número de piezas producidas en las mismas condiciones experimentales. El objetivo del dispositivo es analizar cuántos están dañados o necesitan ser reemplazados y cuántos están en buena condición.

### **2.3.3 Etapas en el diseño de experimentos**

Una de las características fundamentales de la planificación experimental es recomendar qué pruebas experimentales se deben realizar y cuántas pruebas experimentales se deben repetir para obtener la mayor información posible al menor costo. Un diseño creado a través de varios procesos teniendo en cuenta la repetición posterior se denomina matriz de diseño o simplemente diseño.

Cabe señalar que, para llevar a cabo un estudio experimental exitoso, es necesario realizar varios experimentos en determinadas etapas. En resumen, se puede decir que la etapa más importante y que requiere más tiempo es la planificación. Las diferentes fases del desarrollo experimental se detallarán continuamente de forma resumida para crear una perspectiva global resultante de su completo desarrollo y aplicación (Gutiérrez Pulido Humberto, 2008).

### **2.3.3.1 Planeamiento y realización.**

**Comprender y definir cuál es la pregunta de investigación.** Durante la etapa de planificación o diseño, se debe realizar un estudio de viabilidad para comprender y definir el problema de investigación, por qué es importante comprenderlo y, si es un problema, determinaremos la gravedad o severidad del problema.

**Seleccionar las variables de respuesta a analizar en cada punto del diseño experimental para verificar que su determinación sea precisa y confiable.** La elección de estas variables es crucial porque representan los resultados de las pruebas realizadas, por lo que es necesario elegir aquellas variables que mejor representen el problema o sean muy específicas del objeto de estudio. También debemos asegurarnos de que las mediciones de las variables resultantes sean altamente confiables. Es decir, debemos garantizar que el método de medición utilizado dé buenos resultados de medición y debe tener ciertos porcentajes de exactitud y precisión en las pruebas realizadas.

**Decida qué factores o variables probar en función de su importancia para la variable de respuesta.** Esto no significa que el experimentador necesite saber de antemano qué factores afectan las variables de respuesta, ya que ese es el motivo del experimento, pero debe considerar utilizar toda la información necesaria para incluir las variables más importantes consideradas.

**Elija los niveles de cada factor y el diseño experimental que mejor se adapte a esos factores y al propósito del experimento.** En este punto, es importante saber cuántas réplicas de cada experimento se ejecutarán, teniendo en cuenta el costo, el tiempo de finalización y la precisión del experimento.

**Planificar y organizar el trabajo piloto.** En este paso, una vez que tenga una base previamente desarrollada para elegir un diseño, planifique y organice todos los detalles del experimento, como la cantidad de personas involucradas, cómo se llevará a cabo el trabajo experimental, etc.

**Realizar trabajos piloto.** En este paso, siga el plan descrito en el paso anterior y, si descubre un nuevo incidente, revise a quién desea informar y qué hacer en función del

nuevo incidente (Ayala Mina Jorge, 1995).

**2.3.3.2 Análisis.** Lo más importante que hay que recordar en esta etapa es que los resultados de un experimento son una interpretación de una muestra, no de una población. Por lo tanto, necesitamos utilizar métodos estadísticos inferenciales para probar si estas diferencias son lo suficientemente grandes como para confirmar una diferencia general. El principal método estadístico en el que se basa el análisis experimental es el llamado análisis de varianza, o más comúnmente conocido como análisis de varianza (ANOVA), que es su abreviatura en inglés (Ayala Mina Jorge, 1995).

**2.3.3.3 Interpretación.** En esta etapa, basándose en un análisis estadístico formal, se debe investigar con más detalle lo que sucedió en el experimento, desde probar las conjeturas iniciales con resultados experimentales hasta probar y observar nuevos estudios. Los resultados obtenidos durante el proceso verifican los nuevos conocimientos adquiridos en el proceso, confirman las hipótesis y seleccionan el mejor método o tratamiento, siempre apoyado en pruebas estadísticas (Ayala Mina Jorge, 1995).

**2.3.3.4 Control y conclusiones.** Al resumir nuestro estudio experimental, es aconsejable sugerir qué medidas se tomarán para garantizar los resultados del estudio y preservar los mejores datos obtenidos (Gutiérrez Pulido Humberto, 2008).

#### **2.3.4 Arreglos ortogonales**

Una disposición ortogonal es el diseño sugerido por Taguchi. Como sugiere el nombre, tiene la propiedad de ortogonalidad.

Taguchi recomienda enumerar en la primera columna los factores que se consideran más difíciles de cambiar las puntuaciones de una prueba a otra. Al final, se determinó que Taguchi no propuso realizar el experimento de forma aleatoria, como se propone en el diseño clásico, sino que, por un lado, mencionó las dificultades prácticas de la elección y sus deficiencias (Ayala Mina Jorge, 1995).



## Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

### 3.1 Listado de equipos empleados en laboratorio metalúrgico

- Chancadora de quijada de 3"x 4".
- Piceta de ½ litro, 1 litro y 1 ½ litro.
- 5 jeringas de 1 cm<sup>3</sup>.
- Jeringas de 5 cm<sup>3</sup>.
- Jeringas de 10 cm<sup>3</sup>.
- Lonas para homogenización de muestras.
- Balanza digital.
- 1 pulverizador.
- Reactivos para flotación.
- Celda de flotación Denver para un 1 kg de muestra.
- Molino de bolas.
- Plateador de pulpa.
- Vasos precipitados.
- Bandejas de acero inoxidable.
- Horno para secado de muestras.

### 3.2 Cálculo del tiempo de molienda para un 60% malla -200

Para calcular el tiempo de molienda tenemos que una bolsa de 1 kilogramo de mineral sin moler y pasamos malla -200; una bolsa de 1 kilogramo mineral, molemos por el tiempo de 5 minutos y pasamos malla -200; una bolsa de 1 kilogramo de mineral, molemos por el tiempo de 10 minutos y pasamos malla -200 y finalmente una bolsa de 1 kilogramo de mineral, molemos por el tiempo de 15 minutos y pasamos malla -200.

**Figura 19**

*Molino de bolas nivel laboratorio.*



En resumen, tenemos 4 tiempos con el debido % malla-200, el cual de detalla en la Tabla 3.

**Tabla 3**

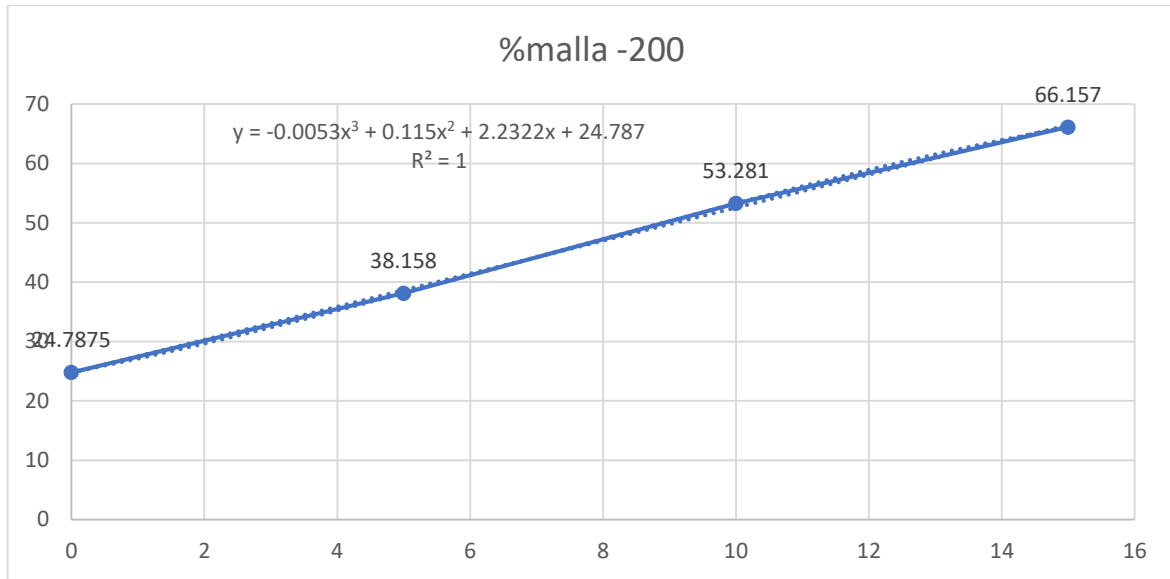
*Cálculo del tiempo de moliendabilidad.*

Tiempo	Peso malla +200(gr)	Peso malla -200(gr)	%malla -200
0	752.125	247.875	24.7875
5	618.42	381.58	38.158
10	467.19	532.81	53.281
15	338.43	661.57	66.157

De estos datos obtenidos procedemos a graficar la curva de moliendabilidad

**Figura 20**

*Curva de moliendabilidad.*



Teniendo la gráfica de Curva de Moliendabilidad que se detalla en la Figura 20, podemos conocer la ecuación de la curva y el  $R^2$ , que son:

Ecuación de la curva: 
$$Y = -0.0053(X^3) + 0.115(X^2) + 2.2322X + 24.787$$
  
 $R^2 = 0.99$

Por lo tanto, para el tiempo que tenga un 60% malla -200 es:

**Tabla 4**

*Tiempo de moliendabilidad.*

Tiempo	%malla -200
12.3835 minutos	60

### 3.3 Consumo de reactivos por g/tn a nivel planta y dosificación de reactivos para las pruebas metalúrgicas

En razón al consumo de reactivos en proceso (g/tn) se determina el promedio de consumo llevarlo a nivel de laboratorio metalúrgica (cc/kg).

**Tabla 5**

*Consumo de reactivos en Planta.*

Consumo de reactivos (gr/tn)		
NaCN al 1%	Z-11 al 10%	P-204 al 1%
37	920	45

**Tabla 6***Consumo de reactivos en Laboratorio.*

Consumo de reactivos (cc/kg)		
NaCN al 1%	Z-11 al 10%	P-204 al 1%
3.7	12.2	4.5

### 3.4 Planteamiento de las variables controlables para la formulación del diseño factorial fraccionado

La siguiente Tabla 7, muestra el rango de las variables en términos o unidades reales, se tiene en consideración que la prueba central representa aproximadamente el valor histórico de aplicación de las variables en la operación de planta, la amplitud del rango es equidistante al punto central representando valores máximos y mínimos posibles de aplicar y necesarios de estudiar.

**Tabla 7***Valores de los consumos por diseño factorial fraccionado.*

VARIABLES	-1	0	1	UNIDAD
NaCN	22	37	52	g/tn
Z-11	920	1220	1520	g/tn
Corte de Malla	50	60	70	%m-200
P-204	35	45	55	g/tn

#### **Variable X1 (NaCN):**

Reactivo de flotación para minerales de plomo, zinc y cobre; es un inhibidor de pirita-pirrotita, marcasita y arsenopirita. También tiene menos efecto inhibidor sobre minerales de cobre como calcopirita, bornita y la mayoría de minerales sulfurados (proporcionados en concentraciones más altas), excepto quizás la galena, que actúa como activador en este caso. El rango del estudio para la variable X1 (Cianuro de sodio) es de 22 g/tn y 52 g/tn que son el mínimo consumo para este tipo de mineral y el máximo consumo al que podríamos llegar tratando de encontrar mejorar la calidad y recuperación de cobre en el concentrado.

**Variable X2 (Z-11):**

Apropiadamente llamado xantato isopropílico de sodio es aquel reactivo colector de minerales valiosos como cobre, plomo y z-nc. Tiene mayor influencia en los minerales de cobre. El rango del estudio para la variable X2 (xantato isopropílico de sodio) es entre 920 g/tn y 1520 g/tn que son el mínimo consumo para este tipo de mineral y el máximo consumo al que se podría llegar con el objetivo de captar todas las partículas de cobre.

**Variable X3 (Grado de Liberación):**

Cuando una mineral va a ir al proceso de flotación nos imparta el tamaño de estas partículas al que estará asociado el grado de liberación en flotación. El grado de liberación nos indica el tamaño en el cual la partícula valiosa está libre y hace posible su recuperación por medio de la flotación para ello se estudiará la curva de moliendabilidad sobre el mineral de calcopirita. Según nuestro estudio nos indica que en 8.89 minutos tenemos una granulometría del 50% malla menos 200 y en 17.04 minutos tenemos una granulometría del 70% malla menos 200 como punto medio o central la granulometría está al 60% con un tiempo de 12.38 minutos.

**Variable X4 (P-204):**

Reactivo de flotación que tiene por objetivo recolectar minerales muy valiosos de oro y plata en los concentrados de cobre, plomo y zinc. El rango de estudio de la variable X4 (P-204) es entre 35 g/tn y 55 g/tn que son el mínimo consumo para este tipo de mineral y el máximo consumo al que se podría llegar con la finalidad de recolectar las partículas de minerales valiosos de oro y plata.

**Tabla 8***Dosificaciones de reactivos.*

N° Pruebas	PLANTILLA CODIFICADA				PLANTILLA DECODIFICADA			
	NaCN	Z-11	Corte de malla	P-204	NaCN	Z-11	Corte de malla	P-204
	(X1)	(X2)	(X3)	(X4)	(g/Tn)	(g/Tn)	(%m-200)	(g/Tn)
1	-1	-1	-1	-1	22	920	50	35
2	1	-1	-1	1	52	920	50	55
3	-1	1	-1	1	22	1520	50	55
4	1	1	-1	-1	52	1520	50	35
5	-1	-1	1	1	22	920	70	55
6	1	-1	1	-1	52	920	70	35
7	-1	1	1	-1	22	1520	70	35
8	1	1	1	1	52	1520	70	55
9	0	0	0	0	37	1220	60	45
10	0	0	0	0	37	1220	60	45
11	0	0	0	0	37	1220	60	45

Ya establecido los valores mínimos y máximos de cada factor controlable, lo llevaremos estos valores al software para la aplicación del diseño factorial fraccionado. Este diseño factorial fraccionado nos dará como resultado 8 pruebas metalúrgicas con diferentes valores de dosificaciones más 3 pruebas metalúrgicas que son con las dosificaciones iniciales que comúnmente se les llama pruebas centrales. La finalidad de la aplicación de este diseño factorial fraccionado es discriminar que variables son las más influyentes y cuales no para el aumento de la calidad y recuperación de cobre y oro.

**3.5 Pruebas de molienda y flotación**

Debemos tener 11 bolsas de mineral, cada una de 1 kg del cual la ley promedio es:

**Tabla 9***Leyes de cabeza del cobre, plata y oro.*

	Cu	Ag	Au
	%	oz/tc	g/t
<b>Ley de cabeza</b>	2.36	1.48	1.12

Estas 11 bolsas de 1 kg cada bolsa lo usaremos para realizar las pruebas de flotación en el laboratorio metalúrgico de acuerdo a las dosificaciones que nos ha proporcionado el diseño factorial fraccionado.

Posteriormente para iniciar con las pruebas metalúrgicas se procede a preparar los reactivos que utilizaremos.

### **3.6 Preparación de reactivos**

- Cianuro de sodio (NaCN) 1%: Utilizamos una fiola de 100 ml y echamos 1 gr de cianuro de sodio, se procede a echar un poco de agua para diluir el sólido para finalmente enrasarlo con agua entre la tangente del menisco y de esta manera se obtiene el cianuro de sodio preparado al 1% de concentración.
- P-204 1%: Utilizamos una fiola de 100 ml y echamos 1 gr de P-204, se procede a echar un poco de agua para diluir el sólido para finalmente enrasarlo con agua entre la tangente del menisco y de esta manera se obtiene el reactivo P-204 preparado al 1% de concentración.
- Espumante MIBC QP: Para este reactivo solo haremos uso de una jeringa de 5 cc ya que se usará químicamente puro sin diluirlo con agua.
- Xantato Z-11(Colector) 0.1%: Utilizamos una fiola de 100 ml y echamos 0.1 gr de Z-11, se procede a echar un poco de agua para diluir el sólido para finalmente enrasarlo con agua entre la tangente del menisco y de esta manera se obtiene el xantato Z-11 preparado al 0.1% de concentración.

### **3.7 Prueba de molienda y de flotación acorde al diseño factorial fraccionado**

- Usaremos un molino de bolas a nivel laboratorio para un peso de 1 kg de mineral.

**Figura 21**

*Molino de bolas del laboratorio.*



- Estas pruebas de laboratorio se realizaron considerando un mineral de cobre.

**Figura 22**

*Burbujas de la flotación de cobre.*



- Se flotará el cobre obteniendo así un concentrado de cobre y lo que no flota es considerado el relave que ambos tanto el concentrado como el relave se tienen que secar en un horno de secado de muestras.



## Figura 23

Concentrado de cobre.



- Una vez ya secado el concentrado y el relave se envían al laboratorio químico para el análisis de sus leyes.

Los resultados finales de la realización de las pruebas de flotación basándonos en la aplicación del diseño factorial fraccionado se presentarán a continuación:

### 3.7.1 Prueba Metalúrgica # 1:

Tabla 10

Dosificación de la prueba metalúrgica #1.

Molienda	Tiempo de Molienda	8.89 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	2.2 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 11****Resultados de la prueba metalúrgica #1.**

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	G	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.41	1	1	27.01	11.48	16.43
2da bandeja	25.12	2	3	23.34	9.79	11.47
3era bandeja	24.16	2	5	22.19	9.64	11.61
4ta bandeja	36.52	3	8	17.45	7.45	8.49
5ta bandeja	895.79			0.12	0.18	0.26

**3.7.2 Prueba de Metalúrgica # 2:****Tabla 12****Dosificación de la prueba metalúrgica #2.**

Molienda	Tiempo de Molienda	8.89 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	5.2 cc
	P-204(1%)	5.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 13****Resultados de la prueba metalúrgica #2.**

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	22.12	1	1	22.17	10.45	15.45
2da bandeja	26.78	2	3	20.96	8.49	10.89
3era bandeja	27.49	2	5	19.48	8.41	10.42
4ta bandeja	38.23	3	8	15.44	6.83	7.83
5ta bandeja	885.38			0.2	0.18	0.28

### 3.7.3 Prueba Metalúrgica # 3:

**Tabla 14**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #3.*

Molienda	Tiempo de Molienda	8.89 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	2.2 cc
	P-204(1%)	5.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	15.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 15**

*Resultados de la prueba metalúrgica #3.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	Min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	20.17	1	1	25.96	12.03	16.42
2da bandeja	24.15	2	3	23.14	9.45	12.12
3era bandeja	24.26	2	5	22.68	9.19	11.49
4ta bandeja	32.16	3	8	18.49	7.45	9.75
5ta bandeja	899.26			0.15	0.15	0.25

### 3.7.4 Prueba Metalúrgica # 4:

**Tabla 16**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #4.*

Molienda	Tiempo de Molienda	8.89 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	5.2 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	15.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 17***Resultados de la prueba metalúrgica #4.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	21.17	1	1	24.19	11.04	16.74
2da bandeja	24.03	2	3	23.02	8.45	12.06
3era bandeja	24.74	2	5	22.47	8.66	11.98
4ta bandeja	31.49	3	8	19.08	7.34	9.45
5ta bandeja	898.57			0.14	0.21	0.26

**3.7.5 Prueba Metalúrgica # 5:****Tabla 18***Dosificación de la prueba metalúrgica #5.*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	17.04 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	2.2 cc
	P-204(1%)	5.5 cc
	<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(10%)
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 19***Resultados de la prueba metalúrgica #5.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	19.41	1	1	27.45	15.12	17.45
2da bandeja	22.14	2	3	25.46	12.02	15.42
3era bandeja	22.23	2	5	25.12	11.58	14.69
4ta bandeja	27.10	3	8	21.02	9.45	11.45
5ta bandeja	909.12			0.15	0.1	0.18

### 3.7.6 Prueba Metalúrgica # 6:

**Tabla 20**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #6.*

Molienda	Tiempo de Molienda	17.04 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	5.2 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 21**

*Resultados de la prueba metalúrgica #6.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	Min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	20.12	1	1	25.12	14.06	16.48
2da bandeja	23.49	2	3	23.65	10.45	14.76
3era bandeja	23.67	2	5	23.29	10.29	13.05
4ta bandeja	28.13	3	8	20.18	7.56	10.47
5ta bandeja	904.59			0.19	0.14	0.21

### 3.7.7 Prueba Metalúrgica # 7:

**Tabla 22**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #7.*

Molienda	Tiempo de Molienda	17.04 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	2.2 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	15.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 23***Resultados de la prueba metalúrgica #7.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	Min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	20.10	1	1	30.36	17.23	16.21
2da bandeja	22.89	2	3	23.45	13.02	13.49
3era bandeja	22.46	2	5	23.78	13.41	14.09
4ta bandeja	24.75	3	8	21.01	8.49	12.41
5ta bandeja	909.80			0.18	0.05	0.23

**3.7.8 Prueba Metalúrgica # 8:****Tabla 24***Dosificación de la prueba metalúrgica #8.*

	Tiempo de Molienda	17.04 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
<b>Molienda</b>	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	5.2 cc
	P-204(1%)	5.5 cc
	Xantato Z-11(10%)	15.2 cc
	<b>Flotación</b>	Espumante MIBC
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 25***Resultados de la prueba metalúrgica #8.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	Min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	21.15	1	1	27.19	14.17	15.48
2da bandeja	23.19	2	3	23.16	11.48	13.42
3era bandeja	24.24	2	5	23.47	11.08	13.13
4ta bandeja	26.49	3	8	19.76	9.41	11.78
5ta bandeja	904.93			0.18	0.11	0.22

### 3.7.9 Prueba Metalúrgica # 9:

**Tabla 26**

Dosificación de la prueba metalúrgica #9.

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	4.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	12.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 27**

Resultados de la prueba metalúrgica #9.

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	19.89	1	1	26.73	14.08	15.29
2da bandeja	22.19	2	3	24.19	11.79	13.7
3era bandeja	23.07	2	5	23.72	11.67	13.46
4ta bandeja	27.45	3	8	20.74	8.47	11.29
5ta bandeja	907.40			0.17	0.12	0.25

### 3.7.10 Prueba Metalúrgica # 10:

**Tabla 28**

Dosificación de la prueba metalúrgica #10.

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	4.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	12.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 29****Resultados de la prueba metalúrgica #10.**

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	19.48	1	1	26.84	14.02	15.59
2da bandeja	23.01	2	3	24.06	11.68	13.78
3era bandeja	22.48	2	5	24.12	11.73	13.96
4ta bandeja	27.26	3	8	20.78	8.66	11.31
5ta bandeja	907.77			0.18	0.11	0.25

**3.7.11 Prueba Metalúrgica # 11:****Tabla 30****Dosificación de la prueba metalúrgica #11.**

	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
<b>Molienda</b>	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	4.5 cc
	Xantato Z-11(10%)	12.2 cc
<b>Flotación</b>	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 31****Resultados de la prueba metalúrgica #11.**

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	19.52	1	1	26.49	14.21	15.47
2da bandeja	23.36	2	3	24.36	11.26	13.83
3era bandeja	22.89	2	5	24.07	11.04	13.75
4ta bandeja	27.49	3	8	20.43	8.47	11.46
5ta bandeja	906.74			0.17	0.12	0.24



### 3.8 Balances metalúrgicos de las pruebas metalúrgicas

**Tabla 32**

***Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #1.***

Prueba Metalúrgica N°1										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	104.21	0.00010421	10.42	21.66	11.33	9.23	95.45	83.53	85.65	9.60
Relave	895.79	0.00089579	89.58	0.12	0.26	0.18	4.55	16.47	14.35	
Cabeza Calculada				2.36	1.41	1.12				

**Tabla 33**

***Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #2.***

Prueba Metalúrgica N°2										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	114.62	0.00011462	11.46	19.00	10.64	8.30	92.48	83.10	85.64	8.72
Relave	885.38	0.00088538	88.54	0.20	0.28	0.18	7.52	16.90	14.36	
Cabeza Calculada				2.35	1.47	1.11				

**Tabla 34**

***Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #3.***

Prueba Metalúrgica N°3										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	100.74	0.00010074	10.07	22.11	12.07	9.27	94.29	84.40	87.37	9.93
Relave	899.26	0.00089926	89.93	0.15	0.25	0.15	5.71	15.60	12.63	
Cabeza Calculada				2.36	1.44	1.07				

**Tabla 35*****Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #4.***

Prueba Metalúrgica N°4										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Cdonc.Bulk Cu-Pb	101.43	0.00010143	10.14	21.91	12.21	8.70	94.64	84.13	82.38	9.86
Relave	898.57	0.00089857	89.86	0.14	0.26	0.21	5.36	15.87	17.62	
Cabeza Calculada				2.35	1.47	1.07				

**Tabla 36*****Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #5.***

Prueba Metalúrgica N°5										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	90.88	0.00009088	9.09	24.48	14.49	11.81	94.22	88.95	92.19	11.00
Relave	909.12	0.00090912	90.91	0.15	0.18	0.10	5.78	11.05	7.81	
Cabeza Calculada				2.36	1.48	1.16				

**Tabla 37*****Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #6.***

Prueba Metalúrgica N°6										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	95.41	0.00009541	9.54	22.85	13.43	10.32	92.69	87.09	88.60	10.48
Relave	904.59	0.00090459	90.46	0.19	0.21	0.14	7.31	12.91	11.40	
Cabeza Calculada				2.35	1.47	1.11				

**Tabla 38*****Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #7.***

Prueba Metalúrgica N°7										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	90.20	0.0000902	9.02	24.40	13.95	12.81	93.08	85.74	96.21	11.09
Relave	909.80	0.0009098	90.98	0.18	0.23	0.05	6.92	14.26	3.79	
Cabeza Calculada				2.36	1.47	1.20				

**Tabla 39*****Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #8.***

Prueba Metalúrgica N°8										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	95.07	0.00009507	9.51	23.19	13.35	11.40	93.12	86.44	91.59	10.52
Relave	904.93	0.00090493	90.49	0.18	0.22	0.11	6.88	13.56	8.41	
Cabeza Calculada				2.37	1.47	1.18				

**Tabla 40*****Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #9.***

Prueba Metalúrgica N°9										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	92.60	0.0000926	9.26	23.60	13.27	11.27	93.41	84.41	90.55	10.80
Relave	907.40	0.0009074	90.74	0.17	0.25	0.12	6.59	15.59	9.45	
Cabeza Calculada				2.34	1.46	1.15				

**Tabla 41*****Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #10.***

Prueba Metalúrgica N°10

Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	92.23	0.00009223	9.22	23.69	13.48	11.29	93.04	84.56	91.25	10.84
Relave	907.77	0.00090777	90.78	0.18	0.25	0.11	6.96	15.44	8.75	
Cabeza Calculada				2.35	1.47	1.14				

**Tabla 42*****Balance metalúrgico de la Prueba de Metalúrgica #11.***

Prueba Metalúrgica N°11

Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	93.26	0.00009326	9.33	23.58	13.46	11.00	93.45	85.22	90.41	10.72
Relave	906.74	0.00090674	90.67	0.17	0.24	0.12	6.55	14.78	9.59	
Cabeza Calculada				2.35	1.47	1.13				

### 3.9 Resultados de la recuperación de cobre y recuperación de oro obtenido por el diseño factorial fraccionado

**Tabla 43***Recuperación de Cu y recuperación de Au en el concentrado de cobre.*

Pruebas	PLANTILLA DECODIFICADA				Rec. de Cu	Rec. de Au
	N°	NaCN(g/tn)	Z-11(g/tn)	Grado de liberación (%)	P-204(g/tn)	%
1	22	920	50	35	95.45	85.65
2	52	920	50	55	92.48	85.64
3	22	1520	50	55	94.29	87.37
4	52	1520	50	35	94.64	82.38
5	22	920	70	55	94.22	92.19
6	52	920	70	35	92.69	88.60
7	22	1520	70	35	93.08	96.21
8	52	1520	70	55	93.12	91.59
9	37	1220	60	45	93.41	90.55
10	37	1220	60	45	93.04	91.25
11	37	1220	60	45	93.45	90.41

Una vez obtenido los balances metalúrgicos se analiza la recuperación de cobre y la recuperación de oro en el concentrado de cobre con la finalidad de saber cuáles son los factores más significantes. Para estos resultados nos apoyaremos en métodos estadísticos inferenciales también conocido como análisis de varianza (ANOVA).

### 3.10 Análisis de recuperación de cobre

#### Coefficientes codificados

**Tabla 44***Coefficientes codificados de la recuperación de cobre (%).*

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		93.7469	0.0789	1188.77	0.000	
NaCN	-1.0275	-0.5137	0.0789	-6.51	0.023	1.00
Z-11	0.0693	0.0347	0.0789	0.44	0.703	1.00
Corte de Malla	-0.9386	-0.4693	0.0789	-5.95	0.027	1.00
P-204	-0.4375	-0.2187	0.0789	-2.77	0.109	1.00

NaCN*Z-11	1.2257	0.6129	0.0789	7.77	0.016	1.00
NaCN*Corte de Malla	0.2836	0.1418	0.0789	1.80	0.214	1.00
NaCN*P-204	-0.4299	-0.2149	0.0789	-2.73	0.112	1.00
Pt Ctral		-0.448	0.151	-2.97	0.097	1.00

### **Análisis e interpretación:**

Esta tabla nos proporciona en términos numéricos los efectos que tiene cada una de los factores controlables en el factor respuesta que es el porcentaje de recuperación de cobre. Si este efecto es "POSITIVO" diremos que la gráfica de efectos principales tiene una pendiente positiva, de otro modo si la es "NEGATIVO" diremos que la gráfica de efectos principales tendrá una pendiente negativa y finalmente si se tiene un numero de "CERO" diremos que la gráfica de efectos principales su pendiente es cero.

También decimos que estos valores de efectos de las variables controlables no me aseguran si dichos factores son significantes o no, para el factor respuesta.

### **Ecuación de regresión en unidades no codificadas**

$$\begin{aligned}
 \text{Rec. Cu (\%)} = & 104.53 + 0.01926 * \text{NaCN} - 0.004924 * \text{Z-11} - 0.0819 * \text{Corte de malla} + \\
 & 0.0311 * \text{P-204} + 0.000136 * \text{NaCN} * \text{Z-11} + 0.000945 * \text{NaCN} * \text{Corte de malla} - \\
 & 0.001433 * \text{NaCN} * \text{P-204} - 0.448 * \text{Pt central}
 \end{aligned}$$

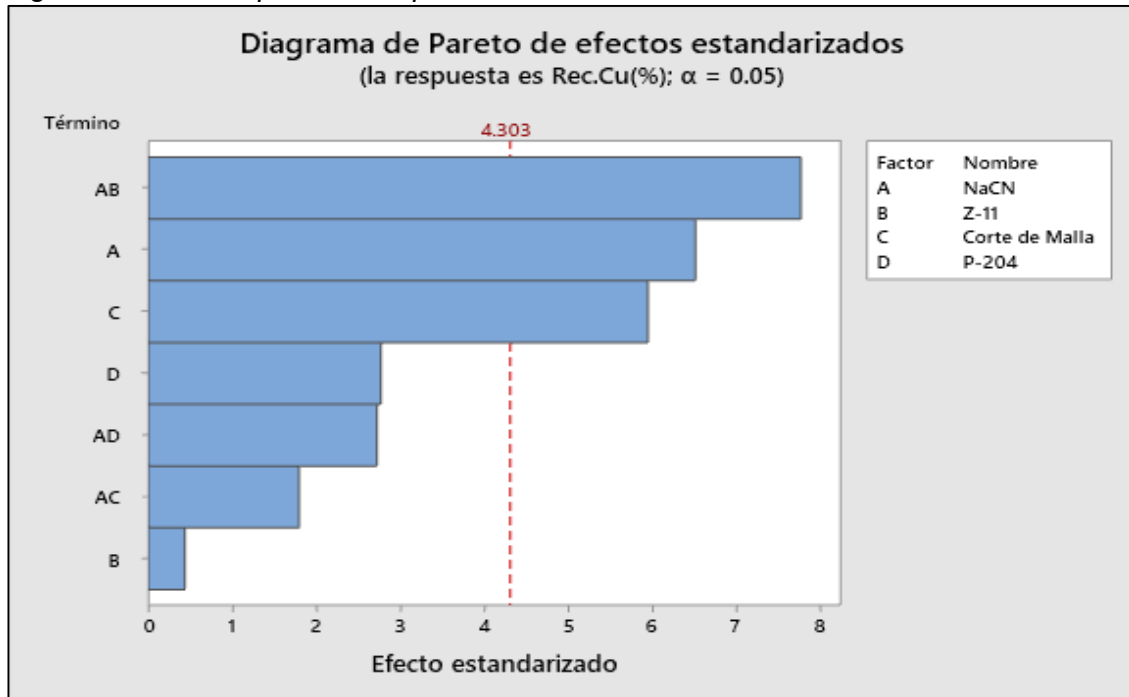
### **Análisis e interpretación:**

Ecuación de orden lineal que nos permite saber los coeficientes de cada uno de los factores y de sus permutaciones entre las variables con la finalidad de si queremos saber alguna recuperación que queremos llegar pondremos la dosificación de consumo de los reactivos (NaCN, xantato Z-11, corte de malla y P-204), esto es para no realizar pruebas metalúrgicas al azar, ya que genera aumento del costo de consumo de reactivos, aumento de energía, aumento de mano de obra y tiempo.

## Diagrama de Pareto de los efectos para el % de recuperación de cobre

Figura 24

Diagrama de Pareto para la recuperación de cobre.



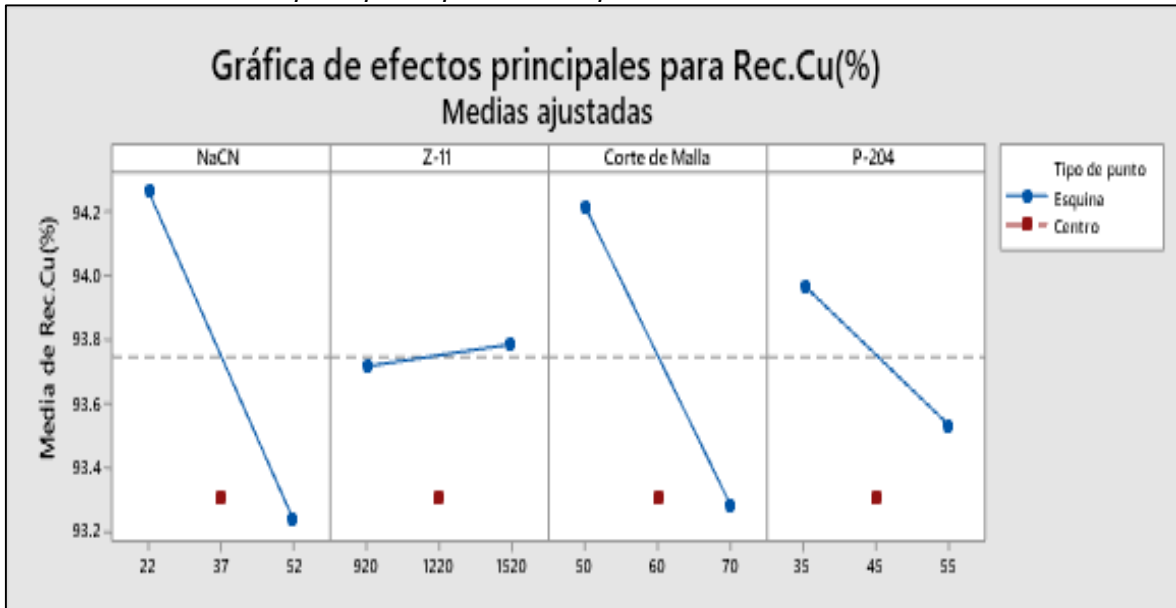
### Análisis e interpretación:

El diagrama de Pareto es muy primordial para saber la significancia y no significancia de los factores controlables en la variable respuesta (% de recuperación de cobre). Como factores tenemos A (NaCN), B (xantato Z-11), C (Corte de malla) y D (P-204). La línea de color roja nos indica que los factores que pasen aquel valor (4.303) serán significantes mientras que los factores que no pasen este valor serán factores no significantes para este estudio. Podemos decir finalmente que el factor A (consumo de NaCN) y el factor C (corte de malla) son los factores más significantes para la variable respuesta (recuperación de cobre).

### Gráfica de los efectos principales para la recuperación de cobre

**Figura 25**

Gráfica de los efectos principales para la recuperación de cobre.



**Análisis e interpretación:**

Podemos decir que:

- Si el factor controlable tiene pendiente positiva pronunciada se dice que es significativa para el aumento de la recuperación de cobre.
- Si el factor controlable tiene pendiente positiva pero no pronunciada se dice que es significativa para el aumento de la recuperación de cobre, pero en menor proporción.
- Si el factor controlable tiene pendiente negativa pronunciada se dice que es significativa para la reducción de la recuperación de cobre.
- Si el factor controlable tiene pendiente negativa pero no pronunciada se dice que es significativa para la reducción de la recuperación de cobre, pero en menor proporción.
- Si el factor controlable tiene pendiente cero se dice que dicho factor no tiene ningún efecto sobre la recuperación de cobre.



### **Análisis de las pendientes de cada factor controlable:**

- Para el NaCN se observa que a una dosificación de 22 g/tn se tiene aproximadamente una recuperación de cobre de 94.3 % y para una dosificación de 52 g/tn se tiene una recuperación de cobre de aproximadamente 93.23 %. Podemos dar por conclusión que a mayor consumo de NaCN el % de recuperación de cobre tiene la tendencia a disminuir.
- Para el Xantato Z-11 se observa que a una dosificación de 920 g/tn se tiene aproximadamente una recuperación de cobre de 93.76 % y para una dosificación de 1520 g/tn se tiene una recuperación de cobre de aproximadamente 93.79 %. Podemos dar por conclusión que a mayor consumo de Xantato Z-11 el % de recuperación de cobre se mantiene casi en el mismo valor.
- Para el grado de liberación se observa que a un valor de 50% se tiene aproximadamente una recuperación de cobre de 94.3 % y para un valor de 70% se tiene aproximadamente una recuperación de cobre de 93.22%. Podemos dar por conclusión que a mayor valor de grado de liberación el % de recuperación de cobre tiene la tendencia a disminuir.
- Para el P-204 se observa que a una dosificación de 35 g/tn se tiene aproximadamente una recuperación de cobre de 93.92 % y para una dosificación de 55 g/tn se tiene una recuperación de cobre de aproximadamente 93.58 %. Podemos dar por conclusión que a mayor consumo de P-204 el % de recuperación de cobre tiene la tendencia a disminuir.

Por lo tanto, en conclusión, se desea obtener un aumento de la recuperación de cobre y decimos que el factor más significativo es el consumo de NaCN seguidamente del grado de liberación y, por último, pero no menos importante el consumo de P-204. El consumo de Z-11 no es significativo ya que no se ve reflejado en el aumento de la recuperación de cobre.

### 3.11 Análisis de recuperación de oro

#### Coefficientes codificados

Tabla 45

*Coefficientes codificados de la recuperación de oro (%).*

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		88.705	0.159	556.63	0.000	
NaCN	-3.302	-1.651	0.159	-10.36	0.009	1.00
Z-11	1.367	0.683	0.159	4.29	0.050	1.00
Corte de Malla	6.887	3.444	0.159	21.61	0.002	1.00
P-204	0.988	0.494	0.159	3.10	0.090	1.00
NaCN*Z-11	-1.508	-0.754	0.159	-4.73	0.042	1.00
NaCN*Corte de Malla	-0.803	-0.402	0.159	-2.52	0.128	1.00
NaCN*P-204	2.137	1.069	0.159	6.71	0.022	1.00
Pt Ctral		2.033	0.305	6.66	0.022	1.00

#### Análisis e interpretación:

Esta tabla nos proporciona en términos numéricos los efectos que tiene cada una de los factores controlables en el factor respuesta que es el porcentaje de recuperación de oro. Si este efecto es "POSITIVO" diremos que la gráfica de efectos principales tiene una pendiente positiva, de otro modo si la es "NEGATIVO" diremos que la gráfica de efectos principales tendrá una pendiente negativa y finalmente si se tiene un numero de "CERO" diremos que la gráfica de efectos principales su pendiente es cero.

También decimos que estos valores de efectos de las variables controlables no me aseguran si dichos factores son significantes o no, para el factor respuesta.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Rec. Cu (\%)} = 65.47 + 0.0656 * \text{NaCN} + 0.00848 * \text{Z-11} + 0.4434 * \text{Corte de malla} - 0.2142 * \text{P-204} - 0.000168 * \text{NaCN} * \text{Z-11} - 0.00268 * \text{NaCN} * \text{Corte de malla} + 0.00712 * \text{NaCN} * \text{P-204} + 2.033 * \text{Pt central}$$

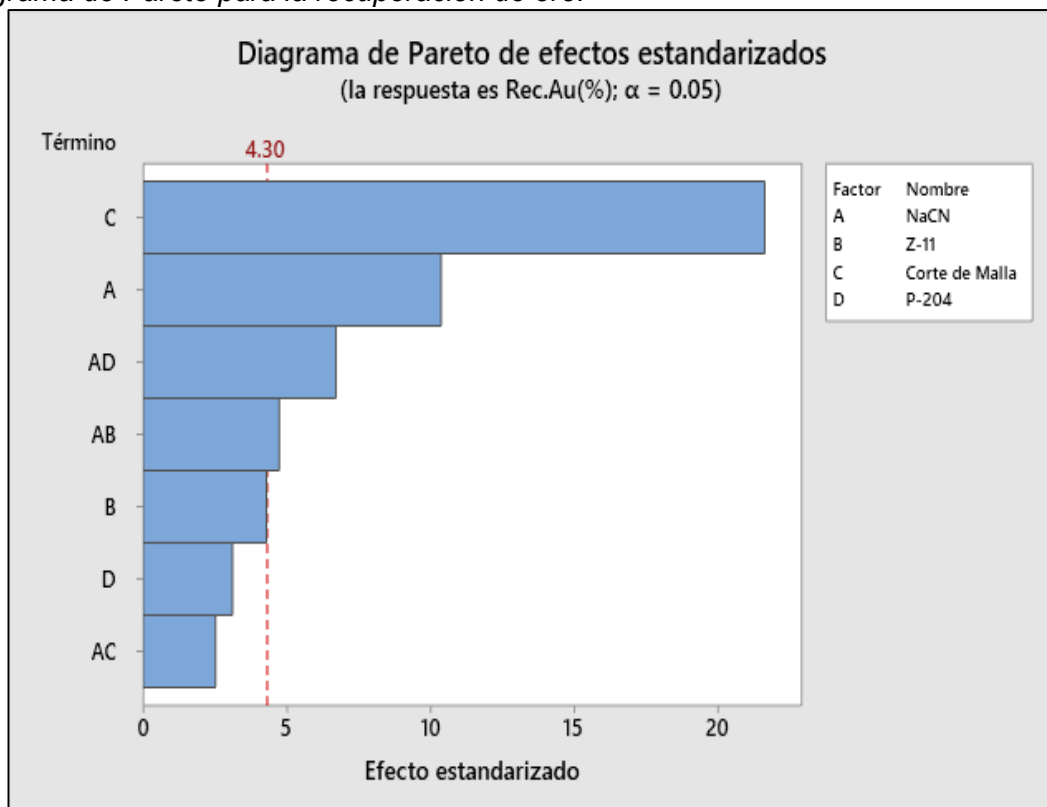
### Análisis e interpretación:

Ecuación de orden lineal que nos permite saber los coeficientes de cada uno de los factores y de sus permutaciones entre las variables con la finalidad de si queremos saber alguna recuperación de oro que queremos llegar pondremos la dosificación de consumo de los reactivos (NaCN, xantato Z-11, corte de malla y P-204), esto es para no realizar pruebas metalúrgicas al azar, ya que genera aumento del costo de consumo de reactivos, aumento de energía, aumento de mano de obra y tiempo.

### Diagrama de Pareto de los efectos para el % de recuperación de oro

Figura 26

Diagrama de Pareto para la recuperación de oro.



### Análisis e interpretación:

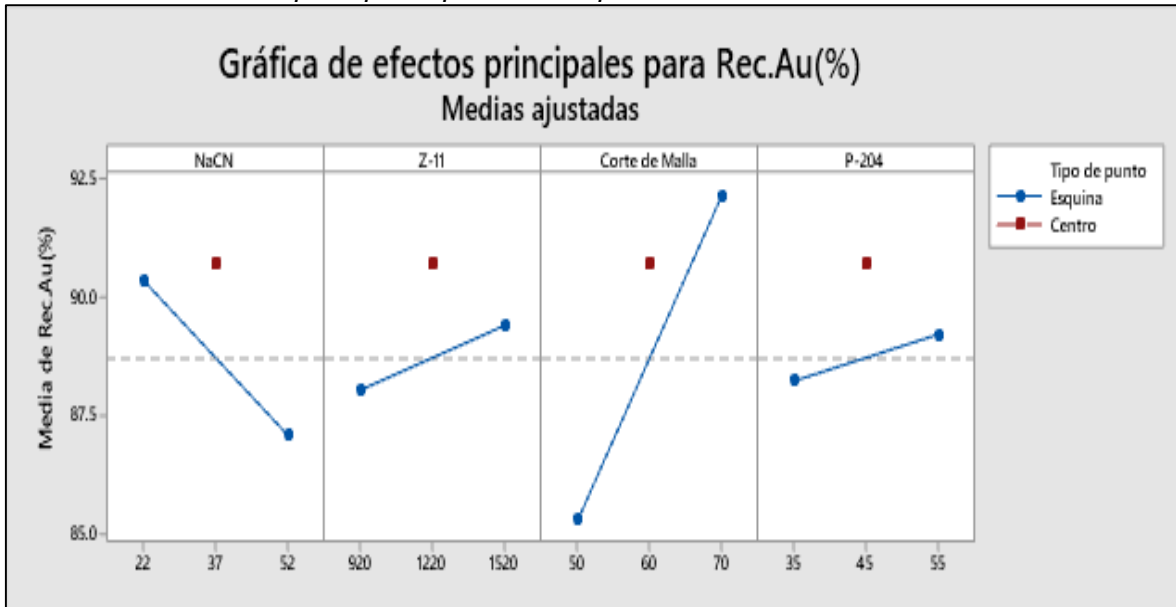
El diagrama de Pareto es muy primordial para saber la significancia y no significancia de los factores controlables en la variable respuesta (% de recuperación de oro). Como factores tenemos A (NaCN), B (xantato Z-11), C (Corte de malla) y D (P-204). La línea de color roja nos indica que los factores que pasen aquel valor (4.30) serán significantes mientras que los factores que no pasen este valor serán factores no

significantes para este estudio. Podemos decir finalmente que el factor C (corte de malla) y el factor A (consumo de NaCN) son los factores más significantes para la variable respuesta (recuperación de oro).

### Gráfica de los efectos principales para la recuperación de oro

Figura 27

Gráfica de los efectos principales para la recuperación de oro.



#### Análisis e interpretación:

Podemos decir que:

- Si el factor controlable tiene pendiente positiva pronunciada se dice que es significativa para el aumento de la recuperación de oro.
- Si el factor controlable tiene pendiente positiva pero no pronunciada se dice que es significativa para el aumento de la recuperación de oro, pero en menor proporción.
- Si el factor controlable tiene pendiente negativa pronunciada se dice que es significativa para la reducción de la recuperación de oro.
- Si el factor controlable tiene pendiente negativa pero no pronunciada se dice que es significativa para la reducción de la recuperación de oro, pero en menor proporción.
- Si el factor controlable tiene pendiente cero se dice que dicho factor no tiene ningún efecto sobre la recuperación de oro.

### **Análisis de las pendientes de cada factor controlable:**

- Para el NaCN se observa que a una dosificación de 22 g/tn se tiene aproximadamente una recuperación de oro de 90.35 % y para una dosificación de 52 g/tn se tiene una recuperación de oro de aproximadamente 87.05 %. Podemos dar por conclusión que a mayor consumo de NaCN el % de recuperación de oro tiene la tendencia a disminuir.
- Para el Xantato Z-11 se observa que a una dosificación de 920 g/tn se tiene aproximadamente una recuperación de cobre de 88.02 % y para una dosificación de 1520 g/tn se tiene una recuperación de cobre de aproximadamente 89.38 %. Podemos dar por conclusión que a mayor consumo de xantato Z-11 el % de recuperación de oro tiene ligeramente la tendencia a aumentar.
- Para el grado de liberación se observa que a un valor de 50% se tiene aproximadamente una recuperación de oro de 85.26 % y para un valor de 70% se tiene aproximadamente una recuperación de oro de 92.14 %. Podemos dar por conclusión que a mayor valor de grado de liberación el % de recuperación de oro tiene la tendencia a aumentar.
- Para el P-204 se observa que a una dosificación de 35 g/tn se tiene aproximadamente una recuperación de oro de 88.21 % y para una dosificación de 55 g/tn se tiene una recuperación de oro de aproximadamente 89.19 %. Podemos dar por conclusión que a mayor consumo de P-204 el % de recuperación de cobre tiene ligeramente la tendencia a aumentar.

Por lo tanto, en conclusión, se desea obtener un aumento de la recuperación de oro y decimos que el factor más significativo es el consumo de NaCN seguidamente del grado de liberación. El consumo de Z-11 no es significativo ya que no se ve reflejado un aumento significativo de la recuperación de oro y lo mismo pasa para el P-204.

### **3.12 Diseño octogonal para optimizar el aumento de la recuperación de cobre y la recuperación de oro en el concentrado de cobre**

En la Tabla 46 se detalla el rango de valores de los factores, se tiene en

conocimiento que la prueba central representa el valor promedio de los factores en el proceso planta, la amplitud del rango es por igual al punto central y representa los valores máximos y mínimos de los factores controlables.

**Tabla 46**

*Factores controlables para la recuperación de cobre y recuperación de oro.*

VARIABLES	-1	0	1	Und
NaCN (X1)	500	700	900	g/Tn
Grado de liberación (X3)	200	400	600	g/Tn

Establecidos los factores a estudiar con los valores mínimos y máximos lo llevaremos al software para que nos proporcione 13 pruebas metalúrgicas nuevas para la realización a nivel laboratorio.

**Tabla 47**

*Plantilla del diseño octogonal para la recuperación de cobre y recuperación de oro.*

N°	PLANTILLA		PLANTILLA DECODIFICADA	
	CODIFICADA			
Pruebas	X1	X2	NaCN(g/Tn)	Grado de liberación (%)
1	-1	-1	22.0000	50.0000
2	1	-1	52.0000	50.0000
3	-1	1	22.0000	70.0000
4	1	1	52.0000	70.0000
5	-1.41421	0	15.7868	60.0000
6	1.41421	0	58.2132	60.0000
7	0	-1.41421	37.0000	45.8579
8	0	1.41421	37.0000	74.1421
9	0	0	37.0000	60.0000
10	0	0	37.0000	60.0000
11	0	0	37.0000	60.0000
12	0	0	37.0000	60.0000
13	0	0	37.0000	60.0000

Los resultados de las pruebas metalúrgicas de acuerdo a las dosificaciones por diseño octogonal son:

### 3.12.1 Prueba metalúrgica #1:

**Tabla 48**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #1 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	8.89 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	2.2 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 49**

*Resultados de la prueba metalúrgica #1 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	G	min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.25	1	1	27.52	11.57	16.79
2da bandeja	25.03	2	3	23.21	9.63	11.83
3era bandeja	24.51	2	5	22.37	9.72	12.03
4ta bandeja	35.94	3	8	17.68	7.61	8.57
5ta bandeja	896.27			0.1	0.17	0.29

### 3.12.2 Prueba metalúrgica #2:

**Tabla 50**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #2 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	8.89 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	5.2 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 51***Resultados de la prueba metalúrgica #2 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.47	1	1	24.29	9.66	13.42
2da bandeja	24.87	2	3	21.13	8.03	11.48
3era bandeja	24.61	2	5	21.17	7.84	11.21
4ta bandeja	35.76	3	8	16.73	6.41	8.74

**3.12.3 Prueba metalúrgica #3:****Tabla 52***Dosificación de la prueba metalúrgica #3 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	17.04 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	2.2 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 53***Resultados de la prueba metalúrgica #3 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.49	1	1	26.88	16.03	16.12
2da bandeja	24.12	2	3	22.76	11.21	13.12
3era bandeja	24.01	2	5	22.66	11.13	13.03
4ta bandeja	35.96	3	8	16.25	7.02	10.46
5ta bandeja	897.42			0.18	0.05	0.16



### 3.12.4 Prueba metalúrgica #4:

**Tabla 54**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #4 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	17.04 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	5.2 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 55**

*Resultados de la prueba metalúrgica #4 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso g	Tiempo min	Tiempo acumulado min	Cu %	Au g/tn	Ag oz/tc
1era bandeja	18.49	1	1	26.88	16.03	16.12
2da bandeja	24.12	2	3	22.76	11.21	13.12
3era bandeja	24.01	2	5	22.66	11.13	13.03
4ta bandeja	35.96	3	8	16.25	7.02	10.46
5ta bandeja	897.42			0.18	0.05	0.16

### 3.12.5 Prueba metalúrgica #5:

**Tabla 56**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #5 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	1.57867965644036 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 57***Resultados de la prueba metalúrgica #5 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	19.02	1	1	28.15	15.45	16.05
2da bandeja	24.06	2	3	23.14	11.48	13.04
3era bandeja	24.15	2	5	23.16	11.26	13.06
4ta bandeja	36.02	3	8	17.02	8.45	10.84
5ta bandeja	896.75			0.12	0.04	0.18

**3.12.6 Prueba metalúrgica #6:****Tabla 58***Dosificación de la prueba metalúrgica #6 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	5.82132034355964 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 59***Resultados de la prueba metalúrgica #6 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.76	1	1	25.15	9.61	15.46
2da bandeja	24.80	2	3	22.13	8.16	12.87
3era bandeja	24.13	2	5	22.02	8.14	12.45
4ta bandeja	35.96	3	8	16.45	7.19	10.23
5ta bandeja	896.35			0.24	0.31	0.21

### 3.12.7 Prueba metalúrgica #7:

**Tabla 60**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #7 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	7.53
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 61**

*Resultados de la prueba metalúrgica #7 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso g	Tiempo min	Tiempo acumulado min	Cu %	Au g/tn	Ag oz/tc
1era bandeja	18.42	1	1	21.56	7.15	11.45
2da bandeja	24.19	2	3	19.49	5.89	9.48
3era bandeja	23.78	2	5	19.23	5.73	9.63
4ta bandeja	34.96	3	8	15.77	3.92	6.48
5ta bandeja	898.65			0.54	0.63	0.65

### 3.12.8 Prueba metalúrgica #8:

**Tabla 62**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #8 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	21.11
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 63***Resultados de la prueba metalúrgica #8 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.49	1	1	22.45	16.45	16.78
2da bandeja	25.12	2	3	20.19	13.15	14.12
3era bandeja	24.30	2	5	19.46	13.03	14.3
4ta bandeja	30.15	3	8	15.48	7.15	11.02
5ta bandeja	901.94			0.55	0.02	0.15

**3.12.9 Prueba metalúrgica #9:****Tabla 64***Dosificación de la prueba metalúrgica #9 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 65***Resultados de la prueba metalúrgica #9 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.67	1	1	27.65	14.15	16.49
2da bandeja	24.19	2	3	23.15	10.63	13.48
3era bandeja	24.62	2	5	23.69	10.11	13.67
4ta bandeja	33.45	3	8	17.93	7.45	11.45
5ta bandeja	899.07			0.11	0.11	0.14

### 3.12.10 Prueba metalúrgica #10:

**Tabla 66**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #10 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 67**

*Resultados de la prueba metalúrgica #10 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso g	Tiempo min	Tiempo acumulado min	Cu %	Au g/tn	Ag oz/tc
1era bandeja	18.66	1	1	27.62	14.21	16.51
2da bandeja	24.45	2	3	23.22	10.71	13.42
3era bandeja	24.31	2	5	23.45	10.62	13.76
4ta bandeja	34.01	3	8	17.86	7.66	11.63
5ta bandeja	898.57			0.12	0.11	0.13

### 3.12.11 Prueba metalúrgica #11:

**Tabla 68**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #11 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 69***Resultados de la prueba metalúrgica #11 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.44	1	1	27.52	14.26	16.52
2da bandeja	24.48	2	3	23.69	10.85	13.11
3era bandeja	24.03	2	5	23.47	10.52	13.63
4ta bandeja	33.96	3	8	17.12	7.54	11.41
5ta bandeja	899.09			0.13	0.1	0.14

**3.12.12 Prueba metalúrgica #12:****Tabla 70***Dosificación de la prueba metalúrgica #12 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 71***Resultados de la prueba metalúrgica #12 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.51	1	1	27.61	14.33	16.44
2da bandeja	24.63	2	3	23.89	10.45	13.36
3era bandeja	24.25	2	1	23.45	10.63	13.45
4ta bandeja	33.48	3	8	17.09	7.22	11.45
5ta bandeja	899.13			0.12	0.11	0.15

### 3.12.13 Prueba metalúrgica #13:

**Tabla 72**

*Dosificación de la prueba metalúrgica #13 por diseño octogonal.*

Molienda	Tiempo de Molienda	12.38 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	3.7 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 73**

*Resultados de la prueba metalúrgica #13 por diseño octogonal.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Au	Ag
	g	Min	Min	%	g/tn	oz/tc
1era bandeja	18.43	1	1	27.68	14.56	16.45
2da bandeja	24.67	2	3	23.48	10.34	13.33
3era bandeja	24.22	2	1	23.98	10.25	13.12
4ta bandeja	33.49	3	8	17.52	7.36	11.78
5ta bandeja	899.19			0.11	0.11	0.15

### 3.13 Balances metalúrgicos de las pruebas de flotación

**Tabla 74**

*Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #1 por Diseño Octogonal.*

Prueba Metalúrgica N°1										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	103.73	0.00010373	10.37	21.85	11.62	9.29	96.20	82.26	86.35	9.64
Relave	896.27	0.00089627	89.63	0.10	0.29	0.17	3.80	17.74	13.65	
Cabeza Calculada				2.36	1.47	1.12				

**Tabla 75*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #2 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°2										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	103.71	0.00010371	10.37	20.19	10.82	7.72	88.96	76.71	71.27	9.64
Relave	896.29	0.00089629	89.63	0.29	0.38	0.36	11.04	23.29	28.73	
Cabeza Calculada				2.35	1.46	1.12				

**Tabla 76*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #3 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°3										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	102.58	0.00010258	10.26	21.20	12.71	10.59	93.08	90.08	96.03	9.75
Relave	897.42	0.00089742	89.74	0.18	0.16	0.05	6.92	9.92	3.97	
Cabeza Calculada				2.34	1.45	1.13				

**Tabla 77*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #4 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°4										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	102.98	0.00010298	10.30	21.07	12.30	8.75	92.36	85.99	80.72	9.71
Relave	897.02	0.00089702	89.70	0.20	0.23	0.24	7.64	14.01	19.28	
Cabeza Calculada				2.35	1.47	1.12				



**Tabla 78*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #5 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°5										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	103.25	0.00010325	10.33	21.93	12.83	11.10	95.46	89.14	96.97	9.69
Relave	896.75	0.00089675	89.68	0.12	0.18	0.04	4.54	10.86	3.03	
Cabeza Calculada				2.37	1.49	1.18				

**Tabla 79*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #6 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°6										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	103.65	0.00010365	10.37	20.68	12.33	8.08	90.88	87.16	75.09	9.65
Relave	896.35	0.00089635	89.64	0.24	0.21	0.31	9.12	12.84	24.91	
Cabeza Calculada				2.36	1.47	1.12				

**Tabla 80*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #7 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°7										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	101.35	0.00010135	10.14	18.52	8.84	5.40	79.46	60.53	49.16	9.87
Relave	898.65	0.00089865	89.87	0.54	0.65	0.63	20.54	39.47	50.84	
Cabeza Calculada				2.36	1.48	1.11				

**Tabla 81*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #8 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°8										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	98.06	0.00009806	9.81	18.99	13.71	11.90	78.96	90.86	98.48	10.20
Relave	901.94	0.00090194	90.19	0.55	0.15	0.02	21.04	9.14	1.52	
Cabeza Calculada				2.36	1.48	1.18				

**Tabla 82*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #9 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°9										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	100.93	0.00010093	10.09	22.38	13.41	10.10	95.81	91.49	91.16	9.91
Relave	899.07	0.00089907	89.91	0.11	0.14	0.11	4.19	8.51	8.84	
Cabeza Calculada				2.36	1.48	1.12				

**Tabla 83*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #10 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°10										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	101.43	0.00010143	10.14	22.29	13.47	10.31	95.45	92.12	91.36	9.86
Relave	898.57	0.00089857	89.86	0.12	0.13	0.11	4.55	7.88	8.64	
Cabeza Calculada				2.37	1.48	1.14				

**Tabla 84*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #11 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°11										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	100.91	0.00010091	10.09	22.13	13.28	10.28	95.03	91.42	92.02	9.91
Relave	899.09	0.00089909	89.91	0.13	0.14	0.10	4.97	8.58	7.98	
Cabeza Calculada				2.35	1.47	1.13				

**Tabla 85*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #12 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°12										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	100.87	0.00010087	10.09	22.21	13.31	10.13	95.41	90.87	91.18	9.91
Relave	899.13	0.00089913	89.91	0.12	0.15	0.11	4.59	9.13	8.82	
Cabeza Calculada				2.35	1.48	1.12				

**Tabla 86*****Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica #13 por Diseño Octogonal.***

Prueba Metalúrgica N°13										
Componentes	Peso(g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Distribución (%)			Ratio
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				%	oz/tc	g/TM				
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	2.36	1.48	1.12	100.00	100.00	100.00	
Conc. Cu	100.81	0.00010081	10.08	22.39	13.34	10.10	95.80	90.88	91.15	9.92
Relave	899.19	0.00089919	89.92	0.11	0.15	0.11	4.20	9.12	8.85	
Cabeza Calculada				2.36	1.48	1.12				

### 3.14 Resultados del diseño octogonal con la plantilla decodificada para la recuperación de cobre y la recuperación de oro

**Tabla 87**

*Recuperación de Cu y Recuperación de Au en el concentrado de cobre por Diseño Octogonal.*

Pruebas	PLANTILLA DECODIFICADA		Rec. de Cu	Rec. de Au
N°	NaCN(g/tn)	Grado de liberación (%)	%	%
1	22.0000	50.0000	96.20	86.35
2	52.0000	50.0000	88.96	71.27
3	22.0000	70.0000	93.08	96.03
4	52.0000	70.0000	92.36	80.72
5	15.7868	60.0000	95.46	96.97
6	58.2132	60.0000	90.88	75.09
7	37.0000	45.8579	79.46	49.16
8	37.0000	74.1421	78.96	98.48
9	37.0000	60.0000	95.81	91.16
10	37.0000	60.0000	95.45	91.36
11	37.0000	60.0000	95.03	92.02
12	37.0000	60.0000	95.41	91.18
13	37.0000	60.0000	95.80	91.15

Estos resultados obtenidos del balance metalúrgico se analizará la recuperación de cobre y la recuperación de oro en el siguiente capítulo con la finalidad de optimizar el consumo de NaCN y el Grado de liberación.

## Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

### 4.1 Análisis de la recuperación de cobre aplicando el diseño octogonal

#### Coefficientes codificados

**Tabla 88**

*Coefficientes codificados de la recuperación de cobre por diseño octogonal.*

Término	Coef	EE del		Valor T	Valor p	FIV
		coef.				
Constante	95.50	1.55		61.55	0.000	
NaCN	-1.81	1.23		-1.47	0.184	1.00
Corte de Malla	-0.05	1.23		-0.04	0.968	1.00
NaCN*NaCN	0.45	1.32		0.34	0.741	1.02
Corte de Malla*Corte de Malla	-6.53	1.32		-4.96	0.002	1.02
NaCN*Corte de Malla	1.63	1.73		0.94	0.379	1.00

#### **Análisis e interpretación:**

En la Tabla 88 es fundamental reconocer la interpretación del Valor T (valor T-Student) de los factores controlables sabiendo que el programa ya tiene predeterminado el T-Student para este diseño octogonal cuyo valor es de 2.365 con intervalo de confianza de 95% que lo reconoceremos visualmente en la gráfica de Pareto. Decimos:

- El NaCN tiene en valor absoluto el valor de T de 1.47 menor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que el NaCN es un factor controlable que no tiene mucha significancia para la recuperación de cobre.
- El corte de malla tiene un valor absoluto del valor de T de 0.04 menor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que el corte de malla es un factor controlable que no tiene mucha significancia para la recuperación de cobre.
- El NaCN\*NaCN tiene un valor absoluto del valor de T de 0.34 menor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que la interacción NaCN\*NaCN no tiene mucha significancia para la recuperación de cobre.
- El Corte de malla\* Corte de malla tiene un valor absoluto del valor de T de 4.96

mayor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que la interacción Corte de malla \* Corte de malla tiene significancia para la recuperación de cobre.

- El NaCN \* Corte de malla tiene un valor absoluto del valor de T de 0.94 menor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que la interacción NaCN \* Corte de malla no tiene mucha significancia para la recuperación de cobre.

### Resumen del modelo R<sup>2</sup>

**Tabla 89**

*Resumen del modelo de recuperación de cobre por diseño octogonal.*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.46913	80.39%	66.38%	0.00%

### Análisis e interpretación:

Se debe analizar el valor de R-cuadrado que para nuestro estudio es 80.39% que su interpretación es que los factores controlables tienen una aceptación del 80.39% con relación a los resultados obtenidos de la recuperación de cobre.

### Análisis de varianza

**Tabla 90**

*Análisis de varianza de la recuperación de cobre por diseño octogonal.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	345.270	69.054	5.74	0.020
Lineal	2	26.114	13.057	1.08	0.389
NaCN	1	26.093	26.093	2.17	0.184
Corte de Malla	1	0.021	0.021	0.00	0.968
Cuadrado	2	308.533	154.267	12.82	0.005
NaCN*NaCN	1	1.420	1.420	0.12	0.741
Corte de Malla*Corte de Malla	1	296.512	296.512	24.64	0.002
Interacción de 2 factores	1	10.622	10.622	0.88	0.379
NaCN*Corte de Malla	1	10.622	10.622	0.88	0.379
Error	7	84.244	12.035		
Falta de ajuste	3	83.823	27.941	265.24	0.000
Error puro	4	0.421	0.105		
Total	12	429.514			

### Análisis e interpretación:

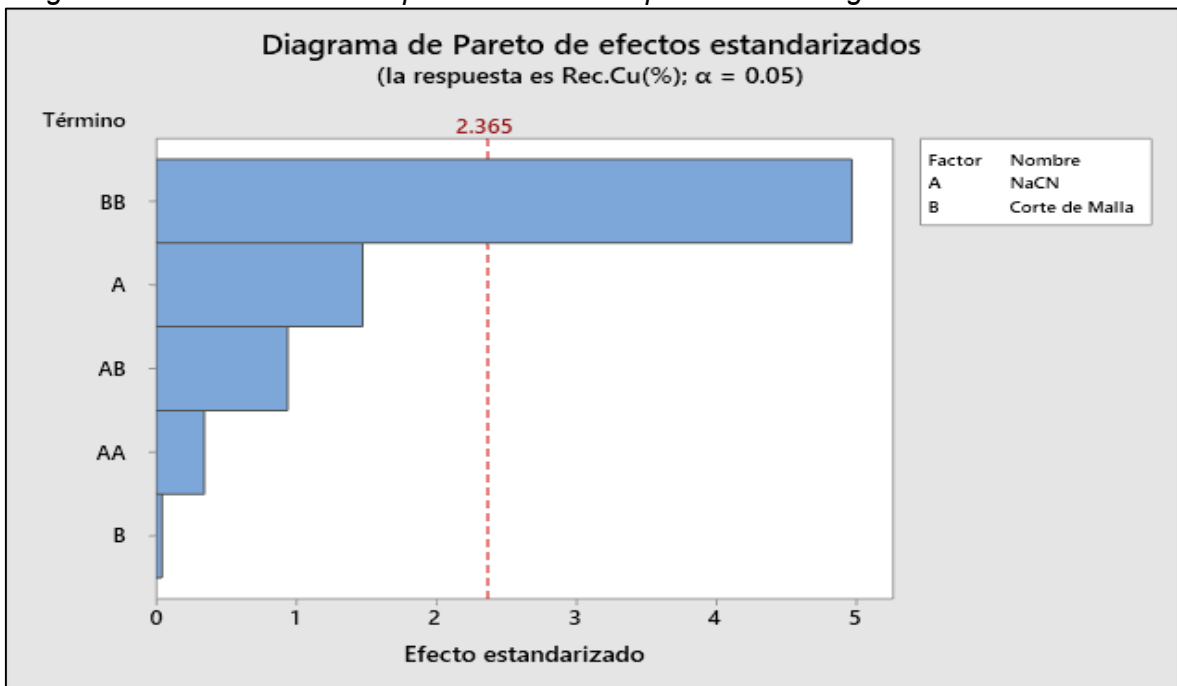
En análisis de esta tabla de análisis de varianza es una corroboración de manera empírica para saber si son significantes las variables controlables en este estudio y analizaremos principalmente el valor de p. Este valor de p si es muy cercano a cero significa que la variable es influyente o significativa.

En este estudio el valor de P para el NaCN y corte de malla es de 0.184 y 0.968 respectivamente lo cual comprueba que las dos variables controlables son “Significantes”.

### Diagrama de Pareto de los efectos de la recuperación de cobre por Diseño Octogonal

Figura 28

Diagrama de Pareto de la recuperación de cobre por diseño octogonal.



### Análisis e interpretación:

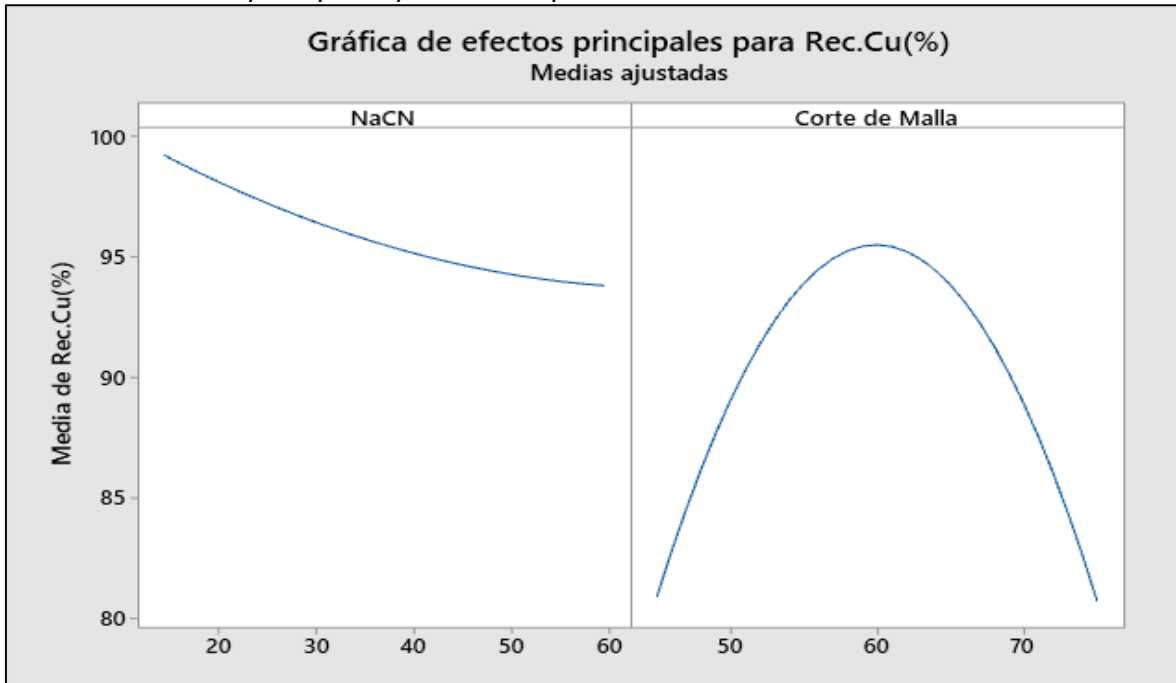
En el diagrama de Pareto se corrobora la significancia y no significancia de las variables controlables en la variable respuesta. Tenemos que A es el NaCN y B es el corte de malla. La línea de color roja es el valor que muestra los efectos de cada una de las variables y en función de ello nos indica como un límite para que una variable controlable sea significativa o no significativa frente a la variable respuesta que en nuestro estudio es

el % de recuperación de cobre, entonces podemos concluir que el factor A(NaCN) y el factor B (corte de malla) no son significantes. La variable interacción BB según el diagrama es muy significativa.

### Gráfica de los efectos principales para la recuperación de cobre

Figura 29

Gráfica de efectos principales para la recuperación de cobre.



#### Análisis e interpretación:

Podemos concluir:

- En el NaCN se observa que tiene un comportamiento semi parabólico. A un consumo de 20 g/tn a 60 g/tn aproximadamente disminuye el % de recuperación de cobre. Concluimos que a un mayor consumo de NaCN la recuperación de cobre tiende a disminuir.
- En el corte de malla se observa que tiene un comportamiento parabólico. A un 40% de malla de corte se tiene una recuperación de cobre 81% y conforme aumenta el corte de malla aproximadamente a 60% aumenta la recuperación de cobre mayor al 95%, después conforme aumenta el corte de malla mayor al 60% disminuye la recuperación de cobre. Podemos concluir que para el corte de malla existe un

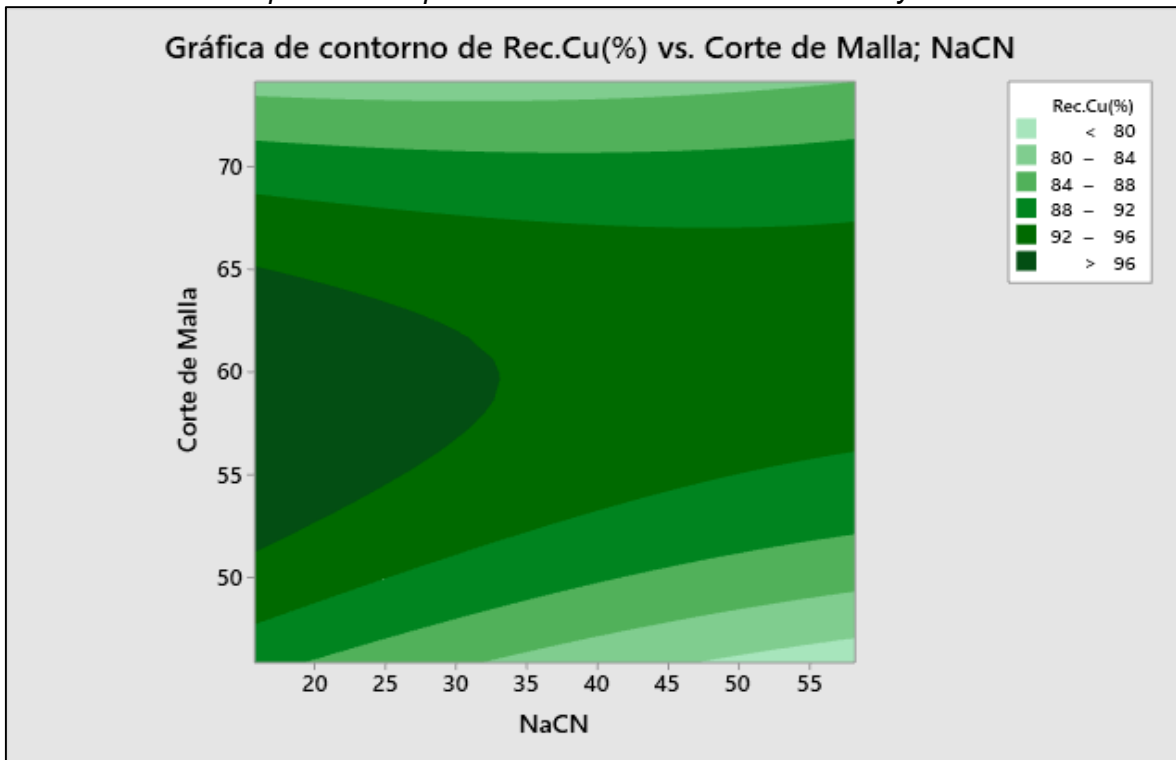


máximo valor para que la recuperación de cobre sea la óptima.

### Gráfica de contorno de la recuperación de cobre vs. Corte de malla y NaCN

Figura 30

Gráfica de contorno para la recuperación de cobre vs corte de malla y NaCN.



#### Análisis e interpretación:

La gráfica está dividida por zonas de color verde de mayor a menor intensidad. En los ejes se ubican las variables significativas para la recuperación de cobre. En la parte derecha está la recuperación de cobre a las intensidades de las zonas.

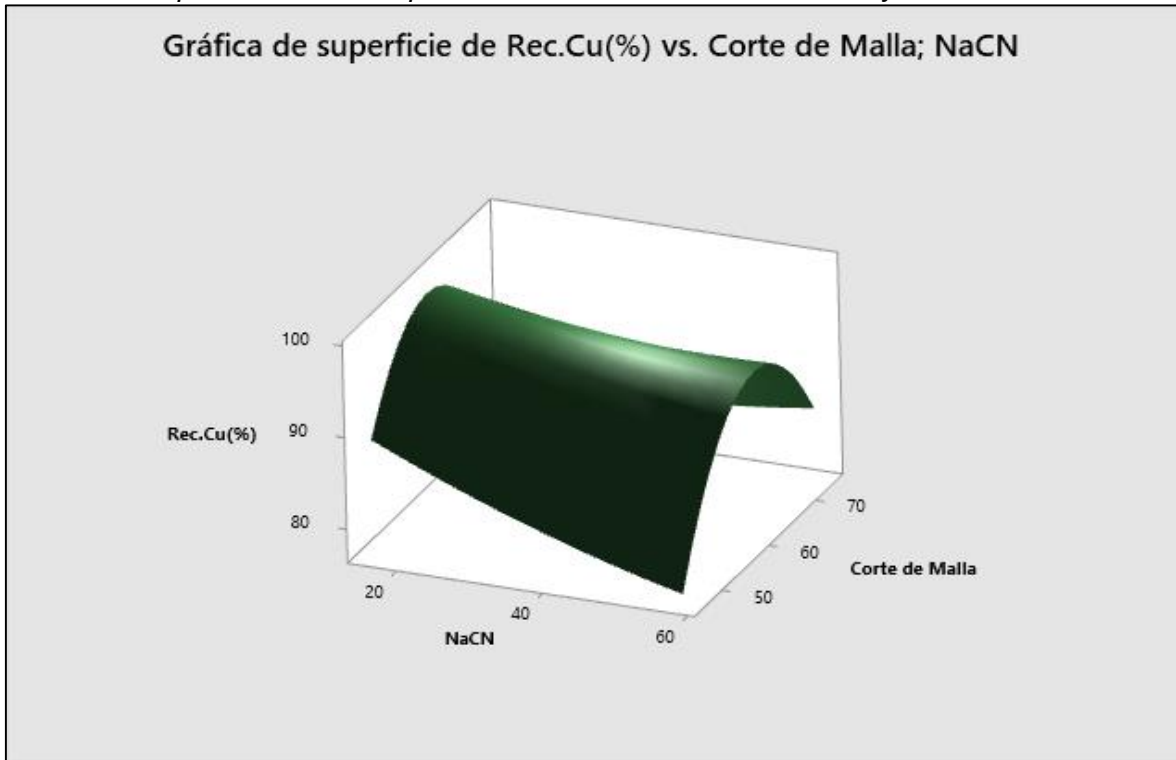
Se analiza de la siguiente manera:

- La zona de color verde de mayor intensidad nos informa que en esta zona está la mayor recuperación de cobre con un porcentaje de recuperación de cobre mayor al 96%. Aproximadamente entre 53% a 65% de corte de malla está la mayor recuperación de cobre (>96%). También aproximadamente entre 0 g/tn y 34 g/tn de consumo de NaCN está la mayor recuperación de cobre (>96%).

#### Gráfica de superficie de la recuperación de cobre vs corte de malla y NaCN

### Figura 31

Grafica de superficie de la recuperación de cobre vs corte de malla y NaCN.



#### Análisis e interpretación:

La gráfica de superficie nos informa en tres dimensiones la recuperación de cobre, el consumo de NaCN y el porcentaje de corte de malla.

A medida que se aumenta el consumo de NaCN<sub>4</sub> disminuye la recuperación de cobre.

A medida que aumenta el % de corte de malla aumenta la recuperación de cobre hasta llegar a un máxima de recuperación de cobre, después de llegar a esta máxima recuperación, si seguimos aumentando el % de corte de malla la recuperación de cobre comenzara a disminuir, es por ello que tiene una forma parabólica.

Estas tablas y figuras vistos anteriormente son muy esenciales ya que nos hace conocer que factores controlables son las más significativas para la recuperación de cobre. Para el NaCN es significativo positivamente (aumenta la recuperación de cobre) a bajo consumo de NaCN. La recuperación de cobre tiene su máximo valor para determinado valor de corte de malla.

## 4.2 Análisis de la recuperación de oro aplicando el diseño octogonal

### Coefficientes codificados

Tabla 91

*Coefficientes codificados de la recuperación de oro por diseño octogonal.*

Término	Coef	EE del		Valor T	Valor p	FIV
		Coef.				
Constante	91.37	3.15		28.99	0.000	
NaCN	-7.67	2.49		-3.08	0.018	1.00
Corte de Malla	11.11	2.49		4.46	0.003	1.00
NaCN*NaCN	-1.76	2.67		-0.66	0.532	1.02
Corte de Malla*Corte de Malla	-7.86	2.67		-2.94	0.022	1.02
NaCN*Corte de Malla	-0.06	3.52		-0.02	0.988	1.00

### Análisis e interpretación:

En la Tabla 91 es fundamental reconocer la interpretación del Valor T (valor T-Student) de los factores controlables sabiendo que el programa ya tiene predeterminado el T-Student para este diseño octogonal cuyo valor es de 2.365 con intervalo de confianza de 95% que lo reconoceremos visualmente en la gráfica de Pareto. Decimos:

- El NaCN tiene en valor absoluto el valor de T de 3.08 mayor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que el NaCN es un factor controlable que tiene significancia (sea positiva o negativa) para la recuperación de oro. El signo negativo nos dice que si aumenta el consumo de NaCN disminuye la recuperación de oro en el concentrado de cobre.
- El corte de malla tiene un valor absoluto del valor de T de 4.46 mayor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que el corte de malla es un factor controlable que tiene significancia (sea positiva o negativa) para la recuperación de cobre. El signo positivo nos dice que si aumenta el % de corte de malla disminuye la recuperación de oro en el concentrado de cobre.
- El NaCN\*NaCN tiene un valor absoluto del valor de T de 0.66 menor que el T-

Student predeterminado (2.365), esto nos dice que la interacción NaCN\*NaCN no tiene significancia para la recuperación de oro en el concentrado de cobre.

- El Corte de malla\* Corte de malla tiene un valor absoluto del valor de T de 2.94 mayor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que la interacción Corte de malla \* Corte de malla tiene significancia, pero en menor proporción para la recuperación de oro en el concentrado de cobre.
- El NaCN \* Corte de malla tiene un valor absoluto del valor de T de 0.02 menor que el T-Student predeterminado (2.365), esto nos dice que la interacción NaCN \* Corte de malla no tiene mucha significancia para la recuperación de oro en el concentrado de cobre.

### Resumen del modelo R<sup>2</sup>

**Tabla 92**

*Resumen del modelo de recuperación de oro por diseño octogonal.*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
7.04700	84.47%	73.38%	0.00%

### Análisis e interpretación:

Se debe analizar el valor de R-cuadrado. Para nuestro estudio es 84.47% que su interpretación es que los factores controlables tienen una aceptación del 84.47% con relación a los resultados obtenidos de la recuperación de oro.

## Análisis de varianza

**Tabla 93**

*Análisis de varianza de la recuperación de oro por diseño octogonal.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	1891.22	378.244	7.62	0.009
Lineal	2	1457.70	728.851	14.68	0.003
NaCN	1	470.22	470.218	9.47	0.018
Corte de Malla	1	987.48	987.483	19.88	0.003
Cuadrado	2	433.50	216.752	4.36	0.059
NaCN*NaCN	1	21.44	21.438	0.43	0.532
Corte de Malla*Corte de Malla	1	429.73	429.730	8.65	0.022
Interacción de 2 factores	1	0.01	0.013	0.00	0.988
NaCN*Corte de Malla	1	0.01	0.013	0.00	0.988
Error	7	347.62	49.660		
Falta de ajuste	3	347.06	115.687	824.29	0.000
Error puro	4	0.56	0.140		
Total	12	2238.84			

### **Análisis e interpretación:**

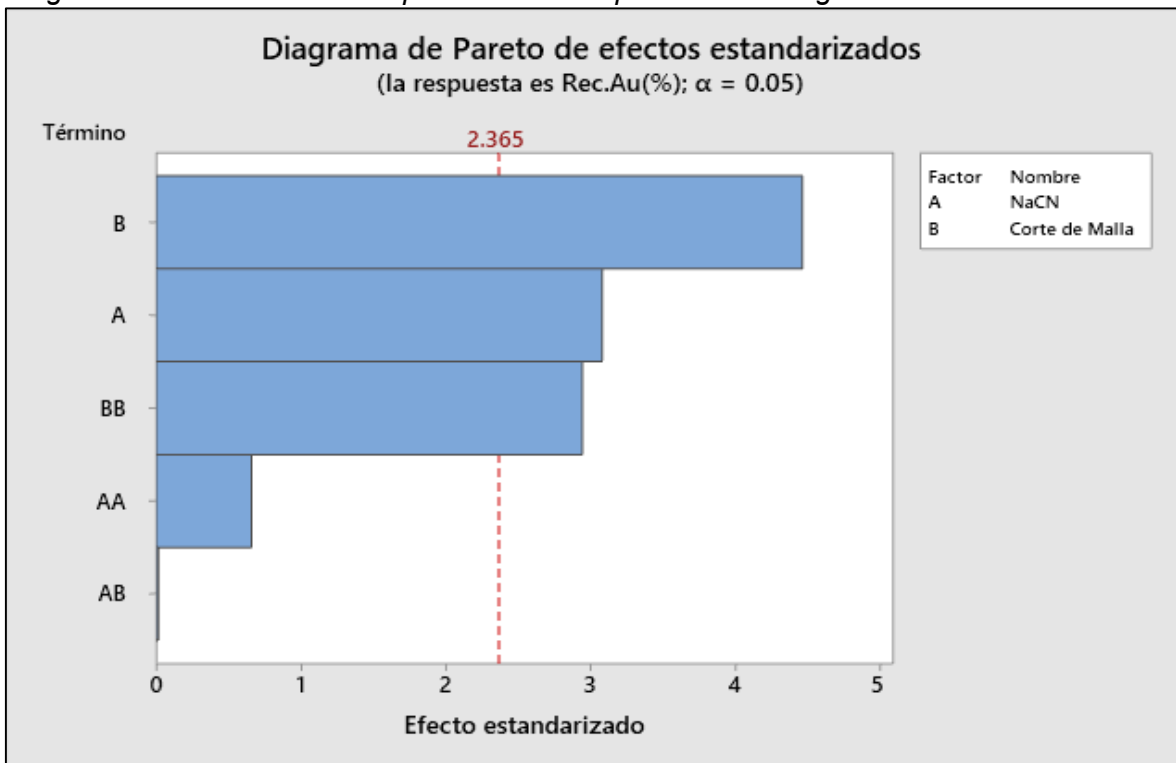
En análisis de esta tabla de análisis de varianza es una corroboración de manera empírica para saber si son significantes las variables controlables en este estudio y analizaremos principalmente el valor de p. Este valor de p si es muy cercano a cero significa que la variable es influyente o significativa.

En este estudio el valor de P para el NaCN y corte de malla es de 0.018 y 0.003 respectivamente lo cual comprueba que las dos variables controlables son "Significantes".

**Diagrama de Pareto de los efectos de la recuperación de oro por Diseño Octogonal**

**Figura 32**

*Diagrama de Pareto de la recuperación de oro por diseño octogonal.*



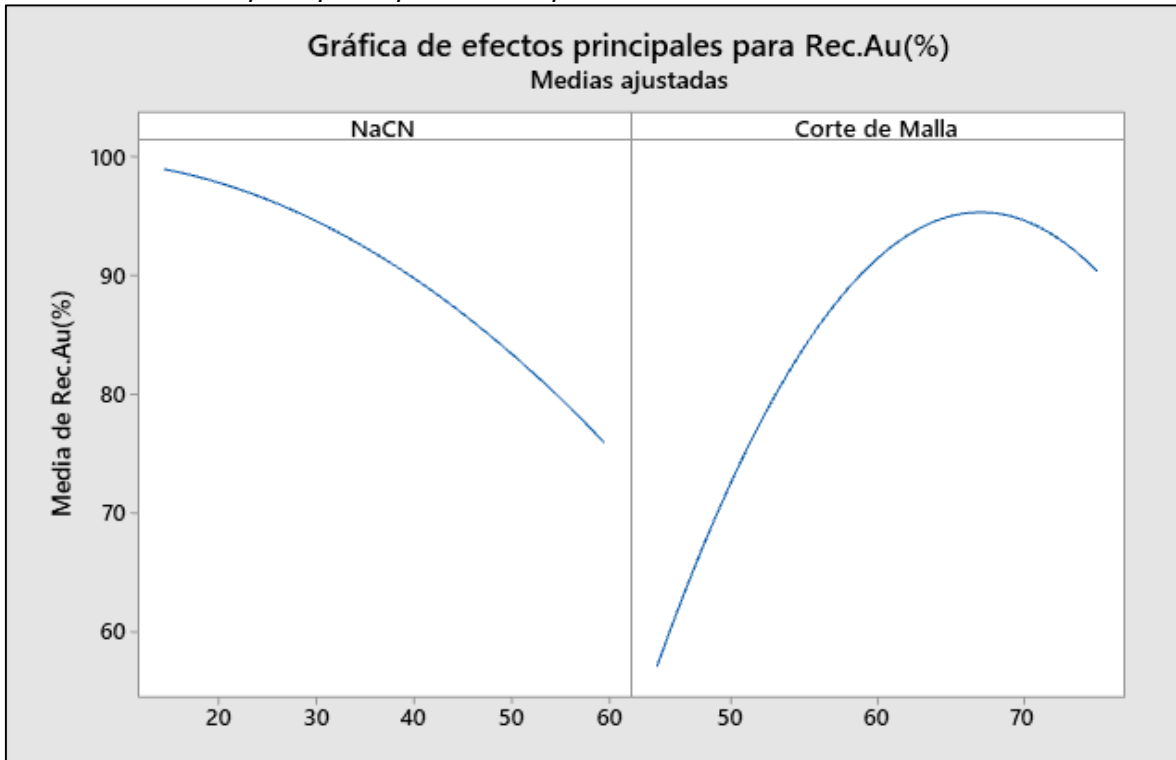
**Análisis e interpretación:**

En el diagrama de Pareto se corrobora la significancia y no significancia de las variables controlables en la variable respuesta. Tenemos que A es el NaCN y B es el corte de malla. La línea de color roja es el valor que muestra los efectos de cada una de las variables y en función de ello nos indica un límite para que una variable controlable sea significativa o no significativa frente a la variable respuesta que en nuestro estudio es el % de recuperación de oro, entonces podemos concluir que el factor A(NaCN) y el factor B (corte de malla) son significantes. La variable interacción BB según el diagrama es muy significativa.

**Gráfica de los efectos principales para la recuperación de oro**

**Figura 33**

*Grafica de efectos principales para la recuperación de oro.*



**Análisis e interpretación:**

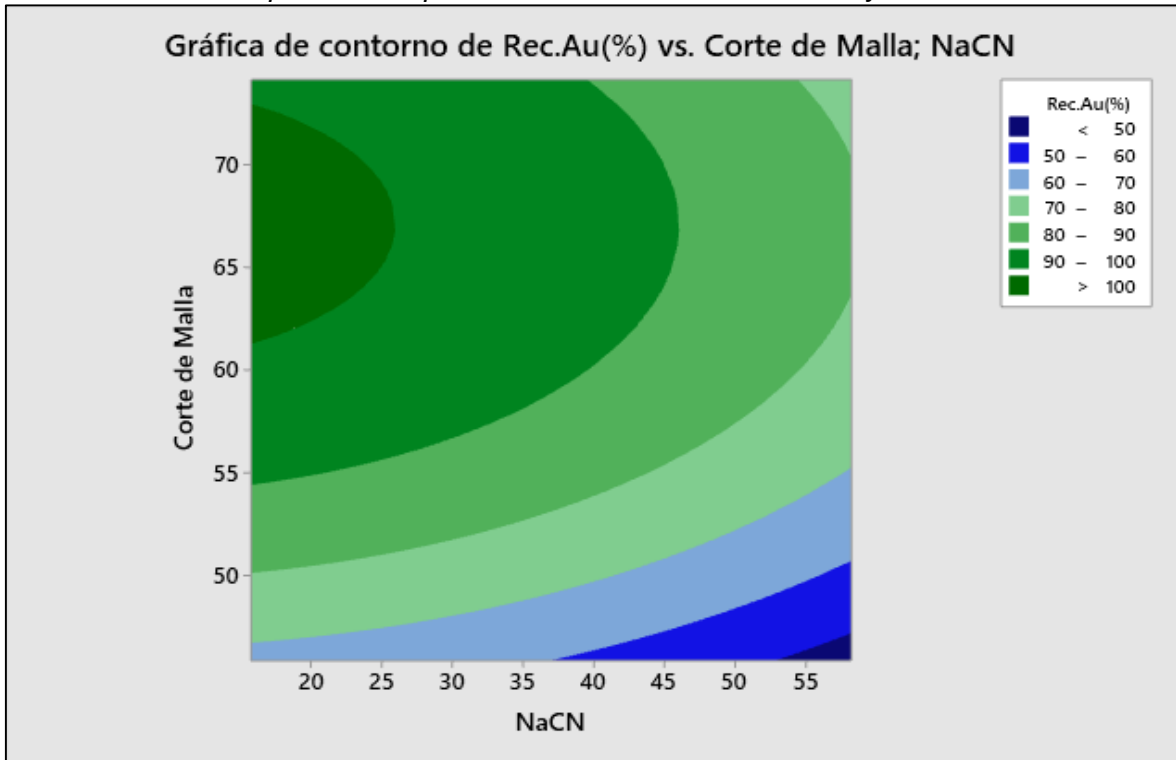
Podemos concluir:

- En el NaCN se observa que tiene un comportamiento semi parabólico. A un consumo de 20 g/tn a 60 g/tn aproximadamente disminuye el % de recuperación de oro. Concluimos que a un mayor consumo de NaCN la recuperación de oro en el concentrado de cobre tiene tendencia a disminuir.
- En el corte de malla se observa que tiene un comportamiento parabólico. A un 40% de malla de corte se tiene una recuperación de oro de 58% y conforme aumenta el corte de malla aproximadamente a 67% aumenta la recuperación de oro mayor al 96%, después conforme aumenta el corte de malla mayor al 67% disminuye la recuperación de oro. Podemos concluir que para el corte de malla existe un máximo valor para que la recuperación de oro sea la óptima.

**Gráfica de contorno de la recuperación de oro vs. Corte de malla y NaCN**

**Figura 34**

*Grafica de contorno para la recuperación de oro vs corte de malla y NaCN.*



**Análisis e interpretación:**

La gráfica está dividida por zonas de color verde de mayor a menor intensidad y zonas de color azul de menor a mayor intensidad, pero a la zona de color azul no le pondremos importancia porque la recuperación de oro es muy baja para el estudio. En los ejes se ubican las variables significativas para la recuperación de oro. En la parte derecha está la recuperación de oro y las intensidades de las zonas.

Se analiza de la siguiente manera:

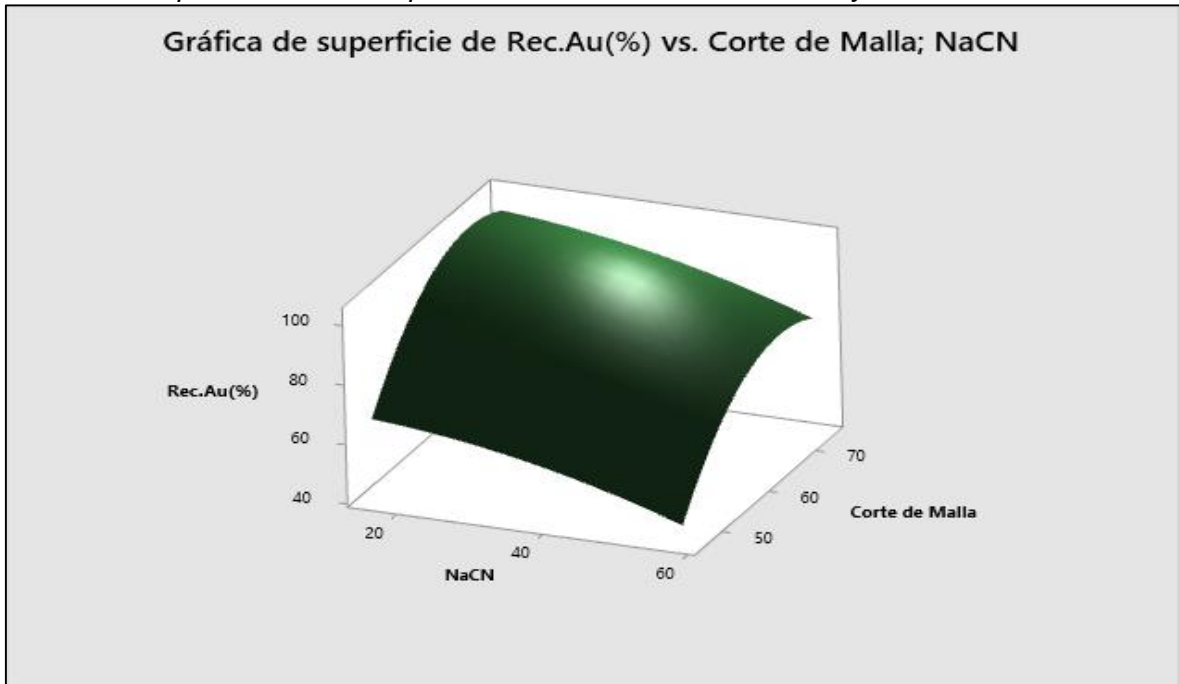
- La zona de color verde de mayor intensidad nos informa que en esta zona está la mayor recuperación de oro con un porcentaje de recuperación de oro mayor al 90%. Aproximadamente entre 62% a 73% de corte de malla esta la mayor recuperación de oro (>90%). También aproximadamente entre 0 g/tn y 27 g/tn de consumo de NaCN está la mayor recuperación de oro (>90).

**Gráfica de superficie de la recuperación de oro vs corte de malla y NaCN**



**Figura 35**

*Grafica de superficie de la recuperación de oro vs corte de malla y NaCN.*



**Análisis e interpretación:**

La gráfica de superficie nos informa en tres dimensiones la recuperación de oro, el consumo de NaCN y el porcentaje de corte de malla.

A medida que se aumenta el consumo de NaCN<sub>4</sub> disminuye la recuperación de oro.

A medida que aumenta el % de corte de malla aumenta la recuperación de oro hasta llegar a una máxima recuperación de oro, después de llegar a esta máxima recuperación, si seguimos aumentando el % de corte de malla la recuperación de oro comenzara a disminuir, es por ello que tiene una forma parabólica.

Estas tablas y figuras vistos anteriormente son muy esenciales ya que nos hace conocer que factores controlables son las más significativas para la recuperación de oro. Para el NaCN es significativo positivamente (aumenta la recuperación de oro) a bajo consumo de NaCN. La recuperación de oro tiene su máximo valor para determinado valor de corte de malla.

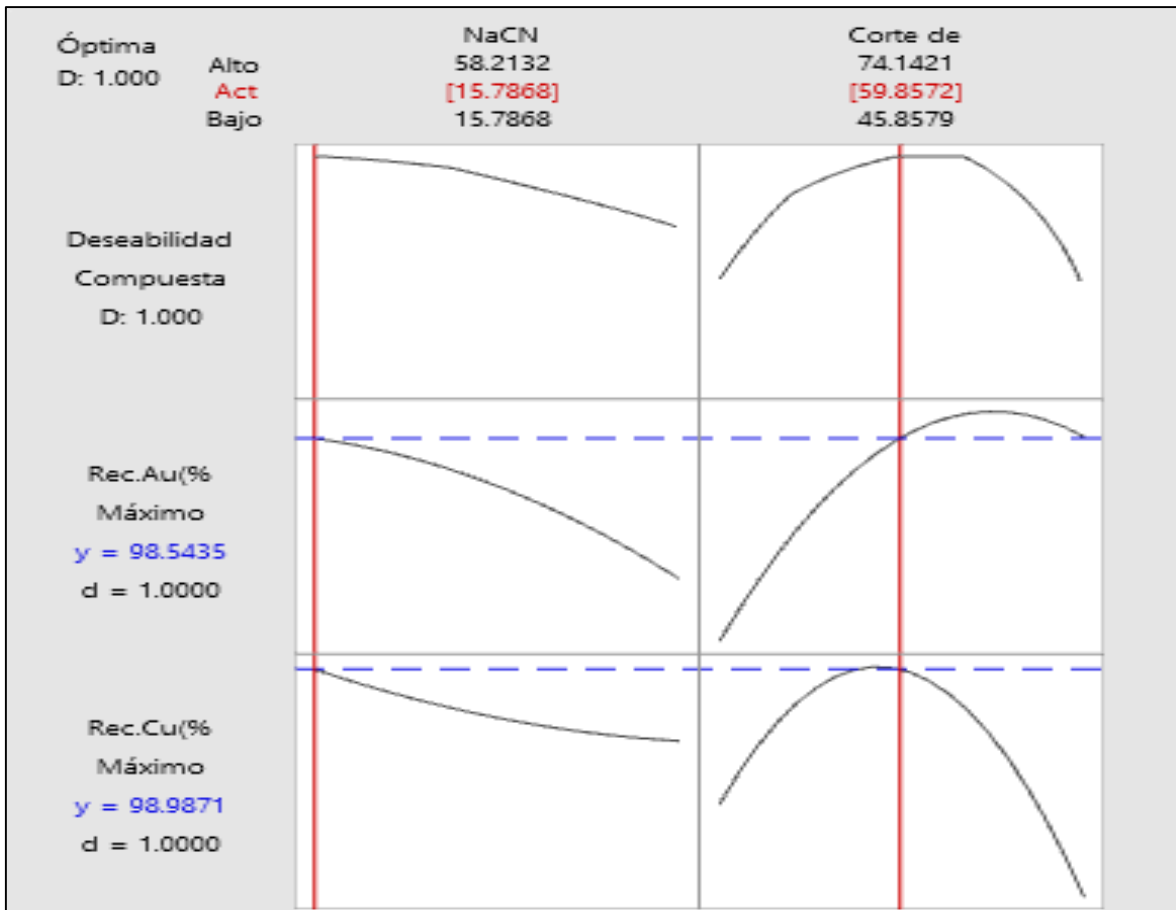
### 4.3 Optimización del consumo de NaCN y el % de corte de malla para obtener la máxima recuperación de cobre y oro

Para obtener el óptimo del consumo de NaCN y el % de corte de malla usaremos el software para poder obtener estos valores con la finalidad de obtener la máxima recuperación de cobre y oro.

En la Figura 36 apreciaremos el consumo óptimo de NaCN (15.7868 g/tn) y el óptimo % de corte de malla (59.8572%) para la máxima recuperación de cobre y oro en el concentrado de cobre.

**Figura 36**

*Valores óptimos de NaCN y % de corte de malla para la máxima recuperación de cobre y oro.*



### 4.4 Prueba metalúrgica optimizada

**Tabla 94***Dosificación de NaCN y % de corte de malla optimizados.*

Molienda	Tiempo de Molienda	12.03 minutos
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	NaCN(1%)	1.57868 cc
	P-204(1%)	3.5 cc
Flotación	Xantato Z-11(10%)	9.2 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	2.5 gramos/pH=7.5

**Tabla 95***Resultados de la prueba metalúrgica optimizada.*

FLOTACIÓN						
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Ag	Au
	g	S	S	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	19.45	1.00	1.00	27.12	17.45	16.12
2da bandeja	25.67	2.00	3.00	22.41	14.85	12.12
3era bandeja	25.02	2.00	5.00	22.63	14.84	11.67
4ta bandeja	35.48	3.00	8.00	18.12	9.87	9.41
5ta bandeja	894.38			0.03	0.05	0.02

**4.5 Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica optimizada****Tabla 96***Balance metalúrgico de la prueba metalúrgica optimizada.*

Prueba Metalúrgica Optimizada													
Compon entes	Peso (g)	Peso (TMS)	Peso (%)	Leyes			Contenido Metálico			Distribución (%)			Rat io
				Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	Cu	Ag	Au	
				oz/t	g/T		TM	oz	g				
				%	c	M							
Alimenta ción	1000 .00	0.001	100.0 0	2.3 6	1.4 8	1.1 2	0.00002 36	0.00163 1404		100. 00	100. 00	100. 00	
Conc.Cu	105. 62	0.00010 562	10.56	21. 89	13. 65	11. 84	2.31185 E-05	0.00158 9612	0.00125 0505	98.8 5	96.9 9	98.5 9	9.4 7
Relave	894. 38	0.00089 438	89.44	0.0 3	0.0 5	0.0 2	2.68314 E-07	4.92938 E-05	1.78876 E-05	1.15 1.15	3.01 3.01	1.41 1.41	
				2.3	1.4	1.2	2.33868	1.63891	1.26839				
Cabeza Calculada				4	9	7	E-05	E-03	E-03				

#### 4.6 Discusión de resultados

- Durante el desarrollo de las pruebas metalúrgicas de acuerdo al diseño octogonal que se realizó en el laboratorio, se obtuvo diferentes dosificaciones de NaCN y % de corte de malla, para lo cual se obtuvo como resultados una variedad de % de recuperación de cobre y % de recuperación de oro en el concentrado de cobre para luego analizarlo y así determinar la significancia de estas variables controlables con la finalidad de hallar la óptima recuperación de cobre y oro.
- De acuerdo con los resultados obtenidos del % de recuperación de cobre y % de recuperación de oro, se obtiene a través del análisis estadístico diferentes tablas y graficas que nos permite tener hacer una interpretación adecuada del T-Student,  $R^2$ , análisis de varianza, ecuación de regresión, diagrama de Pareto, grafica de los efectos principales, grafica de contorno y grafica de superficie. Toda esta parte estadística nos permite demostrar que variables son significativas para la recuperación de cobre y oro. También nos permite optimizar durante el proceso el consumo de NaCN y % de corte de malla.
- Mediante el T-Student se comprobó que NaCN y % de corte de malla son dos factores controlables significantes para el aumento de la recuperación de cobre y oro.
- El diagrama de Pareto, grafica de efectos principales, grafica de contorno y grafica de superficie nos brinda la comprobación visual que los factores controlables en estudio influyen de manera muy directa y significativa en la recuperación de cobre y oro en el concentrado de cobre.
- Ya sabiendo la significancia de las variables controlables, se llevó a cabo la optimización, obteniendo así los valores de las dosificaciones de NaCN y % de corte de malla donde se logra un % de recuperación de cobre de 98.98% y un % de recuperación de oro de 98.54%.

## Conclusiones

De acuerdo a la prueba de moliendabilidad en laboratorio metalúrgico se obtiene que el tiempo para lograr un % de malla -200 fue de 12.38 minutos.

De acuerdo a la aplicación del diseño factorial fraccionado, de los cuatro factores controlables en estudio, solo dos factores son significativas para el aumento de la recuperación de cobre y oro en el concentrado de cobre que es el consumo de NaCN y el % de corte de malla.

Se logra obtener del diseño factorial fraccionado que los factores del consumo de NaCN y % de corte de malla son significativas para la recuperación de cobre y oro en el concentrado de cobre.

A través del diseño octagonal se realizó una serie de pruebas metalúrgicas para encontrar el óptimo consumo de NaCN y el % de corte de malla llegando a obtener un consumo de 15.7868 g/tn de NaCN y 59.85% de corte de malla con % de recuperación de cobre de 98.98% y % de recuperación de oro de 98.54%.

Se realizó la prueba metalúrgica optimizada con los datos del consumo de NaCN y % de corte de malla llegando a tener como resultado real una recuperación de cobre de 98.85% y una recuperación de oro de 98.59% ambos en el concentrado de cobre.

Realizando la comparación conforme las leyes de oro en el concentrado de cobre, se obtuvo antes de optimizar una ley de oro de 5.7 g/tn y a través de la optimización de diseño de experimentos una ley de oro de 11.84 g/tn.

Realizando la comparación conforme las leyes de cobre en el concentrado de cobre, se obtuvo antes de optimizar una ley de cobre del 20.65% y a través de la optimización de diseño de experimentos una ley de cobre de 21.89%.

La ley de Ag en el concentrado de cobre estuvo en valores estables, demostrando así que no tiene influencia los factores controlables en estudio en dicha ley.

## Recomendaciones

Se recomienda para la realización de las pruebas metalúrgicas, tener los instrumentos adecuados y en perfecto estado como puede ser el molino, las celdas de flotación, el flujómetro, las bandejas limpias donde se recepciona el concentrado, los reactivos de flotación que sean de buena calidad.

Se recomienda hacer un diseño hexagonal para comparar los resultados con el diseño octogonal hecho en este presente estudio para ver que diseño es factiblemente más económico, pero con unos mejores resultados.

Se recomienda realizar un análisis químico de leyes de zinc, plomo y oro ya que estos son minerales contaminantes para el concentrado de cobre ocasionando que nos penalicen en el caso tuvieran dichos contaminantes.

Se recomienda hacer la valoración del concentrado de cobre antes de ser optimizado y después de ser optimizado para saber cuánto más se tiene de ganancia de la venta del concentrado de cobre, ya que la finalidad del procesamiento de minerales es vender dicho concentrado de cobre al mayor precio del mercado.

## Referencias bibliográficas

- Azañero Ortiz, Ángel (2002). *Curso: "Concentración y flotación de minerales"*,Capítulo: *Flotación de Sulfuros. UNMSM, Lima, pp. 7-8.*
- Ayala Mina Jorge y Pardo Mercado Richard (1995). *Optimización por diseños experimentales con aplicaciones en ingeniería. Lima Perú.*
- Arthur F. Taggart (1950). *Handbook of Mineral Dressing. Fourth Printing Sec. 12-Flotation. New York, pp. 1-140.*
- Castro Chamorro, J.A. (2005). *Optimización del proceso de flotación de concentrado de zinc en la compañía minera "Yauliyacu" S.A. Lima Perú.*
- Mosquera Santos, Edilberto Antonio (1981). *Ampliación y optimización metalúrgica de la planta de concentración sociedad minera El Brocal. Tesis EAP Ingeniería Metalúrgica, FGMMCG. UNMSM, Lima Perú, pp. 13-20.*
- Dana Edwar S. y W.E. Ford (1981). *Tratado de mineralogía. 8va edic., Edit.Continental S. A. México, D.F, pp. 571-577, 814.*
- Kobashicawa, J. (2003). *Corrección de análisis granulométrico y químicos por multiplicadores de lagrange. Lima Perú.*
- Gutiérrez Pulido Humberto y Román de la Vara Salazar (2008). *Análisis y diseño de experimentos. 2da edic. México, D.F.*

# Anexos

Flowsheet de la Planta Concentradora Centenario.

