

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**TESIS**

**“APLICACIÓN DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN UN  
CONCENTRADO BULK COBRE-PLOMO CON CONTENIDO DE  
ORO PARA LA REDUCCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE  
ZINC EN LA PLANTA CONCENTRADORA CENTENARIO DE  
LA CORPORACIÓN CMCZ S.A.C.”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO METALURGISTA**

**ELABORADO POR  
GREZZLY JUNIOR URBINA RODRIGUEZ**

**ASESOR  
DR. ING. SANTIAGO GUALBERTO VALVERDE ESPINOZA**

**LIMA-PERÚ**

**2022**

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se ha realizado en la Planta Concentradora Centenario de la empresa “Corporación CMCZ.SAC.”, el cual tiene por objetivo la evaluación metalúrgica de los parámetros que intervienen en el proceso de flotación del concentrado bulk Cu-Pb, para poder solucionar los problemas de alto contenido del desplazamiento de zinc en el concentrado bulk con contenido de oro.

Para tal efecto recurrimos al apoyo de los diseños experimentales para evaluar y optimizar los parámetros que influyen en el proceso de flotación del concentrado bulk para que en forma eficaz y apreciable poder reducir los costos de investigación en la evaluación de parámetros del proceso.

En esta evaluación, tomamos una primera etapa de descarte, para lo cual usamos el diseño factorial fraccionado, con dos variables de respuesta: la primera variable es la recuperación de cobre y la segunda variable es el desplazamiento de zinc; con cuatro factores experimentales(parámetros) que intervienen en la flotación del concentrado bulk: grado de liberación( % m-200), cianuro de sodio(NaCN), sulfato de zinc( $ZnSO_4$ ), Bisulfito( $NaHSO_3$ ), con ello determinar el comportamiento y los efectos de los parámetros en el proceso de flotación del concentrado bulk para luego determinar los parámetros más significativos que entraran a la etapa de optimización.

Una vez que determinamos los parámetros más significativos nos apoyaremos de la aplicación del diseño octogonal para optimizar de manera eficiente la reducción del desplazamiento de zinc, el cual si se llevara a proceso de planta nos traerá como consecuencia una reducción de costos de reactivos e insumos usados en el proceso y un mayor valor del concentrado bulk al momento de su comercialización.

## ABSTRACT

This research work has been carried out in the Centennial Concentrator Plant of the company "Corporación CMCZ. SAC.", which aims at the metallurgical evaluation of the parameters involved in the flotation process of the bulk Cu-Pb concentrate, in order to solve the problems of high zinc displacement content in the bulk concentrate with gold content.

For this purpose we resort to the support of experimental designs to evaluate and optimize the parameters that influence the flotation process of the bulk concentrate so that in an effective and appreciable way we can reduce research costs in the evaluation of process parameters.

In this evaluation, we took a first discard stage, for which we used the fractional factorial design, with two response variables: the first variable is copper recovery and the second variable is zinc displacement; with four experimental factors (parameters) involved in the flotation of the bulk concentrate: degree of release( %m-200), sodium cyanide (NaCN), zinc sulfate (ZnSO<sub>4</sub>), Bisulfite (NaHSO<sub>3</sub>), with this to determine the behavior and effects of the parameters in the flotation process of the bulk concentrate and then determine the most significant parameters that will enter the optimization stage.

Once we determine the most significant parameters we will rely on the application of the octagonal design to efficiently optimize the reduction of zinc displacement, which if taken to the plant process will result in a reduction in the costs of reagents and inputs used in the process and a higher value of the bulk concentrate at the time of its commercialization.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>II</b>
<b>INDICE</b>	<b>III</b>
<b>INDICE FIGURAS</b>	<b>VII</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>X</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
1.1. Generalidades	4
1.1.1. Ubicación	5
1.1.2. Acceso	6
1.1.3. Geología local y clima	6
1.1.4. Recurso hídrico	7
1.2. Descripción de la problemática	8
1.3. Objetivos del estudio	10
1.3.1. Objetivo general	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. Antecedentes investigativos	10
1.4.1. Antecedentes referenciales	10
1.4.2. Hipótesis	11
1.4.3. Hipótesis específicas	11
1.4.4. Justificación de la investigación	12
1.4.5. Tipo de investigación	12
1.4.6. Marco metodológico del diseño experimental	12
1.4.6.1. Operacionalización de variables	12
1.4.6.2. Población y muestra	13
1.4.6.3. Técnicas de recolección de datos	13
1.4.6.4. Técnicas de análisis de datos	13
<b>CAPITULO II MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b>	<b>15</b>

2.1.	Marco teórico	15
2.1.1.	Chancado	15
2.1.1.1.	Trituradoras primarias	16
2.1.1.2.	Trituradoras secundarias	17
2.1.1.3.	Trituradoras terciarias	18
2.1.2.	Molienda	18
2.1.3.	Flotación de minerales	19
2.1.3.1.	Minerales hidrofílicos	20
2.1.3.2.	Minerales hidrofóbicos	20
2.1.3.3.	Elementos de la flotación	21
2.1.3.4.	Factores que intervienen en la flotación	23
2.1.4.	Eficiencia de clasificación del hidrociclón	29
2.1.4.1.	Eficiencia en la descarga	29
2.1.4.2.	Eficiencia en el rebose	29
2.1.5.	Sedimentación o espesamiento	30
2.1.6.	Filtración	32
2.2.	Marco conceptual	32
2.2.1.	Descripción del proceso	32
2.2.1.1.	Sección de chancado	35
2.2.1.2.	Sección de molienda y clasificación por hidrociclones	38
2.2.1.3.	Sección de flotación de minerales polimetálicos	41
2.2.1.4.	Sección de desaguamiento, secado, acumulación y recojo de concentrado	44
2.2.1.5.	Sección de disposición de relaves y recuperación de agua	46
2.2.1.6.	Manejo de residuos sólidos industriales y domésticos	46
2.3.	Parte teórica del diseño experimental	47
2.3.1.	Experimento	49
2.3.2.	Unidad experimental	49
2.3.3.	Variables, factores y niveles	50
2.3.4.	Etapas en el diseño de experimentos	54
2.3.4.1.	Planeación y realización	54

2.3.4.2.	Análisis	56
2.3.4.3.	Interpretación	56
2.3.4.4.	Control y conclusiones	56
2.3.5.	Clasificación y selección de los diseños experimentales	56
2.3.6.	Diseño factorial fraccionado $2^{k-p}$	58
2.3.7.	Diseño factorial $2^{k-1}$	60
2.3.8.	Arreglos ortogonales	60
<b>CAPITULO III DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION</b>		<b>65</b>
3.1.	Equipos utilizados en laboratorio metalúrgico	65
3.2.	Cálculo del tiempo de molienda para un 60% malla -200	65
3.3.	Consumo de reactivos en proceso y dosificación de reactivos a nivel de laboratorio metalúrgico.	68
3.4.	Planteamiento de las variables controlables para la formulación del diseño factorial fraccionado	69
3.5.	Selección y preparación del mineral para la molienda y pruebas de flotación	74
3.6.	Preparación de reactivos	75
3.7.	Molienda y pruebas de flotación en el laboratorio metalúrgico de acuerdo con el diseño factorial fraccionado	76
3.7.1.	Prueba de flotación N°1:	79
3.7.2.	Prueba de flotación N°2:	80
3.7.3.	Prueba de flotación N°3:	81
3.7.4.	Prueba de flotación N°4:	82
3.7.5.	Prueba de flotación N°5:	83
3.7.6.	Prueba de flotación N°6:	84
3.7.7.	Prueba de flotación N°7:	85
3.7.8.	Prueba de flotación N°8:	86
3.8.	Balances metalúrgicos de las pruebas de flotación	86
3.9.	Resultados del diseño factorial fraccionado con la plantilla decodificada - % de recuperación de cobre y desplazamiento de zinc	89
3.10.	Análisis de la recuperación de cobre	89
3.11.	Análisis del desplazamiento de zinc	97

3.12. Planteamiento de las variables controlables en la formulación del diseño octogonal para optimizar la reducción del % de desplazamiento de zinc en el concentrado bulk Cu-Pb	105
3.12.1. Prueba de flotación N°1:	107
3.12.2. Prueba de flotación N°2:	108
3.12.3. Prueba de flotación N°3:	109
3.12.4. Prueba de flotación N°4:	110
3.12.5. Prueba de flotación N°5:	111
3.12.6. Prueba de flotación N°6:	112
3.12.7. Prueba de flotación N°7:	113
3.12.8. Prueba de flotación N°8:	114
3.12.9. Prueba de flotación N°9:	115
3.12.10. Prueba de flotación N°10:	116
3.12.11. Prueba de flotación N°11:	117
3.12.12. Prueba de flotación N°12:	118
3.12.13. Prueba de flotación N°13:	119
3.13. Balances metalúrgicos de las pruebas de flotación	119
3.14. Resultados del diseño octogonal con la plantilla decodificada en el % de desplazamiento de zinc	124
<b>CAPITULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>125</b>
4.1. Análisis del desplazamiento de zinc aplicando el diseño octogonal	125
4.2. Optimización del consumo de $ZnSO_4$ y $NaHSO_3$ para obtener el mínimo desplazamiento de zinc (%)	133
4.3. Prueba metalúrgica optimizada	134
4.4. Balance metalúrgico de la prueba de flotación optimizada	135
4.5. Discusión de resultados	135
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>137</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>139</b>
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Vista panorámica del depósito de relaves de la Planta Concentradora Centenario.	5
Figura 1.2. Planta Concentradora Centenario.	6
Figura 1.3. Vista panorámica de la vegetación del entorno de la Planta Concentradora Centenario.	7
Figura 1.4. Poza N°1 y N°2 de almacenamiento de agua fresca para la Planta Concentradora Centenario.	8
Figura 2.1. Trituradora de quijada.	16
Figura 2.2. Trituradora giratoria.	17
Figura 2.3. Trituradora cónica.	17
Figura 2.4. Trituradora de rodillos.	18
Figura 2.5. Tipos de molienda.	19
Figura 2.6. Minerales hidrofílicos e hidrofóbicos.	21
Figura 2.7. Pulpa en flotación de minerales.	25
Figura 2.8. Generación de espumas de flotación por medio de aire.	26
Figura 2.9. Reactivos de flotación (xantatos).	27
Figura 2.10. Impulsor de una celda de flotación.	28
Figura 2.11. Partes del hidrociclón.	30
Figura 2.12. Partes del hidrociclón.	31
Figura 2.13. Tipos de filtros.	32
Figura 2.14. Cancha de almacenamiento de minerales de la Planta Concentradora Centenario.	33
Figura 2.15. Balanza electrónica de la Planta Concentradora Centenario.	34
Figura 2.16. Poza N°1 y N°2 de almacenamiento de agua fresca para la Planta Concentradora Centenario.	34



Figura 2.17. Poza de agua de recirculación al proceso.	35
Figura 2.18. Criba estática de alimentación a tolva de mineral grueso.	35
Figura 2.19. Zona de almacenamiento de rocas que no pasan por la criba estática.	36
Figura 2.20. Compuerta de descarga de la tolva de gruesos y chancadora primaria de quijada.	37
Figura 2.21. Faja transportadora de chancado secundario y tolva de finos.	37
Figura 2.22. Molinos de bolas de la Planta Concentradora Centenario.	38
Figura 2.23. Cajón de alimentación al hidrociclón y bombas de pulpa SRL.	39
Figura 2.24. Hidrociclones D-7 de la Planta Concentradora Centenario.	40
Figura 2.25. Circuito de flotación de plomo.	41
Figura 2.26. Circuito de flotación de cobre.	42
Figura 2.27. Circuito de flotación de zinc.	43
Figura 2.28. Depósito de relaves de la Planta Concentradora Centenario.	44
Figura 2.29. Cocha de almacenamiento de concentrado y secado de concentrado.	45
Figura 2.30. Personal que trabaja en la Planta Concentradora Centenario y despacho de concentrado.	45
Figura 2.31. Depósito de relaves y poza de agua recirculada de la Planta Concentradora Centenario.	46
Figura 2.32. Depósito de residuos sólidos domésticos e industriales.	47
Figura 2.33. Esquema de variables de entrada y salida del diseño experimental.	50
Figura 2.34. Esquema de factores y variables en la fabricación de un envase.	53
Figura 2.35. Esquema de clasificación de los diseños experimentales.	58
Figura 2.36. Diseños ortogonales robustos internos y externos.	61
Figura 2.37. Esquema de tipos de factores en el diseño robusto.	62
Figura 2.38. Arreglos ortogonales más frecuentes.	63
Figura 3.1. Molino de bolas del laboratorio metalúrgico.	66
Figura 3.2. Curva de moliendabilidad.	67
Figura 3.3. Barra de opciones de Minitab.	71
Figura 3.4. Barra de despliegue de la opción “estadísticas” en Minitab.	72
Figura 3.5. Ventana crear diseño factorial: diseños.	72
Figura 3.6. Ventana crear diseño factorial: factores.	73

Figura 3.7. Ventana crear diseño factorial: opciones.	73
Figura 3.8. Molino de bolas del laboratorio metalúrgico.	76
Figura 3.9. Burbujas de la flotación bulk de Cu-Pb.	76
Figura 3.10. Plateo del concentrado bulk Cu-Pb.	77
Figura 3.11. Concentrado bulk Cu-Pb.	77
Figura 3.12. Secado del concentrado bulk Cu-Pb y del relave.	78
Figura 3.13. Laboratorio químico de la Planta Concentradora Centenario.	78
Figura 3.14. Ventana de análisis del diseño factorial para la rec.Cu (%).	90
Figura 3.15. Diagrama de pareto de los efectos para la rec.Cu (%).	92
Figura 3.16. Gráfica de los efectos principales para la rec.Cu (%).	93
Figura 3.17. Gráfica contorno para la rec.cu (%) vs. NaCN; grado de liberación.	95
Figura 3.18. Gráfica de superficie de la rec.cu (%) vs. NaCN; grado de liberación.	96
Figura 3.19. Ventana de análisis de diseño factorial del despl.Zn (%).	97
Figura 3.20. Diagrama de pareto de los efectos del despl.Zn (%).	99
Figura 3.21. Gráfica de efectos principales del despl.Zn (%).	100
Figura 3.22. Gráfica de contorno del despl.Zn (%) vs. NaHSO <sub>3</sub> ; ZnSO <sub>4</sub> .	102
Figura 3.23. Gráfica de superficie del despl.Zn (%) vs. NaHSO <sub>3</sub> ; ZnSO <sub>4</sub> .	103
Figura 4.1. Ventana de análisis de diseño de superficie de respuesta del despl.Zn (%).	125
Figura 4.2. Diagrama de pareto de efectos del despl.Zn (%).	129
Figura 4.3. Gráfica de los efectos principales del despl.Zn (%).	130
Figura 4.4. Gráfica de contorno del despl.Zn (%) vs. NaHSO <sub>3</sub> ; ZnSO <sub>4</sub> .	131
Figura 4.5. Gráfica de superficie del despl.Zn (%) vs. NaHSO <sub>3</sub> ; ZnSO <sub>4</sub> .	132
Figura 4.6. Ventana de optimizador de respuesta del despl.Zn (%).	133
Figura 4.7. Ventana de las dosificaciones optimizadas del ZnSO <sub>4</sub> y NaHSO <sub>3</sub> .	134

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Puntos de diseño o tratamientos.	52
Tabla 2.2. Efecto en los factoriales $2^k$ .	59
Tabla 2.3. Factores de control y de ruido en la producción de un concentrado de cobre (Cu).	61
Tabla 3.1. Tiempos de molienda.	67
Tabla 3.2. Tiempo de moliendabilidad.	68
Tabla 3.3. Consumo de reactivos a nivel de proceso de planta.	68
Tabla 3.4. Dosificación de reactivos a nivel de laboratorio metalúrgico.	69
Tabla 3.5. Rango de las variables controlables para el diseño factorial fraccionado.	69
Tabla 3.6. Plantilla de diseño factorial fraccionado.	74
Tabla 3.7. Leyes de cabeza del mineral en estudio.	74
Tabla 3.8. Dosificación de la prueba de flotación N°1.	79
Tabla 3.9. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°1.	79
Tabla 3.10. Dosificación de la prueba de flotación N°2.	80
Tabla 3.11. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°2.	80
Tabla 3.12. Dosificación de la prueba de flotación N°3.	81
Tabla 3.13. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°3.	81
Tabla 3.14. Dosificación de la prueba de flotación N°4.	82
Tabla 3.15. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°4.	82
Tabla 3.16. Dosificación de la prueba de flotación N°5.	83
Tabla 3.17. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°5.	83
Tabla 3.18. Dosificación de la prueba de flotación N°6.	84
Tabla 3.19. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°6.	84
Tabla 3.20. Dosificación de la prueba de flotación N°7.	85
Tabla 3.21. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°7.	85

Tabla 3.22. Dosificación de la prueba de flotación N°8.	86
Tabla 3.23. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°8.	86
Tabla 3.24. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°1.	86
Tabla 3.25. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°2.	87
Tabla 3.26. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°3.	87
Tabla 3.27. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°4.	87
Tabla 3.28. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°5.	87
Tabla 3.29. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°6.	88
Tabla 3.30. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°7.	88
Tabla 3.31. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°8.	88
Tabla 3.32. Recuperación de Cu y desplazamiento de zinc en el concentrado bulk Cu-Pb.	89
Tabla 3.33. Coeficientes codificados para la rec.Cu (%).	90
Tabla 3.34. Coeficientes codificados del despl.Zn (%).	98
Tabla 3.35. Rango de las variables controlables para la optimización del despl.Zn (%).	105
Tabla 3.36. Plantilla diseño octogonal del despl.Zn (%).	106
Tabla 3.37. Dosificación de la prueba de flotación N°1 del diseño octogonal.	107
Tabla 3.38. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°1 del diseño octogonal.	107
Tabla 3.39. Dosificación de la prueba de flotación N°2 del diseño octogonal.	108
Tabla 3.40. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°2 del diseño octogonal.	108
Tabla 3.41. Dosificación de la prueba de flotación N°3 del diseño octogonal.	109
Tabla 3.42. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°3 del diseño octogonal.	109
Tabla 3.43. Dosificación de la prueba de flotación N°4 del diseño octogonal.	110
Tabla 3.44. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°4 del diseño octogonal.	110
Tabla 3.45. Dosificación de la prueba de flotación N°5 del diseño octogonal.	111

Tabla 3.46. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°5 del diseño octogonal.	111
Tabla 3.47. Dosificación de la prueba de flotación N°6 del diseño octogonal.	112
Tabla 3.48. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°6 del diseño octogonal.	112
Tabla 3.49. Dosificación de la prueba de flotación N°7 del diseño octogonal.	113
Tabla 3.50. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°7 del diseño octogonal.	113
Tabla 3.51. Dosificación de la prueba de flotación N°8 del diseño octogonal.	114
Tabla 3.52. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°8 del diseño octogonal.	114
Tabla 3.53. Dosificación de la prueba de flotación N°9 del diseño octogonal.	115
Tabla 3.54. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°9 del diseño octogonal.	115
Tabla 3.55. Dosificación de la prueba de flotación N°10 del diseño octogonal.	116
Tabla 3.56. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°10 del diseño octogonal.	116
Tabla 3.57. Dosificación de la prueba de flotación N°11 del diseño octogonal.	117
Tabla 3.58. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°11 del diseño octogonal.	117
Tabla 3.59. Dosificación de la prueba de flotación N°12 del diseño octogonal.	118
Tabla 3.60. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°12 del diseño octogonal.	118
Tabla 3.61. Dosificación de la prueba de flotación N°13 del diseño octogonal.	119
Tabla 3.62. Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°13 del diseño octogonal.	119
Tabla 3.63. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°1 del diseño octogonal.	119
Tabla 3.64. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°2 del diseño octogonal.	120

Tabla 3.65. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°3 del diseño octogonal.	120
Tabla 3.66. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°4 del diseño octogonal.	120
Tabla 3.67. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°5 del diseño octogonal.	121
Tabla 3.68. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°6 del diseño octogonal.	121
Tabla 3.69. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°7 del diseño octogonal.	121
Tabla 3.70. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°8 del diseño octogonal.	122
Tabla 3.71. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°9 del diseño octogonal.	122
Tabla 3.72. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°10 del diseño octogonal.	122
Tabla 3.73. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°11 del diseño octogonal.	123
Tabla 3.74. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°12 del diseño octogonal.	123
Tabla 3.75. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°13 del diseño octogonal.	123
Tabla 3.76. Plantilla decodificada por el diseño octogonal del despl.Zn (%).	124
Tabla 4.1. Coeficientes codificados del despl.Zn (%) por diseño octogonal.	126
Tabla 4.2. Resumen del modelo del despl.Zn (%) por diseño octogonal.	127
Tabla 4.3. Análisis de varianza del despl.Zn (%) por diseño octogonal.	128
Tabla 4.4. Dosificación de reactivos optimizados.	134
Tabla 4.5. Resultados de los pesos y leyes de la prueba de flotación optimizada.	135
Tabla 4.6. Balance metalúrgico de la prueba de flotación optimizada.	135

## PRÓLOGO

Un martes 09 de marzo del 2021 en la Planta Concentradora Centenario llego la empresa San Vicente a cargo del Ingeniero de Minas Juan Estacio, trayendo un mineral sulfurado complejo de cobre, plomo y zinc, aproximadamente 4.3 kilos de dicho mineral.

En ese tiempo mi persona estaba a cargo como asistente de laboratorio metalúrgico, primeramente, me encargue de pasar todo el mineral por medio de la chancadora de quijada hasta llegar a un 100% malla -10. Posteriormente realice un correcto cuarteo y así obtener 300 gramos de mineral a malla -10. Estos 300 gramos se llevaron a una pulverizadora por 2 minutos para luego llevarlo al laboratorio químico para su respectivo análisis químico de leyes de cabeza. El resultado del laboratorio químico nos dio que las leyes de cobre, plomo y zinc eran bajos, con un cobre de 1.22% de ley, un plomo de 0.95% de ley y un zinc de 1.43% de ley. Seguidamente con los 4 kilos restantes se homogenizo adecuadamente y se cuarteo primeramente en 2 partes de 2 kilos. Estas dos partes de homogenizo y se cuarteo de nuevo, obteniéndose 4 partes de 1 kilo. Con estas 4 partes de 1 kilo se procedió a realizar cuatro pruebas metalúrgicas aleatorias con la supervisión y experiencia del jefe de laboratorio metalúrgico, ya que el tiempo era muy corto porque se iba a iniciar el procesamiento de 500 toneladas el 11 de marzo del 2021 de dicho mineral.

Solo se iba a obtener un concentrado bulk Cu-Pb. Los resultados de la ley de cabeza, ley del concentrado bulk y la ley del relave de estas pruebas metalúrgicas nos iban a servir como guía para saber cómo iba a salir los resultados en el proceso en planta. El concentrado bulk salió con una calidad de cobre baja, poco comerciable de un 13.64% y con una calidad de zinc de 19.22% (la mejor ley de cobre y la menor ley de zinc que se obtuvo en las 4 pruebas metalúrgicas), lo que significaba muchos puntos de

penalización por parte del contaminante que es el zinc en el concentrado bulk. Cuando se llevó estas 500 toneladas al proceso, las leyes de cobre y zinc en el concentrado bulk salieron muy similares a las leyes obtenidas en las pruebas metalúrgicas realizadas en el laboratorio metalúrgico, lo que no le resultaba tan rentable para el dueño del mineral procesarlo, con pocos márgenes de ganancia.

Es por ello, que mi persona tomo la iniciativa anticipada de muestrear el mineral de cabeza de la faja transportadora que alimenta a la tolva de finos durante cada media hora por una guardia completa (12 horas). Se llevo a recolectar aproximadamente 26 kilos y medio de muestra de mineral de cabeza. Finalmente, estos 26.5 kilos nos van a servir posteriormente para realizar todas las pruebas metalúrgicas necesarias con apoyo de la aplicación de Diseño de Experimentos para evaluar de manera primordial reducir el desplazamiento de zinc (9% aprox.) para que no sea muy penalizable comercialmente y que se pueda obtener más ganancias para el dueño del mineral, ya que contaba con un lote de aproximadamente 20 mil toneladas de dicho mineral para procesar.



## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCION**

El proceso de optimización en la metalurgia de extracción de minerales no se ha estudiado completamente de acuerdo con las actuales investigaciones y los métodos experimentales en metalurgia, como resultado de la complejidad heterogénea de los minerales tratados, las altas leyes de los metales que presentan los minerales comparada con la de otros países donde el mineral es de baja ley, y allí donde se necesite investigación para optimizar sus parámetros de funcionamiento, lo que se traduce en una mayor eficiencia técnica y económica del proceso.

La optimización en la metalurgia de extracción de minerales basada en los diseños experimentales el cual no es más que la planificación racional de las experiencias a realizarse de manera que se puede obtener la máxima información con un mínimo de pruebas posibles. Estos métodos de optimización son modelos estadísticos que reducen en forma eficaz y apreciable los costos en la investigación industrial.

Cuando en la metalurgia de extracción de minerales estudiamos el comportamiento de un mineral en procesos tales como la flotación, la lixiviación, la separación magnética u otros procesos, nuestro objetivo es determinar las condiciones de operación que hacen factible un alto grado en la ley del mineral a comercializar y una óptima recuperación de finos, sea este de cobre, plomo, zinc, plata, oro u otros metales. En estos casos no cabe duda de que se trata de un problema de optimización el cual es sumamente complejo en razón al tratamiento de material heterogéneo de su origen de composición, o en la forma de procesamientos de los minerales con adición de cierta

cantidad de reactivos y por lo tanto el gran número de variables que es necesario considerar. Existen varios métodos de optimización, y uno, que cada día tiene más aceptación en la mayoría de las ramas de la ciencia e ingeniería, que se trata del método de experimentación de la superficie respuesta, desarrollado en sus inicios por Box y Wilson, y luego por Hunter y otros. El método de la superficie respuesta consiste básicamente en ajustar un modelo matemático al proceso y localizar las condiciones óptimas. Este método ofrece una perspectiva diferente sobre la interpretación y el análisis de los resultados experimentales.

### **1.1. Generalidades**

La provincia de Huaral es característico por su clima, agricultura y por la amabilidad de su población. Gracias a esto, en el año 2017 el Ingeniero de Sistemas Cesar Wilfredo Cavero Guerrero y el Empresario Marco Antonio Zambrano Ochandarte tomaron la iniciativa de abrir la Corporación CMCZ.SAC del cual está conformada por una planta concentradora de procesamientos de minerales polimetálicos, un laboratorio químico y un laboratorio metalúrgico; ubicada en la provincia de Huaral y sus respectivas sedes de oficinas ubicada en el Callao, referencia por la avenida Venezuela, del cual brindan servicios de tratamientos de minerales polimetálicos a terceros en la Planta Concentradora Centenario.

La Planta Concentradora Centenario está considerada en la categoría de pequeña minería, especializada en venta al por mayor de metales y minerales metalíferos. Fue creada y fundada el 29 de mayo del 2017, registrada en sociedades mercantiles y comerciales como una sociedad anónima cerrada. Actualmente se dedica básicamente al beneficio de minerales polimetálicos mediante la flotación selectiva de diferentes concentrados, al respectivo análisis químico de las leyes de cabeza de terceros y en ocasiones a la realización de pruebas metalúrgicas de minerales polimetálicos. Su tratamiento diario es de 180 T/d, siendo su capacidad máxima permitida de 200 T/d.

Se inicia con el traslado de mineral proveniente de las diferentes minas de los clientes (San Vicente, Gloree, Copemina, América Real Estate, Minera Javes), las mismas que se acumulan en las canchas de mineral en forma separada, donde son muestreados para determinar las leyes respectivas de cabeza para su posterior proceso para la obtención de diferentes concentrados de cobre, plomo y zinc.

### 1.1.1. Ubicación

Planta Concentradora Centenario se encuentra ubicada en el distrito y provincia de Huaral, departamento de Lima a una altitud de 188 m.s.n.m. Se encuentra localizada al norte de Lima. Su relieve es caracterizado por tener una morfología plana en ciertos lugares y abrupta en otros.



**Figura 1.1.** Vista Panorámica del Depósito de Relaves de la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Google Maps



**Figura 1.2.** Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

### 1.1.2. Acceso

- Vía terrestre-1<sup>era</sup> opción:

Lima-Terminal Zbuss	18 km	30 minutos
Terminal Zbuss-Huaral	75.1 km	2 horas
Huaral-Huacho Chico (Planta Concentradora Centenario)	14 km	22 minutos

- Vía terrestre-2<sup>da</sup> opción:

Lima-Terminal Zbuss	18 km	30 minutos
Terminal Zbuss-Desvió a Huacho Chico	88.8 km	2 horas y 15 minutos
Desvió a Huacho Chico-Huaral-Huacho Chico (Planta Concentradora Centenario)	2 km	5 minutos

### 1.1.3. Geología Local y Clima

Las formaciones geológicas donde se ubica la planta están integradas por material cuaternario, resultado del meteorismo tanto aluvial como coluvial y eólico, que a través del tiempo han generado como afloramientos conformados por capas de arena, así como areniscas y arcillas que se intercalan. La superficie está de vegetación abundante gracias a la diversidad de la agricultura en la zona, como

también algunas zonas no presenta vegetación en donde se dedican principalmente al criadero de chanchos, granjas de pollos al por mayor, etc.

Cuenta con una población de 99 915 habitantes de acuerdo con el último censo realizado en octubre del 2017. Huaral es conocida como la “Capital de la agricultura” y la “Ciudad de mis amores”.

El clima del área por esta ubicada al norte de la capital del Perú y costera es cálido, con fuertes temperaturas durante todo el año en el rango de 23°C hasta 30°C aproximadamente y con vientos fuertes llegando su velocidad promedio a 18 km/h. Cuenta con una humedad del 52%.



**Figura 1.3.** Vista Panorámica de la Vegetación del entorno de la Planta

Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

#### **1.1.4. Recurso Hídrico**

En la Planta Concentradora Centenario contamos con dos pozas de agua, de las cuales se llenan mediante un drenaje de una reserva de la población de Huacho Chico a cargo del señor Tello Trebejo Manuel, el encargado de proporcionar el agua fresca todas las tardes mediante bombeo a través de motores a base de petróleo, el cual abastece agua a la población aledaña y a la planta concentradora.

La primera poza posee un volumen de  $600 \text{ m}^3$  y la segunda poza posee un volumen de  $900 \text{ m}^3$ , el cual la primera poza dura para 1 día y medio y la segunda poza para 2 días aproximadamente.



**Figura 1.4.** Poza N°1 y N°2 de almacenamiento de agua fresca para la Planta Concentradora Centenario  
Fuente: Elaboración propia

## 1.2. Descripción de la problemática

El mineral que se procesa en la Planta Concentradora Centenario de la Corporación CMCZ S.A.C. son obtenidos de pequeños mineros que extraen a escala menor; está generalmente compuesto por una mezcla de minerales de leyes variables, los mismos presentan diversas composiciones mineralógicas, tales como se puede advertir a continuación:

- Blenda o Esfalerita (Sulfuro de zinc- $\text{ZnS}$ ),  $\text{Zn}=67\%$ ;  $\text{S}=33\%$ , gravedad específica 4, dureza 3.78. Casi siempre contiene hierro y azufre (S y Fe), siendo el contenido máximo de este mineral un 36.5%.
- Galena (Sulfuro de plomo- $\text{PbS}$ ),  $\text{Pb}=86.6\%$ ;  $\text{S}=13.14\%$ , gravedad específica 7.5, dureza 2.5. La galena puede contener cantidades de plata, en minerales mezclados con argentita o tetraedrita, también puede contener pequeñas cantidades de Zn, Cd, Sb, Bi, Cu.

- Calcopirita o Chalcopirita (Sulfuro de cobre y hierro-CuFeS<sub>2</sub>), Cu=34.62%; Fe=30.43%; S=34.94%, gravedad específica 4.2; dureza 3.75.

La obtención de concentrado bulk se desarrolla mediante la dosificación de reactivos a fin de deprimir la ganga. El método más empleado en la actualidad es la flotación.

Las dificultades del proceso de flotación se presentan principalmente en minerales polimetálicos en donde los sulfuros se presentan en diversas características.

Los problemas que presenta la Planta Concentradora Centenario son:

- Desplazamiento de los iones de zinc al concentrado bulk (15%-19%).
- Baja ley de cobre poco comerciable (13%-15%).
- Bajas recuperaciones de cobre (75%-80%).

Las posibles causas podrían ser:

- El tipo de mineral polimetálico.
- Problemas operacionales.
- Dosificación de reactivos.

Por lo cual evaluaremos los parámetros importantes que intervienen en la flotación del concentrado bulk que son el grado de liberación (%m-200), dosificación de cianuro de sodio (NaCN), dosificación de sulfato de zinc (ZnSO<sub>4</sub>), dosificación de Bisulfito (NaHSO<sub>3</sub>), para optimizar dichas variables con la finalidad de aumentar la recuperación de cobre, mayor calidad de la ley de cobre, reducción del desplazamiento de zinc y menor calidad de ley de zinc.

### **1.3. Objetivos del Estudio**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar los factores que afectan al proceso de flotación del concentrado bulk y determinar las variables más significativas para optimizar la dosificación de reactivos con la finalidad de reducir el desplazamiento de zinc.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Establecer la influencia de las variables e interacciones (grado de liberación, NaCN, ZnSO<sub>4</sub>, NaHSO<sub>3</sub>), en el proceso de flotación del concentrado bulk.
- Determinar los rangos óptimos de las variables más influyentes en el proceso de flotación del concentrado bulk.
- Obtener un mayor % de recuperación de Cu en función de los resultados obtenidos en el diseño factorial fraccionado.
- Obtener un menor % de desplazamiento de Zn en función de los rangos óptimos obtenidos en la etapa de optimización por diseño octogonal.
- Relacionar las características mineralógicas del mineral con los problemas que se presentan en el proceso de flotación del concentrado bulk.

### **1.4. Antecedentes Investigativos**

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

En la actualidad el negocio de los concentrados polimetálicos pasa por una etapa muy difícil, debido a su costo variable en el mercado internacional lo cual implica que se tiene que optimizar los procesos para sobrevivir y competir en el mercado reduciendo los costos de procesamiento y los costos indirectos de operación.

Por ello el estudio de pruebas de flotación que se realizan es de gran importancia, así como la experiencia es un factor importante para minimizar el número de variables y la extensión sobre cuáles de estas variables requieren ser analizadas.



La cantidad de variables que afectan los resultados metalúrgicos en el proceso de flotación son muy grandes y se puede resumir dividiéndolas en tres grupos:

- Material de alimentación a la molienda (granulometría del mineral, densidad de pulpa, pH natural de la pulpa, características químicas y mineralógicas de la mena a tratar).
- Etapa de molienda/clasificación. (la densidad de pulpa, dosificación o consumo de reactivos químicos, pH de acondicionamiento para la flotación).
- Proceso de flotación (tamaño de burbujas, altura del colchón de espuma, pH de flotación, tiempo de flotación en cada etapa (rougher, scavenger o cleaner), tipo de aireación (compresoras o medio ambiente), geometría de las celdas y dosificación de reactivos de flotación).

A partir de entonces, dadas las variables de investigación y evaluado su impacto en el proceso de flotación, realizaremos pruebas por medio de la investigación utilizando los diseños experimentales con el propósito de obtener la máxima información, además de analizar el efecto de cada una de las variables en forma simultánea mediante técnicas estadísticas para interpretar y resolver algunos problemas metalúrgicos como son el consumo y dosificación de los reactivos en estudio e incremento de la ley y la recuperación de los elementos pagables, la reducción de ley y la recuperación de los elementos penalizables.

#### **1.4.2. Hipótesis**

“Si optimizamos las variables influyentes en el proceso de flotación del concentrado bulk Cu-Pb, mejoraremos la recuperación de cobre, la calidad de la ley de cobre, la reducción del desplazamiento de zinc y la calidad de la ley de zinc”.

#### **1.4.3. Hipótesis Específicas**

- Verificar que variables controlables son más significantes en la reducción del % de desplazamiento de zinc.
- Verificar el mayor % de recuperación de Cu con un buen grado de concentrado de Cu.

- Lograr optimizar el menor % de desplazamiento de zinc en el concentrado bulk Cu-Pb mediante la aplicación de diseño de experimentos-diseño octogonal.
- Verificar si existe un mayor ingreso por la venta del concentrado bulk Cu-Pb en su comercialización.

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

El desarrollo del presente trabajo de investigación está orientado a solucionar un problema operacional, ya que la mayoría de las empresas que procesan minerales polimetálicos tienen problemas operacionales que dificultan la recuperación de los metales en forma de un concentrado bulk y reducir la penalización por contaminantes en el concentrado bulk como es el caso del desplazamiento del zinc.

#### **1.4.5. Tipo de Investigación**

Es una investigación innovadora que correlacionara datos extraídos experimentalmente a fin de aplicarlo a nivel industrial.

#### **1.4.6. Marco Metodológico del Diseño Experimental**

##### **1.4.6.1. Operacionalización de Variables**

Para el tratamiento de los datos se aplicará la técnica del diseño factorial fraccionado y el diseño octogonal a fin de procesar e identificar la influencia de las variables en estudio.

En el análisis de los datos se aplicará el software estadístico Minitab versión 19, a fin de evaluar, interpretar y optimizar las variables en estudio.

A fin de desarrollar el presente trabajo de investigación se han estudiado las siguientes variables:

- a) Variables controlables ( $X_i$ )
  - Grado de liberación (% m-200).
  - Consumo de NaCN, ZnSO<sub>4</sub>, NaHSO<sub>3</sub> (g/Tn).

b) Variable dependiente ( $Y_i$ )

- Porcentaje de recuperación de cobre en el concentrado bulk.
- Reducción del desplazamiento de zinc en el concentrado bulk.

c) Variables intervinientes no controlables ( $U_i$ )

- pH
- Z-11(gr/TM)
- Colector A-3418
- Espumante MIBC

#### **1.4.6.2.Población y Muestra**

El mineral de la empresa San Vicente, presenta la siguiente característica mineralógica:

- Mena: Chalcopirita y Galena con contenido de oro y plata.
- Ganga: Calcita-cuarzo-pirita-esfalerita.

De dicho mineral por el proceso de flotación se obtiene un concentrado bulk Cu-Pb.

#### **1.4.6.3.Técnicas de Recolección de Datos**

Se aplicarán técnicas de muestreo, para obtener una muestra representativa y evaluar las variables que influyen en el proceso de flotación, con la finalidad de optimizar y obtener un modelo matemático.

#### **1.4.6.4.Técnicas de Análisis de Datos**

Se utilizo una estrategia estadística para ajustar los datos y obtener un modelo que nos indique las variables a los cuales está amarrado el proceso. Para tal fin se aplicó el diseño factorial fraccionado para ver la significancia o no significancia de las variables controlables y el diseño octogonal para la etapa de la optimización.

Para el análisis e interpretación de datos se utilizó el software estadístico Minitab versión 19 a fin de analizar e interpretar:

- Los efectos e interacción de las variables controlables mediante el diagrama de Pareto, grafica de efectos principales,
- Análisis de varianza,
- Modelo matemático,
- Grafica de contorno,
- Grafica de superficie,
- Parámetros óptimos, y
- Análisis gráficos de los efectos principales y las isolíneas que correlacionan en el plano y espacio de los factores en función del % de recuperación de cobre o el % de desplazamiento de zinc.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.1. Marco Teórico**

##### **2.1.1. Chancado**

El chancado es la primera etapa mecánica en el proceso de conminución, en la cual, el principal objetivo es la liberación de los minerales valiosos de la ganga.

Esta es generalmente una operación seca y realizada comúnmente en dos o tres etapas. Los trozos de mineral directo de mina pueden ser tan grandes como 1.5 m de diámetro y se reducen en la etapa de la trituración primaria llegando a 20 cm en máquinas muy resistentes.

Objetivos:

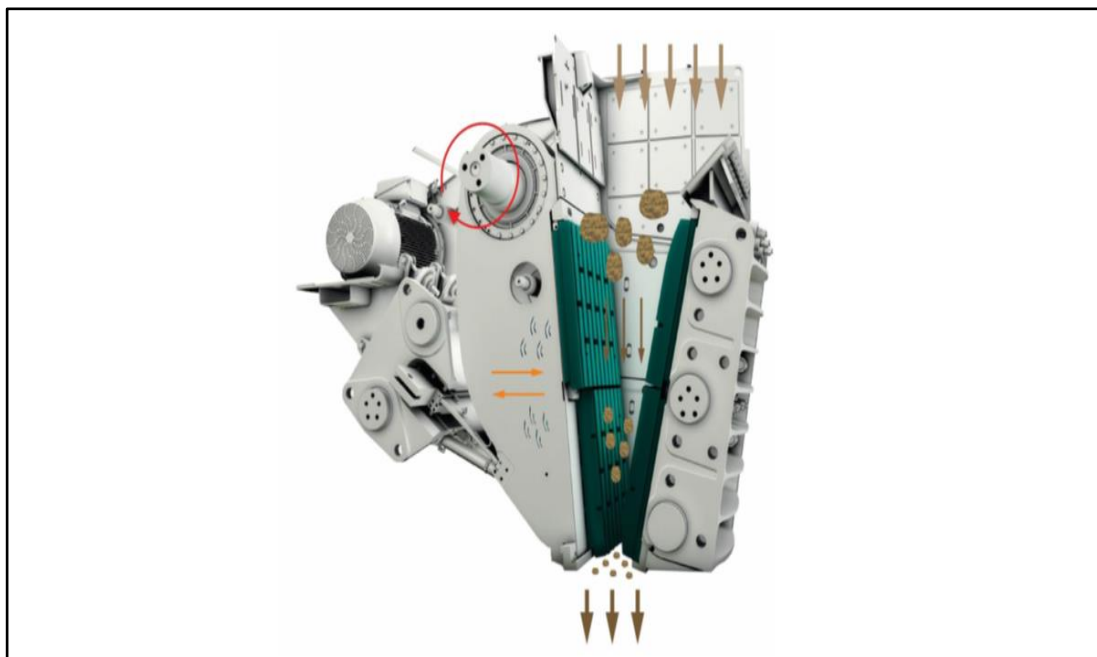
- Liberar los minerales valiosos de la ganga antes de las operaciones de concentración de minerales.
- Incrementar el área superficial específica de las partículas, por ejemplo, para acelerar la velocidad de reacción durante los procesos de lixiviación, flotación, etc.
- Producir partículas de minerales u otros materiales de cierto tamaño y forma definidos.

Industrialmente se utilizan diferentes tipos de máquinas de trituración y suelen clasificarse de acuerdo con la etapa en que se utilizan y el tamaño del material tratado.

### 2.1.1.1. Trituradoras Primarias

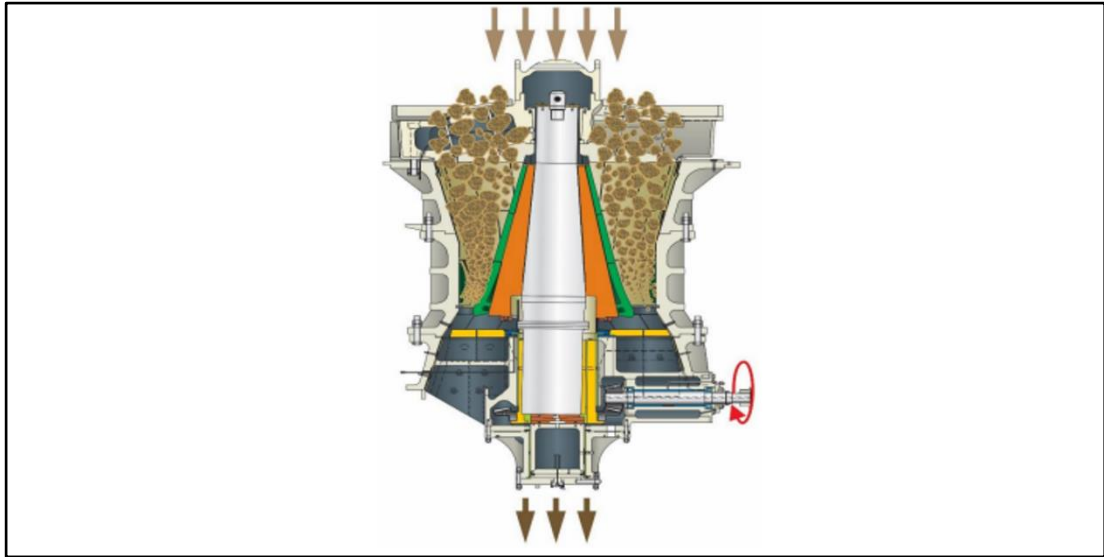
Trituran y fragmentan rocas grandes llegando hasta un producto de 8" a 6". Se tienen dos tipos de máquinas.

- Trituradoras de mandíbulas o quijada.
- Trituradoras giratorias.



**Figura 2.1.** Trituradora de Quijada

Fuente: Elaboración propia



*Figura 2.2.* Trituradora Giratoria

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.1.2. Trituradoras Secundarias

Trituran y fragmentan el producto de la trituración primaria o chancado primario hasta tamaños de 3" a 2", entre estas máquinas tenemos:

- ✓ Trituradoras cónicas.



*Figura 2.3.* Trituradora Cónica

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.1.3. Trituradoras Terciarias

Trituran y fragmentan el producto de la trituración secundaria o chancado secundario hasta 1/2" o 3/8", entre estas tenemos:

- ✓ Trituradoras de rodillos.



*Figura 2.4.* Trituradora de Rodillos

Fuente: Elaboración propia

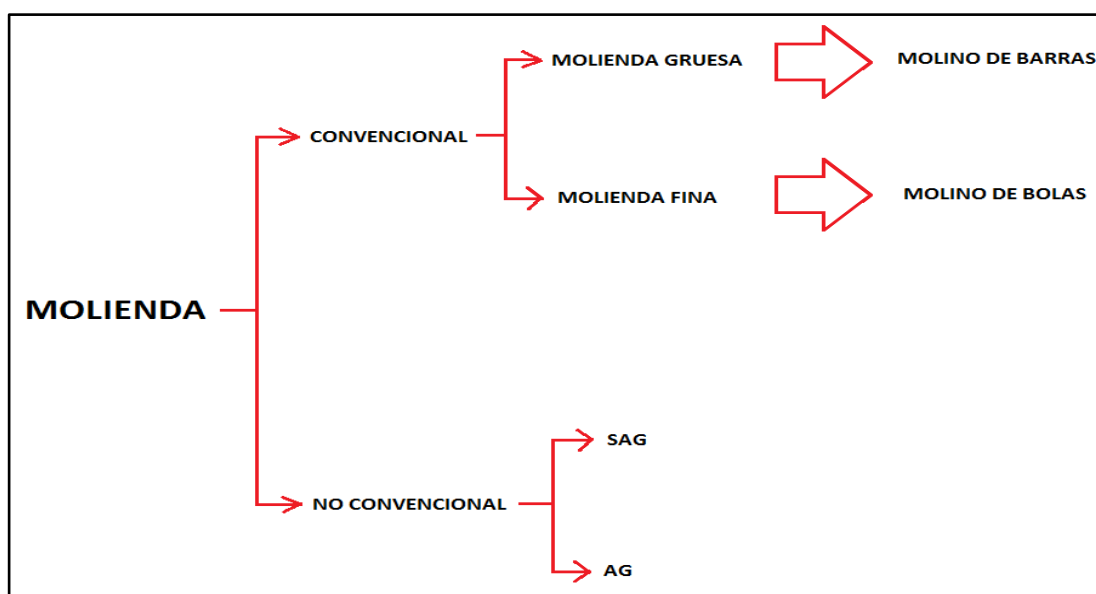
Por lo tanto, se dice que el proceso de conminución en toda operación metalúrgica resulta ser una etapa clave en las operaciones. Y es que, tanto en los procesos de chancado y molienda, se centra la mayor parte del consumo de la energía invertida en la operación para lograr la reducción de tamaño del material proveniente de mina.

### 2.1.2. Molienda

Es la siguiente etapa mecánica del proceso de conminución después del chancado, se continúa reduciendo el tamaño de las partículas que componen el mineral, para obtener una granulometría 70- 180 micrones entre la que permite finalmente la liberación de la mayor parte de los minerales metálicos en forma de partículas individuales recuperables por flotación o por otro proceso de concentración.



Este proceso se lleva a cabo utilizando grandes equipos giratorios o molinos con forma cilíndrica que existen y se componen en dos esquemas diferentes de molienda: molienda convencional y molienda no convencional. En esta etapa de molienda al material mineralizado se le añaden agua en grandes cantidades suficientes para formar un fluido llamado pulpa y los reactivos que sean necesarios para poder flotar o lixiviar.



**Figura 2.5.** Tipos de Molienda

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la clasificación mostrada en la *Figura 2.5*, cabe destacar que las alternativas de molienda convencional y molienda SAG, son las más ampliamente desarrolladas en la industria. Además, se puede adicionar que, la molienda SAG actualmente es la más desarrollada y utilizada ya que tiene y saca ventajas en comparación a los otros tipos de moliendas.

### 2.1.3. Flotación de Minerales

La flotación de minerales es un proceso físico- químico de concentración de los minerales finamente molidos. Este proceso involucra el tratamiento químico de una pulpa de mineral con la finalidad de crear las condiciones óptimas para la adhesión de ciertas partículas de minerales sobre las burbujas de aire.

Tiene por objetivo la separación de especies de minerales, divididos a partir de una pulpa acuosa, teniendo en cuenta sus propiedades de afinidad (hidrofílico) o repulsión (hidrofóbico) por el agua. Las especies valiosas o útiles siempre están constituidos por una fracción menor del mineral, en cambio las especies no valiosas o estériles constituyen del mineral la mayor proporción.

El carácter hidrofílico genera o causa que las partículas se mojen y permanezcan en suspensión en la pulpa, para finalmente hundirse o deprimirse. El carácter hidrofóbico o de repulsión evita que se mojen las partículas, para que finalmente puedan adherirse a las burbujas y ascender.

Estas propiedades de carácter hidrofílico o hidrofóbico tienen algunos minerales tienen en forma intrínseca o natural, pero pueden darse o asentarse mediante reactivos de flotación.

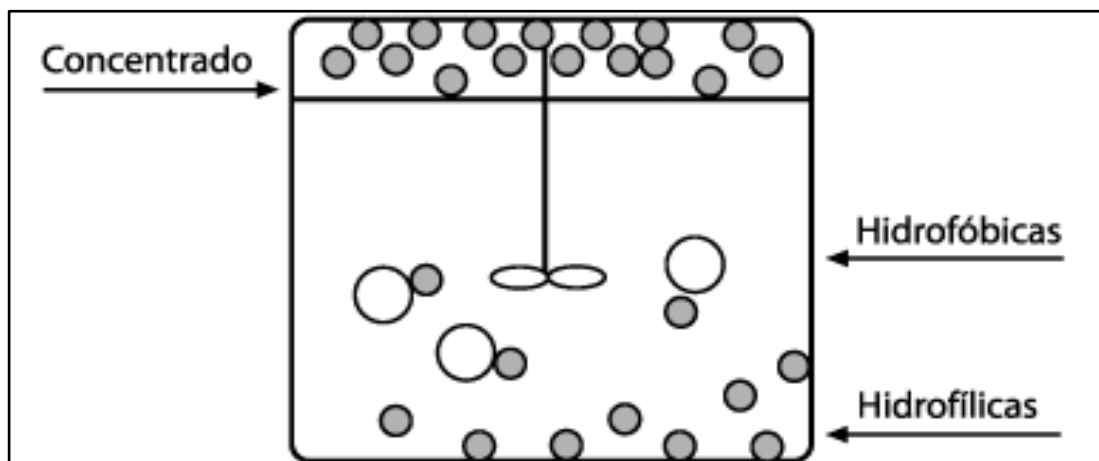
#### **2.1.3.1. Minerales Hidrofílicos**

Son minerales que son mojables por el agua, que están constituidos por óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, generalmente son la mayoría de los minerales estériles o ganga. Como mencionamos antes estos minerales hacen que se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse o deprimirse.

#### **2.1.3.2. Minerales Hidrofóbicos**

Son aquellos minerales que no se mojan por el agua, dentro de los cuales tenemos: los metales nativos, sulfuros de metales o especies como, por ejemplo: grafito, carbón, bituminoso, talco y otros, haciendo de que se evite el mojado de las partículas de estos minerales con la finalidad que pueden adherirse a las burbujas de aire y ascender.

Además, se puede tener en cuenta, que los minerales hidrofóbicos son también aerofílicos, es decir que tienen afinidad con las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrofílicos también son aerofóbicos, es decir no se adhieren a las burbujas de aire.



**Figura 2.6.** Minerales Hidrofílicos e Hidrofóbicos

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.3.3. Elementos de la Flotación

#### Fase Sólida

Está compuesta y representada por los sólidos a separar (minerales) que tienen en su mayoría una estructura cristalina. Dicha estructura cristalina es una respuesta de la separación química de las moléculas, iones y átomos que son los componentes que forman dicho cuerpo completo. Los factores más importantes en el proceso de flotación, en lo que se refiere a los sólidos, son los que tenemos a continuación:

- a) Las características de la superficie aireada en la ruptura o fragmentación del sólido (Tipo de superficie, fuerzas residuales de enlaces)
- b) Las imperfecciones presentes en la red cristalina.
- c) Los contaminantes derivados de los sólidos, líquidos y gases.

### **Fase Líquida**

Es aquella agua que, debido a su gran abundancia, bajo precio y a sus propiedades específicas, constituyen un medio de modelo para dichas separaciones.

La estructura interna de una molécula de agua investigada por espectroscopia es muy compleja; se dice que aproximadamente el 46% de los enlaces es covalente y el restante es iónico.

Finalmente hay que tener en cuenta la importancia de las impurezas y de los contaminantes que tiene toda agua natural o industrial. Como primer lugar, hay que mencionar la dureza del agua es decir la contaminación natural originada por las sales de calcio, magnesio y sodio. La presencia de estas sales o cualquier otro tipo de contaminantes no solo pueden cambiar la naturaleza de la flotabilidad de ciertos minerales sino también pueden causar un considerable consumo de reactivos de flotación con los cuales con frecuencia forman sales solubles.

Muy aparte de la contaminación inorgánica también tenemos la contaminación orgánica que puede ser mucho más importante y peligrosa, principalmente si se trata de aguas servidas.

### **Fase Gaseosa**

Está compuesto por el aire que se inyecta en la pulpa neumática o mecánicamente para así poder formar las burbujas o espumas que es el centro sobre el cual se adhieren las partículas sólidas.

Las funciones del aire en la flotación tienen variedades de aspectos de los cuales los principales son:

- a) El aire es muy influyente químicamente en el proceso de flotación de minerales.
- b) El aire es el medio donde se transportan las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa.

El aire está compuesto por una mezcla de nitrógeno (78.10%) y oxígeno (20.96%) con mínimas proporciones de dióxido de carbono (0.04%) y gases inertes como argón y otros.

#### **2.1.3.4. Factores que intervienen en la Flotación**

En general, en toda operación de flotación de minerales intervienen solo cuatro factores muy principales, las cuales son:

##### **La pulpa**

Es una mezcla heterogénea del mineral molido con el agua, y constituye el elemento principal de la flotación ya que contienen a todos los elementos que conforman el mineral. Esta pulpa deberá de cumplir con ciertas condiciones, lo que quiere decir que el mineral debe estar debidamente molido a un tamaño no superior de la malla 48, ni inferior o menor de la malla 270, dentro de estos parámetros o rangos de tamaño de partículas, se podrá recuperar de manera eficaz las partículas de los sulfuros valiosos (Esto prácticamente depende de la estructura mineralógica del tipo de mineral).

Si se tiene que la pulpa está compuesta por partículas gruesas (superior a la malla 48), debido a que hubo una mala molienda, estas partículas tendrán la tendencia a asentarse en el fondo de las celdas de flotación de minerales y pueden llegar al punto de parar el impulsor de la celda, atoramiento de la tubería y causar un exceso de trabajo que de costumbre (rebasarían los canales de descarga de las celdas de flotación, se arenarían las bombas, etc.)

Si la pulpa está conformada por partículas muy finas (menores o inferiores a la malla 270), la recuperación o distribución de los sulfuros valiosos no será selectiva ya que se perderían en forma de lamas o partículas muy finas. Al estar la pulpa aguada, el flotador debe de cuidar de que las espumas salgan de los bancos de limpieza y que no bote demasiada espuma en el banco scavenger. Si la pulpa está muy fina, a la vez debe estar con mucha agua o muy diluida, significa principalmente que

estaremos pasando menor tonelaje y por lo tanto estamos perdiendo capacidad de procesamiento por hora.

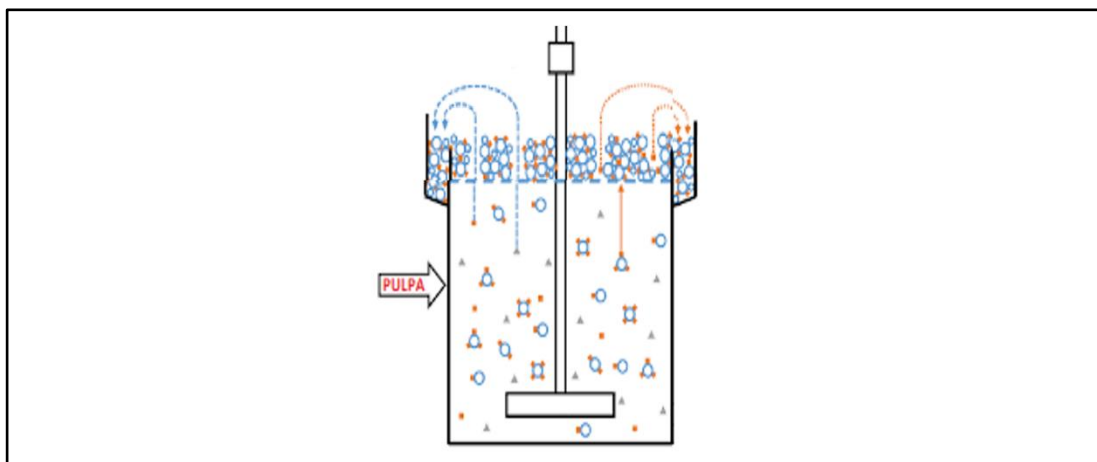
**Pulpa:** El circuito de molienda nos da como resultado dos productos, el overflow de los ciclones (O/F), un producto al cual se ha chancado y molido adecuadamente y que está compuesto por sulfuros valiosos, ganga y agua; a esto nosotros le denominamos pulpa. La pulpa debe cumplir algunas condiciones específicas tales como: densidad y PH correcto según se requiera en el proceso.

**Pulpa espesa:** Cuando una pulpa es espesa (densidad muy alta) nos indica que la molienda esta gruesa. Si esta pulpa hace ingreso a los circuitos de flotación, notaremos que no flota o flota muy poco, esto se debe a que los reactivos y el aire que ingresan en las celdas no puede levantar granos de tamaño muy grandes aun si se le adicionara grandes cantidades de reactivos. También otra consecuencia es que se perderían los sulfuros valiosos en los relaves, por falta de grado de liberación.

**Pulpa fina:** Cuando una pulpa es muy fina implica que tenemos una pulpa de muy baja densidad y significa que se está pasando menos tonelaje de lo establecido. Si bien sabemos que la cantidad de pulpa que ingresa a las celdas es igual, esta pulpa contiene menos sólidos, ya que es una pulpa aguada. Con esto deducimos que hay fuertes pérdidas de tonelaje. Además, cuando la pulpa es muy fina hay exceso de lamas que dificultan en el proceso de flotación de minerales, ensuciando los concentrados con contaminantes en ocasiones y los relaves en otras ocasiones.

El PH nos indica la cantidad o consumo de cal en el circuito de flotación, esto es, su alcalinidad; a mayor consumo de cal; la pulpa es más alcalina; a menor consumo de cal, menos alcalina. Dicho en otras palabras, el PH es la forma de medir la cal en la pulpa. El factor PH se mide en una escala de 0 a 14, con un aparato denominado potenciómetro, si el PH es de 0 a 6 significa que está en un medio ácido y de 8 a 14 está en un medio alcalino. El PH cuando tiene un valor de 7 significa que

está en un medio neutro (ni alcalino ni ácido) y corresponde referencialmente al PH del agua pura.



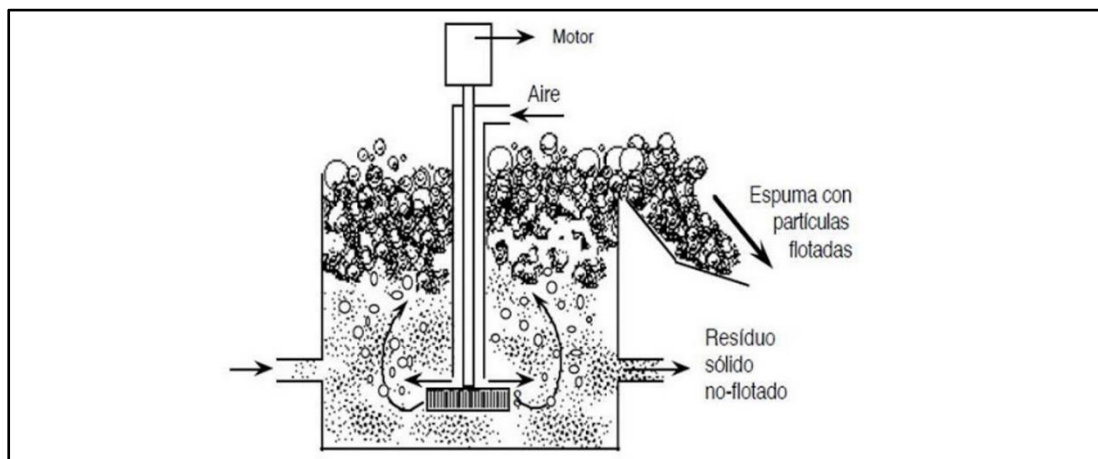
**Figura 2.7.** Pulpa en Flotación de Minerales

Fuente: Elaboración propia

### **El aire**

El aire es uno de los factores más importantes que se utiliza para la formación de las burbujas (La agrupación de burbujas acompañadas de las partículas de sulfuros forman las denominadas espumas) que se necesitan en las celdas de flotación. Por tanto, el aire nos ayuda en la agitación de la pulpa. La función de las espumas es que se encargan de hacer subir o flotar los elementos valiosos hacia la arriba o la superficie de la pulpa, en cada celda de flotación o circuito de flotación ya sea rougher, scavenger o cleaner.

- a. El aire se origina en las compresoras y son transportados a través de los ventiladores (Blowers) que ingresa a baja presión (2-6 PSI) en el interior de las celdas de flotación llenas de pulpa. O también el ingreso de aire o la aeración en los tipos de celdas llamadas serranitas es en forma natural o del mismo medio ambiente que ingresan a baja presión al interior de la celda de flotación.
- b. Si se usara exceso de aire, se está haciendo una excesiva agitación, esto provocara que las espumas se revienten antes de rebosar por los labios de la celda de flotación o salgan en conjunto con la pulpa, rebalsando las celdas de flotación, también llevando consigo a la ganga que no es necesaria recuperar.



**Figura 2.8.** Generación de espumas de Flotación por medio de aire

Fuente: Elaboración propia

### Los reactivos

Los reactivos son aquellas sustancias químicas que se emplean para la recuperación de sulfuros valiosos, asentando o deprimiendo a la ganga e insolubles. Mediante adición de reactivos podemos seleccionar de alguna manera los elementos de valor para posteriormente recuperarlos en sus respectivos concentrados.

Para tener una mayor amplitud de conocimiento de la función específica de cada reactivo, se puede clasificar en tres grupos: espumantes, colectores y modificadores; que posteriormente lo estudiaremos en forma más detallada todo lo referente a los reactivos químicos que se emplearon en la elaboración del presente trabajo de investigación.

Como ya se sabe que cualquier celda de flotación encontraremos agua, aire, mineral molido y reactivos. Estos reactivos son sustancias químicas son atraídos y se asocian a uno o más de los elementos de valor, pero no a los otros.

En conclusión, en la flotación, los reactivos se pegan al elemento que más les atrae, ya sea la roca, los sulfuros, al agua o el aire.





**Figura 2.9.** Reactivos de Flotación (Xantatos)

Fuente: Elaboración propia

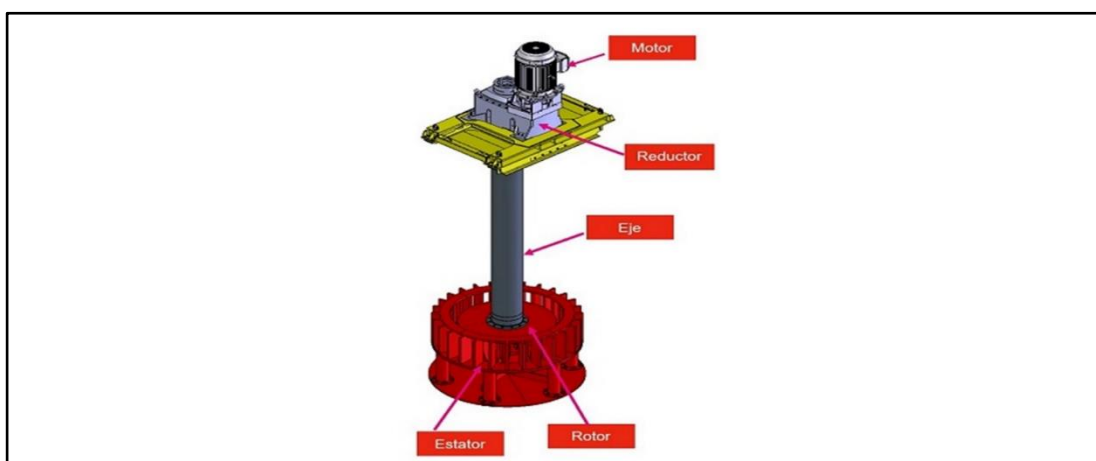
### **La Agitación**

La agitación de la pulpa es aquella que nos permite la formación de las espumas de aire para la flotación de minerales, y además nos ayuda para formar una mezcla uniforme de los reactivos con los elementos que conforman el mineral de la pulpa, en el interior de la celda de flotación. Otro punto importante es que la agitación, nos evita que los sólidos contenidos en la pulpa se asienten.

Si tomamos en un vaso o recipiente pequeño un muestreo significativo del rebalse del ciclón y lo dejamos encima de una mesa sin agitarlo, observaremos que al cabo de un determinado tiempo todas las partes solidas se han asentado en el fondo del vaso o del recipiente. Si en estas condiciones le agregamos poco a poco reactivo, ¿Usted cree, que se mezclaran con todas las partículas? La respuesta es sencilla y evidentemente que no. Pero si posteriormente agitamos esta pulpa con una varilla o con un palo, evitaremos el asentamiento de las partículas y lograremos conseguir que el reactivo entre en contacto con los granos valiosos y actúe de forma directa sobre ellos.

En conclusión, podemos decir que la agitación cumple con las siguientes funciones:

- Evitar que las partículas sedimenten, manteniéndose suspendidos.
  - Permite que haya una mejor mezcla de los reactivos con la pulpa.
- a. La agitación en una celda de flotación debe de ser de manera moderada y no muy excesiva. Si es excesiva ocasionara que se rebalse la pulpa en lugar de las espumas, también ocasiona que se rompan o fragilicen las burbujas y si es muy poco o insuficiente se hace más pequeño la espuma y no lograra a rebalsar en la celda de flotación.
- b. Cuando la agitación en la celda de flotación es insuficiente, se disminuye la columna del nivel de espuma y no lograra a rebalsar las espumas porque se achican y esto ocurre cuando los impulsores están muy gastados o cuando hay un flujo mínimo de aire (tubos de aire atorados).
- c. Se habla de una deficiencia de agitación de la pulpa en una celda de flotación, cuando:
- El impulsor de la celda de flotación está rota o muy desgastada.
  - El estabilizador internamente esta con fallas eléctricas.
  - Las fajas en “v” del sistema de movimiento (polea motriz y polea del árbol de agitación) están muy flojas, lo cual ocasiona que la velocidad del impulsor disminuya notoriamente.



**Figura 2.10.** Impulsor de una Celda de Flotación

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.4. Eficiencia de Clasificación del Hidrociclón

La curva que simboliza la eficiencia de clasificación de un hidrociclón es la denominada curva de Tromp, la cual relaciona la fracción en peso o porcentaje de cada tamaño de partícula en la alimentación que se reporta directamente al ápex o en la descarga del tamaño de partícula. Con esta curva podemos calcular o hallar el parámetro  $d_{50}$  que nos dice la probabilidad de que una partícula pueda ir a la descarga o al rebose.

Para la construcción de la curva de Tromp necesitamos calcular las eficiencias de las partículas finas en la alimentación que pasan al rebose y a la descarga, para esto se necesita tener como datos los tonelajes por hora de sólidos del alimento, rebose y descarga.

F= Flujo de sólidos del alimento

D= Flujo de sólidos del underflow

R=Flujo de sólidos del overflow

$f_{(x)F}$ = Porcentaje en peso del tamaño x en el alimento

$f_{(x)D}$ = Porcentaje en peso del tamaño x en el underflow

$f_{(x)R}$ = Porcentaje en peso del tamaño x en el overflow

#### 2.1.4.1.Eficiencia en la Descarga

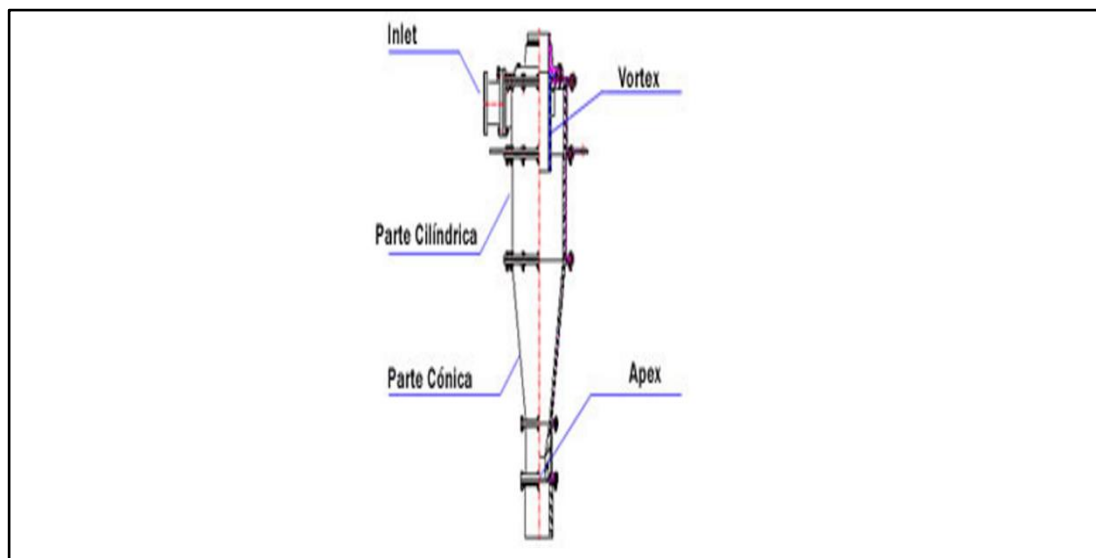
$$\%E_{D(x)} = \frac{D \cdot f_{(x)D}}{F \cdot f_{(x)F}} * 100\% \quad (1)$$

#### 2.1.4.2.Eficiencia en el rebose

$$\%E_{R(x)} = \frac{R \cdot f_{(x)R}}{F \cdot f_{(x)F}} * 100\% \quad (2)$$

Las dos eficiencias deberán cumplir lo siguiente:

$$\%E_{D(x)} + \%E_{R(x)} = 100\% \quad (3)$$



**Figura 2.11.** Partes del Hidrociclón

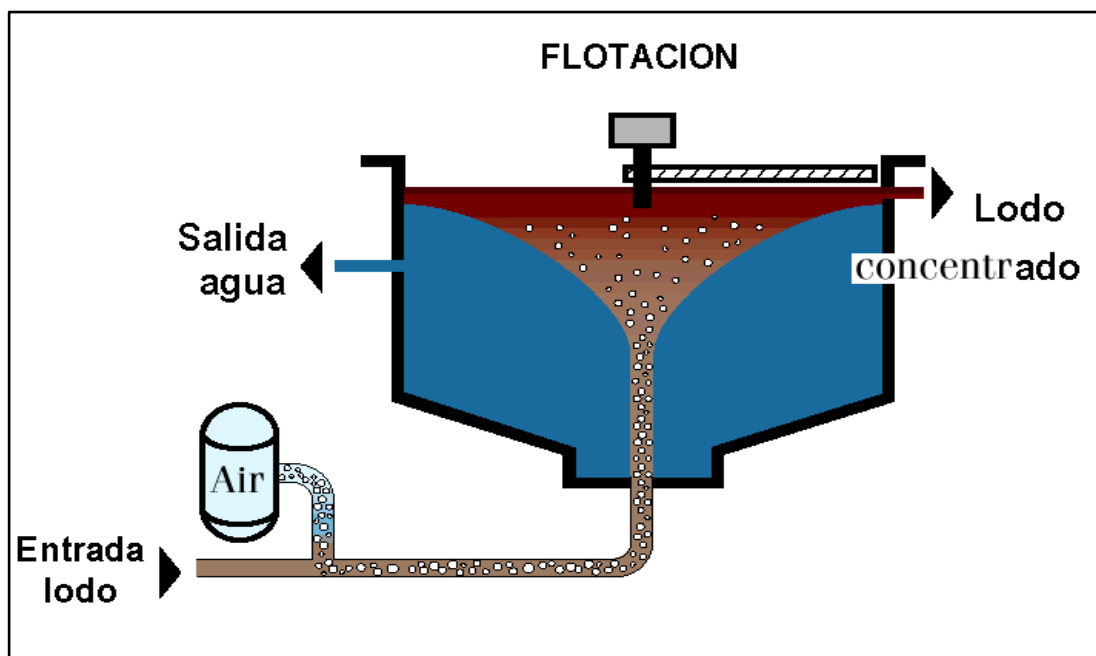
Fuente: Elaboración propia

### 2.1.5. Sedimentación o Espesamiento

La denominada sedimentación o espesamiento involucra el asentamiento por la gravedad de las partículas sólidas suspendidas en un líquido. En el procesamiento de minerales polimetálicos, los espesadores son en su mayoría universalmente usados para el espesamiento o sedimentación de relaves, para la recuperación de aguas de proceso y de muchos concentrados previos a la etapa de filtración. Estos equipos denominados espesadores son parte integral de los circuitos de decantación en contracorriente (CCD) y son los más usados frecuentemente, también se pueden emplear como un reservorio de capacidad de agitación y para el desaguado intermedio de los productos de flotación de minerales. Estos comúnmente son utilizados para realizar las tareas simultáneamente: producir un Underflow (pulpa en la descarga) de alta densidad y un líquido sobrenadante de color claro, y comúnmente trabaja livianamente que no requiere una atención especial, pero si en algún momento estos fallaran o son erróneamente dimensionados, el efecto en la producción puede ser muy perjudicial.

Por consecuencia se dice que la sedimentación es una técnica de separación sólido líquido en la cual se utilizan equipos en forma cilíndrica comúnmente de gran diámetro, denominados espesadores. Este se usa para aumentar la concentración de la suspensión a través de la sedimentación, acompañada de la formación de un líquido claro.

En general todos los espesadores se fundamentan en el principio de la gravedad para la sedimentación de sólidos. El dimensionamiento de los espesadores estará relacionado con las propiedades de la pulpa a ser espesada. En ocasiones algunas pulpas se sedimentarán dejando una línea clara de demarcación. Los factores más importantes que influyen en la velocidad de sedimentación son la dilución inicial de alimento, tamaño de partícula, forma de la partícula, gravedad específica de las partículas, la viscosidad de la mezcla y temperatura del líquido.

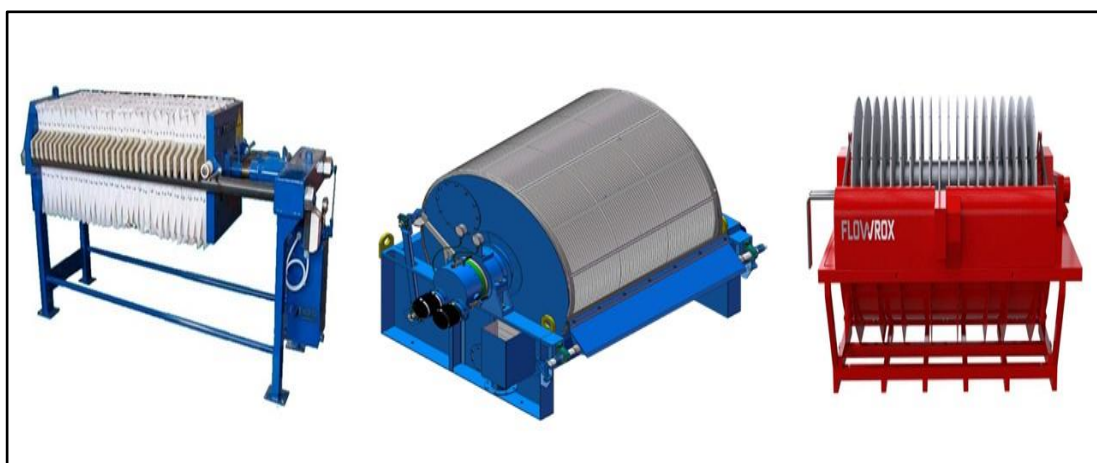


*Figura 2.12.* Partes del Hidrociclón

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.6. Filtración

La filtración es aquella operación de extracción mecánica de líquidos de las pulpas con la finalidad de obtener sus sólidos y/o recuperación de un líquido de valor, con una concentración adecuada para su proceso, transporte, disposición final o recuperación. Existen variedades y diferentes tipos de filtros, entre los más principales que destacan son los filtros prensa, filtros de tambor, filtro al vacío, filtros cerámicos entre muchos más.



*Figura 2.13.* Tipos de Filtros

Fuente: Elaboración propia

## 2.2. Marco Conceptual

### 2.2.1. Descripción del Proceso

La Corporación CMCZ S.A.C, está conformada por la planta concentradora polimetálica la cual brinda servicios de procesamientos de minerales polimetálicos por medio de flotación. Cuenta con un permiso de tratamiento de una capacidad máxima de 200 T/d. Los minerales procesados son sulfuros de plomo, cobre, zinc, del cual se obtienen respectivamente concentrados de plomo (Galena), cobre (Calcopirita) y zinc (Esfalerita) y en ocasiones concentrado bulk Cu-Pb. Mayormente en el concentrado de plomo ya viene acompañado con plata y mínimamente zinc. En

el concentrado de zinc viene acompañado de fierro, insolubles y mínimamente plomo. En el concentrado de cobre viene acompañado de oro, plata y mínimamente insolubles. Los lotes de minerales son traídos en camiones encapsulados por diferentes empresas mineras de distintas partes del Perú como por ejemplo Casma, Tarma, Yungay, Huaral, Huánuco; son almacenados en la cancha de almacenamiento como se muestra en la siguiente *Figura 2.14*.



***Figura 2.14.*** Cancha de Almacenamiento de Minerales de la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

Previamente los camiones encapsulados antes que dejen el mineral en la cancha de almacenamiento pasan por la respectiva balanza de la empresa para el correcto pesaje diario de los minerales de las diferentes empresas. En la siguiente *Figura 2.15*, se muestra la garita y la balanza correspondiente donde los camiones encapsulados se detienen para el pesaje.



**Figura 2.15.** Balanza Electrónica de la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

El agua usada en los diferentes procesos es de naturaleza subterránea (agua fresca) que se almacena en dos pozas y también se cuenta con una poza de agua recirculada que viene del proceso.



**Figura 2.16.** Poza N°1 y N°2 de almacenamiento de agua fresca para la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia





**Figura 2.17.** Poza de agua de recirculación al proceso

Fuente: Elaboración propia

El proceso consta de las siguientes secciones:

#### **2.2.1.1. Sección de Chancado**

El chancado está constituido por dos etapas: chancado primario y secundario. El mineral de la cancha de almacenamiento es transportado por un camión hasta su descarga en la Criba estática abertura de 6.75” la cual alimenta a la tolva de gruesos de capacidad máxima de 120 toneladas que tiene por dimensiones: 193” de ancho y 183” de largo.



**Figura 2.18.** Criba estática de alimentación a tolva de mineral grueso

Fuente: Elaboración propia

Las rocas de minerales que no pasan por la Criba estática se separan a un lado. Luego estos bancos de rocas grandes serán disminuidos su tamaño manualmente por personal capacitado en chancado de rocas mediante combas.



**Figura 2.19.** Zona de almacenamiento de rocas que no pasan por la Criba Estática

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se llena la tolva de gruesos, se pasa al área de chancado primario, que está constituido por una chancadora de quijada de abertura de alimentación de 9"x 16", el cual es alimentado mediante una compuerta manual que se ubica en la tolva de gruesos.

Está se abre poco a poco, y comenzará a caer las rocas que alimentan al chancado primario. En el transcurso que las rocas pasan a la chancadora primaria, existe una parrilla de abertura de 3/4", que se encarga de clasificar el mineral. Las rocas que no pasan por la abertura de la parrilla de 3/4"(oversize), será de alimento para la chancadora primaria, mientras que las rocas que pasan por la abertura de la parrilla de 3/4"(undersize), caerán a una faja que alimenta a la tolva de finos.



**Figura 2.20.** Compuerta de descarga de la tolva de gruesos y Chancadora Primaria de Quijada

Fuente: Elaboración propia

El mismo mecanismo se repetirá para el chancado secundario, que está conformado por una chancadora de quijada de 9"x 16", es decir el mineral que sale del chancado primario se traslada por una parrilla de abertura de 3/4", donde el oversize es transportado al chancado secundario mientras que el undersize cae en una faja transportadora (la misma faja donde cae el undersize del chancado primario), el cual se une con el producto del chancado secundario para finalmente servir como alimento para la tolva de finos de capacidad máxima de 150 toneladas.



**Figura 2.21.** Faja transportadora de Chancado Secundario y tolva de finos

Fuente: Elaboración propia

Toda esta sección se apreciará en el “ANEXO 1: Flowsheet de la Sección de Chancado”.

### 2.2.1.2. Sección de Molienda y Clasificación por Hidrociclones

Esta sección está constituida por 03 molinos de bolas, el primer molino Denver de 5'x 5', el segundo molino Delta de 5'x 6' ambos en circuito abierto y un molino de remolienda de 4'x 4' en circuito cerrado.



**Figura 2.22.** Molinos de bolas de la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

El mineral de la tolva de finos alimenta mediante 2 chutes de transferencia a las fajas transportadoras el cual se regula la carga de mineral en dichas fajas mediante unas compuertas manuales. La primera compuerta alimenta a la faja transportadora de dimensiones 17"x 80.7". Este alimenta a un cajón donde mediante un caño se agrega agua y los reactivos necesarios preparados a la concentración adecuada, para que finalmente ingrese al molino Denver 5'x 5' para su respectiva molienda.

De la misma manera ocurre en la segunda compuerta que alimenta a la faja transportadora de dimensiones 18"x79.5". De la misma manera esta alimenta a un cajón donde mediante un caño se agrega agua y los reactivos necesarios,

preparados a la concentración adecuada; para que finalmente ingrese al molino Delta 5'x 6' para su respectiva molienda.

Una vez realizado la respectiva molienda. La descarga de estos molinos (molino Denver y Delta), cuya densidad debe variar entre 1850gr/cc a 2250 gr/cc, es enviada a un cajón de almacenamiento de descarga de mineral molido (cajón de alimentación al hidrociclón). En la descarga de ambos molinos se añade agua.

Dos bombas denominadas “Bombas de pulpa”, modelo SRL; que consta de un motor de 30 HP cada una, son las encargadas de hacer el trabajo de llevar la pulpa contenida en el cajón de almacenamiento hacia el hidrociclón, mediante tuberías. También a este cajón de almacenamiento de descarga de mineral molido se le agrega agua mediante una manguera.



**Figura 2.23.** Cajón de alimentación al hidrociclón y bombas de pulpa SRL

Fuente: Elaboración propia

El hidrociclón que tiene de diámetro 7", clasifica la pulpa en dos productos:

- Producto fino (overflow)
- Producto grueso (underflow)

En la Planta Concentrado Centenario se cuenta con 02 hidrociclones, uno en funcionamiento y el otro en stand by.



**Figura 2.24.** Hidrociclones D-7 de la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

El producto del overflow (pulpa fina), cuya densidad debe variar entre 1250gr/cc a 1450 gr/cc, sirve de alimentación a la flotación. Mientras que el producto del underflow, sirve de alimentación al molino de remolienda.

La descarga del molino de remolienda va hacia el cajón de almacenamiento de descarga de mineral molido.

Finalmente se repite el proceso de bombeo de pulpa y su respectiva clasificación en el hidrociclón (overflow y underflow).

Toda esta sección se apreciará en el “ANEXO 2: Flowsheet de la Sección de Molienda y Clasificación por Ciclones” y también se detallará en el “ANEXO 3: Balance de Molienda y Clasificación por Hidrociclones”.

### **2.2.1.3. Sección de Flotación de minerales polimetálicos**

Este proceso está conformado por 3 circuitos:

#### **Circuito de flotación de plomo**

Esta sección está formada por 01 celda serrana 5'x 5', 01 celda serrana 6'x 7', 01 banco de celdas 36"x 42" de 4 celdas, 01 banco de celdas 36"x 42" de 4 celdas y 01 banco de celdas 30"x45" de 2 celdas.



**Figura 2.25.** Circuito de flotación de plomo

Fuente: Elaboración propia

La pulpa proveniente del overflow del hidrociclón, sirve de alimento al circuito de flotación de plomo.

Mediante el proceso de flotación se obtiene el concentrado de Plomo, el cual será enviado hacia las cochas de almacenamiento de concentrado de plomo. Esta pulpa de plomo flota dentro de un rango de PH de 7 a 8.5. Por último, se obtiene un relave, el cual será enviado al depósito de relaves.

### **Circuito de flotación de cobre**

Esta sección está formada por 01 celda serrana 5'x 5', 01 banco de celdas 26"x 31" de 4 celdas, 01 banco de celdas 26"x 31" de 4 celdas y 01 banco de celdas 32"x36" de 4 celdas.



**Figura 2.26.** Circuito de flotación de cobre

Fuente: Elaboración propia

Este circuito se empleará cuando se tenga un concentrado Bulk Cu-Pb el cual consiste cuando la pulpa llega al circuito de plomo, en este circuito en vez de flotar plomo, se flotará un concentrado Bulk Cu-Pb, que pasara este concentrado al circuito de Cu, y lo que no flota, es decir el relave será enviado al circuito de Zn en el caso tenga Zn, y si no tiene se enviara directamente al depósito de relaves.

A continuación, este concentrado Bulk Cu-Pb, que llega a la celda serrana 5'x 5', donde se procederá la separación Cu-Pb mediante la adición de xantatos o ditionofosfatos como colectores, a un PH natural, teniendo por objetivo flotar el Pb. La pulpa que no flota pasara a los 02 bancos de celdas de 26"x 31" de 4 celdas cada banco, en donde se encarga de limpiar el plomo, para finalmente en el último banco de celdas de 32"x 36" de 4 celdas, flotar el cobre y mandarlo a un cajón. Luego desde este cajón mediante tuberías se mandará a las cochas de almacenamiento de concentrado de plomo.



### **Circuito de flotación de zinc**

Esta sección está formada por 01 celda serrana 6'x 7', 02 celdas serranas 5'x 5', 01 banco de celdas 30"x 45" de 4 celdas, 01 banco de celdas 30"x 45" de 4 celdas.



**Figura 2.27.** Circuito de flotación de zinc

Fuente: Elaboración propia

Esta sección consiste que el relave proveniente de la flotación de Pb, una vez que pasa al cajón (donde se acondiciona cal y sulfato de cobre), el cual hará activar al Zn para su respectiva flotación, pasa mediante tuberías a la primera celda serrana 6'x 7'. En dicha celda se controla el PH que este en un rango de 10-12, lo que flota que será concentrado de Zinc pasara a un cajón, luego este relave de esta celda pasa a la segunda celda serrana 5'x 5', donde flota más Zn adicionando sulfato de cobre(CuSO<sub>4</sub>), una gota por gota de espumante MIBC si es necesario, este concentrado de Zn que flota pasara al mismo cajón que la flotación en la primera celda serrana 6'x 7', luego el relave pasara a la tercera celda serrana 5'x 5', el cual se repetirá el mismo procedimiento, con la diferencia que este relave de esta tercera celda serrana 5'x 5' pasara a 02 bancos de celdas de limpieza de 4 celdas cada banco. En estos bancos de celdas se seguirá flotando Zn para su máxima recuperación, mediante limpiezas, agregando cal y Z-6 de ser necesario. Esta adición de estos reactivos esta supervisado por el operador de flotación de Zn, que es el que está capacitado para esta área.

Finalmente, luego de limpiar y recuperar todo el Zn posible en estos bancos de celdas mediante su flotación, lo que no flota será trasladado a otro cajón donde mediante tuberías pasará al depósito de relaves.



*Figura 2.28.* Depósito de Relaves de la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

Toda esta sección se apreciará en el “ANEXO 4: Flowsheet de la Sección de Flotación de minerales polimetálicos”.

#### **2.2.1.4. Sección de desagüamiento, secado, acumulación y recojo de concentrado**

El concentrado de la flotación es enviado a las cochas de almacenamiento de concentrado (6 pozas). Cada cocha está cerrada por varias tablas, una encima de otra, que forman una puerta.

En cada tabla, una encima de otra, se coloca trapos, el cual permitirá el paso del agua, con la finalidad de retirar toda el agua posible de las cochas. Esta agua mediante tuberías se dirige hacia la poza de recirculación de agua.

Una vez que se ha logrado retirar toda el agua posible de las cochas, se procederá a sacar tabla por tabla, para que el concentrado salga lentamente y pueda extenderse mediante carretillas o rastrillos a lo largo de la loza de

almacenamiento de concentrado, el cual se dejara aproximadamente por 03 días para que seque a temperatura del ambiente.



**Figura 2.29.** Cocha de almacenamiento de concentrado y secado de concentrado

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, cuando ya paso los tres días y el concentrado casi está seco, con una humedad aproximada del 9%, dicho concentrado se amontona en rumos por medio de maquinarias, para proceder al llenado de los camiones encapsulados. Estos camiones al momento de retirarse pasaran a la balanza electrónica para su respectivo pesaje de concentrado.



**Figura 2.30.** Personal que trabaja en la Planta Concentradora Centenario y despacho de concentrado

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1.5. Sección de disposición de relaves y recuperación de agua

El relave proveniente de la flotación es enviado por medio de bombas y tuberías al depósito de relaves.

En el depósito de relaves se forma una zona de relave grueso y en la parte superior una laguna de aguas claras, que mediante tuberías esta agua retorna a la poza de recirculación, es decir desde la poza de agua recirculada hay dos bombas, que se conecta mediante tuberías con la laguna de aguas claras. Estas bombas de 20 HP son las encargadas de realizar el trabajo que las aguas claras del depósito de relaves sean transportadas a la poza de recirculación de agua.



**Figura 2.31.** Depósito de relaves y poza de agua recirculada de la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1.6. Manejo de residuos sólidos industriales y domésticos

Está conformado por piezas de desgaste de la operación como: bolas del molino, liners, muelas de la chancadora, virutas, carretillas en mal estado, etc. También de chatarra y residuos sólidos proveniente de diversos puntos de acopio de la planta, ya sea de los trabajos realizados en la planta, áreas del comedor, área de molienda, etc., serán almacenados en primera instancia en tachos debidamente señalizados, cada uno con su nombre correspondiente.

Estos tachos contarán con una bolsa negra, donde al cabo de dos días se sacarán las bolsas negras y serán llevados a la zona de disposición final de chatarra y residuos sólidos.

Nuestra empresa CMCZ S.A.C está en proceso de contratar una empresa tercera especializada en eliminación de dichos residuos sólidos industriales y domésticos.

Por el momento solo se está acumulando todos estos productos en lugares debidamente señalados.



*Figura 2.32.* Depósito de residuos sólidos domésticos e industriales

Fuente: Elaboración propia

### **2.3. Parte teórica del Diseño Experimental**

El diseño experimental o diseños de experimentos es la aplicación de un método científico para obtener conocimiento sobre un sistema o proceso a través de experimentos diseñados apropiadamente. Este método se ha incorporado como un conjunto de técnicas estadísticas y de técnicas de ingeniería para comprender mejores situaciones causales complejas que tienen una relación causa-efecto.

El propósito del diseño factorial es estudiar los efectos de diferentes factores sobre una o varias respuestas cuando todos los factores tienen los mismos intereses.

Como, por ejemplo, uno de los principales objetivos específicos más importantes que en algunas oportunidades tiene un diseño factorial es determinar la combinación de niveles de los factores con la finalidad que el desempeño del proceso sea mejor o más eficiente.

Los factores controlables son de dos tipos, el primero puede ser cualitativo (maquinarias, tipos de materiales, operadores, la presencia o ausencia de una operación previa, formas geométricas, desgastes de máquinas, etc.), y el segundo tipo cuantitativo (temperaturas, dosificaciones de reactivos, humedades, velocidades, presiones, porcentaje de sólidos, etc.). Para así estudiar de qué manera influencia cada factor o factores sobre las variables respuestas, pero teniendo en cuenta que es primordial elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos. Con la aplicación del diseño factorial completo se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que se forman con los correspondientes niveles de los factores a investigar.

Es así como la matriz de diseño o arreglo factorial está conformado por un conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden originarse siempre y cuando se considere todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. Como por ejemplo si tenemos 2 factores y ambos con dos niveles respectivos, se formará un diseño factorial de  $2 \times 2 = 2^2$ , el cual consiste en cuatro combinaciones o cuatro puntos experimentales diferentes. En el caso de que un factor tenga tres niveles y el otro factor dos niveles se podrá diseñar  $3 \times 2$  combinaciones que dan un origen al diseño factorial  $3 \times 2$ . Se debe observar que en el nombre de diseño factorial va incorporado el número de tratamientos que estarán compuestos. Por otro lado, para saber el número de corridas experimentales que tendremos en total se debe multiplicar el número de tratamientos hechos por el número de replicas, donde una de estas se llevara a realizare cada vez que se corra el arreglo completo.

En forma general y resumida, la familia de los diseños factoriales de la forma  $2^k$  consiste en  $k$  factores, todos son de dos niveles y la familia de diseños factoriales de la forma  $3^k$  consiste en  $k$  factores, todos y cada uno de estos factores con tres niveles.

### **2.3.1. Experimento**

Se define o denomina experimento al cambio o transformación en las condiciones de operación de un sistema o proceso, que se realiza con el propósito de medir el efecto o los efectos del cambio sobre una o varias propiedades principales del producto o resultado. Es por eso por lo que el experimento nos permite incrementar los conocimientos acerca del sistema o proceso. Un ejemplo es cuando en un proceso químico se pueden probar varias o diferentes temperaturas y presiones, y medir los cambios observados en el rendimiento o eficiencia del proceso. Cuando se analizan los efectos o datos se obtendrá un mayor conocimiento del proceso químico, lo cual permitirá mejor el desempeño del proceso.

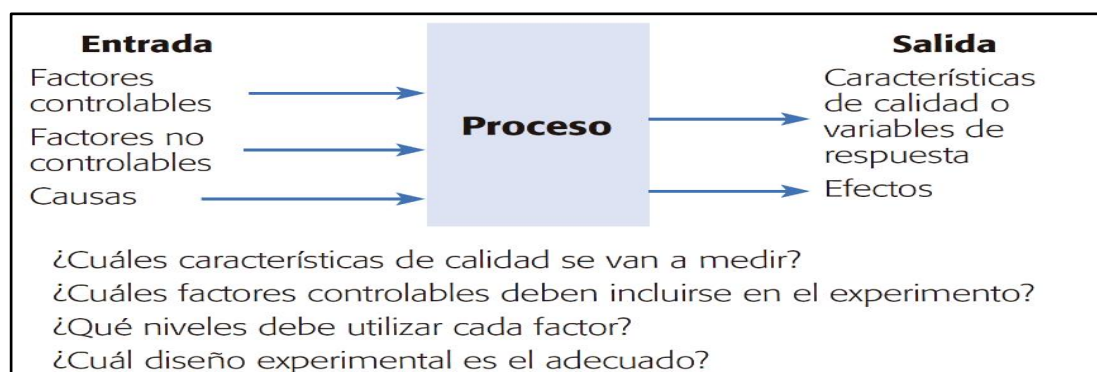
### **2.3.2. Unidad experimental**

La definición de unidad experimental es que son las piezas o muestras que se utilizan para generar un valor que sea el más representativo del resultado del experimento o prueba. En cada aplicación del diseño de experimentos es importante tener conocimiento de manera cuidadosa la definición de la unidad experimental, ya que esta es una pieza o muestra de una sustancia o también un conjunto de piezas producidas que dependerá del proceso que se estudia o se estudiará. Un ejemplo es si se quiere investigar algunas alternativas para disminuir el porcentaje del número de piezas defectuosas, en un proceso donde se produce cantidades de piezas en un corto tiempo, es notorio que no sería de manera confiable que la unidad experimental este conformado por una sola pieza, en la cual se observe si en solo una condición experimental estaba defectuosa o no. Es aquí donde la unidad experimental será una cierta cantidad de piezas que se producirán en las mismas condiciones experimentales, y tendrá como finalidad analizar cuantas de ellas están defectuosas o para cambiar y cuantas están en buen estado.

### 2.3.3. Variables, factores y niveles

En particular en todo proceso intervienen distintos tipos de variables o factores como los que se observan en la *Figura 2.33*, donde también se pueden apreciar algunas interrogantes desconocidas al tener planeado un experimento.

Variables o variables de respuesta: A través de estas variables se puede tener conocimiento de los efectos o los resultados de cada prueba experimental (véase *Figura 2.33*), por lo que pueden ser características esenciales de la calidad de un producto y/o variables que pueden medir el desempeño o eficiencia de un proceso. El propósito principal de muchos estudios experimentales es encontrar la forma o manera de mejorar las variables de respuesta. Por lo general, estas variables se denotan con letra  $Y_i$ .



**Figura 2.33.** Esquema de variables de entrada y salida del diseño experimental

Fuente: Elaboración propia

**Factores controlables.** Se define como las variables o factores que se presentan en un proceso que son establecidos en un cierto nivel. En ocasiones algunas de estos factores son los que mayormente se controlan durante la operación del proceso (véase *Figura 2.70*), y se diferencian porque a cada uno de ellos se origina alguna manera o algún mecanismo para poder manipular o estructurar su nivel de operación. Un claro ejemplo es cuando en un proceso se usa agua a  $70^{\circ}\text{C}$  por lo tanto deberá existir algún mecanismo que nos permita establecer o fijar la temperatura del agua dentro de un intervalo de operación. En ocasiones algunas características o factores



que usualmente se controlan son: la temperatura, el tiempo de residencia, el consumo de cierto reactivo, los tipos de reactivos, los métodos en el que operan, la velocidad, las presiones, y muchas más. A las variables o factores controlables también se les denomina variables de entrada, condiciones de proceso, variables de diseño, parámetros de proceso, las  $X_i$  de un proceso o resumidamente factores.

**Factores no controlables.** Son los factores o variables de un proceso que no se pueden controlar durante el experimento o en la operación normal del proceso. Como, por ejemplo, en ocasiones algunos factores que podrían ser no controlables son las variables ambientales (luz, viento, humedad, temperatura, ruido, partículas, y muchas más.), el desgano de los operadores o supervisores, la calidad del material hecho que se recibe del proveedor. Una variable o factor que en un momento no es controlable puede transformarse en un factor controlable cuando se tiene en cuenta con el mecanismo o la una tecnología para lograr ello.

**Factores estudiados.** Son los factores o las variables que se investigan en el experimento, para ver cómo influyen o afectan a las variables de respuesta. Los factores estudiados pueden ser variables controlables o variables no controlables, a este último puede ser posible controlarlos cuando se hizo el experimento. Se dice que para que un factor pueda ser utilizado es primordial que en el transcurso del experimento se haya experimentado en por lo menos dos niveles.

En general, cualquier factor ya sea controlable o no, puede tener alguna influencia en la variable respuesta que se puede observar en su media o en su variabilidad. Para la finalidad de un diseño de experimentos deberán de seleccionarse los factores o variables que se consideraran, por conocimiento del objeto de estudio, que pueden tener algún efecto de una variable no controlable, por último, una parte de la problemática a superar durante el diseño es ver la solución en que cual se pueda controlar el factor o variable durante el experimento.

**Niveles y tratamientos.** Los relativos valores que se dan a cada factor o variable en estudio en un diseño experimental se les denomina niveles. Cuando los niveles de todos los factores estudiados se combinan se les denomina tratamiento o punto de diseño. Un ejemplo es si en un experimento se evalúa como influencia de la velocidad y temperatura, y se decide experimentar cada una de estas variables en dos niveles, entonces se tendría que cada combinación de niveles (velocidad, temperatura) es un tratamiento. En este caso escrito en el ejemplo se tendría cuatro tratamientos, como se observa en la Tabla 2.1. Es fundamental corroborar cada tratamiento o experimento para así obtener el correspondiente valor de Y o variable respuesta.

**Tabla 2.1.** *Puntos de diseño o tratamientos*

Nivel de velocidad	Nivel de temperatura	Tratamiento	Y
1	1	1	?
2	1	2	
1	2	3	
2	2	4	

Fuente: Elaboración propia

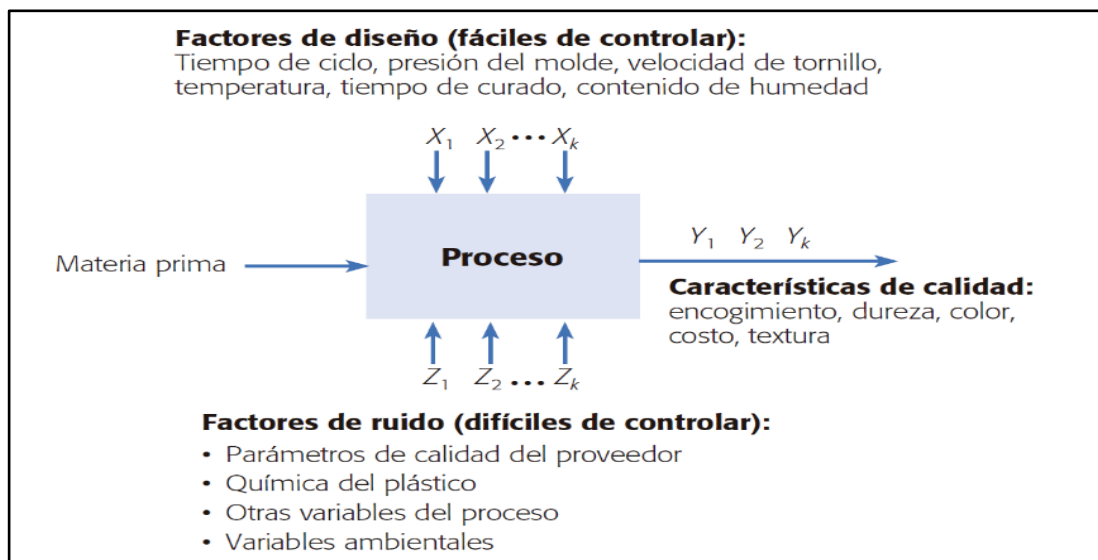
En concordancia con las definiciones establecidas y se tenga un caso para experimentar con un solo factor entonces se concluirá que cada nivel será un tratamiento.

**Error aleatorio y error experimental.** Cuando se realice o se comience un estudio experimental se obtendrá una respuesta y se puede observar que la variabilidad de esta respuesta no se podrá dar una explicación con los factores en estudio. A esta variabilidad representa el denominado error aleatorio. Un claro ejemplo que forma parte del error aleatorio es el mínimo o despreciable efecto que tienen los factores que no fueron de parte del estudio, siempre y cuando este efecto se mantenga mínimo o despreciable, así como la variabilidad de las mediciones realizadas en las mismas condiciones. Otro punto que debemos tener en cuenta es que al momento de

realizar los experimentos se comete errores, si estos errores son muy graves mayores que el error aleatorio se hablara del llamado error experimental. Cuando tiene mucha relevancia este error experimental se puede decir que para detectar cuales de los factores que se estudian tiene un efecto significativo en la variable respuesta será muy difícil o también imposible detectar.

En el caso cuando se realice un diseño experimental es relevante que la variabilidad que se puede observar de la respuesta se genere de manera principal a los factores estudiados y en menor manera al error aleatorio, y además que este error sea aleatorio.

Cuando se tiene el caso que en su mayoría de la parte de la variabilidad que es observada se deba a los factores que no se estudiaron, no se lograra distinguir cual es el real efecto que tienen los factores estudiados, concluyendo que el experimento no lograría su objetivo principal y fundamental. Es aquí la mucha importancia de no variar aleatoriamente a ningún factor que pueda influenciar de manera significativa en el comportamiento de la variable respuesta.



**Figura 2.34.** Esquema de factores y variables en la fabricación de un envase

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.4. Etapas en el Diseño de Experimentos

Unos de las características fundamentales del diseño de experimentos es plantear cuales pruebas experimentales se van a hacer y cuantas de estas serán o requerirán repeticiones, con el propósito de poder obtener la máxima información posible con el menor costo. Al arreglo que se forma con los diferentes tratamientos que posteriormente serán corridos teniendo en cuenta las repeticiones se denomina o lleva el nombre de matriz de diseño o solo simplemente diseño.

Se debe de tener en cuenta que para que un estudio experimental se realice de manera exitosa será necesario realizar por ciertas etapas los diferentes experimentos. Con lo mencionado anteriormente se dice que la etapa de mayor importancia y a la cual se le dedicará más tiempo será la planeación. De manera continua se detallará de una forma resumida las diferentes etapas del diseño de experimentos con el propósito de establecer una perspectiva global de lo genera su adecuado desarrollo y aplicación.

#### 2.3.4.1. Planeación y realización

**Entender y delimitar cual es el problema de estudio.** Durante la fase de planeación o planificación se debe realizar una investigación preliminar que conduzca a la comprensión y delimitación del problema de estudio, por qué es importante saber esto y en el caso sea un problema, determinaremos cuál es la magnitud o grandeza de este problema.

**Seleccionar las variables de respuesta que se analizaran en cada punto del diseño experimental para comprobar que se determine de manera certera y confiable.** La selección de estas variables es primordial, ya que en estas muestran los resultados de las pruebas realizadas es por esto por lo que se debe de seleccionar aquellas que mejor representen al problema o que sea muy característica al objeto de estudio. También se deber tener la certeza de que las mediciones que obtengamos sobre las variables seas muy confiables. Dicho de otra manera, debemos garantizar que los métodos de medición usados sean capaces de dar una buena

medición que deben tener un porcentaje de precisión y exactitud en las pruebas realizadas.

**Determinar cuáles son los factores o variables que deben estudiarse en concordancia con la significancia que tiene sobre la variable respuesta.** Este punto no se trata de que la persona que realizara los experimentos debe saber anticipadamente que factores son las que influyen en la variable respuesta ya que para eso es que se realizara experimentos, pero si debe de tener en cuenta de utilizar toda la información necesaria para incorporar aquellas variables que se consideran que son más significantes.

**Elegir los niveles de cada factor y también el diseño experimental que más se acomode a los factores y a la finalidad del experimento.** Lo que se requiere enfocar en este punto es saber cuántas repeticiones se realizaran para cada experimento teniendo en cuenta los costos, el tiempo de realización y con que precisión queremos tener los experimentos.

**Planificar y organizar el trabajo experimental a realizar.** En este paso una vez que se tenga una base previa en el diseño que se seleccionara se tiene que planificar y organizar cada detalle del experimento como por ejemplo el número de personas que intervienen, en qué forma se operara el trabajo experimental, entre otras cosas adicionales.

**Ejecutar el trabajo experimental.** En este paso se debe se seguir el plan descrito en el paso anterior y en el caso halla algún acontecimiento nuevo se tiene que ver a que persona se le reportara y cual es las cosas que se realizar de acuerdo con el acontecimiento nuevo.

#### **2.3.4.2. Análisis**

Lo más primordial en esta etapa es tener en cuenta que los resultados experimentales son interpretaciones de muestra mas no de población. Por ende, debemos acudir a los métodos estadísticos inferenciales para comprobar si estas diferencias son en su manera grandes para que se puedan verificar las diferencias poblacionales. La técnica estadística central en la que se basa el análisis de los experimentos es el denominado análisis de varianza o mejor llamado ANOVA que es un acrónimo en inglés.

#### **2.3.4.3. Interpretación**

En esta etapa se tiene que en base al análisis estadístico formal, se deberá estudiar con más detalle lo que está pasando en los experimentos desde la verificación de las conjeturas iniciales con los resultados de los experimentos, hasta el punto de examinar los observar los nuevos estudios que se han logrado durante el proceso, verificar los nuevos aprendizajes que sobre el proceso se lograron, verificar las hipótesis planteadas y seleccionar el mejor método o tratamiento siempre apoyándose de las pruebas estadísticas.

#### **2.3.4.4. Control y conclusiones**

Para finalizar nuestro estudio de los experimentos se sugiere plantear que medidas se implementaran para garantizar el resultado del estudio y quedarnos con los mejores datos obtenidos.

#### **2.3.5. Clasificación y selección de los Diseños Experimentales**

Actualmente existen variedad de diseños experimentales para profundizar en la solución óptima de variedades de problemas o situaciones que suceden en la vida práctica. Se puede decir que de esta gran cantidad de diseños experimentales nos lleva a poder seleccionar de manera critica cual es el más idóneo y correcto para una determina situación e involucra saber la clasificación de acuerdo con el propósito que queremos y el alcance que debemos de llegar.

Existen cinco diferentes puntos que influyen para la selección de un determinado diseño experimental, los cuales son:

1. Conocer la finalidad, objetivo o propósito del experimento.
2. Plantear el número total de factores que se estudiarán.
3. Conocer el número de niveles que se experimentarán para cada factor.
4. Las consecuencias que nos importa estudiar o investigar.
5. Saber el costo de cada experimento, el tiempo para su realización y la precisión que deseamos lograr.

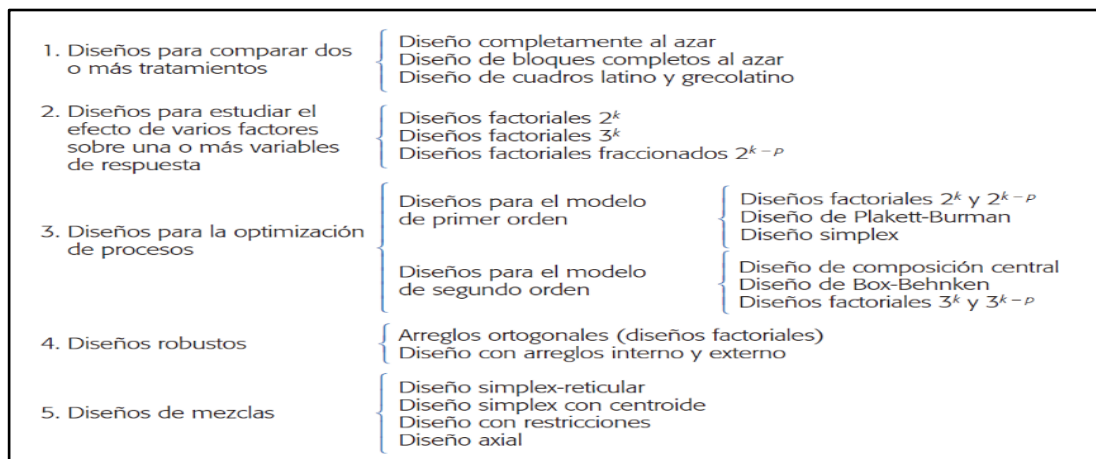
Estos cinco puntos están relacionados de alguna manera entre sí, pero es primordial nombrarlos por separado, ya que si se llegara a cambiar cualquiera de ellos cambiara el diseño experimental que se utilizara.

De acuerdo con su finalidad, los diseños experimentales se pueden clasificar en:

1. Los diseños experimentales para contrastar dos o más tratamientos.
2. Los diseños experimentales para estudiar los efectos de varios factores sobre las variables de respuesta.
3. Los diseños experimentales con la finalidad de encontrar el punto óptimo para la operación del proceso.
4. Los diseños experimentales para optimizar una mezcla.
5. Los diseños experimentales para que los factores no controlables sean indiferentes para el proceso.

En la *Figura 2.35* se observa cómo se clasifican los diseños experimentales de acuerdo con el propósito y estos a su vez se pueden seguir clasificando de acuerdo con el número de factores que se proponga, al tipo de resultado que se quiere estudiar de acuerdo con las restricciones que puedan existir. Por otro lado, también en la *Figura 2.35* se nombran los diseños representativos de cada punto.

Se puede apreciar que los diseños factoriales completos y los diseños factoriales fraccionados toman más de un lugar en la *Figura 2.35*; y la razón fundamental es que estos diseños son muy eficientes en muchas situaciones sencillas.



**Figura 2.35.** Esquema de clasificación de los diseños experimentales

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.6. Diseño Factorial Fraccionado $2^{k-p}$

Se sabe que cuando se tiene un mayor número de factores aumentará de manera rápida el número de experimentos en los diseños factoriales completos de la forma  $2^k$  como por ejemplo si se tiene 5 factores y con una sola réplica del diseño factorial completo  $2^5$  entonces se tendría que correr 32 pruebas que conforman al número de tratamientos del diseño, pero si fueran 6 factores serían  $2^6 = 64$  pruebas. Por ende, se tiene que en la parte práctica no es dable tener muchas corridas experimentales. Para lograr hacer la parte experimental con dichas cantidades de factores se requiere de aplicar un método que nos permita reducir de forma primordial el número de pruebas experimentales teniendo en cuenta que solo se perderá la mínima información que nos sea importante tal método son los diseños factoriales fraccionados. Este método cuando se tiene exceso de información por parte de la gran cantidad de factores nos permite seleccionar la información menos importante para obtener un diseño manejable de acuerdo con el número de corridas experimentales. Los diseños factoriales fraccionados se basa en establecer que efectos son más



significantes y cuáles son los menos significantes, seguidamente por las interacciones dobles, triples si es que lo hubiera y así sucesivamente.

En la Tabla 2.2 se detalla el número de efectos que más nos interesan para distintos diseños factoriales de la forma  $2^k$ . Se puede apreciar que el primer diseño factorial completo origina una gran cantidad de información y es el diseño factorial  $2^5$ , ya que en este efecto se tiene 31 efectos y de estos solo 15 efectos son altamente primordiales que son los efectos principales más las 10 interacciones dobles y los 16 efectos restantes que están compuestos por las relaciones o interacciones de tres a más factores se dice que son prácticamente despreciables.

En la Tabla 2.2 también se aprecia que, si se tiene menos de cinco factores, los efectos altamente importantes son mayores en número que los efectos despreciables es por lo tanto que si se llegaran a fraccionar estos diseños se despreciara mucha información que puede ser muy importante. Y tenemos la otra situación que cuando se tiene que el número de efectos es mayor a 5, lo que nos aclara es que estos diseños si se pueden fraccionar sin perder información importante para nuestro problema en estudio.

**Tabla 2.2.** Efecto en los factoriales  $2^k$

Diseño $2^k$	Total de efectos	Efectos no ignorables	Efectos ignorables
$2^2$	3	3	0
$2^3$	7	6	1
$2^4$	15	10	5
$2^5$	31	15	16
$2^6$	63	21	42
$2^7$	127	28	99

Fuente: Elaboración propia

Se deduce que, si el valor de los efectos es mayor o igual a 5, el diseño permitirá que tenga un mayor fraccionamiento.

Se debe tener en cuenta que como se corre una parte del diseño factorial completo se tienen causas inevitables como:

1. Por la razón que existirá efectos que serán imposibles estimarse y también porque tiene un menor grado de libertad disponibles para el error entonces inevitablemente se perderá información. Lo que se espera que dicha información que se pierde sean de alguna manera interacciones de alto orden, con el propósito de ignorar con un mínimo riesgo.
2. También se debe tener en cuenta que los efectos que sí se pueden estimar por lo menos tienen un sobrenombre. Se dice que un efecto sea sobrenombre de algún otro efecto que en la realidad son el mismo efecto llamados de distintas maneras, y que si estimamos a tan solo uno de ellos también se estimara al otro de manera instantánea, por lo que dichos efectos no se pueden desunir.

### **2.3.7. Diseño Factorial $2^{k-1}$**

La denotación  $2^{k-1}$  simboliza que una parte a la mitad del diseño factorial completo  $2^k$ ,  $k > 2$  con  $\frac{1}{2} * 2^k = 2^{k-1}$ , no tendría sentido común particionar el diseño factorial de  $2^2$  ya que inevitablemente tendría prácticamente casi nada de tratamientos y con estos no se puede estimar ningún efecto principal.

### **2.3.8. Arreglos Ortogonales**

Se llama arreglos ortogonales a los diseños propuestos por Taguchi que, como bien su nombre lo menciona, tienen la característica de ortogonalidad.

**Tabla 2.3.** Factores de control y de ruido en la producción de un concentrado de Cobre (Cu)

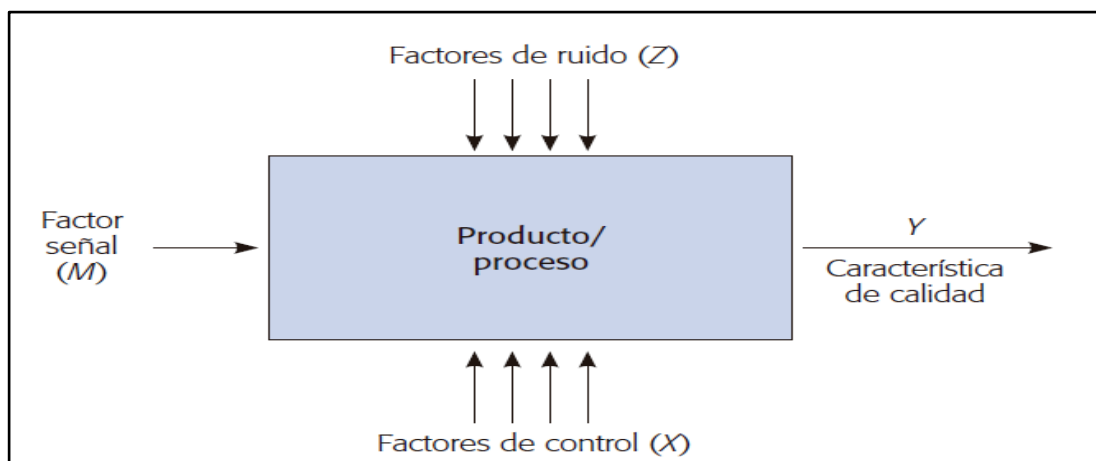
Factores de control	Factores de ruido
A: Granulometría. B: % solidos. C: Consumo de Cianuro. D: Consumo de Bisulfito. E: Consumo de Sulfato de Zinc. F: Velocidad de evacuación.	K: Grado del concentrado de Cu. L: Recuperación del concentrado de Cu. M: Desplazamiento o activación de Zinc.

Fuente: Elaboración propia

							Factores de ruido K L M	2 1 1	1 1 2	1 2 1	2 2 2	Media	Desviación estándar	Razón señal/ ruido
Factores controlables												$\bar{X}$	S	$-10 \log_{10}(S^2)$
A	B	C	D	E	F	G								
1	1	1	1	1	1	1	36	26	24	15	25.25	8.61	-18.71	
1	1	1	2	2	2	2	32	62	24	32	37.50	16.76	-24.49	
1	2	2	1	1	2	2	34	16	25	12	21.75	9.81	-19.83	
1	2	2	2	2	1	1	10	30	26	32	24.50	9.98	-19.98	
2	1	2	1	2	1	2	33	31	27	23	28.50	4.43	-12.93	
2	1	2	2	1	2	1	34	48	26	39	36.75	9.21	-19.29	
2	2	1	1	2	2	1	26	27	18	20	22.75	4.42	-12.92	
2	2	1	2	1	1	2	28	40	21	32	30.25	7.93	-17.99	

**Figura 2.36.** Diseños ortogonales robustos internos y externos

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.37.** Esquema de tipos de factores en el diseño robusto

Fuente: Elaboración propia

Dependiendo de cuantos factores se estudiarán en un caso de estudio se dice que pueden ser diseños factoriales completos, fraccionados o mixtos.

Como, por ejemplo, si se tiene un arreglo ortogonal  $L_8$  se dice que se tendrá ocho corridas experimentales y con este punto planteado se puede decir que se estudiará desde dos hasta siete factores con dos niveles cada uno (*Figura 2.38*). En el caso que si se estudiara siete factores que nos da un diseño factorial fraccionado de  $2^{7_{III}-3}$  en cambio sí se estudiara un diseño con dos factores tendría que ser un factorial completo  $2^2$  incluyendo dos réplicas. Se puede decir que si tenemos menos de siete factores es preciso conocer a que columnas del arreglo se deberá designar los factores como por ejemplo si estudiamos cuatro factores con un arreglo  $L_8$  se deberá designar a las columnas 1, 2, 4, 7, para así poder obtener la referencia con la calidad de la fracción  $2^{4_{IV}-1}$  con generador  $I=ABCD$ .

Si se tiene un arreglo ortogonal  $L_{16}$  podrá estudiar desde cuatro hasta 15 factores, si en el caso se tuviera menos de cuatro factores es recomendable utilizar un  $L_8$ . Si se estudia cuatro factores se deberá poner a las columnas 1, 2, 4 y 8, para así poder estimar por separado a las interacciones. Por otro lado, si se estudiase 15 factores del arreglo  $L_{16}$  sería igual a una fracción  $2^{15_{III}-11}$ . Se induce que, si tenemos más

factores a estudiar, se tendrá menos grados de libertad para el estudio de las interacciones, pero Taguchi no se enfoca demasiado en estudiar las interacciones, sino que principalmente se enfoca en analizar sólo los efectos principales de cada factor.

En la *Figura 2.75* se observa seis de los arreglos ortogonales que se utilizan en mayor frecuencia, que son los siguientes:  $L_4$ ,  $L_8$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{16}$ ,  $L_9$  y  $L_{18}$ . También se tiene en el subíndice la notación  $L_i$  que nos indica el número de combinaciones de niveles que configuran el arreglo. Los arreglos  $L_9$  y  $L_{18}$  admiten que los factores tengan tres niveles (1, 2, 3).

Arreglo $L_4$ (fracción $2^{3-1}$ )				Arreglo $L_8$ ( $3^{4-2}$ )					Arreglo $L_9$ (fracción $2^{7-4}$ )							
Núm. de corrida	Núm. de columna			Núm. de corrida	Núm. de columna				Núm. de corrida	Núm. de columna						
	1	2	3		1	2	3	4		1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	
3	2	1	2	3	1	3	3	3	3	1	2	2	1	1	2	
4	2	2	1	4	2	1	2	3	4	1	2	2	2	2	1	
5				5	2	2	3	1	5	2	1	2	1	2	1	
6				6	2	3	1	2	6	2	1	2	2	1	2	
7				7	3	1	3	2	7	2	2	1	1	2	2	
8				8	3	2	1	3	8	2	2	1	2	1	1	
9				9	3	3	2	1	9	2	2	1	2	1	2	
2 factores: columnas 1 y 2. 3 factores: las tres columnas.				2 factores: columnas 1, 2. 3 factores: columnas 1, 2, 3. 4 factores: columnas 1, 2, 3, 4.					2 factores: columnas 1, 2. 3 factores: columnas 1, 2, 4. 4 factores: columnas 1, 2, 4, 7. 5 factores: columnas 1, 2, 4, 7, 6. 6 factores: columnas 1, 2, 4, 7, 6, 5. 7 factores: las siete columnas.							

Arreglo $L_{12}$ (Plackett-Burman para $k = 11$ )												Arreglo $L_{18}$ ( $2 \times 3^{7-5}$ )								
Núm. de corrida	Núm. de columna											Núm. de corrida	Núm. de columna							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
6	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	
7	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	
8	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
11	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	
12	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	
Se asignan los $k$ factores a las primeras $k$ columnas ( $4 < k < 11$ ).												1 factor con dos niveles se asignan a la columna 1. Los factores con tres niveles se asignan a las columnas restantes: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.								

Arreglo $L_{16}$ ( $2^{15-11}$ )															
Núm. de corrida	Núm. de columna														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
4 factores: columnas 1, 2, 4, 8 5 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15 6 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14 7 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13 8 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13, 11 9 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13, 11, 7 10 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13, 11, 7, 12 11 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13, 11, 7, 12, 10 12 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13, 11, 7, 12, 10, 9 13 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13, 11, 7, 12, 10, 9, 6 14 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13, 11, 7, 12, 10, 9, 6, 5 15 factores: columnas 1, 2, 4, 8, 15, 14, 13, 11, 7, 12, 10, 9, 6, 5, 3															

*Figura 2.38.* Arreglos ortogonales más frecuentes

Fuente: Elaboración propia

Taguchi propone señalar a la primera columna el factor que se considere más difícil que se cambie nivel de una prueba a otra prueba. Entonces finalmente se determina que Taguchi no recomienda hacer los experimentos de una manera aleatorio como se propone en el diseño clásico, sino por otro lado menciona las dificultades prácticas que se han elegido y también organiza en que orden deben seguir las columnas de acuerdo con los inconvenientes.

## **CAPITULO III**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACION**

#### **3.1. Equipos utilizados en Laboratorio Metalúrgico**

- a. 1 chancadora de quijada.
- b. 1 lona para homogenizar las muestras.
- c. Máquina de flotación DENVER de laboratorio (celda de 1 Kg).
- d. 1 molino de bolas para efectuar pruebas de molienda de capacidad: 1 Kg de muestra de mineral.
- e. Reactivos de flotación.
- f. Jeringas y vasos precipitados.
- g. Plateador y bandejas de aluminio.
- h. 1 piceta de 1 litro.
- i. 1 secadora de muestras.
- j. 1 balanza digital de 1 Kg de capacidad con dos dígitos significativos.
- k. 1 pulverizador hechizo de olla con tres anillos.

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

Para hallar este tiempo de molienda primeramente muestreamos cada media hora el mineral de la faja transportadora que alimenta a la tolva de finos, durante una guardia (12 horas), obteniendo así aproximadamente 26.5 kilos de mineral de cabeza. Estos 26.5 kilos de mineral se trituro por la chancadora de quijada todo al 100% malla -10, se homogenizo por el método del cono y se separó 500 gramos para luego pulverizarlo por 5 minutos y mandarlo al laboratorio químico para las respectivas leyes de cabeza de Cu, Pb, Zn, Ag y Au. Posteriormente los 26 kilos restantes de homogenizo

y se cuarteo correctamente en pesos de 1 kg todo al 100% malla -10 y cada kilogramo lo echamos en una bolsa por separado para que no se contamine con las diferentes muestras de otros minerales obteniendo así 26 bolsas de muestra de mineral con un peso de 1 kilogramo cada una.

Agarramos 1 bolsa de 1 kg y pasamos malla 200, este peso en porcentaje que pasa la malla 200 servirá para nuestro tiempo=0 minutos de molienda, posteriormente agarramos 3 bolsas de 1 kg cada una para moler cada kilogramo por separado en el molino de bolas adicionando 500 ml de agua fresca para diferentes tiempos de 5 minutos, 10 minutos y 15 minutos.



**Figura 3.1.** Molino de bolas del laboratorio metalúrgico

Fuente: Elaboración propia



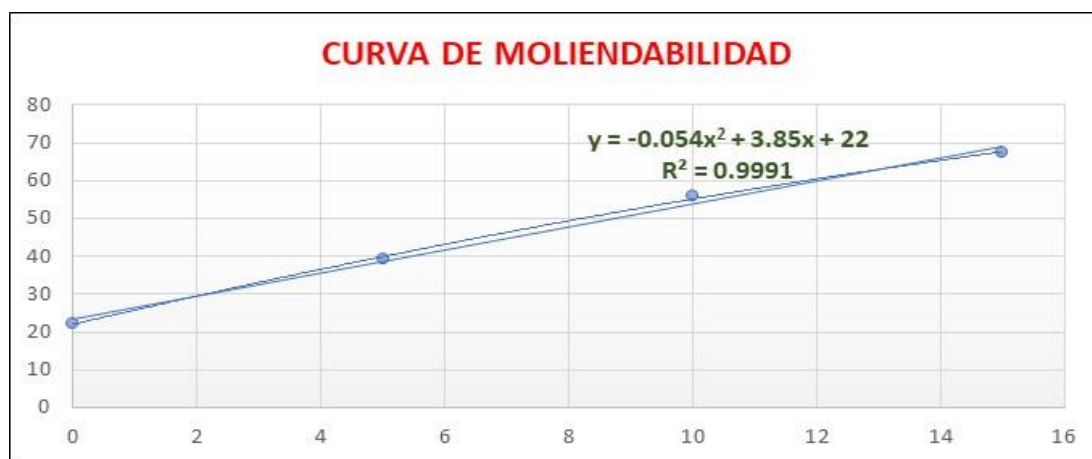
Una vez realizado cada molienda, se procede a pasar malla 200, obteniendo así un porcentaje de malla -200 para cada tiempo, dando como resultado la siguiente Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** *Tiempos de molienda*

Tiempo	Peso malla +200(gr)	Peso malla -200(gr)	%malla -200
0	777.489	222.511	22.2511
5	607.619	392.381	39.2381
10	442.119	557.881	55.7881
15	326.189	673.811	67.3811

Fuente: Elaboración propia

De estos datos obtenidos procedemos a graficar la curva de moliendabilidad



**Figura 3.2.** Curva de Moliendabilidad

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la gráfica de la curva de moliendabilidad como se muestra en la *Figura 3.2*, nos proporcionará la ecuación de la curva con su respectivo  $R^2$ , los cuales son:

### Ecuación 3.1: Ecuación de la curva de moliendabilidad

Ecuación de la curva:  $Y = -0.054 * X^2 + 3.85 * X + 22$

$$R^2 = 0.9991$$

Finalmente, para hallar el tiempo que deseamos con un 60% de malla -200, nos apoyaremos del comando solver de excel, obteniendo así la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** *Tiempo de Moliendabilidad*

Tiempo	%malla -200
11min con 51 seg	60

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3.2 nos proporciona un tiempo de **11 minutos con 51 segundos** para obtener un **60%** de malla -200.

### 3.3. Consumo de reactivos en proceso y dosificación de reactivos a nivel de Laboratorio Metalúrgico

En base a el consumo de reactivos en planta (g/Tn) determinaremos un estándar de flotación para la flotación del concentrado bulk y así realizar las respectivas dosificaciones de reactivos a nivel laboratorio (cc/Kg de mineral) tomando como base una muestra de mineral de 1 Kg.

a. Consumo de reactivos a nivel de proceso de Planta.

**Tabla 3.3.** *Consumo de reactivos a nivel de proceso de Planta*

Consumo de reactivos (gr/tn)		
NaCN al 1%	ZnSO4 al 10%	NaHSO3 al 10%
25	700	400

Fuente: Elaboración propia

b. Dosificación de reactivos a nivel de laboratorio metalúrgico.

**Tabla 3.4.** *Dosificación de reactivos a nivel de laboratorio metalúrgico*

Consumo de reactivos (cc/kg)		
NaCN al 1%	ZnSO <sub>4</sub> al 10%	NaHSO <sub>3</sub> al 10%
2.5	7	4

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Planteamiento de las variables controlables para la formulación del Diseño Factorial Fraccionado

La siguiente Tabla 3.5, 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 3.5.** *Rango de las variables controlables para el Diseño Factorial Fraccionado*

VARIABLES	-1	0	1	Und
Grado de liberación (X1)	56	60	64	%m-200
NaCN (X2)	10	25	40	g/Tn
ZnSO <sub>4</sub> (X3)	500	700	900	g/Tn
NaHSO <sub>3</sub> (X4)	200	400	600	g/Tn

Fuente: Elaboración propia

### Variable X1 (Grado de Liberación):

El grado de liberación en flotación de minerales polimetálicos es un asunto importante, para el presente estudio la curva de moliendabilidad sobre el mineral de calcopirita indica que en 10 minutos con 20 segundos se alcanza una granulometría del 56% malla menos 200 y en 13 minutos con 28 segundos se alcanza una granulometría del 64% malla menos 200, en el punto central se tiene una granulometría del 60% malla menos 200. El denominado (grado de liberación) es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas minerales “libres”.

### Variable X2 (NaCN):

Es un reactivo que se utiliza en la flotación de minerales de Plomo, Zinc, Cobre; es un depresor de pirita-pirrotita, marcasita y arsenopirita. También tiene un menor efecto depresor en los minerales de cobre como son la calcopirita, enargita, bornita, y en la mayoría de los minerales de sulfuros (siempre y cuando este a altas concentraciones), con la posible excepción de la galena ya que en este caso actúa como activador. El rango de prueba de la variable X2 (Cianuro de sodio) es de 10 g/tn y 40 g/tn que representan el mínimo como un objetivo de futuro para este tipo de mineral y el máximo al que podríamos llegar en el afán de buscar mejorar la flotación del concentrado bulk aumentando la calidad y recuperación de cobre a bajas concentraciones.

### Variable X3(ZnSO<sub>4</sub>):

Esta variable también es un reactivo depresor del mineral de zinc como son la esfalerita, marmatita, etc. Tiene un menor efecto depresor en calcopirita, enargita, bornita, y en la mayoría de los minerales sulfurados. El rango de prueba de la variable X3 (Sulfato de Zinc) es entre 500 g/tn y 900 g/tn que representan el mínimo como un objetivo de futuro para este tipo de mineral y el máximo al que podríamos llegar en el afán de buscar mejorar la flotación del concentrado bulk deprimiendo sulfuro de zinc. Muchas veces se usa junto a cianuro de sodio en diversas proporciones al más común

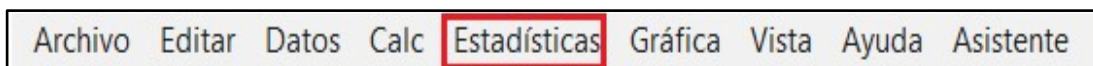
3:1 y se le denomina “complejo”, la finalidad es evitar que el exceso de cianuro de sodio disuelva valores de oro-plata.

Variable X4 (NaHSO<sub>3</sub>):

Es un reactivo de menor efecto depresor del mineral de zinc como son la esfalerita, marmatita, etc. Preparado a altas concentraciones tiene un efecto depresor del mineral de plomo como son la galena. El rango de prueba de la variable X4 (Bisulfito de Sodio) es entre 200 g/tn y 600 g/tn que representan el mínimo como un objetivo de futuro para este tipo de mineral y el máximo al que podríamos llegar con el afán de buscar mejorar la flotación del concentrado del concentrado bulk deprimiendo sulfuro de zinc.

Una vez que tenemos el mínimo y máximo de cada variable controlable, se procede a llevar dichos valores al software Minitab versión 19 para poder obtener por medio del diseño factorial fraccionado las 8 pruebas metalúrgicas distintas que se realizara para la obtención del producto del concentrado bulk con la finalidad de visualizar que variables son significativas y no significativas en la recuperación de cobre y que variables son significativas y no significativas principalmente en el desplazamiento de zinc, mediante estos pasos:

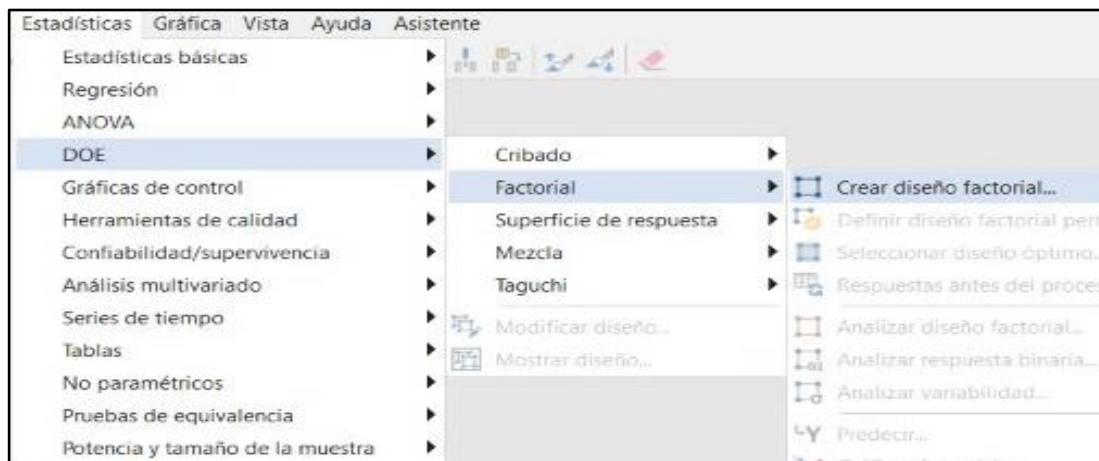
- ✓ Ingresamos al programa Minitab versión 19.
- ✓ Una vez estando en la hoja de trabajo, nos dirigimos con el cursor hacia la barra de opciones y buscamos la opción “Estadísticas”.



**Figura 3.3.** Barra de opciones de Minitab

Fuente: Elaboración propia

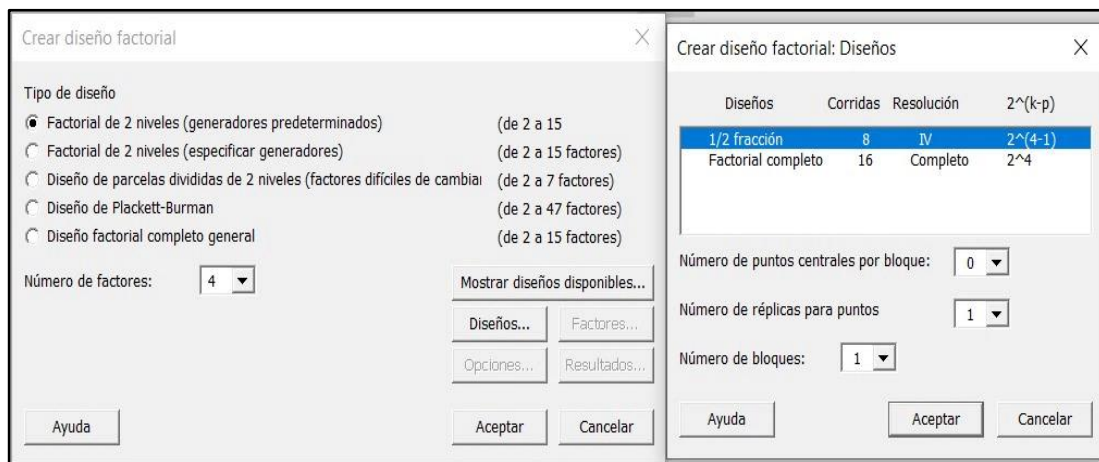
- ✓ Hacemos clic en dicha opción y a continuación se desplegará varias opciones, nos dirigimos hacia la opción “DOE”, seguidamente en la opción “Factorial” y por último hacemos clic en la opción “Crear diseño factorial”.



**Figura 3.4.** Barra de despliegue de la opción “Estadísticas” en Minitab

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Nos aparecerá una ventana donde pondremos el número de factores a analizar, y clic en la opción diseños, donde nos aparecerá una nueva ventana en donde por defecto nos selecciona la opción de 1/2 fracción o también llamado diseño factorial fraccionado, que es nuestro caso de estudio, las demás opciones las dejamos como están sin modificar nada. Finalmente, clic en “Aceptar”.



**Figura 3.5.** Ventana Crear diseño factorial: Diseños

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Una vez seleccionado el diseño factorial fraccionado, nos podrá dar pase a la opción “Factores”, en donde haremos clic y pondremos los factores que estudiaremos con sus valores mínimos y máximos. Finalmente, clic en “Aceptar”.

Factor	Nombre	Tipo	Bajo	Alto
A	Grado de libe	Numérico	56	64
B	NaCN	Numérico	10	40
C	ZnSO4	Numérico	500	900
D	NaHSO3	Numérico	200	600

**Figura 3.6.** Ventana Crear diseño factorial: Factores

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Seguidamente hacemos clic en la opción “Opciones”, donde por defecto estará activado la pestaña de aleatorizar corridas, que la desactivaremos. Esta será la única opción que modificaremos, luego las demás se mantienen igual. Finalmente, clic en “Aceptar”.

**Figura 3.7.** Ventana Crear diseño factorial: Opciones

Fuente: Elaboración propia

- ✓ En la ventana general de “Crear diseño factorial”, le damos clic en “Aceptar” y finalmente nuestro diseño factorial fraccionado estará creado con las 8 diferentes pruebas metalúrgicas con diferentes dosificaciones que tendremos que realizarlas en el laboratorio metalúrgico.

**Tabla 3.6.** *Plantilla de Diseño Factorial Fraccionado*

N°	PLANTILLA CODIFICADA				PLANTILLA DECODIFICADA			
	Pruebas	X1	X2	X3	X4	Grado Lib(%)	NaCN(g/Tn)	ZnSO4(g/Tn)
1	-1	-1	-1	-1	56	10	500	200
2	1	-1	-1	1	64	10	500	600
3	-1	1	-1	1	56	40	500	600
4	1	1	-1	-1	64	40	500	200
5	-1	-1	1	1	56	10	900	600
6	1	-1	1	-1	64	10	900	200
7	-1	1	1	-1	56	40	900	200
8	1	1	1	1	64	40	900	600

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Selección y preparación del mineral para la molienda y pruebas de flotación

Separamos 8 bolsas de 1 kg de mineral cada una, cuyas leyes de cabeza en promedio son:

**Tabla 3.7.** *Leyes de cabeza del mineral en estudio*

	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	%	%	%	oz/tc	g/t
<b>Ley de cabeza</b>	<b>1.26</b>	<b>0.99</b>	<b>1.45</b>	<b>1.45</b>	<b>3.01</b>

Fuente: Elaboración propia



Estos 8 kg son para correr pruebas de flotación en el laboratorio mediante el modelo factorial fraccionado que consta de 8 pruebas experimentales.

Luego se procedió a la preparación de los reactivos que intervienen en el proceso de flotación en función a la dosificación que se utiliza en planta.

### **3.6. Preparación de reactivos**

La preparación se realiza de acuerdo con la concentración de cada uno de ellos tomando como patrón las concentraciones de la planta.

- a. Xantato Z-11(Colector) 0.1%: En una fiola de 100 ml, se vierte 0.1 gr de xantato, con un poco de agua se diluye el sólido y luego se enrasa con agua hasta la tangente entre el menisco y la marca circular de la fiola, de esta manera se tendrá preparada al 0.1% de concentración.
- b. Sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ) 10%: En una fiola de 100 ml, se vierte 10 gr de sulfato de zinc, con un poco de agua se diluye el sólido y luego se enrasa con agua hasta la tangente entre el menisco y la marca circular de la fiola, de esta manera se tendrá preparada al 10% de concentración.
- c. Cianuro de sodio ( $NaCN$ ) 1%: En una fiola de 100 ml, se vierte 1 gr de cianuro de sodio, con un poco de agua se diluye el sólido y luego se enrasa con agua hasta la tangente entre el menisco y la marca circular de la fiola, de esta manera se tendrá preparada al 1% de concentración.
- d. Bisulfito de sodio ( $NaHSO_3$ ) 10%: En una fiola de 100 ml, se vierte 10 gr de bisulfito de sodio, con un poco de agua se diluye el sólido y luego se enrasa con agua hasta la tangente entre el menisco y la marca circular de la fiola, de esta manera se tendrá preparada al 10% de concentración.
- e. Espumante MIBC-QP: En una jeringa de 1cc se llenará espumante MIBC químicamente puro.
- f. A-3418-QP: En una jeringa de 1cc se llenará A-3418 químicamente puro.

### 3.7. Molienda y pruebas de flotación en el laboratorio metalúrgico de acuerdo con el diseño factorial fraccionado

- Se utilizó un molino de bolas convencional para 1 kg de mineral de forma cilíndrica.



**Figura 3.8.** Molino de bolas del laboratorio metalúrgico

Fuente: Elaboración propia

- Las pruebas de flotación se ejecutaron bajo el esquema para un mineral polimetálico de cobre y plomo.



**Figura 3.9.** Burbujas de la flotación bulk de Cu-Pb

Fuente: Elaboración propia

- En esta ocasión solo se obtendrá un concentrado Bulk de Cu-Pb y un relave, el cual será secado en un horno.



**Figura 3.10.** Plateo del concentrado bulk Cu-Pb

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.11.** Concentrado bulk Cu-Pb

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.12.** Secado del concentrado bulk cu-Pb y del relave

Fuente: Elaboración propia

- Los productos obtenidos previamente pesados se codificarán y enviarán al laboratorio químico para sus respectivos análisis químicos.



**Figura 3.13.** Laboratorio químico de la Planta Concentradora Centenario

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las pruebas metalúrgicas de flotación por diseño factorial fraccionado se muestran a continuación:

### 3.7.1. Prueba de flotación N°1:

**Tabla 3.8.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°1*

Molienda	Tiempo de Molienda	10 min con 20 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
Agua	500 cc	
Aerophine 3418	1 gota	
<b>NaCN(1%)</b>	<b>1 cc</b>	
<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>5 cc</b>	
<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>2 cc</b>	
Flotación	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.9.** *Resultados de pesos y leyes de la Prueba de flotación N°1*

FLOTACIÓN								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	8.80	1.00	1.00	19.24	16.78	19.81	17.23	27.75
2da bandeja	15.89	2.00	3.00	17.54	15.23	15.77	16.02	26.66
3era bandeja	14.21	2.00	5.00	16.45	14.76	16.02	14.90	26.21
4ta bandeja	26.12	3.00	8.00	14.89	12.10	12.45	13.80	22.48
5ta bandeja	934.98			0.22	0.09	0.50	0.50	1.47

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2. Prueba de flotación N°2:

**Tabla 3.10.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°2*

<b>Molienda</b>	<b>Tiempo de Molienda</b>	<b>13 min con 28 seg</b>
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	<b>NaCN(1%)</b>	<b>1 cc</b>
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>5 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>6 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.11.** *Resultados de pesos y leyes de la Prueba de flotación N°2*

<b>FLOTACIÓN</b>								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	10.29	1.00	1.00	19.66	15.30	17.65	15.41	33.46
2da bandeja	16.21	2.00	3.00	16.78	14.65	15.21	12.98	31.77
3era bandeja	16.77	2.00	5.00	15.34	13.25	14.56	13.42	28.39
4ta bandeja	28.67	3.00	8.00	13.23	10.34	11.87	10.45	23.27
5ta bandeja	928.06			0.15	0.09	0.50	0.60	1.10

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.3. Prueba de flotación N°3:

**Tabla 3.12.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°3*

<b>Molienda</b>	<b>Tiempo de Molienda</b>	<b>10 min con 20 seg</b>
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	<b>NaCN(1%)</b>	<b>4 cc</b>
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>5 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>6 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.13.** *Resultados de pesos y leyes de la Prueba de flotación N°3*

<b>FLOTACIÓN</b>								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	7.65	1.00	1.00	19.48	14.03	18.01	16.55	25.36
2da bandeja	16.77	2.00	3.00	16.67	12.49	15.56	14.23	23.12
3era bandeja	16.36	2.00	5.00	16.04	11.33	14.99	13.07	21.15
4ta bandeja	29.76	3.00	8.00	13.57	8.79	12.38	12.21	17.48
5ta bandeja	929.46			0.18	0.23	0.47	0.55	1.66

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.4. Prueba de flotación N°4:

**Tabla 3.14.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°4*

Molienda	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	<b>NaCN(1%)</b>	<b>4 cc</b>
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>5 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>2 cc</b>
Flotación	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.15.** *Resultados de pesos y leyes de la Prueba de flotación N°4*

FLOTACIÓN								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	7.56	1.00	1.00	21.66	16.67	18.78	18.43	32.66
2da bandeja	15.25	2.00	3.00	19.87	15.55	15.66	17.54	31.29
3era bandeja	13.67	2.00	5.00	18.67	14.21	14.39	15.99	28.99
4ta bandeja	26.78	3.00	8.00	15.23	13.30	12.33	14.67	25.43
5ta bandeja	936.74			0.12	0.09	0.55	0.45	1.28

Fuente: Elaboración propia



### 3.7.5. Prueba de flotación N°5:

**Tabla 3.16.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°5*

Molienda	Tiempo de Molienda	10 min con 20 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	<b>NaCN(1%)</b>	<b>1 cc</b>
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>9 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>6 cc</b>
Flotación	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.17.** *Resultados de pesos y leyes de la Prueba de flotación N°5*

FLOTACIÓN								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	5.67	1.00	1.00	20.06	17.87	15.46	18.99	36.34
2da bandeja	14.23	2.00	3.00	18.79	15.45	12.31	17.23	32.54
3era bandeja	13.66	2.00	5.00	18.23	14.76	11.34	15.78	31.22
4ta bandeja	25.98	3.00	8.00	14.76	12.44	8.45	14.56	26.23
5ta bandeja	940.46			0.25	0.15	0.85	0.53	1.35

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.6. Prueba de flotación N°6:

**Tabla 3.18.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°6*

Molienda	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	<b>NaCN(1%)</b>	<b>1 cc</b>
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>9 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>2 cc</b>
Flotación	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.19.** *Resultados de pesos y leyes de la Prueba de flotación N°6*

FLOTACIÓN								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	8.23	1.00	1.00	22.06	16.96	16.56	17.54	38.11
2da bandeja	15.23	2.00	3.00	19.20	15.23	14.21	16.77	33.67
3era bandeja	14.36	2.00	5.00	17.89	13.77	13.99	15.49	31.02
4ta bandeja	24.32	3.00	8.00	14.33	11.33	10.02	14.33	28.33
5ta bandeja	937.86			0.16	0.15	0.70	0.51	1.13

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.7. Prueba de flotación N°7:

**Tabla 3.20.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°7*

Molienda	Tiempo de Molienda	10 min con 20 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	<b>NaCN(1%)</b>	<b>4 cc</b>
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>9 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>2 cc</b>
Flotación	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.21.** *Resultados de pesos y leyes de la Prueba de flotación N°7*

FLOTACIÓN								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	7.59	1.00	1.00	20.55	16.54	16.39	16.87	30.42
2da bandeja	14.21	2.00	3.00	18.53	14.79	13.78	15.65	28.44
3era bandeja	13.89	2.00	5.00	18.65	14.08	13.29	14.76	25.67
4ta bandeja	25.32	3.00	8.00	15.10	13.54	9.88	14.21	21.78
5ta bandeja	938.99			0.20	0.12	0.75	0.57	1.55

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.8. Prueba de flotación N°8:

**Tabla 3.22.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°8*

Molienda	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	<b>NaCN(1%)</b>	<b>4 cc</b>
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>9 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>6 cc</b>
Flotación	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.23.** *Resultados de pesos y leyes de la Prueba de flotación N°8*

FLOTACIÓN								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	7.67	1.00	1.00	21.23	17.34	13.67	18.56	35.23
2da bandeja	15.01	2.00	3.00	19.21	15.78	11.03	17.03	31.22
3era bandeja	14.98	2.00	5.00	18.27	14.56	10.23	16.32	30.25
4ta bandeja	25.23	3.00	8.00	16.24	13.22	6.78	13.44	27.56
5ta bandeja	937.11			0.12	0.07	0.91	0.50	1.20

Fuente: Elaboración propia

### 3.8. Balances metalúrgicos de las pruebas de flotación

**Tabla 3.24.** *Balance metalúrgico de la Prueba de flotación N°1*

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	65.02	0.00006502	6.50	16.47	14.08	15.04	15.05	25.03	84.19	91.58	67.65	67.67	54.21	15.38
Relave	934.98	0.00093498	93.50	0.22	0.09	0.50	0.50	1.47	15.81	8.42	32.35	32.33	45.79	
Cabeza Calculada				1.27	1.00	1.45	1.45	3.00						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.25. Balance metalúrgico de la Prueba de flotación N°2**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	71.94	0.00007194	7.19	15.44	12.70	14.08	12.42	27.84	88.67	91.62	68.58	61.61	66.23	13.90
Relave	928.06	0.00092806	92.81	0.15	0.09	0.50	0.60	1.10	11.33	8.38	31.42	38.39	33.77	
<i>Cabeza Calculada</i>				1.25	1.00	1.48	1.45	3.02						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.26. Balance metalúrgico de la Prueba de flotación N°3**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	70.54	0.00007054	7.05	15.52	10.83	14.35	13.36	20.53	87.00	78.13	69.86	64.83	48.41	14.18
Relave	929.46	0.00092946	92.95	0.18	0.23	0.47	0.55	1.66	13.00	21.87	30.14	35.17	51.59	
<i>Cabeza Calculada</i>				1.26	0.98	1.45	1.45	2.99						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.27. Balance metalúrgico de la Prueba de flotación N°4**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	63.26	0.00006326	6.33	17.86	14.44	14.35	16.10	28.48	90.75	91.55	63.79	70.72	60.04	15.81
Relave	936.74	0.00093674	93.67	0.12	0.09	0.55	0.45	1.28	9.25	8.45	36.21	29.28	39.96	
<i>Cabeza Calculada</i>				1.25	1.00	1.42	1.44	3.00						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.28. Balance metalúrgico de la Prueba de flotación N°5**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	59.54	0.00005954	5.95	17.02	14.21	10.70	15.90	29.85	81.17	85.71	44.36	65.51	58.33	16.80
Relave	940.46	0.00094046	94.05	0.25	0.15	0.85	0.53	1.35	18.83	14.29	55.64	34.49	41.67	
<i>Cabeza Calculada</i>				1.25	0.99	1.44	1.45	3.05						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.29. Balance metalúrgico de la Prueba de flotación N°6**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	62.14	0.00006214	6.21	17.37	13.60	12.83	15.62	31.56	87.79	85.73	54.84	66.99	64.92	16.09
Relave	937.86	0.00093786	93.79	0.16	0.15	0.70	0.51	1.13	12.21	14.27	45.16	33.01	35.08	
<i>Cabeza Calculada</i>				1.23	0.99	1.45	1.45	3.02						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.30. Balance metalúrgico de la Prueba de flotación N°7**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	61.01	0.00006101	6.10	17.39	14.33	12.37	15.00	25.29	84.96	88.58	51.74	63.10	51.46	16.39
Relave	938.99	0.00093899	93.90	0.20	0.12	0.75	0.57	1.55	15.04	11.42	48.26	36.90	48.54	
<i>Cabeza Calculada</i>				1.25	0.99	1.46	1.45	3.00						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.31. Balance metalúrgico de la Prueba de flotación N°8**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	62.89	0.00006289	6.29	18.04	14.65	9.46	15.61	30.01	90.98	93.35	41.09	67.69	62.66	15.90
Relave	937.11	0.00093711	93.71	0.12	0.07	0.91	0.50	1.20	9.02	6.65	58.91	32.31	37.34	
<i>Cabeza Calculada</i>				1.25	0.99	1.45	1.45	3.01						

Fuente: Elaboración propia

### 3.9. Resultados del diseño factorial fraccionado con la plantilla decodificada - % de recuperación de cobre y desplazamiento de zinc

**Tabla 3.32.** Recuperación de Cu y Desplazamiento de Zinc en el Concentrado Bulk Cu-Pb

Pruebas	PLANTILLA DECODIFICADA				REC. DE	DESPL.
	Grado de Lib.(%)	NaCN(g/Tn)	ZnSO4(g/Tn)	NaHSO3(g/Tn)	Cu %	DE Zn %
1	56	10	500	200	84.19	67.65
2	64	10	500	600	88.67	68.58
3	56	40	500	600	87	69.86
4	64	40	500	200	90.75	63.79
5	56	10	900	600	81.17	44.36
6	64	10	900	200	87.79	54.84
7	56	40	900	200	84.96	51.74
8	64	40	900	600	90.98	41.09

Fuente: Elaboración propia

De los resultados del balance metalúrgico analizaremos la recuperación de cobre y el desplazamiento de zinc en el concentrado bulk con el objetivo de encontrar las variables más significativas. El análisis de todos estos resultados experimentales nos basaremos en métodos estadísticos inferenciales, también llamado análisis de varianza o “ANOVA”.

### 3.10. Análisis de la recuperación de cobre

Nos dirigimos a la opción “DOE” nuevamente, luego la opción “Factorial”, seguidamente seleccionemos “Analizar diseño factorial” en el cual aparecerá un cuadro donde seleccionamos la primera variable de respuesta que es el “%recuperación de cobre” y le damos en “Aceptar”.



**Figura 3.14.** Ventana de Análisis del Diseño Factorial para la Rec.Cu (%)

Fuente: Elaboración propia

Nos aparecerá la Regresión factorial de la Recuperación de Cu (%) versus el Grado de liberación; NaCN; ZnSO<sub>4</sub>; NaHSO<sub>3</sub>, en el cual analizaremos lo siguiente:

### Coefficientes codificados

**Tabla 3.33.** Coeficientes codificados para la Rec.Cu (%)

Termino	Efecto	Coef	Coef	Valor T	Valor p	FIV
Constante		86.94	*	*	*	
Grado de liberación	5.218	2.609	*	*	*	1.00
NaCN	2.967	1.484	*	*	*	1.00
ZnSO <sub>4</sub>	-1.427	-0.713	*	*	*	1.00
NaHSO <sub>3</sub>	0.0325	0.0162	*	*	*	1.00
Grado de liberación*NaCN	-0.332	-0.166	*	*	*	1.00
Grado de liberación*ZnSO <sub>4</sub>	1.102	0.551	*	*	*	1.00
Grado de liberación*NaHSO <sub>3</sub>	0.522	0.261	*	*	*	1.00

Fuente: Elaboración propia



### **Análisis e interpretación:**

En esta tabla lo principal es saber los “Efectos” de cada una de las variables controlables en la variable respuesta (% de recuperación de Cu). Si dicho efecto es un número “POSITIVO” podemos decir que en la gráfica de efectos principales tendrá una pendiente positiva, de la misma manera si dicho efecto es un número “NEGATIVO” decimos que en la gráfica de efectos principales tendrá una pendiente negativa y por último si el valor del efecto es un número igual o cercano a “CERO” decimos que en la gráfica de efectos principales su pendiente será cero.

Los valores de los efectos de las variables controlables no me dicen si son significantes o no significantes para la variable respuesta (% de recuperación de Cu).

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

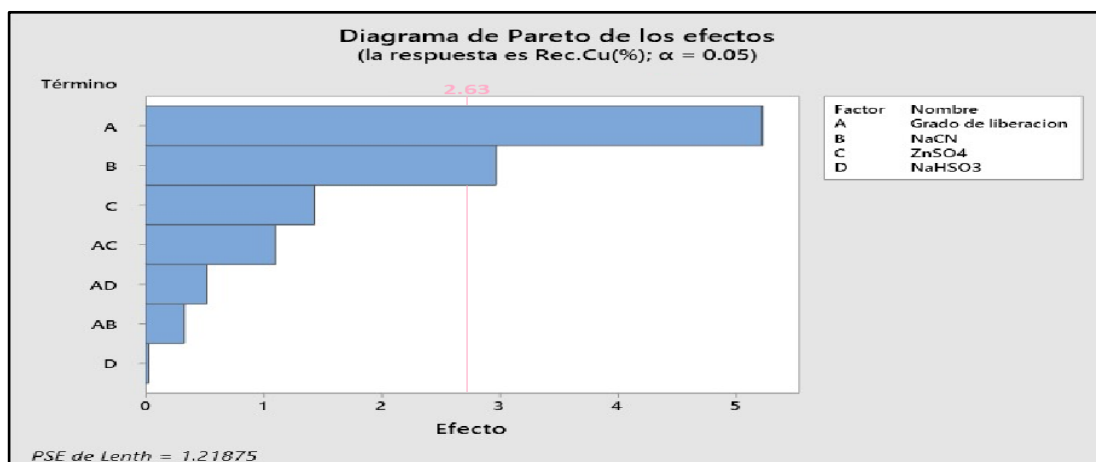
**Ecuación 3.2: Ecuación de regresión en unidades no codificadas para la Rec.Cu(%)**

$$\begin{aligned}
 \text{Rec. Cu}(\%) = & 80.42 + 0.1085 * \text{Grado de Liberación} + 0.2652 * \text{NaCN} \\
 & - 0.04491 * \text{ZnSO}_4 - 0.01951 * \text{NaHSO}_3 - 0.002771 \\
 & * \text{Grado de liberación} * \text{NaCN} + 0.000689 \\
 & * \text{Grado de liberación} * \text{ZnSO}_4 + 0.000327 \\
 & * \text{Grado de liberación} * \text{NaHSO}_3
 \end{aligned}$$

### **Análisis e interpretación:**

Es una ecuación de orden lineal que nos da a conocer los coeficientes de cada una de las variables y de las combinaciones posibles, con el objetivo, de que, antes de realizar una prueba de flotación, simplemente ponemos los datos de las dosificaciones de los reactivos que son las variables controlables ( Grado de liberación, NaCN, ZnSO<sub>4</sub>, NaHSO<sub>3</sub>) que queremos usar y nos dará como resultado un porcentaje de recuperación de cobre para no realizar dicha prueba de flotación innecesariamente, ya que involucra costo en el consumo de reactivos, energía, análisis y tiempo.

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



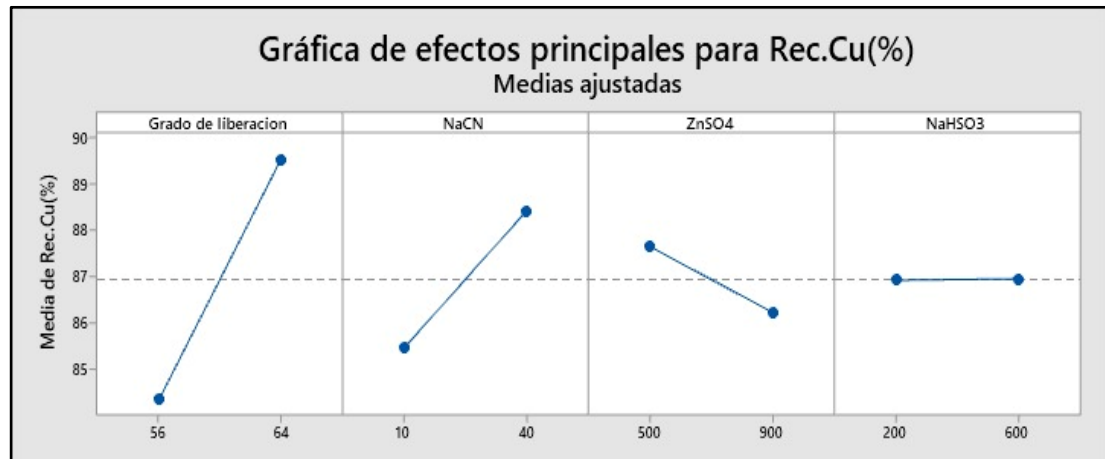
**Figura 3.15.** Diagrama de Pareto de los efectos para la Rec.Cu (%)

Fuente: Elaboración propia

#### **Análisis e interpretación:**

Este diagrama de Pareto es muy importante para la significancia y no significancia de las variables controlables en la variable respuesta (% de recuperación de cobre). En primera instancia tenemos que A es el Grado de liberación, B es el NaCN, C es el ZnSO<sub>4</sub> y D es el NaHSO<sub>3</sub>. La línea de color rosada es un valor que muestra los efectos de cada una de las variables y que 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 caso es el % de recuperación de cobre, entonces podemos concluir que el factor A (Grado de liberación) y el factor B (NaCN) son significantes frente a la variable respuesta (% de recuperación de cobre).

### Gráfica de los efectos principales para el % de recuperación de cobre



**Figura 3.16.** Gráfica de los efectos principales para la Rec.Cu (%)

Fuente: Elaboración propia

#### **Análisis e interpretación:**

Podemos decir que:

- Cuando una variable controlable tiene una pendiente positiva pronunciada sera muy significativa en forma favorable para el aumento del % de recuperacion de cobre.
- Cuando una variable controlable tiene una pendiente positiva pero no pronunciada tambien sera significativa en forma favorable para el aumento del % de recuperacion de cobre.
- Cuando una variable controlable tiene una pendiente negativa pronunciada tambien sera muy significativa en forma favorable para la disminucion del % de recuperacion de cobre.
- Cuando una variable controlable tiene una pendiente negativa pero no pronunciada tambien sera significativa en forma favorable para la disminucion del % de recuperacion de cobre.
- Cuando una variable controlable es de forma horizontal significa que dicha variable no tiene ningun efecto sobre el % de recuperacion de cobre a cualquier dosificacion que se le asigne.

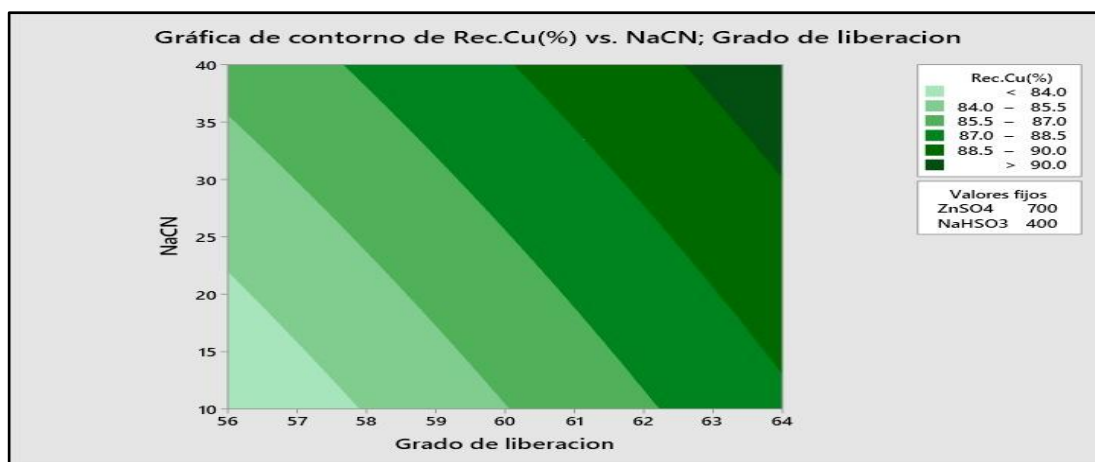
Analizaremos las gráficas de cada una de las variables controlables:

- Para el grado de liberación se observa que con un 56% de malla -200 se observa una recuperación de cobre menor a 85% y por otro lado con un 64% de malla -200 se observa una recuperación de cobre de aproximadamente 90%. Podemos concluir que a un mayor % de grado de liberación el % de recuperación de cobre tiende a aumentar.
- Para el NaCN se observa que con una dosificación de 10 g/Tn se obtiene aproximadamente una recuperación de cobre de 85.5% y por otro lado con una dosificación de 40 g/Tn se observa un % de recuperación de cobre de aproximadamente 89% de recuperación de cobre. Podemos concluir que a un mayor consumo de NaCN el % de recuperación de cobre tiende a aumentar.
- Para el ZnSO<sub>4</sub> se observa que con una dosificación de 500 g/Tn se obtiene aproximadamente una recuperación de cobre de 88% y por otro lado con una dosificación de 900 g/Tn se observa un % de recuperación de cobre de aproximadamente 86% de recuperación de cobre. Podemos concluir que a un mayor consumo de ZnSO<sub>4</sub> el % de recuperación de cobre tiende a disminuir un poco (no drásticamente).
- Para el NaHSO<sub>3</sub> se observa que con una dosificación de 200 g/Tn se obtiene aproximadamente una recuperación de cobre de 87% y por otro lado con una dosificación de 600 g/Tn se observa un % de recuperación de cobre de aproximadamente 87% de recuperación de cobre. Podemos concluir que el NaHSO<sub>3</sub> sea cual sea su dosificación no afecta directamente al % de recuperación de cobre.

Finalmente lo que queremos obtener es un aumento en el % de recuperación de cobre por lo que podemos decir que el más significativo de las variables controlables para el aumento del % de recuperación de cobre es el “grado de liberación”, seguidamente el NaCN también será significativo para el aumento del % de recuperación de cobre.

El  $\text{ZnSO}_4$  y el  $\text{NaHSO}_3$  no son significantes ya que no ayudan al aumento de el % de recuperacion de cobre.

### Gráfica de contorno del % de Rec.Cu vs. NaCN; Grado de liberación



**Figura 3.17.** Gráfica contorno para la Rec.Cu (%) vs. NaCN; Grado de liberación

Fuente: Elaboración propia

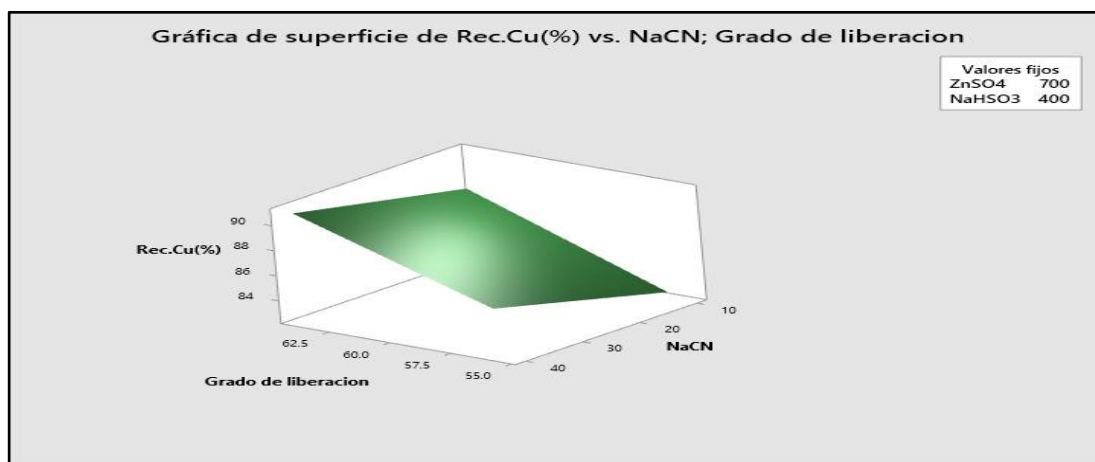
#### **Análisis e interpretación:**

Esta gráfica está dividida por zonas de color verde de menor a mayor intensidad y en los ejes solo de las variables significativas para el % de recuperación de cobre. En la parte derecha está el % de recuperación de cobre de acuerdo con las intensidades de las zonas y que valores se mantienen fijos ( $\text{ZnSO}_4$  y  $\text{NaHSO}_3$ ).

Esta grafica se analiza de la siguiente manera:

- Las zonas de color verde menos intenso son de menor % de recuperación de cobre que se puede llegar a obtener y las zonas de color verde más intenso son de mayor % de recuperación de cobre que se puede llegar a obtener.
- A medida que aumentamos el % de Grado de liberación y el consumo de NaCN las zonas de color verde se vuelven más intensos, es decir estamos aumentando el % de recuperación de cobre.

### Gráfica de superficie del % de Rec.Cu vs. NaCN; Grado de liberación



**Figura 3.18.** Gráfica de superficie de la Rec.Cu (%) vs. NaCN; Grado de liberación

Fuente: Elaboración propia

#### **Análisis e interpretación:**

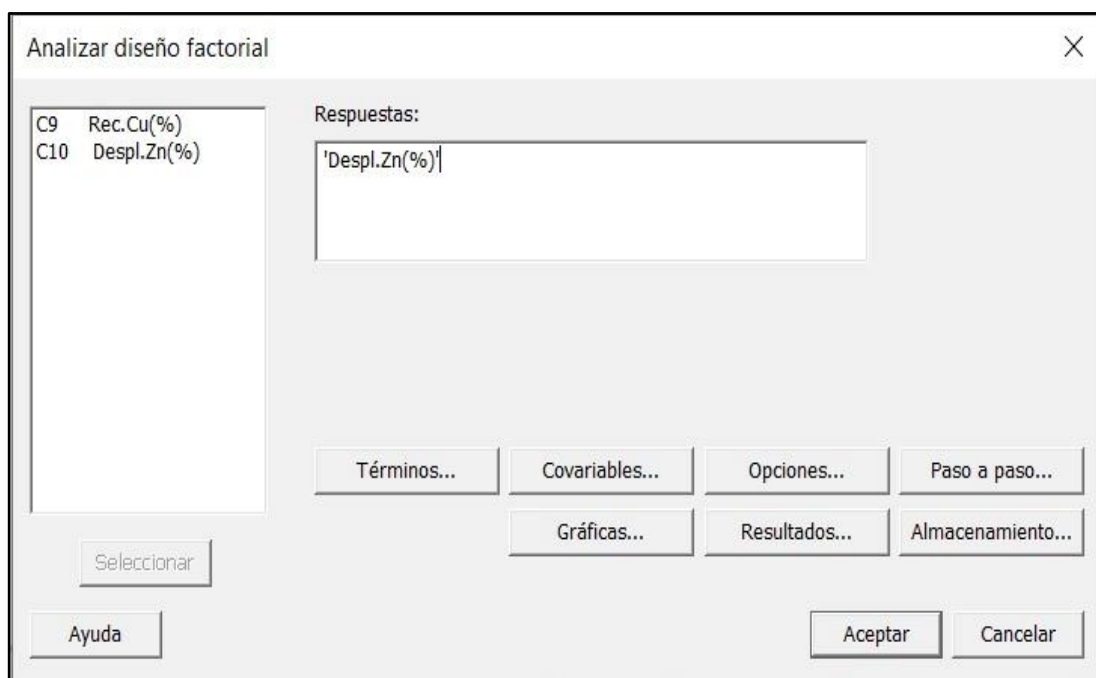
Esta gráfica nos da la información completa en tres dimensiones del % de recuperación de cobre, Grado de liberación y el consumo de NaCN, manteniendo fijos los valores de consumo de ZnSO<sub>4</sub> y NaHSO<sub>3</sub>.

A medida que aumentamos el % de grado de liberación aumenta el % de recuperación de cobre y a medida que aumenta el consumo de NaCN también aumenta el % de recuperación de cobre.

Todas estas tablas y gráficas que hemos visualizado anteriormente son muy importantes ya que guardan relación y confirman de manera óptima cuáles son las variables controlables más significantes y las no significantes para el % de recuperación de cobre, donde se concluye que el “Grado de Liberación” y el consumo de “NaCN” son las variables controlables más “Significantes” para el aumento del % de recuperación del cobre.

### 3.11. Análisis del desplazamiento de zinc

Nos dirigimos a la opción “DOE” nuevamente, luego la opción “Factorial”, seguidamente seleccionemos “Analizar diseño factorial” en el cual aparecerá un cuadro donde seleccionamos la segunda variable de respuesta que es el “% Desplazamiento de zinc” y le damos en “Aceptar”.



**Figura 3.19.** Ventana de análisis de diseño factorial del Despl.Zn (%)

Fuente: Elaboración propia

Nos aparecerá la Regresión factorial del Desplazamiento de zinc (%) versus el Grado de liberación; NaCN; ZnSO<sub>4</sub>; NaHSO<sub>3</sub>, en el cual analizaremos lo siguiente:

### Coefficientes codificados

**Tabla 3.34.** *Coefficientes codificados del Despl.Zn (%)*

Termino	Efecto	Coef	Coef	Valor T	Valor p	FIV
Constante		57.74	*	*	*	
Grado de liberación	-1.327	-0.663	*	*	*	1
NaCN	-2.238	-1.119	*	*	*	1
ZnSO <sub>4</sub>	-19.46	-9.731	*	*	*	1
NaHSO <sub>3</sub>	-3.533	-1.766	*	*	*	1
Grado de liberación*NaCN	-7.032	-3.516	*	*	*	1
Grado de liberación*ZnSO <sub>4</sub>	1.2425	0.6213	*	*	*	1
Grado de liberación*NaHSO <sub>3</sub>	-0.947	-0.473	*	*	*	1

Fuente: Elaboración propia

#### **Análisis e interpretación:**

En esta tabla lo principal es saber los “Efectos” de cada una de las variables controlables en la variable respuesta (% de desplazamiento de Zn). Si dicho efecto es un número “POSITIVO” podemos decir que en la gráfica de efectos principales tendrá una pendiente positiva, de la misma manera si dicho efecto es un número “NEGATIVO” decimos que en la gráfica de efectos principales tendrá una pendiente negativa y por último si el valor del efecto es un número igual o cercano a “CERO” decimos que en la gráfica de efectos principales su pendiente será cero.

Los valores de los efectos de las variables controlables no me dicen si son significantes o no significantes para la variable respuesta (% de desplazamiento de Zn).



### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

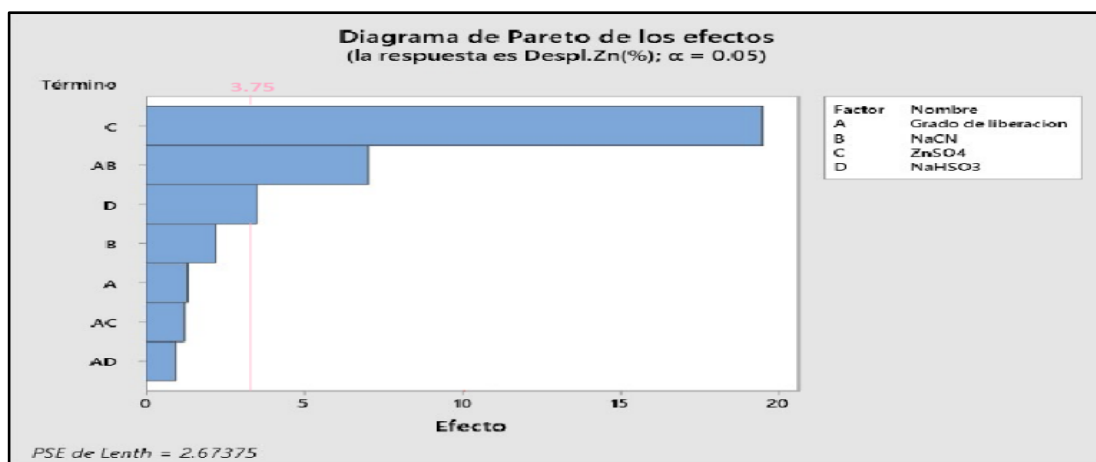
**Ecuación 3.3:** Ecuación de regresión en unidades no codificadas del Despl.Zn(%)

$$\begin{aligned} \text{Despl. Zn (\%)} = & 37.65 + 0.9924 * \text{Grado de Liberación} + 3.442 * \text{NaCN} \\ & - 0.09525 * \text{ZnSO}_4 + 0.02670 * \text{NaHSO}_3 - 0.05860 \\ & * \text{Grado de liberación} * \text{NaCN} + 0.000777 \\ & * \text{Grado de liberación} * \text{ZnSO}_4 - 0.000592 \\ & * \text{Grado de liberación} * \text{NaHSO}_3 \end{aligned}$$

#### **Análisis e interpretación:**

Es una ecuación que nos da a conocer los coeficientes de cada una de las variables y de las combinaciones posibles, con el objetivo, de que antes de realizar una prueba de flotación, simplemente ponemos los datos de las dosificaciones de los reactivos que son las variables controlables ( Grado de liberación, NaCN, ZnSO<sub>4</sub>, NaHSO<sub>3</sub>) que queremos usar y nos dará como resultado un porcentaje de desplazamiento de zinc para no realizar dicha prueba de flotación innecesariamente, ya que involucra costo en el consumo de reactivos, energía, análisis y tiempo.

### Diagrama de Pareto de los efectos del % de recuperación de zinc



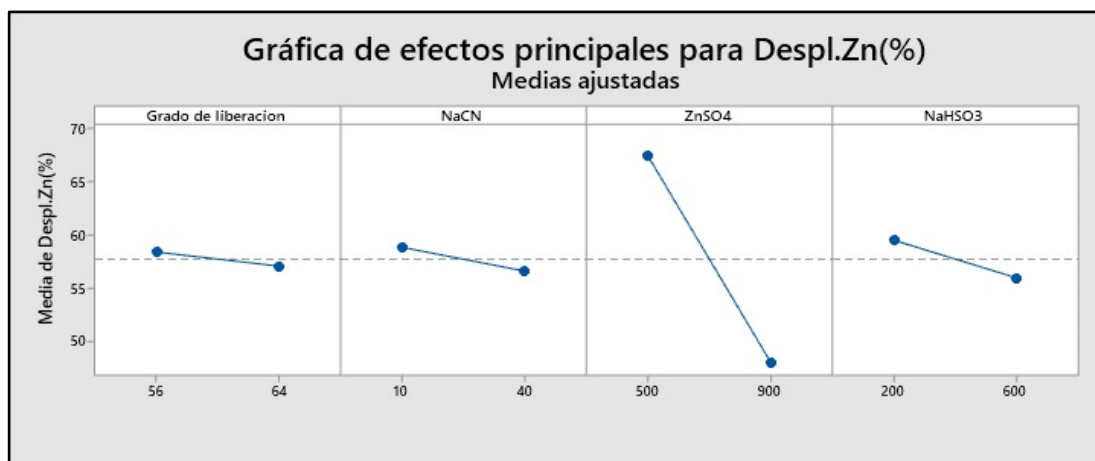
**Figura 3.20.** Diagrama de Pareto de los efectos del Despl.Zn (%)

Fuente: Elaboración propia

### Análisis e interpretación:

Este diagrama de Pareto es muy importante para la significancia y no significancia de las variables controlables en la variable respuesta (% de desplazamiento de Zn). En primera instancia tenemos que A es el Grado de liberación, B es el NaCN, C es el ZnSO<sub>4</sub> y D es el NaHSO<sub>3</sub>. La línea de color rosada es un valor que muestra los efectos de cada una de las variables y que 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 caso es el % de desplazamiento de Zn, entonces podemos concluir que el factor C(ZnSO<sub>4</sub>) y el factor D (NaHSO<sub>3</sub>) son significantes frente a la variable respuesta (% de desplazamiento de Zn). La variable interacción AB (Grado de liberación con NaCN) a pesar de que gráficamente es significativa no lo ponemos como significativa porque estamos estudiando las variables controlables significantes por separado y no con sus interacciones.

### Gráfica de los efectos principales del % de desplazamiento de zinc



**Figura 3.21.** Gráfica de efectos principales del Despl.Zn (%)

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis e interpretación:**

Podemos decir que:

- Cuando una variable controlable tiene una pendiente positiva pronunciada sera muy significativa en forma favorable para el aumento del % de desplazamiento de Zn.
- Cuando una variable controlable tiene una pendiente positiva pero no pronunciada tambien sera significativa en forma favorable para el aumento del % de desplazamiento de Zn.
- Cuando una variable controlable tiene una pendiente negativa pronunciada tambien sera muy significativa en forma favorable para la disminucion del % de desplazamiento de Zn.
- Cuando una variable controlable tiene una pendiente negativa pero no pronunciada tambien sera significativa en forma favorable para la disminucion del % de desplazamiento de Zn.
- Cuando una variable controlable es de forma horizontal significa que dicha variable no tiene ningun efecto sobre el % de desplazamiento de Zn a cualquier dosificacion que se le asigne.

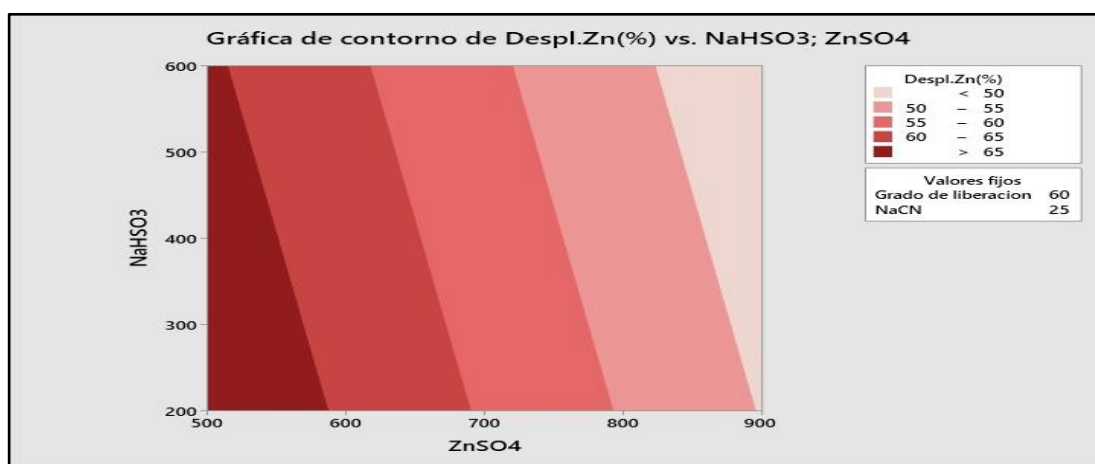
Analizaremos los 4 puntos de vista de cada una de las variables controlables:

- Para el grado de liberacion se observa que con un 56% de malla -200 se observa un % de desplazamiento de Zn de aproximadamente el 58% y por otro lado con un 64% de malla -200 se observa un % de desplazamiento de Zn de aproximadamente el 57%. Podemos concluir que el Grado de liberacion sea cual sea su porcentaje dentro del rango estudiado no afecta directamente al % de desplazamiento de Zn.
- Para el NaCN se observa que con una dosificacion de 10 g/Tn se obtiene aproximadamente un % de desplazamiento de Zn de 58.5% y por otro lado con una dosificacion de 40 g/Tn se observa un % de desplazamiento de Zn de aproximadamente 57% de recuperacion de cobre. Podemos concluir que el NaCN sea cual sea su dosificacion dentro del rango estudiado no afecta directamente al % de desplazamiento de Zn.

- Para el  $\text{ZnSO}_4$  se observa que con una dosificación de 500 g/Tn se obtiene aproximadamente un % de desplazamiento de Zn de 68% y por otro lado con una dosificación de 900 g/Tn se observa un % de desplazamiento de Zn de aproximadamente 42%. Podemos concluir que a un mayor consumo de  $\text{ZnSO}_4$  el % de desplazamiento de Zn tiende a disminuir notoriamente.
- Para el  $\text{NaHSO}_3$  se observa que con una dosificación de 200 g/Tn se obtiene aproximadamente un % de desplazamiento de Zn de 59% y por otro lado con una dosificación de 600 g/Tn se observa un % de desplazamiento de Zn de aproximadamente 55.5%. Podemos concluir que a un mayor consumo de  $\text{NaHSO}_3$  el % de desplazamiento de Zn tiende a disminuir.

Finalmente lo que queremos obtener es una reducción en el % de desplazamiento de Zn por lo que podemos decir que el más significativo de las variables controlables para la disminución o reducción del % de desplazamiento de Zn es el “ $\text{ZnSO}_4$ ”, seguidamente el “ $\text{NaHSO}_3$ ” también será significativo para la disminución del % de desplazamiento de Zn. El Grado de liberación y el NaCN no son significativos ya que no ayudan de manera óptima a la disminución del % de desplazamiento de Zn.

### Gráfica de contorno del % de Despl.Zn vs. $\text{NaHSO}_3$ ; $\text{ZnSO}_4$



**Figura 3.22.** Gráfica de contorno del Despl.Zn (%) vs.  $\text{NaHSO}_3$ ;  $\text{ZnSO}_4$

Fuente: Elaboración propia

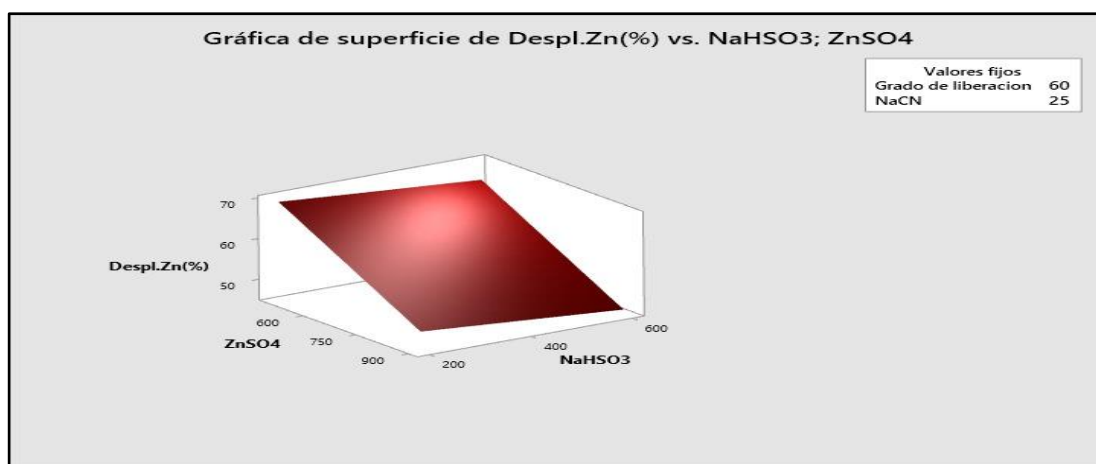
### **Análisis e interpretación:**

Esta gráfica está dividida por zonas de color rojo de mayor a menor intensidad y en los ejes solo de las variables significativas para el % de desplazamiento de Zn. En la parte derecha está el % de desplazamiento de Zn de acuerdo con las intensidades de las zonas que indican el rango de los valores y también que valores se mantienen fijos (Grado de liberación y NaCN).

Esta gráfica se analiza de la siguiente manera:

- Las zonas de color rojo menos intenso son de menor % de desplazamiento de Zn que se puede llegar a obtener y las zonas de color rojo más intenso son de mayor % de desplazamiento de Zn que se puede llegar a obtener.
- A medida que aumentamos el consumo de  $ZnSO_4$  y el consumo de  $NaHSO_3$  las zonas de color rojo se vuelven menos intensos, es decir estamos disminuyendo el % de desplazamiento de Zn.

### **Gráfica de superficie del % de Despl.Zn vs. $NaHSO_3$ ; $ZnSO_4$**



**Figura 3.23.** Gráfica de superficie del Despl.Zn (%) vs.  $NaHSO_3$ ;  $ZnSO_4$

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis e interpretación:**

Esta gráfica nos da la información completa en tres dimensiones del % de desplazamiento de Zn, consumo de  $\text{ZnSO}_4$  y el consumo de  $\text{NaHSO}_3$ , manteniendo fijos los valores de consumo de Grado de liberación y NaCN.

A medida que aumentamos el consumo de  $\text{ZnSO}_4$  disminuye el % de desplazamiento de Zn y a medida que aumenta el consumo de  $\text{NaHSO}_3$  también disminuye el % de desplazamiento de Zn.

Todas estas tablas y graficas que hemos visualizado anteriormente son muy importantes ya que guardan relación y confirman de manera óptima cuales son las variables controlables más significantes y las no significantes para el % de desplazamiento de Zn, donde se concluye que el consumo de " $\text{ZnSO}_4$ " y el consumo de " $\text{NaHSO}_3$ " son las variables controlables más "Significantes" para la disminución o reducción del % de desplazamiento de Zn.

### **Conclusiones y recomendaciones**

1. Para el aumento del % de recuperación de Cu, las variables más significativas son las variables controlables: "Grado de liberación" y "NaCN".
2. Para la reducción del % de desplazamiento de Zn, las variables más significativas son las variables controlables: " $\text{ZnSO}_4$ " y " $\text{NaHSO}_3$ ".
3. Nuestro objetivo de este estudio es reducir el % de desplazamiento de Zn en el concentrado bulk, y por otro lado quedo demostrado que el Grado de liberación y NaCN no son influyentes; por lo que los valores de dichas variables controlables para el caso del Grado de liberación lo mantendremos en su máximo valor y en el caso del NaCN se mantendrá en su valor de consumo obtenido en proceso de planta.
4. Se recomienda realizar un diseño octogonal para optimizar la reducción del % de desplazamiento de zinc.
5. Al realizar el diseño octogonal para optimizar la reducción del % de desplazamiento de zinc en el concentrado bulk, se obtendrán 13 nuevas pruebas

metalúrgicas de flotación a realizarse, manteniendo constantes el Grado de liberación en 64% y el consumo de NaCN en 25 g/Tn, para poder obtener el concentrado bulk.

### 3.12. Planteamiento de las variables controlables en la formulación del diseño octogonal para optimizar la reducción del % de desplazamiento de zinc en el concentrado bulk Cu-Pb

La siguiente tabla 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 3.35.** Rango de las variables controlables para la optimización del Despl.Zn (%)

VARIABLES	-1	0	1	Und
ZnSO <sub>4</sub> (X3)	500	700	900	g/Tn
NaHSO <sub>3</sub> (X4)	200	400	600	g/Tn

Fuente: Elaboración propia

Estos datos se pondrán en el software Minitab mediante el DOE de superficie de respuesta el diseño central compuesto (diseño octogonal); el cual nos proporcionara una serie de 13 nuevas pruebas metalúrgicas de flotación para realizar en el laboratorio metalúrgico.

**Tabla 3.36.** *Plantilla Diseño Octogonal del Despl.Zn (%)*

N°	PLANTILLA CODIFICADA		PLANTILLA DECODIFICADA	
	X1	X2	ZnSO4(g/Tn)	NaHSO3(g/Tn)
1	-1	-1	500	200
2	1	-1	900	200
3	-1	1	500	600
4	1	1	900	600
5	-1.41421	0	417.157	400
6	1.41421	0	982.843	400
7	0	-1.41421	700	117.157
8	0	1.41421	700	682.843
9	0	0	700	400
10	0	0	700	400
11	0	0	700	400
12	0	0	700	400
13	0	0	700	400

Fuente: Elaboración propia



Los resultados de las pruebas metalúrgicas de flotación del diseño octogonal se muestran a continuación:

### 3.12.1. Prueba de flotación N°1:

**Tabla 3.37.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°1 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>5 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>2 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.38.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°1 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	8.76	1.00	1.00	19.32
2da bandeja	15.92	2.00	3.00	15.87
3era bandeja	14.97	2.00	5.00	15.76
4ta bandeja	25.47	3.00	8.00	12.45
5ta bandeja	934.88			0.51

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.2. Prueba de flotación N°2:

**Tabla 3.39.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°2 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>9 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>2 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.40.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°2 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	7.02	1.00	1.00	16.56
2da bandeja	12.89	2.00	3.00	13.45
3era bandeja	12.00	2.00	5.00	12.78
4ta bandeja	20.43	3.00	8.00	10.24
5ta bandeja	947.66			0.85

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.3. Prueba de flotación N°3:

**Tabla 3.41.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°3 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>5 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>6 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.42.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°3 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	12.06	1.00	1.00	17.21
2da bandeja	14.56	2.00	3.00	14.03
3era bandeja	14.20	2.00	5.00	13.09
4ta bandeja	24.21	3.00	8.00	11.68
5ta bandeja	934.97			0.61

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.4. Prueba de flotación N°4:

**Tabla 3.43.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°4 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>9 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>6 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.44.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°4 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	6.55	1.00	1.00	16.56
2da bandeja	12.89	2.00	3.00	13.45
3era bandeja	11.47	2.00	5.00	12.78
4ta bandeja	20.43	3.00	8.00	9.21
5ta bandeja	948.66			0.87

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.5. Prueba de flotación N°5:

**Tabla 3.45.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°5 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO<sub>4</sub>(10%)</b>	<b>4.17157 cc</b>
	<b>NaHSO<sub>3</sub>(10%)</b>	<b>4 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.46.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°5 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	8.98	1.00	1.00	17.21
2da bandeja	13.33	2.00	3.00	14.03
3era bandeja	13.10	2.00	5.00	13.09
4ta bandeja	23.66	3.00	8.00	11.68
5ta bandeja	940.93			0.68

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.6. Prueba de flotación N°6:

**Tabla 3.47.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°6 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>9.82843 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>4 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.48.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°6 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	6.59	1.00	1.00	16.59
2da bandeja	13.02	2.00	3.00	13.44
3era bandeja	11.15	2.00	5.00	12.63
4ta bandeja	21.59	3.00	8.00	9.21
5ta bandeja	947.65			0.875

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.7. Prueba de flotación N°7:

**Tabla 3.49.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°7 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>7 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>1.17157 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.50.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°7 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	9.43	1.00	1.00	18.98
2da bandeja	16.54	2.00	3.00	15.77
3era bandeja	14.72	2.00	5.00	15.39
4ta bandeja	26.03	3.00	8.00	11.34
5ta bandeja	933.28			0.51

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.8. Prueba de flotación N°8:

**Tabla 3.51.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°8 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>7 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>6.82843 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.52.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°8 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	8.78	1.00	1.00	17.24
2da bandeja	13.56	2.00	3.00	14.21
3era bandeja	13.27	2.00	5.00	13.29
4ta bandeja	24.04	3.00	8.00	11.84
5ta bandeja	940.35			0.7

Fuente: Elaboración propia



### 3.12.9. Prueba de flotación N°9:

**Tabla 3.53.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°9 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>7 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>4 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.54.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°9 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	11.45	1.00	1.00	17.89
2da bandeja	14.28	2.00	3.00	14.25
3era bandeja	13.89	2.00	5.00	13.01
4ta bandeja	24.26	3.00	8.00	11.43
5ta bandeja	936.12			0.63

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.10. Prueba de flotación N°10:

**Tabla 3.55.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°10 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>7 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>4 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.56.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°10 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	11.29	1.00	1.00	17.75
2da bandeja	14.57	2.00	3.00	14.43
3era bandeja	13.29	2.00	5.00	13.04
4ta bandeja	24.25	3.00	8.00	11.43
5ta bandeja	936.60			0.62

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.11. Prueba de flotación N°11:

**Tabla 3.57.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°11 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>7 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>4 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.58.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°11 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	11.34	1.00	1.00	17.67
2da bandeja	14.21	2.00	3.00	14.25
3era bandeja	13.54	2.00	5.00	13.28
4ta bandeja	24.33	3.00	8.00	11.42
5ta bandeja	936.58			0.625

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.12. Prueba de flotación N°12:

**Tabla 3.59.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°12 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>7 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>4 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.60.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°12 del Diseño Octogonal*

<b>FLOTACIÓN</b>				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	11.65	1.00	1.00	17.77
2da bandeja	14.54	2.00	3.00	14.29
3era bandeja	13.47	2.00	5.00	13.21
4ta bandeja	24.56	3.00	8.00	11.23
5ta bandeja	935.78			0.635

Fuente: Elaboración propia

### 3.12.13. Prueba de flotación N°13:

**Tabla 3.61.** *Dosificación de la Prueba de flotación N°13 del Diseño Octogonal*

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>7 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>4 cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.62.** *Resultados de pesos y leyes de la prueba de flotación N°13 del Diseño Octogonal*

FLOTACIÓN				
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Zn
	g	s	s	%
1era bandeja	11.39	1.00	1.00	17.39
2da bandeja	14.43	2.00	3.00	14.26
3era bandeja	13.58	2.00	5.00	13.08
4ta bandeja	24.53	3.00	8.00	11.62
5ta bandeja	936.07			0.635

Fuente: Elaboración propia

### 3.13. Balances metalúrgicos de las pruebas de flotación

**Tabla 3.63.** *Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°1 del Diseño Octogonal*

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	65.12	0.00006512	6.51	14.97	9.74846E-06	67.37	15.36
Relave	934.88	0.00093488	93.49	0.51	4.72114E-06	32.63	
Cabeza Calculada				1.45	1.44696E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.64. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°2 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	52.34	0.00005234	5.23	12.46	6.52156E-06	44.74	19.11
Relave	947.66	0.00094766	94.77	0.85	8.05511E-06	55.26	
Cabeza Calculada				1.46	1.45767E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.65. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°3 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	65.03	0.00006503	6.50	13.54	8.80506E-06	60.69	15.38
Relave	934.97	0.00093497	93.50	0.61	5.70332E-06	39.31	
Cabeza Calculada				1.45	1.45084E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.66. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°4 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	51.34	0.00005134	5.13	12.01	6.16593E-06	42.76	19.48
Relave	948.66	0.00094866	94.87	0.87	8.25334E-06	57.24	
Cabeza Calculada				1.44	1.44193E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.67. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°5 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	59.07	0.00005907	5.91	13.36	7.89175E-06	55.23	16.93
Relave	940.93	0.00094093	94.09	0.68	6.39832E-06	44.77	
Cabeza Calculada				1.43	1.42901E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.68. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°6 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	52.35	0.00005235	5.24	11.92	6.24012E-06	42.94	19.10
Relave	947.65	0.00094765	94.77	0.88	8.29194E-06	57.06	
Cabeza Calculada				1.45	1.45321E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.69. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°7 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	66.72	0.00006672	6.67	14.41	9.61435E-06	66.89	14.99
Relave	933.28	0.00093328	93.33	0.51	4.75973E-06	33.11	
Cabeza Calculada				1.44	1.43741E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.70. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°8 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	59.65	0.00005965	5.97	13.50	8.05275E-06	55.02	16.76
Relave	940.35	0.00094035	94.04	0.70	6.58245E-06	44.98	
Cabeza Calculada				1.46	1.46352E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.71. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°9 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	63.88	0.00006388	6.39	13.56	8.66213E-06	59.49	15.65
Relave	936.12	0.00093612	93.61	0.63	5.89756E-06	40.51	
Cabeza Calculada				1.46	1.45597E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.72. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°10 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	63.40	0.0000634	6.34	13.58	8.60972E-06	59.72	15.77
Relave	936.60	0.0009366	93.66	0.62	5.80692E-06	40.28	
Cabeza Calculada				1.44	1.44166E-05		

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 3.73. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°11 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	63.42	0.00006342	6.34	13.57	8.60609E-06	59.52	15.77
Relave	936.58	0.00093658	93.66	0.63	5.85363E-06	40.48	
Cabeza Calculada				1.45	1.44597E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.74. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°12 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	64.22	0.00006422	6.42	13.52	8.68254E-06	59.37	15.57
Relave	935.78	0.00093578	93.58	0.64	5.9422E-06	40.63	
Cabeza Calculada				1.46	1.46247E-05		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.75. Balance metalúrgico de la prueba de flotación N°13 del Diseño Octogonal**

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	LEY	CONTENIDO METALICO	DISTRIBUCION(%)	Ratio
				Zn	Zn	Zn	
				%	TM		
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.45	0.0000145	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	63.93	0.00006393	6.39	13.55	8.66252E-06	59.31	15.64
Relave	936.07	0.00093607	93.61	0.64	5.94404E-06	40.69	
Cabeza Calculada				1.46	1.46066E-05		

Fuente: Elaboración propia

### 3.14. Resultados del diseño octogonal con la plantilla decodificada en él % de desplazamiento de zinc

**Tabla 3.76.** *Plantilla Decodificada por el Diseño Octogonal del Despl.Zn (%)*

Pruebas	PLANTILLA DECODIFICADA		DESPL. DE Zn
	ZnSO <sub>4</sub> (g/Tn)	NaHSO <sub>3</sub> (g/Tn)	%
1	500	200	67.37
2	900	200	44.74
3	500	600	60.69
4	900	600	42.76
5	417.157	400	55.23
6	982.843	400	42.94
7	700	117.157	66.89
8	700	682.843	55.02
9	700	400	59.50
10	700	400	59.72
11	700	400	59.52
12	700	400	59.38
13	700	400	59.31

Fuente: Elaboración propia

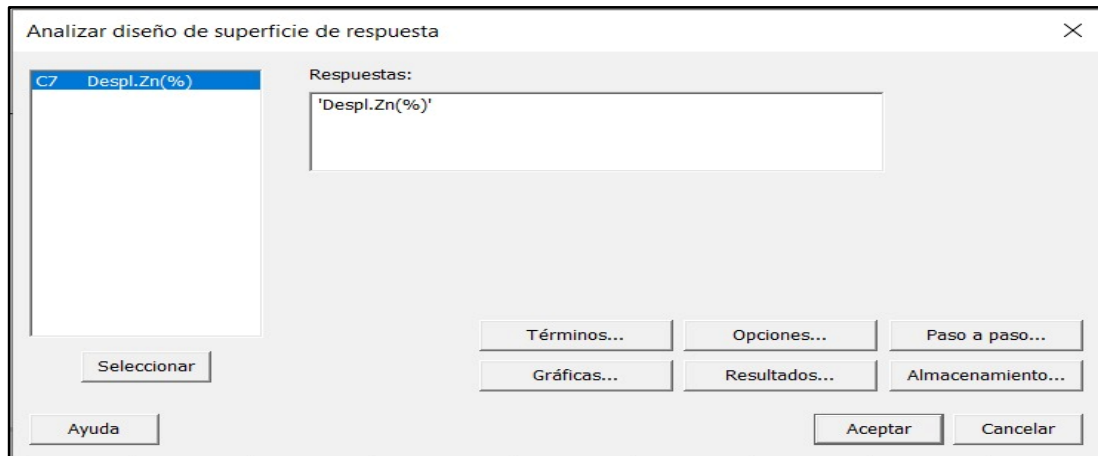
De los resultados del balance metalúrgico analizaremos en el capítulo IV el desplazamiento de zinc en el concentrado bulk con el objetivo de optimizar los valores del consumo de ZnSO<sub>4</sub> y del NaHSO<sub>3</sub>.

## CAPITULO IV

### ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis del desplazamiento de zinc aplicando el diseño octogonal

Nos dirigimos a la opción “DOE” nuevamente, luego la opción “Superficie de respuesta”, seguidamente seleccionemos “Analizar diseño de superficie de respuesta” en el cual aparecerá un cuadro donde seleccionamos variable de respuesta que es el “% Desplazamiento de zinc” y le damos en “Aceptar”.



**Figura 4.1.** Ventana de análisis de diseño de superficie de respuesta del Despl.Zn (%)

Fuente: Elaboración propia

Nos aparecerá la Regresión de superficie de respuesta del Desplazamiento de zinc (%) versus el  $\text{ZnSO}_4$ ;  $\text{NaHSO}_3$ , en el cual analizaremos lo siguiente:

### Coefficientes codificados

**Tabla 4.1.** *Coefficientes codificados del Despl.Zn (%) por Diseño Octogonal*

Termino	Coef	coef	Valor T	Valor p	FIV
Constante	59.49	1.49	39.83	0.000	
ZnSO <sub>4</sub>	-7.24	1.18	-6.13	0.000	1.00
NaHSO <sub>3</sub>	-3.18	1.18	-2.69	0.031	1.00
ZnSO <sub>4</sub> * ZnSO <sub>4</sub>	-5.48	1.27	-4.33	0.003	1.02
NaHSO <sub>3</sub> *NaHSO <sub>3</sub>	0.45	1.27	0.36	0.732	1.02
ZnSO <sub>4</sub> * NaHSO <sub>3</sub>	1.18	1.67	0.70	0.504	1.00

Fuente: Elaboración propia

#### **Análisis e interpretación:**

En esta tabla lo más principal que debemos saber es interpretar el Valor T (valor T-Student) de las variables controlables, teniendo en cuenta que el software tiene como dato que el T-Student predeterminado para este diseño octogonal de 2.365 con un intervalo de confianza del 95%, que se vera de manera visual en la gráfica de Pareto de efectos estandarizados. Entonces:

- Para el ZnSO<sub>4</sub> el valor T tiene un valor absoluto de 6.13 mayor que el T-Student predeterminado (2.365) que significa que es una variable controlable muy significativa para el % de desplazamiento de zinc, el signo negativo nos dice que ayuda a una reducción del % de desplazamiento de zinc. En el caso que el signo fuera positivo ayudaría a un aumento del % de desplazamiento de zinc.
- Para el NaHSO<sub>3</sub> el valor T tiene un valor absoluto de 2.69 mayor que el T-Student predeterminado (2.365) lo que significa que es una variable controlable significativa para el % de desplazamiento de zinc, el signo negativo nos dice que ayuda a una reducción del % de desplazamiento de zinc.
- Para la interacción ZnSO<sub>4</sub>\*ZnSO<sub>4</sub> el valor T tiene un valor absoluto de 4.33 mayor que el T-Student predeterminado (2.365) lo que significa que es una variable

interacción muy significativa para el % de desplazamiento de zinc, el signo negativo nos dice que ayuda a una reducción del % de desplazamiento de zinc.

- Para la interacción de  $\text{NaHSO}_3 * \text{NaHSO}_3$  y  $\text{ZnSO}_4 * \text{NaHSO}_3$  el valor de T tiene un valor absoluto de 0.36 y 0.70 respectivamente, menor que el T-Student predeterminado (2.365) lo que significa que dichas variables interacción no son significativas para el % de desplazamiento de zinc.

### **Resumen del modelo ( $R^2$ )**

**Tabla 4.2.** *Resumen del modelo del Despl.Zn (%) por Diseño Octogonal*

S	R-cuad.	R-cuad.(ajustado)	R-cuad.(pred)
3.33954	90.28%	83.33%	30.93%

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis e interpretación:**

En este punto lo que principalmente se debe tener en cuenta es el valor del R-cuadrado, que en nuestro estudio es de 90.28%; que nos dice que las variables controlables tienen una aceptación del 90.28% de acuerdo con los resultados obtenidos del % de desplazamiento de zinc. Un valor aceptable y alto para este estudio.

### Análisis de varianza

**Tabla 4.3.** *Análisis de Varianza del Despl.Zn (%) por Diseño Octogonal*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	724.882	144.976	13.00	0.002
Lineal	2	500.582	250.291	22.44	0.001
ZnSO <sub>4</sub>	1	419.640	419.640	37.63	0.000
NaHSO <sub>3</sub>	1	80.942	80.942	7.26	0.031
Cuadrado	2	218.777	109.388	9.81	0.009
ZnSO <sub>4</sub> * ZnSO <sub>4</sub>	1	209.136	209.136	18.75	0.003
NaHSO <sub>3</sub> * NaHSO <sub>3</sub>	1	1.421	1.421	0.13	0.732
Interacción de 2 factores	1	5.523	5.523	0.50	0.504
ZnSO <sub>4</sub> * NaHSO <sub>3</sub>	1	5.523	5.523	0.50	0.504
Error	7	78.068	11.153		
Falta de ajuste	3	77.969	25.990	1057.35	0.000
Error puro	4	0.098	0.025		
Total	12	802.949			

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis e interpretación:**

De acuerdo con la tabla de análisis de varianza es una corroboración de manera empírica para comprobar si son significantes las variables controlables de estudio y nos enfocaremos en el Valor p, que si es muy cercano a “cero” se dice que la variable es muy influyente o significativa.

Para nuestro estudio el Valor de p del ZnSO<sub>4</sub> y NaHSO<sub>3</sub> tiene un valor de 0 y 0.031 respectivamente, con lo cual comprueba que las dos variables controlables son “Significantes”.

### Ecuación de regresión en unidades no codificadas

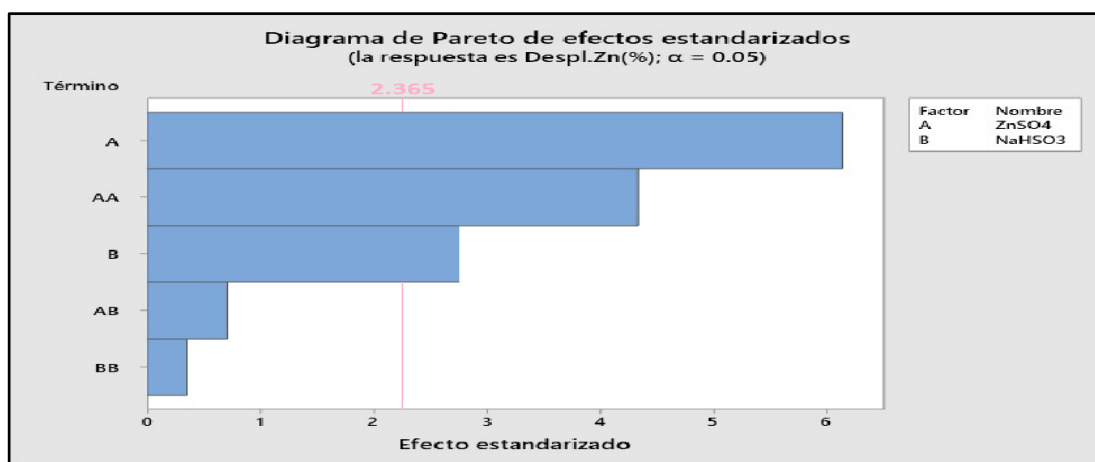
**Ecuación 4.1:** Ecuación de regresión en unidades no codificadas del Despl.Zn(%) por Diseño Octogonal

$$\begin{aligned}
 \text{Despl.Zn}(\%) & \\
 &= 34.1 + 0.1439 * \text{ZnSO}_4 - 0.0455 * \text{NaHSO}_3 \\
 &\quad - 0.000137 * \text{ZnSO}_4 * \text{ZnSO}_4 + 0.000011 * \text{NaHSO}_3 \\
 &\quad * \text{NaHSO}_3 + 0.000029 * \text{ZnSO}_4 * \text{NaHSO}_3
 \end{aligned}$$

#### **Análisis e interpretación:**

En esta ecuación nos da a conocer los coeficientes de cada una de las variables y de las combinaciones posibles, con el objetivo, de que, si queremos realizar una prueba metalúrgica con una dosificación distinta, lo ponemos en la ecuación y nos dará el % de desplazamiento de zinc para no realizar dicha prueba de metalúrgica innecesariamente, ya que involucra costo en el consumo de reactivos, energía, análisis y tiempo.

### Diagrama de Pareto de los efectos del Desplazamiento de Zinc (%) por Diseño Octogonal



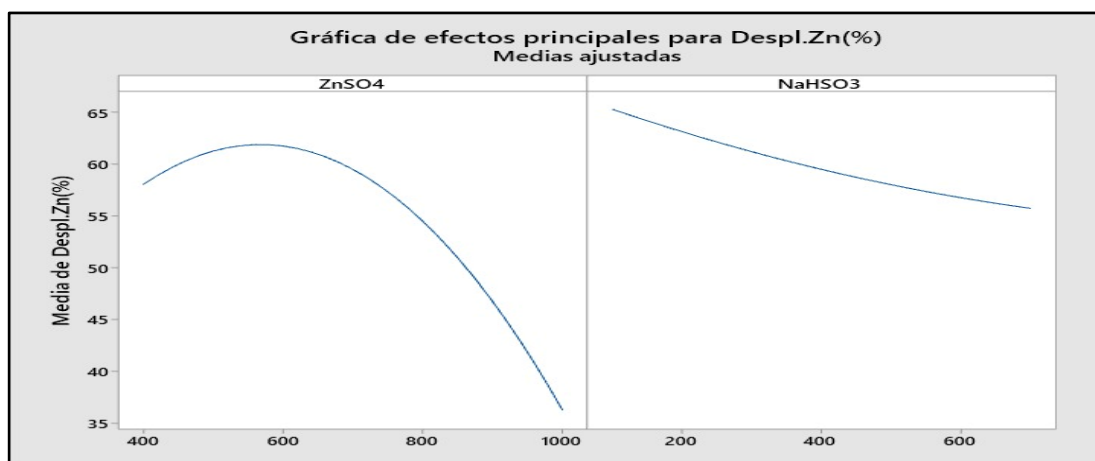
**Figura 4.2.** Diagrama de Pareto de efectos del Despl.Zn (%)

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis e interpretación:**

Este diagrama de Pareto es muy importante para corroborar la significancia y no significancia de las variables controlables en la variable respuesta (% de desplazamiento de Zn). En primera instancia tenemos que A es el  $\text{ZnSO}_4$  y B es el  $\text{NaHSO}_3$ . La línea de color rosada es un valor que muestra los efectos de cada una de las variables y que 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 desplazamiento de Zn, entonces podemos concluir que el factor A( $\text{ZnSO}_4$ ) y el factor B( $\text{NaHSO}_3$ ) son significantes frente a la variable respuesta (% de desplazamiento de Zn). La variable interacción AA ( $\text{ZnSO}_4$  con  $\text{ZnSO}_4$ ) a pesar de que gráficamente es significativa no lo ponemos como significativa porque estamos estudiando las variables controlables significantes por separado y no sus interacciones.

### **Gráfica de los efectos principales para el % de desplazamiento de zinc**



**Figura 4.3.** Gráfica de los efectos principales del Despl.Zn (%)

Fuente: Elaboración propia

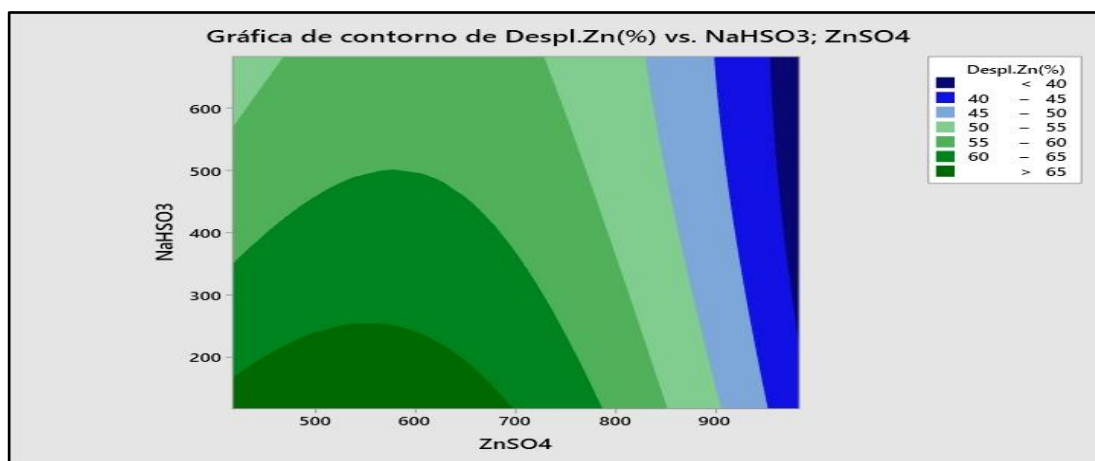


### Análisis e interpretación:

Podemos decir que:

- Para el  $\text{ZnSO}_4$  se observa que tiene un comportamiento parabolico que a un consumo de 400 g/Tn a 600 g/Tn aproximadamente aumenta el % de desplazamiento de zinc, pero a medida que se sigue aumentando el consumo de  $\text{ZnSO}_4$ , graficamente el % de desplazamiento de zinc comienza a reducir notoriamente. Podemos concluir que a un mayor consumo de 600 g/Tn aproximadamente de  $\text{ZnSO}_4$  el % de desplazamiento de Zn tiende a disminuir.
- Para el  $\text{NaHSO}_3$  se observa que a medida que aumenta el consumo lineal de  $\text{NaHSO}_3$ , el % de desplazamiento de Zn comienza a reducirse. Podemos concluir que a un mayor consumo de  $\text{NaHSO}_3$  el % de desplazamiento de Zn tiende a disminuir.

### Gráfica de contorno del Despl.Zn(%) vs. $\text{NaHSO}_3$ ; $\text{ZnSO}_4$



**Figura 4.4.** Gráfica de contorno del Despl.Zn (%) vs.  $\text{NaHSO}_3$ ;  $\text{ZnSO}_4$

Fuente: Elaboración propia

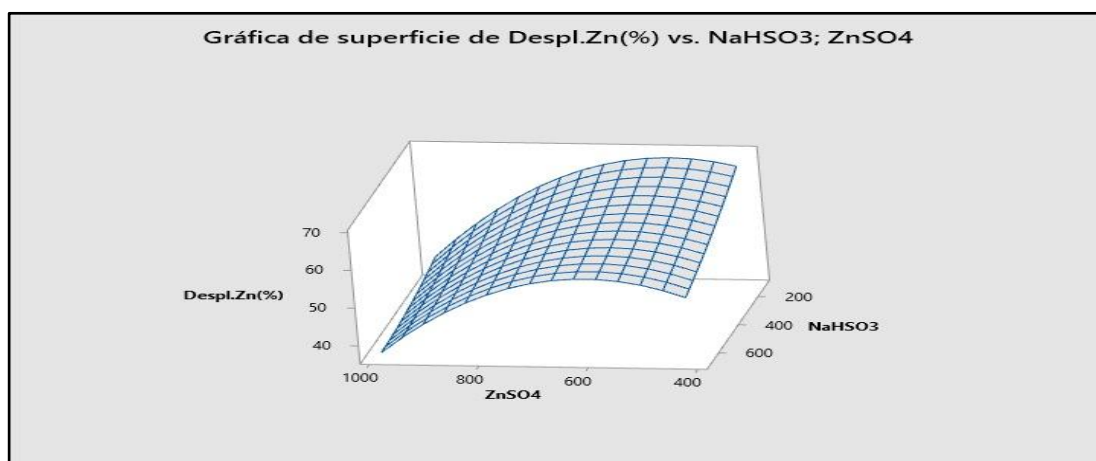
### **Análisis e interpretación:**

Esta gráfica está dividida por zonas de color verde de mayor a menor intensidad y zonas de color azul de menor a mayor intensidad. En los ejes se ubican las variables significativas para el % de desplazamiento de Zn. En la parte derecha está el % de desplazamiento de Zn de acuerdo con las intensidades de las zonas que indican el rango de los valores.

Esta grafica se analiza de la siguiente manera:

- La zona de color verde de mayor intensidad representa que hay un % de desplazamiento de zinc mayor al 65% para cierta dosificación de consumo de las variables significantes, a medida que la zona verde es menos intensa puede llegar a un % de desplazamiento mínimo del 50%.
- Las zonas de color azul menos intensas representan que hay un % de desplazamiento de zinc entre un 40% a un 50% con una cierta dosificación de consumo de las variables significantes y la zona de color azul de mayor intensidad representa que hay un % de desplazamiento de zinc menor al 40%.

### **Gráfica de superficie del Despl.Zn(%) vs. NaHSO<sub>3</sub>; ZnSO<sub>4</sub>**



**Figura 4.5.** Gráfica de superficie del Despl.Zn (%) vs. NaHSO<sub>3</sub>; ZnSO<sub>4</sub>

Fuente: Elaboración propia

### Análisis e interpretación:

Esta gráfica de superficie nos da la información completa en tres dimensiones del % de desplazamiento de Zn, consumo de  $ZnSO_4$  y el consumo de  $NaHSO_3$ .

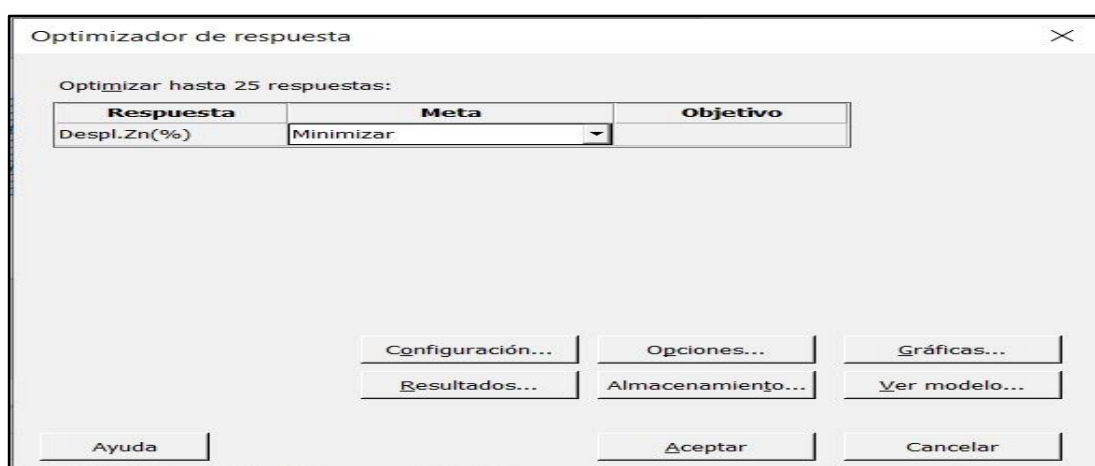
A medida que aumentamos el consumo de  $ZnSO_4$  disminuye el % de desplazamiento de Zn y a medida que aumenta el consumo de  $NaHSO_3$  también disminuye el % de desplazamiento de Zn. Esta gráfica de superficie corrobora la interpretación obtenida en las gráficas de efectos principales para el % de desplazamiento de Zn.

Todas estas tablas y graficas que hemos visualizado anteriormente son muy importantes ya que guardan relación y confirman de manera óptima de acuerdo con el diseño octogonal que las variables controlables “ $ZnSO_4$ ” y “ $NaHSO_3$ ” son variables “Significantes” para la disminución o reducción del % de desplazamiento de Zn.

#### 4.2. Optimización del consumo de $ZnSO_4$ y $NaHSO_3$ para obtener el mínimo desplazamiento de zinc (%)

Para este punto nos dirigimos a DOE, seguidamente superficie de respuesta y “Optimizador de respuesta”, nos aparecerá una ventana en el cual nos brindará la opción a que meta queremos llegar en el % de desplazamiento de zinc.

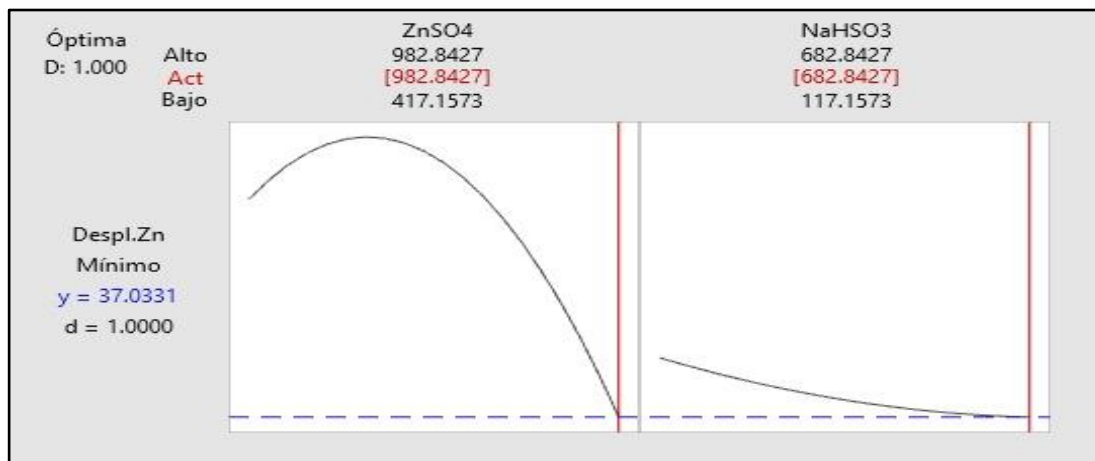
Elegimos la Meta de “Minimizar” que es nuestro objetivo principal de este estudio y clic en aceptar.



**Figura 4.6.** Ventana de Optimizador de respuesta del Despl.Zn (%)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, nos aparecerá una gráfica donde podemos apreciar el consumo óptimo de  $\text{ZnSO}_4$  (982.8427 g/Tn) y  $\text{NaHSO}_3$  (682.8427 g/Tn) que tenemos que usar para llegar a obtener un % de desplazamiento de Zn de 37.0331%.



**Figura 4.7.** Ventana de las dosificaciones optimizadas del  $\text{ZnSO}_4$  y  $\text{NaHSO}_3$

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, una vez obtenida la optimización del consumo de estos reactivos, realizaremos una última prueba metalúrgica para comprobar si el % de desplazamiento de Zn es cercano al valor propuesto por el diseño octogonal.

### 4.3. Prueba metalúrgica optimizada

**Tabla 4.4.** Dosificación de reactivos Optimizados

<b>Molienda</b>	Tiempo de Molienda	13 min con 28 seg
	Peso del mineral	1000 gramos
	Agua	500 cc
	Aerophine 3418	1 gota
	NaCN(1%)	2.5 cc
	<b>ZnSO4(10%)</b>	<b>9.828427 cc</b>
	<b>NaHSO3(10%)</b>	<b>6.828427cc</b>
<b>Flotación</b>	Xantato Z-11(0.1%)	25 cc
	Espumante MIBC	2 gotas
	Cal	3 gramos/pH=7.5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.5.** Resultados de los pesos y leyes de la Prueba de Flotación Optimizada

FLOTACIÓN								
Bandejas	Peso	Tiempo	Tiempo acumulado	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
	g	s	s	%	%	%	oz/tc	g/t
1era bandeja	9.47	1.00	1.00	22.47	18.68	14.34	18.95	29.49
2da bandeja	13.64	2.00	3.00	19.86	16.49	11.98	16.49	27.37
3era bandeja	13.25	2.00	5.00	19.37	15.25	9.12	15.23	26.89
4ta bandeja	22.78	3.00	8.00	14.89	12.43	5.43	13.92	23.76
5ta bandeja	940.86			0.17	0.10	0.97	0.55	1.54

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Balance metalúrgico de la prueba de flotación optimizada

**Tabla 4.6.** Balance Metalúrgico de la Prueba de Flotación Optimizada

Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc. Bulk Cu-Pb	59.14	0.00005914	5.91	18.25	15.00	9.19	15.61	26.21	87.10	90.41	37.34	64.08	51.69	16.91
Relave	940.86	0.00094086	94.09	0.17	0.10	0.97	0.55	1.54	12.90	9.59	62.66	35.92	48.31	
Cabeza Calculada				1.24	0.98	1.46	1.44	3.00						

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. Discusión de resultados

1. Durante el desarrollo de las pruebas de flotación de acuerdo al diseño octogonal que se realizó en el laboratorio metalúrgico de la Planta Concentradora Centenario, se obtuvo diferentes dosificaciones de  $ZnSO_4$  y  $NaHSO_3$  para lo cual se llegó a tener como resultados una variedad de % de desplazamiento de zinc, del cual posteriormente se analizó para determinar la significancia de estas variables controlables y así poder encontrar el óptimo deseable con la finalidad de lograr una mínima reducción del % de desplazamiento de zinc.
2. De acuerdo con los resultados obtenidos del % de desplazamiento de zinc, se obtiene mediante el análisis estadístico diferentes datos y graficas que nos permitirá tener hacer una interpretación adecuada como es el caso del valor 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. Todo esto antes mencionado tienen relación para poder demostrar que dichas variables controlables son significantes y a la vez optimizar en el proceso el consumo de dichos reactivos.

3. Mediante el T-Student se comprobó que el  $ZnSO_4$  y el  $NaHSO_3$  son dos variables controlables muy significantes para la reducción del % de desplazamiento de zinc, con un alto porcentaje de aceptación de acuerdo con los resultados obtenidos en la parte experimental de las pruebas de flotación realizadas.
4. El diagrama de Pareto, grafica de efectos, grafica de contorno y grafica de superficie nos da la información visual y corroborativa que las variables controlables en estudio influyen de manera muy directa y significativa en el % de desplazamiento de zinc.
5. Una vez teniendo y comprobando la significancia de las variables controlables, se llevó a cabo la optimización, obteniendo así los valores de las dosificaciones reactivos de  $ZnSO_4$  y  $NaHSO_3$  donde se observa que se lograra un % de desplazamiento de zinc del 37.0331%.

## CONCLUSIONES

- De la prueba de moliendabilidad en el laboratorio metalúrgico se obtiene que el tiempo para obtener un % de malla -200 fue de 11 minutos con 51 segundos.
- Se obtiene de acuerdo con el diseño factorial fraccionado que, de las cuatro variables controlables en estudio, solo dos variables son significativas para la reducción del % de desplazamiento de zinc en el concentrado bulk Cu-Pb que son el consumo de  $ZnSO_4$  y el  $NaHSO_3$ .
- También se logra obtener de acuerdo con el diseño factorial fraccionado que las variables del grado de liberación y consume de  $NaCN$  son muy significativas para el % de recuperación de cobre.
- Mediante el diseño octagonal se llevó a cabo una serie de pruebas metalúrgicas para encontrar el óptimo del consumo de  $ZnSO_4$  y el  $NaHSO_3$  logrando obtener un consumo de 982.8427 g/Tn de  $ZnSO_4$  y 682.8427 g/Tn de  $NaHSO_3$ , con un porcentaje de desplazamiento de zinc del 37.0331%.
- Se llevo a cabo la prueba de flotación optimizada con los datos del consumo optimizado de reactivos logrando obtener un % de desplazamiento de zinc de 37.34%.
- Haciendo una comparación de acuerdo con las leyes de zinc en el concentrado bulk Cu-Pb, se obtuvo antes de optimizar una ley de zinc del 16.01% y mediante optimización de diseño de experimentos una ley de zinc del 9.19%.
- Se logro también aumentar la ley del cobre en el concentrado bulk Cu-Pb de 16.78% a 18.25%.
- Las leyes de Pb, Ag y Au en el concentrado bulk Cu-Pb permaneció en valores estables, demostrando que no tiene influencia las variables en estudio en dichas leyes.
- En la parte de la comercialización de la venta del concentrado bulk Cu-Pb se valorizo como una venta de concentrado de Cu de acuerdo con el comprador, obtenido un valor antes de optimizar de 2764.07 \$/Tn de concentrado y

optimizando se obtuvo un valor de 2966.89 \$/Tn de concentrado, llegando así a la conclusión más importante que se logra obtener un aumento de una ganancia de 202.82 \$/Tn de concentrado vendido. Es así como a nivel industrial es un aumento considerable de ganancia con solo optimizar de manera correcta los reactivos en estudio aplicando el Diseño de experimentos. Esta información detallada de la parte de la valorización del concentrado se encuentra en el Anexo 15 y Anexo 16.

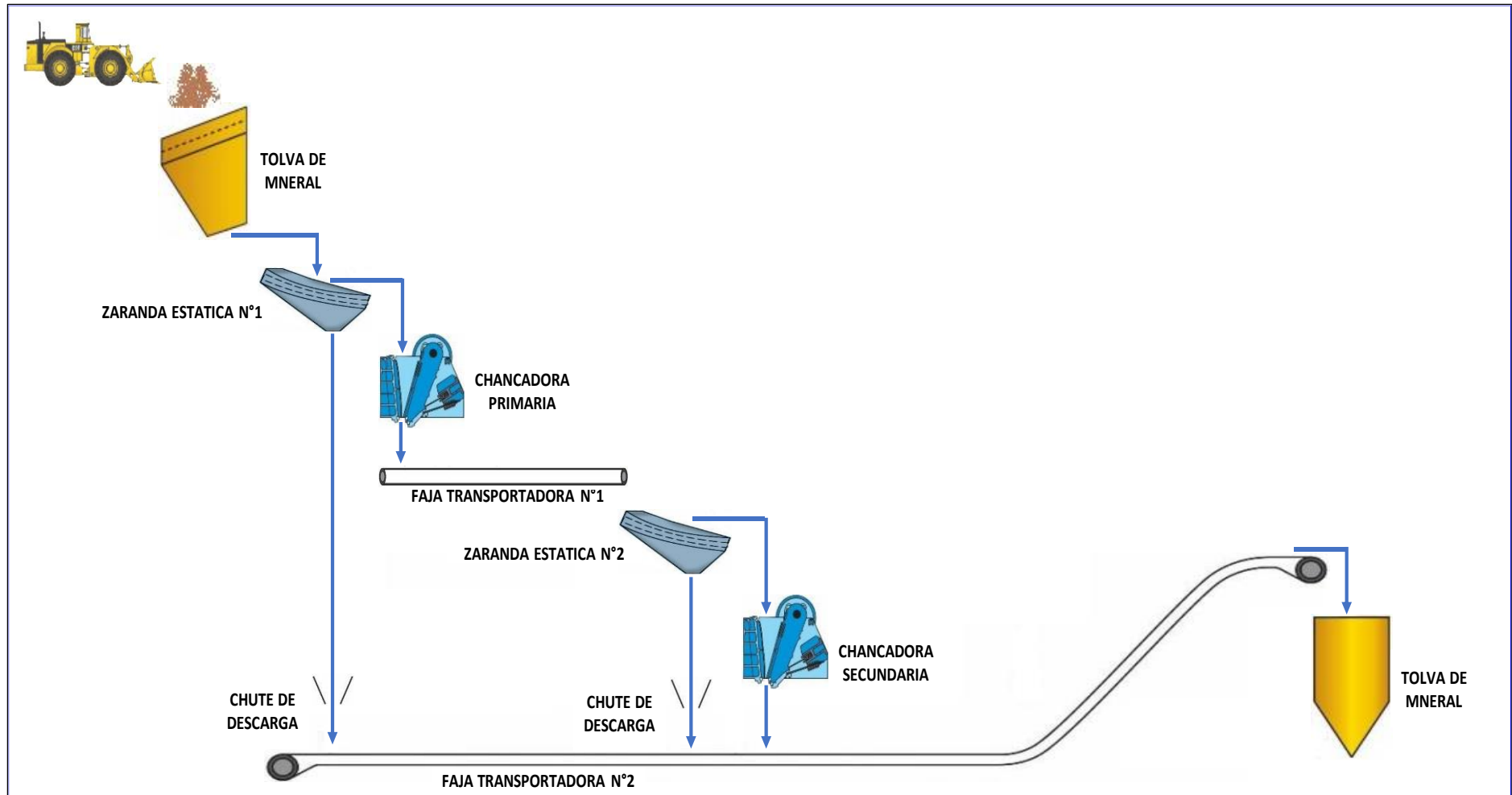


## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

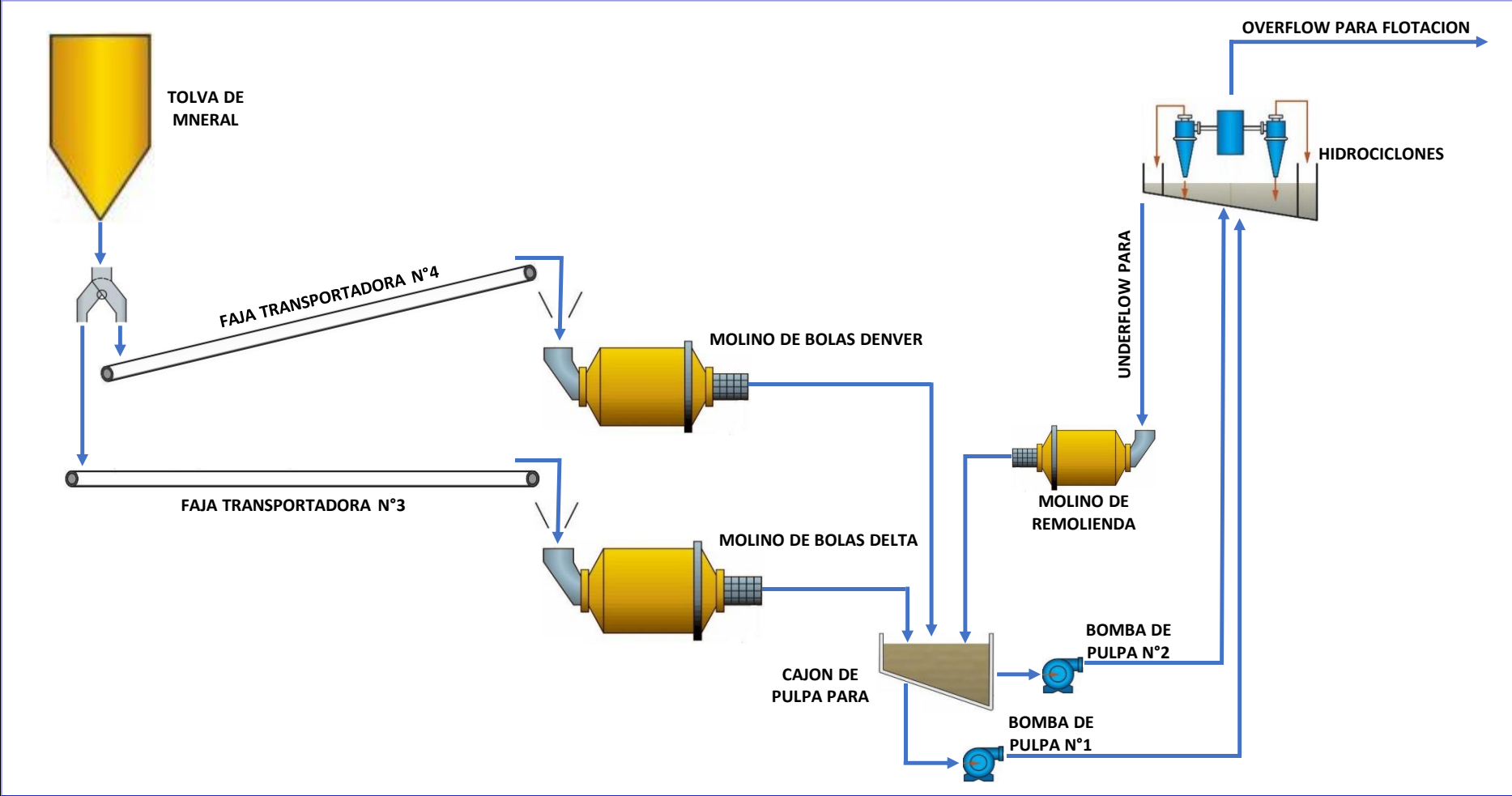
- Arthur F. Taggart (1950). *Handbook of Mineral Dressing. Fourth Printing Sec. 12-Flotation*. New York, pp. 1-140.
- Ayala Mina Jorge y Pardo Mercado Richard (1995). *Optimización por diseños experimentales con aplicaciones en ingeniería*. Lima Perú.
- Azañero Ortiz, Ángel (2002). *Curso: "Concentración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

## ANEXOS

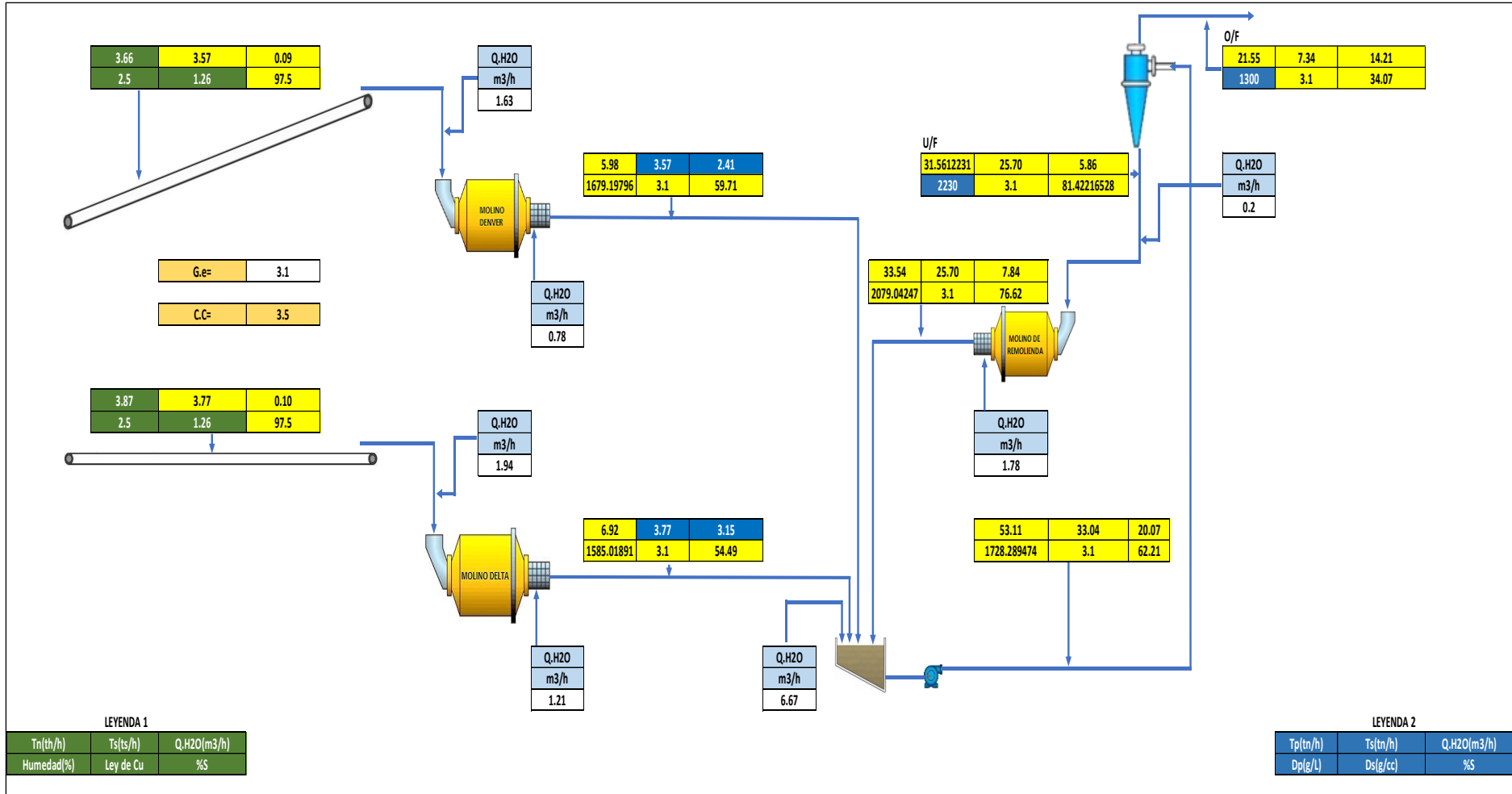
Anexo N°1: Flowsheet de la Sección de Chancado



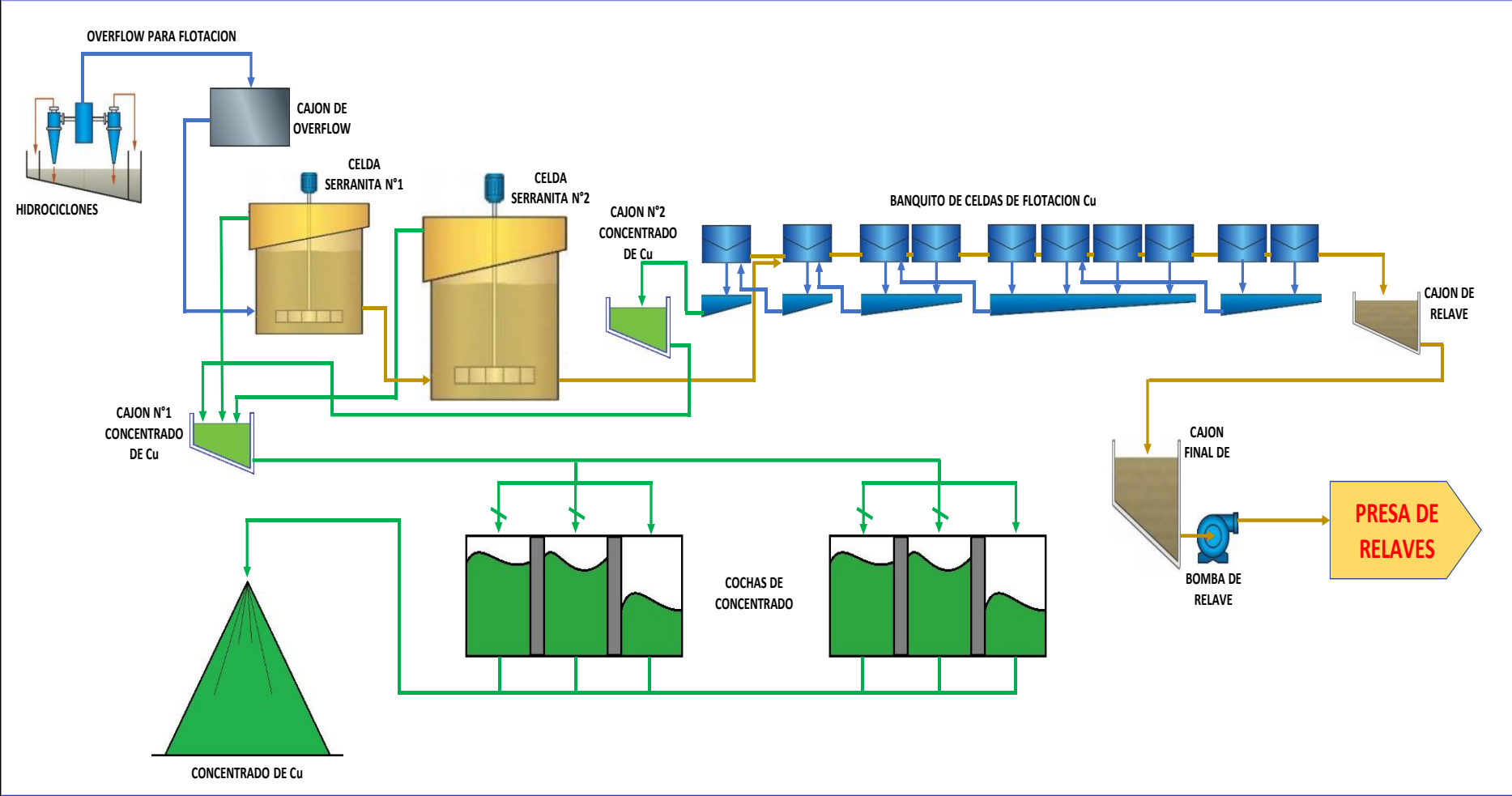
**Anexo N°2:** Flowsheet de la Sección de Molienda y Clasificación por ciclones



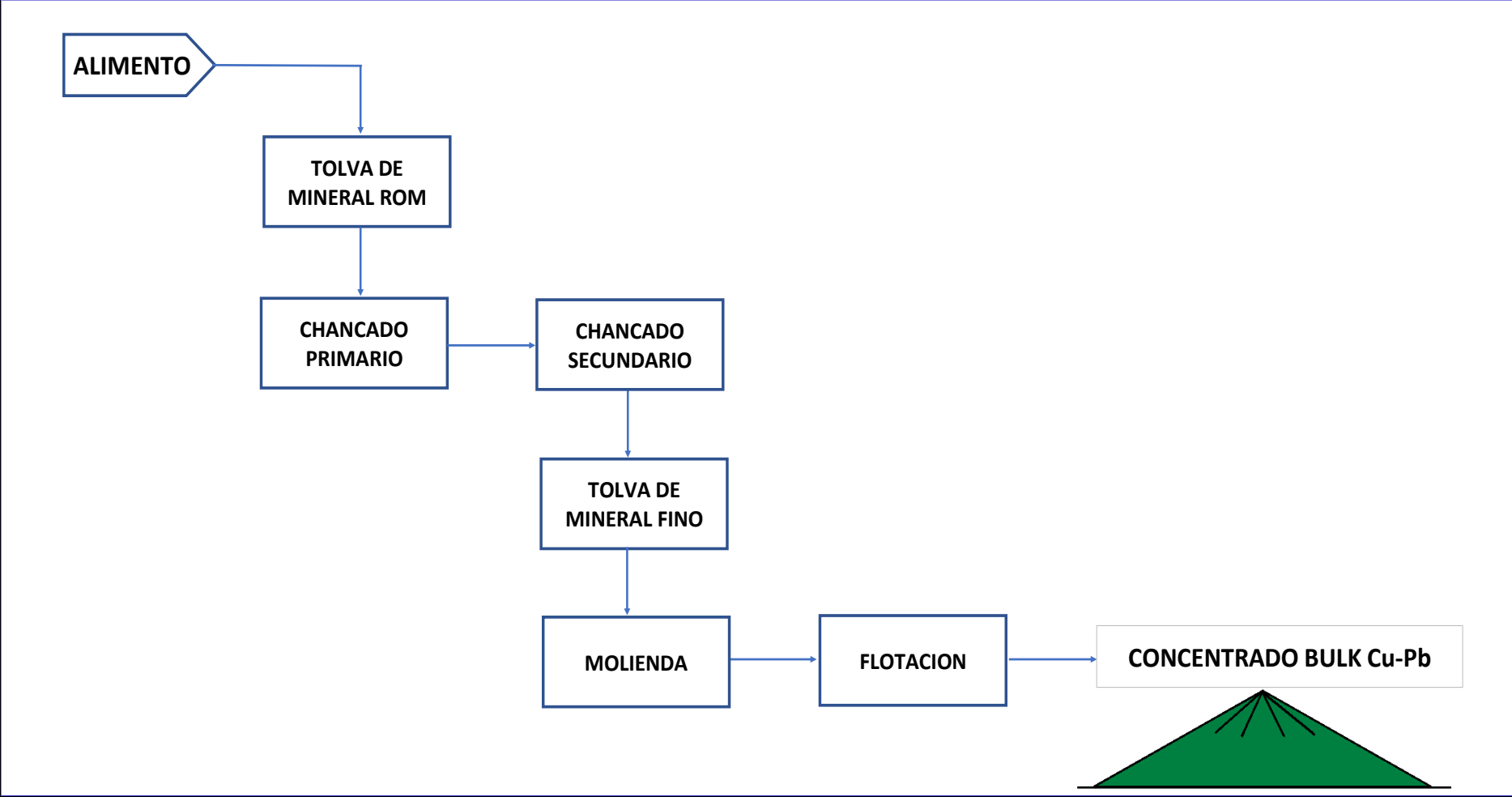
### Anexo N°3: Balance de Molienda y Clasificación por ciclones



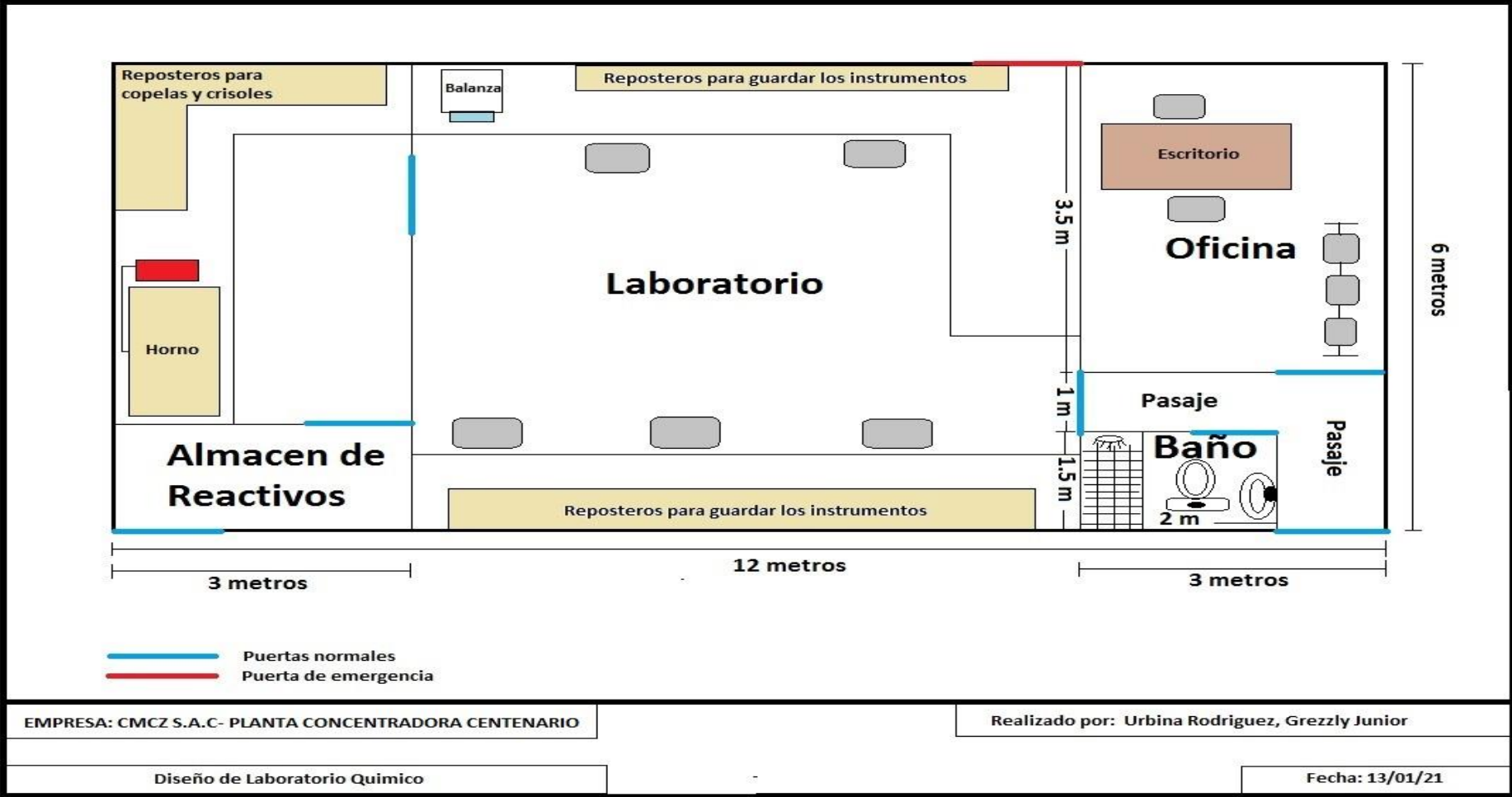
Anexo N°4: Flowsheet de la Sección de Flotación de minerales polimetálicos




Anexo N°5: Diagrama de Flujos de la Planta Concentradora Centenario-Corporación CMCZ.SAC



Anexo N°6: Plano de diseño del Laboratorio Químico-Corporación CMCZ.SAC





Anexo N°7: Reporte de las leyes del Concentrado Bulk Cu-Pb por Diseño Factorial  
Fraccionado-Corporación CMCZ S.A.C

		LABORATORIO QUIMICO			
CLIENTE	Grezzly Junior Urbina Rodriguez				
ORDENADO POR	Ingeniero Antonio Flores				
CANTIDAD DE MUESTRAS	41				
ENSAYO	Análisis Químico				
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	Pruebas metalúrgicas				
FRECUENCIA	Diaria				
PROCEDENCIA	Laboratorio Metalúrgico				
FECHA DE RECEPCIÓN	24/06/2021				
FECHA DE REPORTE	26/06/2021				


CODIGO Y NOMBRE DE MUESTRA	Cu %	Pb %	Zn %	Ag oz/tc	Au g/t
CABEZA	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01
PRUEBA METALURGICA N°01					
BANDEJA N°01	19.24	16.78	19.81	17.23	27.75
BANDEJA N°02	17.54	15.23	15.77	16.02	26.66
BANDEJA N°03	16.45	14.76	16.02	14.9	26.21
BANDEJA N°04	14.89	12.1	12.45	13.8	22.48
BANDEJA N°05	0.215	0.09	0.5	0.5	1.47
PRUEBA METALURGICA N°02					
BANDEJA N°01	19.66	15.3	17.65	15.41	33.46
BANDEJA N°02	16.78	14.65	15.21	12.98	31.77
BANDEJA N°03	15.34	13.25	14.56	13.42	28.39
BANDEJA N°04	13.23	10.34	11.87	10.45	23.27
BANDEJA N°05	0.153	0.09	0.5	0.6	1.1
PRUEBA METALURGICA N°03					
BANDEJA N°01	19.48	14.03	18.01	16.55	25.36
BANDEJA N°02	16.67	12.49	15.56	14.23	23.12
BANDEJA N°03	16.04	11.33	14.99	13.07	21.15
BANDEJA N°04	13.57	8.79	12.38	12.21	17.48
BANDEJA N°05	0.176	0.23	0.47	0.55	1.66
PRUEBA METALURGICA N°04					
BANDEJA N°01	21.66	16.67	18.78	18.43	32.66
BANDEJA N°02	19.87	15.55	15.66	17.54	31.29
BANDEJA N°03	18.67	14.21	14.39	15.99	28.99
BANDEJA N°04	15.23	13.3	12.33	14.67	25.43
BANDEJA N°05	0.123	0.09	0.55	0.45	1.28
PRUEBA METALURGICA N°05					
BANDEJA N°01	20.06	17.87	15.46	18.99	36.34
BANDEJA N°02	18.79	15.45	12.31	17.23	32.54
BANDEJA N°03	18.23	14.76	11.34	15.78	31.22
BANDEJA N°04	14.76	12.44	8.45	14.56	26.23
BANDEJA N°05	0.25	0.15	0.85	0.53	1.35
PRUEBA METALURGICA N°06					
BANDEJA N°01	22.06	16.96	16.56	17.54	38.11
BANDEJA N°02	19.2	15.23	14.21	16.77	33.67
BANDEJA N°03	17.89	13.77	13.99	15.49	31.02
BANDEJA N°04	14.33	11.33	10.02	14.33	28.33
BANDEJA N°05	0.16	0.15	0.7	0.51	1.13
PRUEBA METALURGICA N°07					
BANDEJA N°01	20.55	16.54	16.39	16.87	30.42
BANDEJA N°02	18.53	14.79	13.78	15.65	28.44
BANDEJA N°03	18.65	14.08	13.29	14.76	25.67
BANDEJA N°04	15.1	13.54	9.88	14.21	21.78
BANDEJA N°05	0.2	0.12	0.75	0.57	1.55
PRUEBA METALURGICA N°08					
BANDEJA N°01	21.23	17.34	13.67	18.56	35.23
BANDEJA N°02	19.21	15.78	11.03	17.03	31.22
BANDEJA N°03	18.27	14.56	10.23	16.32	30.25
BANDEJA N°04	16.24	13.22	6.78	13.44	27.56
BANDEJA N°05	0.12	0.07	0.91	0.5	1.2

 CORPORACION CMCZ Jhon Nilson Santos Castillo Jefe de laboratorio Químico	 CORPORACION CMCZ Ing. Antonio Florencio Flores Collas CIP 184375 Gerente de Operaciones
---	--



Anexo N°8: Reporte de las leyes de Zn del Concentrado Bulk Cu-Pb por Diseño Octogonal-Corporación CMCZ S.A.C

		LABORATORIO QUIMICO			
CLIENTE	Grezzly Junior Urbina Rodriguez				
ORDENADO POR	Ingeniero Antonio Flores				
CANTIDAD DE MUESTRAS	65				
ENSAYO	Análisis Químico				
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	Pruebas metalúrgicas				
FRECUENCIA	Diaria				
PROCEDENCIA	Laboratorio Metalúrgico				
FECHA DE RECEPCIÓN	13/10/2021				
FECHA DE REPORTE	15/10/2021				
CODIGO O NOMBRE DE MUESTRA	Cu %	Pb %	Zn %	Ag oz/tc	Au g/t
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°1-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	19.32	**	**
BANDEJA N°02	**	**	15.87	**	**
BANDEJA N°03	**	**	15.76	**	**
BANDEJA N°04	**	**	12.45	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.505	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°2-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	16.56	**	**
BANDEJA N°02	**	**	13.45	**	**
BANDEJA N°03	**	**	12.78	**	**
BANDEJA N°04	**	**	10.24	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.85	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°3-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	17.21	**	**
BANDEJA N°02	**	**	14.03	**	**
BANDEJA N°03	**	**	13.09	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.68	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.61	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°4-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	16.56	**	**
BANDEJA N°02	**	**	13.45	**	**
BANDEJA N°03	**	**	12.78	**	**
BANDEJA N°04	**	**	9.21	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.87	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°5-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	17.21	**	**
BANDEJA N°02	**	**	14.03	**	**
BANDEJA N°03	**	**	13.09	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.68	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.68	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°6-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	16.59	**	**
BANDEJA N°02	**	**	13.44	**	**
BANDEJA N°03	**	**	12.63	**	**
BANDEJA N°04	**	**	9.21	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.875	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°7-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	18.98	**	**
BANDEJA N°02	**	**	15.77	**	**
BANDEJA N°03	**	**	15.39	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.34	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.51	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°8-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	17.24	**	**
BANDEJA N°02	**	**	14.21	**	**
BANDEJA N°03	**	**	13.29	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.84	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.7	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°9-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	17.89	**	**
BANDEJA N°02	**	**	14.25	**	**
BANDEJA N°03	**	**	13.01	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.43	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.63	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°10-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	17.75	**	**
BANDEJA N°02	**	**	14.43	**	**
BANDEJA N°03	**	**	13.04	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.43	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.62	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°11-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	17.67	**	**
BANDEJA N°02	**	**	14.25	**	**
BANDEJA N°03	**	**	13.28	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.42	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.625	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°12-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	17.77	**	**
BANDEJA N°02	**	**	14.29	**	**
BANDEJA N°03	**	**	13.21	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.23	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.635	**	**
<b>PRUEBA DE FLOTACIÓN N°13-ZINC</b>					
BANDEJA N°01	**	**	17.39	**	**
BANDEJA N°02	**	**	14.26	**	**
BANDEJA N°03	**	**	13.08	**	**
BANDEJA N°04	**	**	11.62	**	**
BANDEJA N°05	**	**	0.635	**	**

CORPORACIÓN CMCZ

Jhon Nilson Santos Casallo  
Jefe de laboratorio Químico

CORPORACION CMCZ

Ing. Antonio Florencio Flores Colias  
C.I.P. 18.4375  
Gerente de Operaciones

Anexo N°9: Reporte de las leyes del Concentrado Bulk Cu-Pb de la Prueba de Flotación Optimizada-Corporación CMCZ S.A.C



LABORATORIO QUIMICO

CLIENTE	Grezzly Junior Urbina Rodriguez
ORDENADO POR	Ingeniero Antonio Flores
CANTIDAD DE MUESTRAS	05
ENSAYO	Analisis Químico
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA	Pruebas metalurgicas
FRECUENCIA	Diaria
PROCEDENCIA	Laboratorio Metalurgico
FECHA DE RECEPCIÓN	07/01/2022
FECHA DE REPORTE	09/01/2022

CODIGO O NOMBRE DE MUESTRA	Cu %	Pb %	Zn %	Ag oz/tc	Au g/t
PRUEBA DE FLOTACIÓN OPTIMIZADO					
BANDEJA N°01	22.47	18.68	14.34	18.95	29.49
BANDEJA N°02	19.86	16.49	11.98	16.49	27.37
BANDEJA N°03	19.37	15.25	9.12	15.23	26.89
BANDEJA N°04	14.89	12.43	5.43	13.92	23.76
BANDEJA N°05	0.17	0.1	0.97	0.55	1.54

CORPORACION CMCZ  
  
 Jhon Nilson Santos Castillo  
 Jefe de laboratorio Químico

CORPORACION CMCZ  
  
 Ing. Antonio Florencio Flores Collas  
 CIP 184375  
 Gerente de Operaciones

**Anexo N°10: Reporte de las leyes del Concentrado Bulk Cu-Pb por Diseño Factorial Fraccionado-SGS S.A.C**



**INFORME DE ENSAYOS  
N°MARZO2022.R20**

**Solicitante :** Grezzly Junior Urbina Rodriguez  
**Solicitado por :** Laboratorio Metalúrgico  
**Referencia :** Pruebas Metalúrgicas  
**Estado de la Muestra :** Se recibieron las muestras tipo minerales de concentrado bulk, Cu y Pb  
**Numero de Muestras :** 41  
**Fecha de Recepcion :** 04/03/2022  
**Fecha de Ensayo:** 04/03/2022 al 07/03/2022  
**Fecha de Reporte:** Lunes, 07/03/2022

Los resultados corresponden al ensayo solicitado en la(s) muestra(s)  
Los ensayos han sido realizados en:

SGS DEL PERU S.A.C  
Unidad Santander  
Pe.santander@sgs.com  
Teléfono: (01) 5171900

**HEVER DE LA CRUZ CAMAYO**  
Supervisor del laboratorio  
Lunes, 07 de Marzo 2022

Analito	Control	Descripción de Control
Cu	<4.00 %	Determinación de Cu por Absorción Atómica
Cu	>4.00 %	Determinación de Cu por Análisis Volumetrico
Pb	<10.00 %	Determinación de Pb por Absorción Atómica
Pb	>10.00 %	Determinación de Pb por Análisis Volumetrico
Zn	<10.00 %	Determinación de Zn por Absorción Atómica
Zn	>10.00 %	Determinación de Zn por Análisis Volumetrico
Ag	<5.00 Onz/Tc	Determinación de Ag por Absorción Atómica
Ag	>5.00 Onz/tc	Determinación de Ag por Ensayos al Fuego-gravimetría
Au	<4.00 g/tm	Determinación de Au por Absorción Atómica
Au	>4.00 g/tm	Determinación de Au por Ensayos al Fuego-gravimetría

Codigo de Muestra	Elementos				
	Cu %	Pb %	Zn %	Ag Onz/tc	Au g/tm
	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
	>4.00	>10.00	>10.00	>5.00	>4.00
Cabeza	1.27	1.02	1.43	1.51	2.98
Prueba de Flotacion N°01					
Bandeja N°01	19.56	16.75	19.77	17.28	28.10
Bandeja N°02	17.48	15.36	15.80	15.99	26.29
Bandeja N°03	16.52	14.81	16.05	14.93	25.78
Bandeja N°04	14.91	12.13	12.39	13.86	22.54
Bandeja N°05	0.21	0.09	0.49	0.51	1.42
Prueba de Flotacion N°02					
Bandeja N°01	19.62	15.20	17.67	15.51	33.38
Bandeja N°02	16.77	14.69	15.23	13.01	31.78
Bandeja N°03	15.34	13.29	14.59	13.39	28.41
Bandeja N°04	13.29	10.41	11.76	10.34	23.32
Bandeja N°05	0.15	0.10	0.51	0.59	1.05
Prueba de Flotacion N°03					
Bandeja N°01	19.43	14.10	18.05	16.61	25.31
Bandeja N°02	16.67	12.53	15.70	14.29	22.98
Bandeja N°03	15.98	11.38	14.95	13.11	21.23
Bandeja N°04	13.59	8.80	12.32	12.18	17.37
Bandeja N°05	0.18	0.23	0.47	0.55	1.67
Prueba de Flotacion N°04					
Bandeja N°01	21.69	16.69	18.74	18.48	32.88
Bandeja N°02	19.78	15.49	15.94	17.55	31.31
Bandeja N°03	18.63	14.35	14.56	16.12	28.76
Bandeja N°04	15.28	13.27	12.43	14.62	25.41
Bandeja N°05	0.12	0.11	0.56	0.45	1.28
Prueba de Flotacion N°05					
Bandeja N°01	20.10	17.91	15.52	19.02	36.26
Bandeja N°02	18.81	15.39	12.40	17.28	32.51
Bandeja N°03	18.16	14.75	11.33	15.75	31.29
Bandeja N°04	14.28	12.40	8.41	14.52	26.27
Bandeja N°05	0.26	0.16	0.82	0.52	1.37
Prueba de Flotacion N°06					
Bandeja N°01	22.12	17.01	16.58	17.67	38.12
Bandeja N°02	19.29	15.32	14.29	16.59	33.60
Bandeja N°03	18.01	13.69	13.78	15.38	31.18
Bandeja N°04	14.39	11.45	10.19	14.67	28.42
Bandeja N°05	0.16	0.16	0.72	0.51	1.14
Prueba de Flotacion N°07					
Bandeja N°01	20.49	16.63	16.36	16.91	30.62
Bandeja N°02	18.62	14.81	13.82	15.69	28.49
Bandeja N°03	18.36	13.89	12.23	14.68	25.57
Bandeja N°04	15.18	13.63	9.82	14.16	21.71
Bandeja N°05	0.21	0.13	0.76	0.57	1.56
Prueba de Flotacion N°08					
Bandeja N°01	21.34	17.41	13.71	18.62	35.18
Bandeja N°02	19.20	15.81	11.13	17.16	31.29
Bandeja N°03	18.31	14.62	10.26	16.23	30.31
Bandeja N°04	16.22	13.29	6.69	13.62	27.61
Bandeja N°05	0.12	0.08	0.92	0.51	1.23

**Anexo N°11:** Reporte de las leyes de Zn del Concentrado Bulk Cu-Pb por Diseño Octogonal-SGS S.A.C



**INFORME DE ENSAYOS  
N°MARZO2022.R21**

**Solicitante :** Grezly Junior Urbina Rodriguez  
**Solicitado por :** Laboratorio Metalúrgico  
**Referencia :** Pruebas Metalúrgicas  
**Estado de la Muestra :** Se recibieron las muestras tipo minerales de concentrado bulk,Cu y Pb  
**Numero de Muestras :** 65  
**Fecha de Recepcion :** 18/03/2022  
**Fecha de Ensayo:** 18/03/2022 al 21/03/2022  
**Fecha de Reporte:** Lunes, 21/03/2022

Los resultados corresponden al ensayo solicitado en la(s) muestra(s)  
Los ensayos han sido realizados en:

SGS DEL PERU S.A.C  
Unidad Santander  
Pe.santander@sgs.com  
Teléfono: (01) 5171900

**HEVER DE LA CRUZ CAMAYO**  
Supervisor del laboratorio  
Lunes, 21 de Marzo 2022

Analito	Control	Descripción de Control
Cu	<4.00 %	Determinación de Cu por Absorción Atómica
Cu	>4.00 %	Determinación de Cu por Análisis Volumetrico
Pb	<10.00 %	Determinación de Pb por Absorción Atómica
Pb	>10.00 %	Determinación de Pb por Análisis Volumetrico
Zn	<10.00 %	Determinación de Zn por Absorción Atómica
Zn	>10.00 %	Determinación de Zn por Análisis Volumetrico
Ag	<5.00 Onz/Tc	Determinación de Ag por Absorción Atómica
Ag	>5.00 Onz/tc	Determinación de Ag por Ensayos al Fuego-gravimetría
Au	<4.00 g/tm	Determinación de Au por Absorción Atómica
Au	>4.00 g/tm	Determinación de Au por Ensayos al Fuego-gravimetría

Codigo de Muestra	Elementos				
	Cu %	Pb %	Zn %	Ag Onz/tc	Au g/tm
	<0.02 >4.00	<0.02 >10.00	<0.02 >10.00	<0.02 >5.00	<0.02 >4.00
<b>Prueba de Flotacion Zinc N° 01</b>					
Bandeja N°01	--	--	19.39	--	--
Bandeja N°02	--	--	15.76	--	--
Bandeja N°03	--	--	15.71	--	--
Bandeja N°04	--	--	12.21	--	--
Bandeja N°05	--	--	0.52	--	--
<b>Prueba de Flotacion Zinc N° 02</b>					
Bandeja N°01	--	--	16.59	--	--
Bandeja N°02	--	--	13.51	--	--
Bandeja N°03	--	--	12.68	--	--
Bandeja N°04	--	--	10.36	--	--
Bandeja N°05	--	--	0.86	--	--
<b>Prueba de Flotacion Zinc N° 03</b>					
Bandeja N°01	--	--	17.28	--	--
Bandeja N°02	--	--	14.12	--	--
Bandeja N°03	--	--	13.05	--	--
Bandeja N°04	--	--	11.81	--	--
Bandeja N°05	--	--	0.59	--	--
<b>Prueba de Flotacion Zinc N° 04</b>					
Bandeja N°01	--	--	16.63	--	--
Bandeja N°02	--	--	13.72	--	--
Bandeja N°03	--	--	12.67	--	--
Bandeja N°04	--	--	9.29	--	--
Bandeja N°05	--	--	0.86	--	--
<b>Prueba de Flotacion Zinc N° 05</b>					
Bandeja N°01	--	--	17.29	--	--
Bandeja N°02	--	--	14.01	--	--
Bandeja N°03	--	--	13.12	--	--
Bandeja N°04	--	--	11.71	--	--
Bandeja N°05	--	--	0.67	--	--
<b>Prueba de Flotacion Zinc N° 06</b>					
Bandeja N°01	--	--	16.60	--	--
Bandeja N°02	--	--	13.42	--	--
Bandeja N°03	--	--	12.71	--	--
Bandeja N°04	--	--	9.23	--	--
Bandeja N°05	--	--	0.86	--	--
<b>Prueba de Flotacion Zinc N° 07</b>					
Bandeja N°01	--	--	19.01	--	--
Bandeja N°02	--	--	15.59	--	--
Bandeja N°03	--	--	15.25	--	--
Bandeja N°04	--	--	11.38	--	--
Bandeja N°05	--	--	0.51	--	--
<b>Prueba de Flotacion Zinc N° 08</b>					
Bandeja N°01	--	--	17.27	--	--
Bandeja N°02	--	--	14.21	--	--
Bandeja N°03	--	--	13.31	--	--
Bandeja N°04	--	--	11.69	--	--
Bandeja N°05	--	--	0.73	--	--



**Anexo N°12:** Reporte de las leyes del Concentrado Bulk Cu-Pb de la Prueba de Flotación Optimizada -SGS S.A.C



**INFORME DE ENSAYOS  
N° ABRIL2022.R22**

**Solicitante :** Grezly Junior Urbina Rodriguez  
**Solicitado por :** Laboratorio Metalúrgico  
**Referencia :** Pruebas Metalúrgicas  
**Estado de la Muestra :** Se recibieron las muestras tipo minerales de concentrado bulk, Cu y Pb  
**Numero de Muestras :** 5  
**Fecha de Recepción :** 08/04/2022  
**Fecha de Ensayo:** 08/04/2022 al 11/04/2022  
**Fecha de Reporte:** Lunes, 11/04/2022

Los resultados corresponden al ensayo solicitado en la(s) muestra(s)  
Los ensayos han sido realizados en:

SGS DEL PERU S.A.C  
Unidad Santander  
Pe.santander@sgs.com  
Teléfono: (01) 5171900

**HEVER DE LA CRUZ CAMAYO**  
Supervisor del laboratorio  
Lunes, 11 de Abril 2022

Analito	Control	Descripción de Control
Cu	<4.00 %	Determinación de Cu por Absorción Atómica
Cu	>4.00 %	Determinación de Cu por Análisis Volumétrico
Pb	<10.00 %	Determinación de Pb por Absorción Atómica
Pb	>10.00 %	Determinación de Pb por Análisis Volumétrico
Zn	<10.00 %	Determinación de Zn por Absorción Atómica
Zn	>10.00 %	Determinación de Zn por Análisis Volumétrico
Ag	<5.00 Onz/Tc	Determinación de Ag por Absorción Atómica
Ag	>5.00 Onz/tc	Determinación de Ag por Ensayos al Fuego-gravimetría
Au	<4.00 g/tm	Determinación de Au por Absorción Atómica
Au	>4.00 g/tm	Determinación de Au por Ensayos al Fuego-gravimetría





**Anexo N°13: Balance Metalúrgico Real de la Campaña del mineral de la empresa MWC San Vicente S.A.C**

BALANCE METALÚRGICO REAL DE LA CAMPAÑA DEL MINERAL DE LA EMPRESA MWC SAN VICENTE S.A.C													
Componentes	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
			Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
			%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	554.12	100.00	1.25	1.01	1.46	1.44	2.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	32.20	5.81	16.78	14.92	16.01	15.56	26.02	79.31	87.62	64.23	62.34	50.40	17.21
Relave	521.92	94.19	0.27	0.13	0.55	0.58	1.58	20.69	12.38	35.77	37.66	49.60	
Cabeza Calculada			1.23	0.99	1.45	1.45	3.00						

**Anexo N°14: Balance Metalúrgico de la Prueba de Flotación Optimizado del mineral de la empresa MWC San Vicente S.A.C**

BALANCE METALURGICO OPTIMIZADO DEL MINERAL DE LA EMPRESA MWC SAN VICENTE S.A.C														
Componentes	Peso(g)	Peso(TMS)	Peso(%)	Leyes					Distribución(%)					Ratio
				Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	
				%	%	%	oz/tc	g/TM						
Alimentación	1000.00	0.001	100.00	1.26	0.99	1.45	1.45	3.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Conc.Bulk Cu-Pb	59.14	0.00005914	5.91	18.25	15.00	9.19	15.61	26.21	87.10	90.41	37.34	64.08	51.69	16.91
Relave	940.86	0.00094086	94.09	0.17	0.10	0.97	0.55	1.54	12.90	9.59	62.66	35.92	48.31	
Cabeza Calculada				1.24	0.98	1.46	1.44	3.00						

## Anexo N°15: Valorización del Concentrado Cu-Pb antes de optimizar

VALORIZACION ANTES DE OPTIMIZAR								
VENDEDOR:	URBINA RODRIGUEZ GREZZLY JUNIOR			FECHA:	4/07/2022			
RUC:	10700142162			PROVISIONAL:				
DIRECCION:	PLANTA CONCENTRADORA CENTENARIO HUARAL-LIMA							
N° CONTRATO:								
PRODUCTO:	CONCENTRADO DE CU							
CUOTA:								
PESOS:	HUMEDO:	35.390 TMH						
	H2O:	9.00000 %						
	SECO:	32.205 TMS						
PRECIOS:	PROMEDIO MES DE JUNIO							
	COBRE LME:	9,033.130 US\$/TM						
	PLATA LBMA SPOT:	21.4900 US\$/OZ						
	ORO LBMA AM/PM:	1,834.580 US\$/OZ						
LEYES:	CU:	16.320 %						
	AG:	533.480 G/TM						
	AU:	25.890 G/TM						
	PB:	14.500 %						
	ZN:	15.890 %						
PAGABLES:	ELEMENTO	LEY	MINIMO	% D.M.	% PAGABLE	LEY PAGABLE	PRECIO	US\$/TM
	CU:	16.320 %		1.10	96.50	15.2200 %	9,033.13 US\$/TM	1,374.84
	AG:	533.480 G/TM	30.00 G/TM		90.00	15.4366 OZ/TM	21.49 US\$/OZ	331.73
	AU:	25.890 G/TM	1.00 G/TM		90.00	0.7492 OZ/TM	1,834.58 US\$/OZ	1,374.47
								3,081.04
DEDUCCIONES	MAQUILA:							220.00
	ELEMENTO	C.R				LEY PAGABLE		
	CU:	0.1000 USD/LB				335.5432 LB/TM		33.55
	AG:	0.600 USD/OZ				15.4366 OZ/TM		9.26
	AU:	6.500 USD/OZ				0.7492 OZ/TM		4.87
	ELEMENTO	LEY	LIBRE	PENALIDAD		POR CADA		
	PB:	14.500 %	6.000 %	2.50 US\$/MT		1.00 %		21.250000
	ZN:	15.8900 %	8.000 %	2.50 US\$/MT		1.00 %		19.725000
								308.66
	MERMA:	0.30 %	2,772.39					8.32
						US\$ POR TMS:		2,764.07
						EN	32.205 TMS	
	FACTURACION A EMITIR:					SUBTOTAL:		USD 89,016.87
						IGV:		USD 16,023.04
						TOTAL:		<b>USD 105,039.91</b>

## Anexo N°16: Valorización del Concentrado Cu-Pb después de optimizar

VALORIZACION OPTIMIZADO								
VENDEDOR:	URBINA RODRIGUEZ GREZZLY JUNIOR			FECHA:	4/07/2022			
RUC:	10700142162			PROVISIONAL:				
DIRECCION:	PLANTA CONCENTRADORA CENTENARIO HUARAL-LIMA							
N° CONTRATO:								
PRODUCTO:	CONCENTRADO DE CU							
CUOTA:								
PESOS:	HUMEDO:	35.390 TMH						
	H2O:	9,00000 %						
	SECO:	32.205 TMS						
PRECIOS:	PROMEDIO MES DE JUNIO							
	COBRE LME:	9,033.130 US\$/TM						
	PLATA LBMA SPOT:	21.4900 US\$/OZ						
	ORO LBMA AM/PM:	1,834.580 US\$/OZ						
LEYES:	CU:	18.250 %						
	AG:	535.190 G/TM						
	AU:	26.210 G/TM						
	PB:	15.000 %						
	ZN:	9.190 %						
PAGABLES:	ELEMENTO	LEY	MINIMO	% D.M.	% PAGABLE	LEY PAGABLE	PRECIO	US\$/TM
	CU:	18.250 %		1.10	96.50	17.1500 %	9,033.13 US\$/TM	1,549.18
	AG:	535.190 G/TM	30.00	G/TM	90.00	15.4860 OZ/TM	21.49 US\$/OZ	332.79
	AU:	26.210 G/TM	1.00	G/TM	90.00	0.7584 OZ/TM	1,834.58 US\$/OZ	1,391.35
								3,273.32
DEDUCCIONES	MAQUILA:							220.00
	ELEMENTO	C.R				LEY PAGABLE		
	CU:	0.1000 USD/LB				378.0923 LB/TM		37.81
	AG:	0.600 USD/OZ				15.4860 OZ/TM		9.29
	AU:	6.500 USD/OZ				0.7584 OZ/TM		4.93
	ELEMENTO	LEY	LIBRE	PENALIDAD		POR CADA		
	PB:	15.000 %	6.000 %	2.50 US\$/MT		1.00 %		22.500000
	ZN:	9.1900 %	8.000 %	2.50 US\$/MT		1.00 %		2,975.000
								297.51
	MERMA:	0.30 %	2,975.82					8.93
						US\$ POR TMS:		2,966.89
						EN	32.205 TMS	
FACTURACION A EMITIR:						SUBTOTAL:		USD 95,548.69
						IGV:		USD 17,198.76
						TOTAL:		<b>USD 112,747.45</b>