

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA DE POST GRADO



**“FLOTACIÓN DE LA SÍLICE DENTRO DEL LMP DE pH A NIVEL
LABORATORIO PARA PREVENIR EL IMPACTO AMBIENTAL EN
LA COMUNIDAD CAMPESINA DE SAN JUAN JARAPAMPA –
PASCO – 2015”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN
MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TESISTA

Mg. ANTONIO FLORENCIO BLAS ARAUCO

ASESOR

Dr. ÍTALO W. ALEJOS PATIÑO

HUÁNUCO – PERÚ

2015

DEDICATORIA

A mi madre Ernestina Arauco Lermo vda. de Blas, que, con la culminación del presente trabajo de investigación, reduce la constante preocupación por todo lo que le ocurre a su hijo y por enseñarme a valorar mejor el tiempo y a la memoria de mi padre Cantediano Blas Salazar, de la quien en vida fue un padre ejemplar para su hijo.

A mis amigos y amigas, porque ellos saben del apoyo prestado para la ejecución de la presente tesis.

AGRADECIMIENTO

La culminación de la presente tesis, fue producto del largo tiempo de trabajo, estudio y esfuerzo fue muy difícil lograrlo, gracias al apoyo y estímulo de muchas personas del entorno personal y familiar se hizo realidad.

Un especial agradecimiento a todos los docentes de la escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Ermilio Valdizán, por su alto espíritu de asesoría, enseñanza y comprensión, con los doctorandos en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

A todos los profesionales responsables del Gabinete de Metalurgia y Absorción Atómica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por haberme permitido el uso de las instalaciones del gabinete mencionado para las corridas experimentales y por sus acertadas colaboraciones y consejos en la culminación del presente trabajo de investigación. Además debo agradecer infinitamente al Ing. Zenteno Cuba Ciro, jefe de laboratorio y Presidente de acreditación universitaria de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales de la UNCP, por los análisis químicos realizados a las principales muestras de sílice.

Cuando, se trata de amigos, no puedo dejar de mencionar a mis amigos y amigas de la vida, ellos que me acompañan hace muchos años, y estoy seguro que lo seguirán haciendo por muchos años más.

Por todo ello sólo me queda decir a las personas que he mencionado, y otras que se quedaron en el tintero, que me disculpen, muchas gracias y mis mejores deseos para todos ustedes.

“Si lo quieres hacer, lo difícil se hace fácil. Si no lo quieres hacer, lo fácil se hace difícil”

MonjesShaolin

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue la flotación inversa de la sílice dentro del límite máximo permisible (LMP) de pH de las normas nacionales e internacionales para la prevención del impacto ambiental del ecosistema de la comunidad campesina, para lo cual se usó definiciones experimentales de flotación directa de minerales polimetálicos, que sirvieron para la selección de los factores experimentales para el procesamiento de la sílice por el método de flotación inversa, para ella se usó los métodos experimentales, que consistió en la percepción directa del proceso de investigación en el laboratorio manipulando intencionalmente a todos los factores activos controlables, todo este procedimiento se hicieron mediante el diseño factorial fraccionado y finalmente mediante el diseño compuesto central (DCC) en este caso se formuló mediante los factores más significativos del proceso, sulfato de cobre y metil isobutil carbinol (MIBC), ensayos cumplidos en un pH de la pulpa de 7,61; obteniendo buenos resultados, tabla 20; ley máxima de sílice al 98% y una recuperación del 94% de sílice en las corridas 1 y 2; son confirmadas mediante las imágenes del 26 al 29; además analizados los mejores ANOVA (análisis de varianza), tablas 22 y 26; los valores de Fisher (F) calculados son mayores a los valores de probabilidad (P); del mismo modo los valores de F calculados son mayores a los F críticos (7,709), por lo tanto, no se corre ningún riesgo de rechazar contundentemente a la hipótesis nula (H_0) y se acepta a la hipótesis alterna (H_a) para el 5% de nivel de significancia estadística.

Palabras claves: Factores; diseño experimental; flotación inversa y ANOVA.

SUMMARY

The purpose of this investigation was the inverse floating of the silica inside the maximum permissible limit (LMP) of pH of the national and international standards for the prevention of the environmental impact of the ecosystem of the rural community, for which experimental definitions of direct floating of poly-metallic minerals were used, that they were useful for the selection of the experimental factors for the processing of the silica by the method of inverse floating, for her used the experimental methods itself, that it consisted in the direct perception of the fact-finding process in the laboratory manipulating all the active controllable factors intentionally, all this procedure himself They made by means of the factorial fractioned and finally intervening design the compound central design (DCC) in this case it was formulated by means of the most significant factors of the process, sulfate of copper and metil isobutil carbinol (MIBC), essays kept in a pH of the pulp of 7.61; Having a good run for one's money, board 20; Maximum law of silica to the 98 % and a recuperation of 94 % of silica in the races 1 and 2; They are confirmed by means of the 26 images to 29; Besides analyzed the best ANOVA (analysis of variance), tie 22 and 26; The values of Fisher (F) calculated are major to the values of probability (P); In the same way the values of F calculated are elders to them F critical (7.709), therefore, no risk of refusing the null hypothesis bluntly does not spread (Ho) and he accepts the alternating hypothesis (There Is) for 5 % of level of significancy statistical.

Key words: Factor; Experimental designe; Inverse floating and ANOVA.

INTRODUCCIÓN

La sílice es un recurso altamente estratégico y novedoso, porque, es un producto requerido para comercializar y exportar, que debe ser puesto en la mira del sector empresarial, debido a sus innumerables usos en sectores clave de la economía como, la construcción y la industria; que puede generar empleo, siendo estrategia esencial para el crecimiento económico de los pobladores y de la región; convertirse en el futuro en el aleado de la economía nacional, tal como ocurre con otros recursos naturales: petróleo, minerales polimetálicos y otros. Por lo tanto, la minería e industria de las sustancias no metálicas en el Perú ofrece muchas oportunidades de negocios para los inversionistas. Los costos de preparación son relativamente bajos, pero la inversión requerida muchas veces es considerable, ya que las plantas de beneficio no deben bajar de un tamaño mínimo.

La existencia de una extensión inmensa de cuarzo en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa, se presenta una oportunidad de negocio, para lo cual es necesario el procesamiento para cumplir con los requisitos mínimos y la exigencia de las características óptimas de pureza en el mercado competitivo.

La calidad de la arena silíceo explotada debe tener una pureza del 95,00% como mínimo de SiO_2 (dióxido silicio) lo cual lo hace más apetecible en cualquier mercado, la materia prima de la zona tiene una pureza muy variada, entonces no es comercializable, por lo tanto, es necesario el tratamiento metalúrgico mediante el proceso de flotación inversa.

Cabe mencionar, no existe una teoría específica o directa de procesamiento de la sílice mediante el método de método de flotación inversa,

solamente existen tratamientos de minerales polimetálicos y no metálicos mediante la flotación directa, materia de investigación científica.

El proceso de la flotación inversa de la sílice, se realiza haciendo uso de diseños experimentales, que permite la explotación económica del yacimiento de baja ley. En este contexto, los reactivos de flotación juegan un rol importante en el proceso de purificación, los cuales al ser alimentados al circuito de flotación cumplen determinadas funciones específicas que hacen posible la separación de los minerales valiosos de la ganga. Sin embargo, la elección de reactivos no es una tarea fácil, debido a una serie de dificultades técnicas que se presentan durante la flotación inversa, procesamiento no muy utilizado en la minería. Además, los reactivos de flotación tales como los promotores, espumantes y modificadores, en la mayoría de los casos son evaluados y sintetizados en el laboratorio por el doctorando.

En este tratamiento se utiliza maquinaria muy variada de Marca Denver y VYMSA del Gabinete de Metalurgia y Absorción Atómica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión: pulverizadoras, cuarteador, balanza, mallas, molino de bolas, celdas de flotación, etc.

Finalmente, encontrado el mejor tratamiento ganador mediante el diseño factorial fraccionado de flotación inversa, se efectúa las interpretaciones o análisis de los resultados, mediante la técnica estadística haciendo uso de un software estadístico más apropiado en el campo de la ingeniería.

A continuación, se efectúa el experimento final de confirmación y mejoramiento utilizando el Diseño Central Compuesto (DCC), ampliamente usado para construir modelos de superficie respuesta de segundo orden o modelo matemático de segundo orden. Una vez obtenido el mejor ANOVA, los datos obtenidos son analizados e interpretados estadísticamente, observando

especialmente la primera y última columna de la Tabla de ANOVA, según ella, los valores del P de Pareto de los factores e interacciones es menor al 5% de nivel de significancia, por lo tanto, la H_0 es rechazada contundentemente.

Cumplida con las acciones, se obtiene como resultado final el pH del tratamiento óptimo del mineral acorde a los límites máximos permisibles (LMP) o estándares de calidad ambiental (ECA); factor importante que permite la prevención de la contaminación del medio ambiente; siendo la pureza final del sílice de 98% y 94% de recuperación de las misma.

Además, la teoría indica que un experimento en pequeña escala (laboratorio), proporciona una información valiosa para diseñar un programa de mercadotecnia a mediana o gran escala.

En consecuencia, habiendo controlado el pH dentro del límite máximo permisible (LMP), 7,61; el impacto en la calidad del agua, suelo y aire por los relaves es menor o insignificante; este impacto incluye la contaminación del agua subterránea y en las aguas superficiales que reciben sus descargas, no pueden causar serios efectos en la salud de las personas, animales y vegetales del centro poblado, por lo tanto, no hay perturbaciones del medio ambiente.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IV
SUMMARY	V
INTRODUCCIÓN	VI
CAPÍTULO I	17
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2. ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA	18
1.3. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA EFLUENTES LÍQUIDOS MINERO- METALÚRGICOS.....	18
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.4.1. <i>Formulaciones de los problemas:</i>	19
1.5. LOS OBJETIVOS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN	20
1.5.1. <i>Formulaciones de los objetivos</i>	21
1.6. LAS HIPÓTESIS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN	22
1.6.1. <i>Formulación de la hipótesis general.</i>	22
1.6.2. <i>Formulación de las hipótesis específicas.</i>	22
1.7. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y FACTORES DE INVESTIGACIÓN	23
1.7.1. <i>Variable independiente o regresora:</i>	23
1.7.2. <i>Variable dependiente o respuesta</i>	24
1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	24
1.9. VIABILIDAD DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.....	25
1.10. LIMITACIONES	26
1.10.1. <i>Limitaciones del investigador:</i>	26
1.10.2. <i>Limitaciones de la investigación</i>	27
1.11. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.11.1. <i>Delimitación espacial.</i>	28
1.11.2. <i>Delimitación temporal.</i>	28
1.11.3. <i>Delimitación teórica o temática</i>	28
1.12. FINALIDAD FUNDAMENTAL DE LA TESIS	29
CAPÍTULO II	31
MARCO TEÓRICO	31
2.1. ANTECEDENTES	31
2.2. BASES TEÓRICAS	32
2.2.1. <i>Calidad de la demanda</i>	33
2.2.2. <i>Usos del cuarzo</i>	33
2.2.3. <i>Silicio orgánico en la alimentación humana</i>	35

2.3.	NEUMOCONIOSIS POR SÍLICE (SILICOSIS).....	36
2.3.1.	<i>Generalidades</i>	36
2.3.2.	<i>Los síntomas de la silicosis son</i>	37
2.3.3.	<i>Complicaciones</i>	37
2.3.4.	<i>Prevención</i>	37
2.3.5.	<i>Primeros auxilios</i>	38
2.4.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	38
2.5.	MÉTODOS.....	41
2.5.1.	<i>Método teórico</i>	41
2.5.2.	<i>Método experimental científico</i>	42
2.5.3.	<i>Método de la observación científica</i>	43
2.5.4.	<i>Método estadístico</i>	44
2.6.	PRODUCTOS QUÍMICOS USADOS.....	44
2.7.	FUNDAMENTOS DE PRUEBAS DE HIPÓTESIS.....	44
2.7.1.	<i>Clases de hipótesis</i>	44
2.7.2.	<i>Criterios de rechazo o aceptación de la H_0</i>	46
2.8.	CONCEPTOS ESTADÍSTICOS BÁSICOS.....	47
2.9.	INFORMES SOBRE ENSAYOS.....	47
	CAPÍTULO III.....	48
	MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1.	MATERIALES.....	48
3.1.1.	<i>Ubicación de la Comunidad Campesina</i>	48
3.1.2.	<i>Vías de comunicación</i>	48
3.1.3.	<i>Línea base ambiental de la Comunidad</i>	48
3.1.4.	<i>Mapeo Geológico</i>	50
3.1.5.	<i>Potencial Geológico Minero</i>	50
3.2.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	51
3.2.1.	<i>Investigación Aplicada</i>	51
3.2.2.	<i>Investigación tecnológica</i>	51
3.3.	VALIDEZ DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
3.4.	DISEÑO Y ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN.....	52
3.4.1.	<i>Diseño factorial Plackett-Burman</i>	52
3.4.2.	<i>Diseño factorial fraccionado</i>	52
3.4.3.	<i>Esquema de investigación cuantitativa</i>	53
3.5.1.	<i>Muestreo</i>	54
3.5.2.	<i>Objetivo y ventajas del muestreo</i>	55
3.5.3.	<i>Método de muestreo usado en la investigación</i>	56
3.5.4.	<i>Muestreo de la sílice</i>	56
3.6.	ANÁLISIS FISCOQUÍMICO.....	58
3.6.1.	<i>Análisis físico de las muestras o unidades experimentales</i>	59
3.6.2.	<i>Preparación de la muestra</i>	60
3.6.3.	<i>Análisis químico</i>	60
3.7.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS CUANTITATIVOS Y VALIDACIÓN.....	60
3.7.1.	<i>Instrumentos</i>	60

3.7.2.	<i>Descripción de los principales equipos usados en la flotación inversa de sílice</i>	61
3.7.3.	<i>Validación o requisitos de los instrumentos de medición</i>	63
3.7.4.	<i>Características de los factores de medición</i>	65
3.8.	TÉCNICAS DE RECOJO, PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS	67
3.8.1.	<i>Técnicas de recojo de datos</i>	67
3.8.2.	<i>Técnicas de procesamiento y presentación de datos:</i>	69
3.9.	REACTIVOS DE FLOTACIÓN	70
3.9.1.	<i>Colectores</i>	70
3.9.2.	<i>Espumantes</i>	70
3.9.3.	<i>Modificadores</i>	71
3.10.	DISEÑO EXPERIMENTAL ACTIVA.....	71
3.11.	EXPERIMENTACIÓN PASIVA.....	72
3.12.	TIPOS DE FACTORES.....	72
3.13.	DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES EXPERIMENTALES DEL PROCESO	72
3.14.	DISEÑOS FACTORIALES	74
3.14.1.	<i>Ventajas de los diseños factoriales</i>	76
3.14.2.	<i>Análisis del diseño factorial</i>	76
3.14.3.	<i>Análisis de significancia</i>	76
3.14.4.	<i>Modelos matemáticos empíricos</i>	77
3.15.	<i>Conclusiones</i>	77
CAPÍTULO IV		78
RESULTADOS		78
2.10.	CORRIDAS O PRUEBAS EXPERIMENTALES PRE EXPERIMENTAL	78
2.11.	CONSIDERACIONES FINALES PARA EL PROCESAMIENTO CORRECTO DE FLOTACIÓN INVERSA	79
2.12.	CONSTRUCCIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO.....	80
2.13.	CORRIDAS O PRUEBAS EXPERIMENTALES	81
2.14.	CRITERIOS DE ELIMINACIÓN DE LOS EFECTOS O INTERACCIONES MENOS SIGNIFICATIVOS DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN DE LA SÍLICE	83
2.14.1.	<i>Análisis estadístico de los datos</i>	84
2.14.2.	<i>Análisis de la varianza del proceso inicial (ANOVA)</i>	85
2.14.3.	<i>Modelo matemático de primer orden</i>	86
2.14.4.	<i>Figura de superficie respuesta</i>	87
2.15.	DISEÑO COMPUESTO CENTRAL (DCC)	87
2.15.1.	<i>Figuras de los resultados</i>	90
2.15.2.	<i>Presentación física de los ensayos y resultados</i>	90
2.16.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS EN FUNCIÓN A LA LEY DE SÍLICE 91	
2.16.1.	<i>Interpretaciones de los efectos:</i>	92
2.16.2.	<i>Determinación de condiciones óptimas del proceso en función a la ley de sílice</i>	96
2.17.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS EN FUNCIÓN A LA RECUPERACIÓN DE SÍLICE	97

2.17.1. Interpretaciones de los efectos:	98
2.17.2. Determinación de condiciones óptimas en función a la recuperación de la sílice.....	101
2.18. DIAGRAMA DE FLUJO FINAL DEL PROCESAMIENTO DE LA SÍLICE	102
2.19. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	102
2.20. BALANCE METALÚRGICO	105
2.21. PRUEBAS DE HIPÓTESIS EXPERIMENTALES	106
2.21.1. Prueba de hipótesis de trabajo.....	106
2.21.2. Pruebas de hipótesis estadísticos.....	108
2.21.3. Prueba de hipótesis gráficamente.....	110
2.21.4. Prueba con distribución de frecuencias.....	111
CAPITULO V	114
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	114
5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO CON LOS REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS DE LAS BASES TEÓRICAS.....	114
5.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL EN BASE A LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	116
5.3. APORTE CIENTÍFICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	117
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	120
ANEXOS.....	122
ANEXO N ^o 1	123
ANEXO N ^o 2.....	127
ANEXO N ^o 3.....	131
ANEXO N ^o 4.....	132
ANEXO N ^o 5.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: PARETO ESTANDARIZADO INICIAL PARA LA LEY DE SÍLICE	82
FIGURA 2: PROBABILIDAD NORMAL PARA LEY DE SÍLICE.....	82
FIGURA 3: ELIMINACIÓN DE FACTORES O INTERACCIONES CONFUNDIDOS	83
FIGURA 4: PARETO ESTANDARIZADO FINAL PARA LA LEY DE SÍLICE	84
FIGURA 5: EFECTOS PRINCIPALES PARA LA LEY DE SÍLICE.....	84
FIGURA 6: SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA	87
FIGURA 7: ANÁLISIS MULTIVARIADO DE RESULTADOS EN FUNCIÓN AL SULFATO DE COBRE	90
FIGURA 8: ANÁLISIS MULTIVARIADO DE RESULTADOS EN FUNCIÓN AL MIBC	90
FIGURA 9: GRÁFICO DE PARETO	91
FIGURA 10: EFECTOS PRINCIPALES PARA LA LEY DE SÍLICE	92
FIGURA 11: GRÁFICO DE INTERACCIÓN PARA LEY DE SÍLICE	92
FIGURA 12: ANÁLISIS GRÁFICO ESPACIAL DE RESPUESTA PARA LEY DE SÍLICE	96
FIGURA 13: CONTORNOS DE LA SUPERFICIE DE LA RESPUESTA ESTIMADA.....	96
FIGURA 14: GRÁFICO DE PARETO.....	97
FIGURA 15: EFECTOS PRINCIPALES PARA LA RECUPERACIÓN DE SÍLICE	97
FIGURA 16: GRÁFICA DE INTERACCIÓN PARA RECUPERACIÓN DE SÍLICE.....	98
FIGURA 17: SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA DE LA RECUPERACIÓN DE SÍLICE	101
FIGURA 18: GRÁFICO DE F DE FISHER	110
FIGURA 19: LÍMITES DE TOLERANCIA NORMAL.....	111
FIGURA 20: HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LA LEY DE SÍLICE	112
FIGURA 21: HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DE LA RECUPERACIÓN DE SÍLICE	112

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA Y ESTABLECEN DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS	19
TABLA 2: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS	19
TABLA 3: PH DE FLOTACIÓN DE ÓXIDOS Y SILICATOS.....	32
TABLA 4: PUNTOS DE LA TOMA DE MUESTRAS.....	58
TABLA 5: PUNTOS ADICIONALES PARA CURVAS DE NIVEL	58
TABLA 6: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS MUESTRAS	59
TABLA 7: ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS	60
TABLA 8:: FACTORES Y ESCALAS DE MEDICIÓN	65
TABLA 9: CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTIVOS DE FLOTACIÓN (FACTORES) EXPERIMENTALES.....	75
TABLA 10: FACTORES PARA EL DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO	79
TABLA 11: DISEÑO FACTORIAL FRACCIONADO.....	81
TABLA 12: RESULTADO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL FRACCIONADO	81
TABLA 13: EFECTOS ESTIMADOS INICIAL PARA LEY DE SÍLICE (%)	82
TABLA 14: ANOVA INICIAL DEL PROCESO.....	83
TABLA 15: EFECTOS ESTIMADOS FINAL PARA LEY DE SÍLICE (%)	84
TABLA 16: ANOVA RESULTANTE DESPUÉS DE HABER ELIMINADO FACTORES CONFUNDIDOS.....	84
TABLA 17: VALORES ÓPTIMOS.....	88
TABLA 18: FACTORES MÁS SIGNIFICATIVOS PARA EL DISEÑO DE DCC.....	88
TABLA 19: DISEÑO COMPUESTO CENTRAL.....	89
TABLA 20: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL DCC	89
TABLA 21: EFECTOS ESTIMADOS PARA LEY DE SÍLICE.....	91
TABLA 22: ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LEY DE SÍLICE (%) – PURIFICACIÓN DE LA SÍLICE FINAL	92
TABLA 23: COEFICIENTE DE REGRESIÓN PARA LEY DE SÍLICE	95
TABLA 24: RESPUESTA OPTIMIZADA META: MAXIMIZAR LEY DE SÍLICE, VALOR ÓPTIMO 98,8352.....	96
TABLA 25: EFECTOS ESTIMADOS PARA LA RECUPERACIÓN DE SÍLICE (%).....	97
TABLA 26: ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LA RECUPERACIÓN FINAL DE SÍLICE (%)..	98
TABLA 27: COEFICIENTE DE REGRESIÓN PARA RECUPERACIÓN DE SÍLICE	100
TABLA 28: RESPUESTA OPTIMIZADA META: MAXIMIZAR LA RECUPERACIÓN DE SÍLICE	101
TABLA 29: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA SÍLICE PURIFICADA.....	104
TABLA 30: ANÁLISIS DE LA SÍLICE PURIFICADA	105

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1: PLANO SATELITAL DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE SAN JUAN JARAPAMPA	123
IMAGEN 2: EXPLORACIÓN VISUAL DE LA CANTERA DE SÍLICE.....	123
IMAGEN 3: EXPLORACIÓN VISUAL DE LA CANTERA DE SÍLICE.....	124
IMAGEN 4: EXPLORACIÓN VISUAL DE LA CANTERA DE SÍLICE.....	124
IMAGEN 5: EXPLORACIÓN VISUAL DE LA CANTERA DE SÍLICE.....	124
IMAGEN 6: ROQUEDAL	125
IMAGEN 7: PAJONAL.....	125
IMAGEN 8: PRESENCIA DE ASNOS.....	125
IMAGEN 9: PRESENCIA DE VACUNOS.....	126
IMAGEN 10: PRESENCIA DE OVINOS	126
IMAGEN 11: COLORES APROXIMADOS DE LAS MUESTRAS SEGÚN CARTA DE COLORES RAL	131
IMAGEN 12: RESULTADO DE LA MEZCLA DE MUESTRAS NO MOLIDA	131
IMAGEN 13: RESULTADO DE LA MEZCLA DE MUESTRAS MOLIDAS	131
IMAGEN 14: BALANZA ELÉCTRICA PARA PESAR REACTIVOS	132
IMAGEN 15: AGITADOR MAGNÉTICO PARA DISOLUCIÓN DE LOS REACTIVOS	132
IMAGEN 16: CUARTEADOR ESTÁTICO JONES PARA HOMOGENIZADOR DE MUESTRAS DE SÍLICE.....	132
IMAGEN 17: MOLINO DE BOLAS.....	133
IMAGEN 18 :POTENCIÓMETRO ADWA AD 12.....	133
IMAGEN 19: EQUIPO DE FLOTACIÓN DEVER Y VYMSA	133
IMAGEN 20: ESTEOSCOPIO DE SÓLIDOS.....	133
IMAGEN 21: VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DEL INSTRUMENTO DE FLOTACIÓN	134
IMAGEN 22: CONTROL DEL PH DE LA PRIMERA FLOTACIÓN	135
IMAGEN 23: SE OBSERVA LA FLOTACIÓN DE RELAVES.....	135
IMAGEN 24: CONTAMINANTE FLOTADO EN LA CORRIDA 7.....	136
IMAGEN 25:: RESULTADO DE LA CORRIDA 7, LEY DE SÍLICE 95%.....	136
IMAGEN 26: CONTROL DE PH DE LA PULPA.....	136
IMAGEN 27: FLOTACIÓN DE PRIMERA LIMPIEZA DEL ENSAYO 1	137
IMAGEN 28: SÍLICE CON UNA PUREZA DEL 98% EN LA CORRIDA 1.....	137
IMAGEN 29: RELAVE FLOTADO.....	137

ÍNDICE DE ESQUEMAS

ESQUEMA 1: MAPA CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y FACTORES DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	24
ESQUEMA 2: ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA.....	54
ESQUEMA 3: DISEÑO EXPERIMENTAL DEL PROCESO.....	78
ESQUEMA 4; DIAGRAMA DE FLUJO FINAL (DCC) DEL PROCESAMIENTO DE SÍLICE	103
ESQUEMA 5: ESQUEMA DE BALANCE METALÚRGICO	105

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del Problema.

La sílice (SiO_2), es una sustancia abundante en la naturaleza y tiene un amplio rango de aplicaciones en la industria.

La existencia de una extensión inmensa de cuarzo en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa, este material no metálico no puede ser explotado, comercializada ni industrializado en su forma natural, para ello se necesita el tratamiento metalúrgico y dar el valor agregado respectivo. Cuya comercialización beneficiará al desarrollo de la comunidad mencionada. Para cumplir esta meta se desarrolló el trabajo de investigación mediante la flotación inversa por espumas para obtener un producto de calidad a menor costo.

La importancia del problema, en la actualidad, se presenta una oportunidad de negocio en la rama del cuarzo, para ello es necesario el tratamiento para cumplir con los requisitos mínimos y la exigencia de las características óptimas del mercado competitivo, en la actualidad no contamos con plantas de tratamiento del cuarzo, para obtener sílice de alta pureza o calidad.

Prácticamente no hay minerales industriales que se pueden comercializar tal cual salen de la mina. Los sistemas de tratamiento más habituales se refieren al tamaño de grano, a la pureza del mineral y al grado de humedad final que precisa el producto; otro grupo de tratamiento se refiere a la pureza del mineral, es frecuente que la sustancia objeto de la explotación vaya acompañada en origen por

o tras sustancias contaminantes que deben ser separados, estas sustancias pueden ser aprovechadas como subproducto o ir a la escombrera como materia estéril.

Los tratamientos de este tipo son variados; desde lavados simples hasta métodos fisicoquímicos, tales como la flotación por espumas para separar los contaminantes, para ella se utilizará ciertos aditivos químicos, tales como colectores, espumantes y modificadores para que los contaminantes del mineral sean flotables.

Finalmente se debe mencionar, no existe una teoría específica para la purificación de la sílice por el método de flotación inversa por espumas, materia de investigación científica.

Se resolverá el problema haciendo uso de los reactivos de flotación convencionales usados en el procesamiento de minerales polimetálicos, mediante muchas corridas experimentales en el laboratorio en función a los diseños factoriales formulados; en esta parte se controla específicamente el pH de la pulpa dentro del LMP, factor experimental importante para no contaminar a los efluentes líquidos.

1.2. Estándares de calidad del agua.

Que, el numeral 22 del artículo 2º de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida. Ver tabla 1.

1.3. Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes líquidos minero-metalúrgicos.

Mediante Decreto Supremo 010-2010 MINAM, se aprobaron los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicos.

Tabla 1: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias
 Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable				
Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales				
Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4

FUENTE: Decreto supremo N° 004-2017-MINAM

La contaminación consiste en la modificación provocada por el hombre de la calidad del agua, mediante la actividades minero-metalúrgicas, haciéndola peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural. Ver tabla 2.

Tabla 2: Límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas.

Parámetro	Norma legal (fuente)	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH	D. S. N° 010-2010-MINAM	Unidad de pH	6 - 9	6 - 9
pH	D. S. N° 015-2015-MINAM	Unidad de pH	6 - 9	6 – 9
pH	O.M.S.	Unidad de pH	6,5 - 9,5	6,5 – 9,5
pH	Min. De Salud	Unidad de pH	6,5 - 8,5	6,5 – 8,5

FUENTE: Decreto Supremo 010-2010 MINAM y otros

1.4. Formulación del Problema.

1.4.1. Formulación de los problemas:

a. Problema general:

El problema general expresa la motivación total que conduce al investigador a realizar su labor experimental, es decir, la contrastación de la hipótesis general.

Además, el problema general guía al investigador en la formulación del objetivo general, hipótesis general y en la

determinación de título definitivo del trabajo de investigación. El problema general es:

¿Cuál es el método adecuado de flotación de la sílice dentro del LMP de pH a nivel laboratorio para prevenir el impacto ambiental en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa – Pasco – 2015?

b. Formulaciones de los problemas específicos:

Los problemas específicos son elementos valiosos, que permiten el tratamiento detallado del problema general, además guía al investigador en las formulaciones de los objetivos e hipótesis específicos respectivamente. Los problemas específicos son:

- ¿Cómo el tiempo de molienda del mineral puede prevenir el impacto ambiental?
- ¿Cómo determinar el valor del pH de la pulpa para la prevención del impacto ambiental?
- ¿En qué medida el colector influye en la prevención del impacto ambiental?
- ¿Cómo relacionar al espumante en la prevención del impacto ambiental?
- ¿Cómo el tiempo de acondicionamiento influye en la prevención del medio ambiente?

1.5. Los objetivos del proceso de investigación.

Los objetivos son las actividades que debe cumplir el investigador, para resolver los problemas planteados; también los objetivos son el punto

de partida como en el punto de llegada en el desarrollo experimental del proceso de investigación. Se formulan con verbos en infinito. (1)

1.5.1. Formulaciones de los objetivos.

a. Formulación del objeto general:

Son los que expresan propósitos generales del trabajo de investigación, el objeto general es:

“Determinar el método de flotación más adecuado de la sílice dentro del LMP de pH a nivel laboratorio para prevenir el impacto ambiental en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa – Pasco - 2015”

b. Formulación de los objetivos específicos:

Derivan de los objetivos generales con fines metodológicos y operativos, es decir sirve como guía que debe cumplir el investigador en las actividades experimentales, tales como la elaboración de instrumentos de investigación, recogida de datos, análisis, procedimiento y elaboración de conclusiones. La reunión de estos objetivos específicos constituye el objetivo general, son:

- Establecer el tiempo de molienda de la sílice para la prevención del impacto ambiental.
- Determinar el pH de la pulpa para prevenir el impacto ambiental.
- Evaluar al colector para la prevención del impacto ambiental.
- Determinar la dosificación del espumante para prevenir el impacto ambiental.

- Comprobar y evaluar la relación existente entre el tiempo de acondicionamiento con la prevención del impacto ambiental.

1.6. Las hipótesis del proceso de investigación:

Las hipótesis no necesariamente son verdaderas, pueden o no serlo, pueden o no probarse con hechos. Son explicaciones tentativas de los hechos en sí. Al formularlas, el investigador no puede asegurar que pueda comprobar.

Identificadas las variables y los factores experimentales, las formulaciones de las hipótesis experimentales del proceso de investigación, son:

1.6.1. Formulación de la hipótesis general.

La hipótesis general se formula en estrecha relación con el problema general de investigación y conservando la misma variable en estudio; en términos de respuesta afirmativa; en otras palabras, vale decir, que la hipótesis general es la respuesta al problema general del proceso de investigación:

“El método adecuado para el procesamiento de la sílice es la flotación inversa controlando el LMP de pH a nivel laboratorio para prevenir el impacto ambiental en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa – Pasco -2015”

1.6.2. Formulación de las hipótesis específicas.

Las hipótesis específicas guardan estrecha relación con los problemas específicos de la investigación y dan respuestas a ellos, además estas hipótesis guían al investigador en la elaboración de las conclusiones parciales. Para formular se toma en cuenta a los

factores experimentales y a la variable dependiente, en otras palabras, son las respuestas a los problemas específicos del trabajo de investigación. Las hipótesis específicas son:

- Estableciendo adecuadamente el tiempo de molienda de la sílice se previene el impacto ambiental.
- El control adecuado del pH ligeramente alcalino o ácido de la pulpa previene el impacto ambiental
- La dosificación adecuada del colector permite prevenir el impacto ambiental
- La dosificación adecuada del espumante permite prevenir el impacto ambiental.
- El control adecuado del tiempo de acondicionamiento de la pulpa influye directamente en la prevención del impacto ambiental.

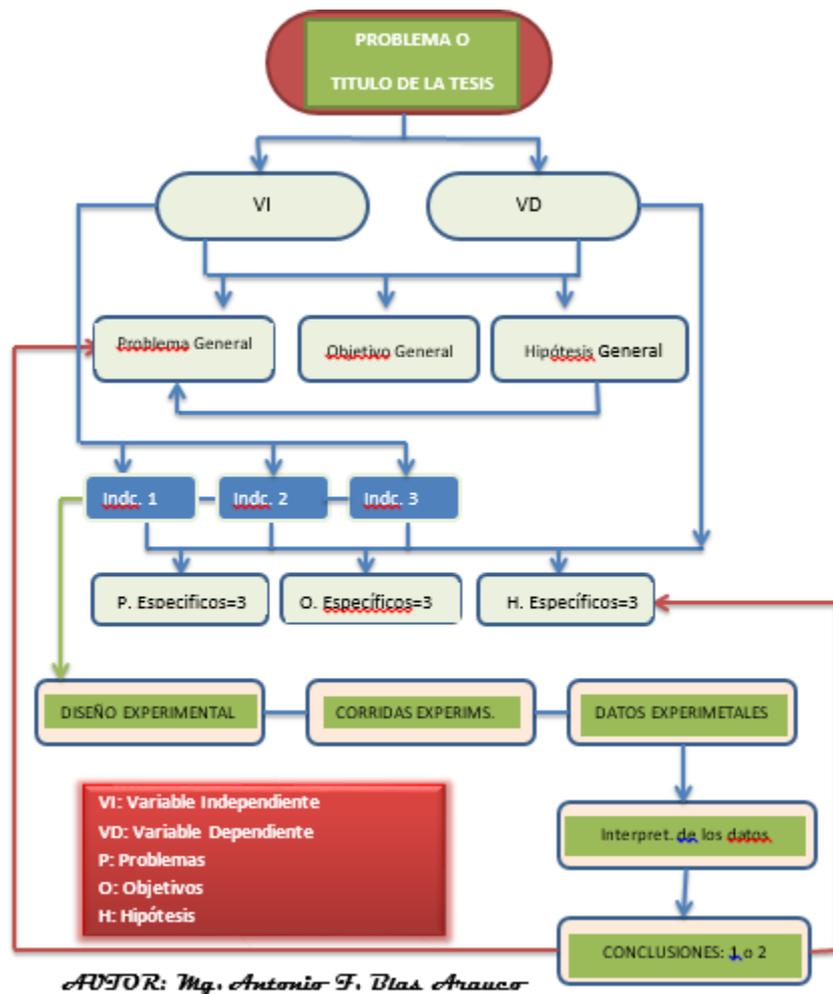
1.7. Identificación de las variables y factores de investigación.

Para las diferentes formulaciones en el desarrollo de la tesis, tales como problemas; objetivos e hipótesis generales y específicos en un proceso de investigación experimental, primero se identifican a las variables y factores experimentales (2) (3). Para la identificación, ver esquema 1.

1.7.1. Variable independiente o regresora:

La variable independiente necesariamente está contenida en el título, el problema, el objetivo y las hipótesis de investigación; la variable independiente es:

“Flotación de la sílice dentro del LMP de pH a nivel laboratorio”



Esquema 1: Mapa conceptual de las variables y factores de la Investigación científica

FUENTE: Autoría propia

1.7.2. Variable dependiente o respuesta:

La variable dependiente necesariamente está contenida en el título, el problema, el objetivo y la hipótesis de investigación. Por lo tanto, según el título del trabajo de investigación la variable dependiente es:

“Prevenir el impacto ambiental en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa – Pasco”.

1.8. Justificación e importancia.

Todo trabajo de investigación necesariamente requiere ser justificado mediante la importancia y sus alcances, es decir ¿Por qué se investiga?;

¿Para qué se investiga?, al responder éstas y otras preguntas, se nota que hay muchas razones fundamentadas para desarrollar la investigación (4).

En virtud a los resultados de la investigación, la justificación y la importancia son:

a. Justificación práctica. – Los trabajos de investigación en ciencias naturales sirven para resolver trabajos prácticos y tecnológicos.

En el presente caso, se va realizar el procesamiento de la sílice mediante el método de flotación inversa en un pH dentro de los estándares de calidad ambiental (ECA) nacionales e internacionales para no afectar negativamente al ecosistema o daño ambiental de la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa.

b. Justificación socioeconómica. – Si se hace realidad la explotación de la sílice con fines comerciales, reportará los beneficios y utilidades económicas para la población, para proyectos de mejoramiento social y económico, con estos aspectos se logrará a mejorar la calidad de vida de la población; es decir habrá ingresos económicos para mejorar la calidad de vida de la población.

c. Justificación tecnológica. - Los resultados de la investigación posibilita el diseño y elaboración de técnicas, instrumentos y equipos para la producción de bienes económicos, científicos, industriales, etc., que dinamicen el desarrollo de los procesos productivos en general, por lo tanto, en un futuro muy cercano se podrá explotar la sílice con fines industriales y comerciales con tecnología limpia.

1.9. Viabilidad del proceso de investigación.

En la actualidad la explotación minera en la mayoría de los casos ha significado y significa el deterioro ambiental del ecosistema, frente a esta

adversidad se garantizará la sostenibilidad del medio ambiente mediante el procesamiento inversa de la sílice, dentro de los parámetros del LMP de pH ligeramente alcalino, por lo tanto, con el presente trabajo de investigación, la explotación de la sílice a nivel industrial se realizará con una política de conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.

Bajo las premisas indicadas, es altamente viable el presente trabajo de investigación, proceso muy realizable en el laboratorio de Metalurgia y Absorción Atómica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, cuenta con equipos de chancado, molienda, celdas de flotación, análisis fisicoquímico y otros equipos indispensables para el procesamiento de la sílice.

1.10. Limitaciones.

1.10.1. Limitaciones del investigador:

- Poca disponibilidad de tiempo para el desarrollo de trabajo de tesis de investigación, por tener carga académica en la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión – Facultad de Ingeniería - Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica.
- Los equipos de laboratorio de procesamiento (celdas de flotación) de minerales de la UNDAC están ocupados por los alumnos de pregrado.
- Tengo acceso a los equipos de laboratorio especializados por las noches, muchas veces no puedo permanecer varias horas por el intenso frío, además los ensayos se realizan con el uso

de abundante agua muy fría. Razón por la cual me dedico a la investigación un promedio ocho horas a la semana no consecutivas o interrumpidas.

- Falta reactivos de flotación frescos, estoy solucionando el problema con el apoyo de amigos que trabajan en las empresas mineras.

1.10.2. Limitaciones de la investigación.

- En la actualidad no existen bibliografías especializadas en procesamiento de minerales (purificación) no metálicas, mediante el método de flotación inversa, usando un pH que cumpla con las normas nacionales e internacionales de calidad ambiental. Para dar solución a este problema, he usado muy limitadamente los métodos de procesamiento de minerales polimetálicos y no metálicos de flotación directa, que siempre se procesan en un pH fuertemente alcalino o ácido de la pulpa, en este caso es muy contaminante de los efluentes líquidos y del ecosistema; indico claramente que este procesamiento fisicoquímico no es la solución directa en mi tema de investigación para cumplir con los límites máximos permisibles de pH en la descarga de efluentes líquidos de las actividades minero-metalúrgicos.
- Carencia de métodos y técnicas, para solucionar este vacío tuve que usar la imaginación, creatividad y la experiencia propia en temas de no metálicos, para crear los métodos y técnicas de procesamiento de minerales no metálicos, de esa manera obtener destrezas y soltura, para la utilización de los

nuevos conocimientos adquiridos en investigaciones pasadas para no contaminar el medio ambiente.

1.11. Delimitación de la investigación.

La delimitación es de vital importancia ya que permite al investigador circunscribirse a un ámbito: espacial, temporal y teórico. (5)

El título del trabajo de investigación es: “Flotación de la sílice dentro del LMP de pH a nivel laboratorio para prevenir el impacto ambiental en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa”; en este caso las delimitaciones son:

1.11.1. Delimitación espacial.

Se refiere a la ubicación del yacimiento o cantera minero para el desarrollo del trabajo de investigación:

- Comunidad Campesina : San Juan Jarapampa
- Distrito : Chaupimarca
- Provincia : Pasco
- Región : Pasco

1.11.2. Delimitación temporal.

La delimitación temporal en el presente trabajo no existe. En mi caso consideré al año de desarrollo del trabajo de investigación – 2015; de tal manera que el lector pueda verificar rápidamente el año del desarrollo de la investigación.

1.11.3. Delimitación teórica o temática.

La delimitación del tema de investigación, es una etapa muy importante e ineludible en todo proceso de obtención de conocimientos, porque esta delimitación permite reducir nuestro

problema inicial a dimensiones experimentales, en seguida efectuar los estudios correspondientes.

Además, consiste en organizar una secuencia lógica, orgánica e inductiva los temas que forman parte del marco teórico en la que se circunscriben los factores del problema de investigación. Es decir, establecer un dominio teórico concordante con el problema de investigación y dar solución a la misma.

El problema general de investigación es:

¿De qué manera se puede realizar la flotación de la sílice dentro del LMP de pH a nivel laboratorio para el prevenir el impacto ambiental en la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa – Pasco – 2015?

Entonces, el dominio teórico o delimitación teórica donde se circunscribe al problema de investigación son:

- Aspectos generales de la sílice.
- Etapas de tratamiento de la sílice.
- Selección de factores experimentales de procesamiento
- Diseños experimentales.
- Flotaciones pro-experimentales y post-experimentales por espumas de la sílice.
- Modelos matemáticos.
- Tratamiento estadístico
- Interpretación de los datos.

1.12. Finalidad fundamental de la tesis.

La finalidad del presente trabajo de investigación es el procesamiento de la sílice por flotación inversa, determinando el pH

ligeramente alcalino o ácido (LMP) para cualquier combinación de reactivos de flotación y el mineral, para evitar la contaminación del ecosistema; de esa manera prevenir el impacto ambiental negativo al medio físico y biológico y crear nuevos conocimientos científicos, prototipo.

Al finalizar el proceso metalúrgico de flotación inversa, se debe obtener una buena calidad de sílice purificada con tecnología limpia y responsable.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

No existen antecedentes o investigaciones similares de procesamiento de minerales no metálicos por el método de flotación inversa, solamente existen pocos trabajos de procesamiento de minerales no metálicos por el método de flotación directa, invertir totalmente a este método, no fue fácil el desarrollo.

En resumen, la flotación directa de los no metálicos se realiza del modo siguiente:

a. Se flota utilizando diversos reactivos de flotación en diversos pH de la pulpa, (6):

- En medio alcalino : 8-10 o 11-12
- En medio ácido : 4-5
- En medio ácido : 1,8; ver tabla 3.

El cuarzo no activado flota con colectores iónicos que pueden ser catiónicos o aniónicos, en circuitos de pH fuertemente alcalinos o ácidos; para ello utilizar reactivos depresores de los contaminantes.

b. Se realiza ajustando el pH a 10,5 con cal (7)

Por lo tanto, estos pH fuertemente alcalinos o ácidos son muy contaminantes de los efluentes líquidos y otros; resultando totalmente contradictorios al objetivo fundamental de mi trabajo de investigación.

En conclusión; no existe un método o métodos específicos para la flotación inversa de la sílice, respetando los límites permisibles nacionales e internacionales de pH que no contaminen a los efluentes líquidos y al ecosistema.

Tabla 3: pH de flotación de óxidos y silicatos

Mineral	PCC (pH)
Casiterita (SnO_2)	4,5
Corindón (Al_2O_3)	9,0 - 9,4
Cromita ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$)	5,6 - 7,0 - 7,2
Crisocola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$)	2,0
Cuarzo (SiO_2)	1,8
Goetita ($\text{FeO} \cdot \text{OH}$)	6,7
Hematina (Fe_2O_3)	5,0 - 6,0 - 6,7
Magnetita (Fe_3O_4)	6,5
Pirolusita (MnO_2)	5,6 - 7,4
Rutilo (TiO_2)	6,7

FUENTE: Reactivos de flotación II, Universidad de Chile

2.2. Bases teóricas.

El método de purificación de la sílice es la flotación inversa por espumas, no es muy conocido en nuestro medio y por lo tanto no se dispone de información precisa, por lo que se busca implementar el método más apropiado teniendo como herramienta principal el diseño experimental y la experiencia propia, adecuado para el manejo de factores experimentales, obtener un producto con bajo contenido de contaminantes sin gastos excesivos de reactivos y de operación, para poder llegar a una implementación adecuada del proceso de flotación con mejores resultados metalúrgicos.

Por lo tanto, no existen teorías específicas relacionadas con mi trabajo de tesis para la estructuración del marco teórico, de tal manera que la teoría total forme una unidad delimitante, que evita al investigador no salir del tema central. El papel que juega los antecedentes teóricos, es de suma importancia, ya que orienta al investigador para no investigar lo ya investigado.

La determinación de los factores o indicadores experimentales, es la base fundamental en trabajos de investigación experimental en el

laboratorio, que deben ser manejados o manipulados intencionalmente en el laboratorio, esto ocurre en el campo de las ciencias de la ingeniería.

2.2.1. Calidad de la demanda.

Los ensayos más comunes son la granulometría, análisis químico, análisis mineralógico, absorción, densidad, color, ensayos de cocción, etc.

Se admiten sílice al 98% de pureza con contenidos en Fe menores de 0,025% para vidrio blanco ordinario (transparente) y hasta 0,060% para vidrios verdes y marrones.

2.2.2 Usos del cuarzo.

En cualquier caso, los minerales industriales, tanto naturales como sintéticos y las sustancias derivadas se emplean en la industria en función a sus propiedades fisicoquímicas.

Los minerales industriales son aquellos que, en función de sus características fisicoquímicas principalmente, se utilizan en la fabricación de productos, ya sea directamente o con un tratamiento previo. Por ejemplo, se consideran minerales industriales las arenas silíceas destinadas a la fabricación de vidrio y otros. (8)

Las arenas silíceas se emplean:

- En la industria del vidrio
- En la fabricación de moldes de fundición para la industria siderúrgica.
- Una de las aplicaciones más recientes de la arena sílica es la elaboración de ladrillo sílico-calcáreo a partir de un proceso alemán para sinterizar los granos de sílice con cal. La mezcla de

estos elementos permite lograr una resistencia significativamente mayor del ladrillo de construcción convencional de 120kg/cm^2 a 350kg/cm^2 .

- La arena silíceo mezclado con resina epóxica es usada para preparar pisos; recubrimientos de pisos; reparar diversas fisuras; mejorar superficies de concreto dañada y otros.
- En la fabricación de abrasivos, por su menor precio en comparación a otros materiales como el granate.
- En la industria de plásticos, la sílice en forma de arena se emplea como relleno del plástico.
- La sílice es el material cristizador del barniz
- En la purificación del agua, la arena silíceo se usa como medio filtrante en el tratamiento del agua potable, para lo cual la pureza de la arena debe ser del 70 a 80%; con tamaño de 0,3 o 0,4 mm.
- En la horticultura, se usa para controlar el pH de los suelos.
- Es materia prima muy importante en la composición de las fórmulas de detergentes, pinturas, hormigones y morteros especiales.
- La industria del petróleo, es la principal consumidora de la arena silíceo, para los procesos de cementación y fracturación de pozos, se usa sílice con una pureza mayor al 98%; con contenido de Fe_2O_3 menor al 0,15%.
- Alimentos, filtración, etc.

El cuarzo sintético o cultivado (cristales de cuarzo químicamente muy puros y de gran perfección cristalográfica), por

razones de mercado, se fabrica a partir de cuarzos de gran pureza (lascas), disueltos y cristalizados en autoclave; se utiliza en:

- Lentes ópticos y de contacto
- Elaboración de implantes de seno

El silicio obtenido por reducción de sílice de alta pureza en horno eléctrico, tiene importantes aplicaciones:

- En la industria química (silicona),
- En electrónica (chips), relojes, etc.
- En el sector químico, se utiliza para la elaboración de productos silicosos intermedios, como el silicato de sodio, cloruro de sodio, compuestos órgano-silicosos. La mayor parte de los productos químicos se fabrican con sílice de alta pureza del 99,3% con contenido menor al 0,05% de Fe_2O_3 y menor al 0,5% de Al_2O_3 .

2.2.3. Silicio orgánico en la alimentación humana.

El silicio orgánico se encuentra generalmente en las fibras de los vegetales, en gran cantidad en las cascarras de los granos de trigo, avena y arroz, en la pulpa de la caña de azúcar, alfalfa, en las hierbas como la cola de caballo, ortiga, lechuga, pepinos, aguacate, fresa, cebolla, dientes de león, etc.

Sirve para el buen desarrollo y funcionamiento de todos nuestros tejidos, músculos; huesos, uñas, cartílagos y tendones, por lo tanto, el silicio aporta firmeza y elasticidad a los tejidos, es decir la vitalidad necesaria. También es fundamental para la asimilación del calcio, el fósforo, el magnesio y en la síntesis de la vitamina D.

El silicio gracias al tener una estructura cristalina como el cuarzo, puede penetrar en los tejidos y limpiarlos de las toxinas almacenadas.

No hay dosis concreta de silicio para que el ser humano pueda consumir, aunque la dieta recomendable es de 1 a 1,5 gramos diarios, cuando los alimentos son procesados, la absorción del silicio es muy pequeña, entonces es conveniente suplementar externamente ya sea en cápsulas o en gel líquido (9).

2.3. Neumoconiosis por sílice (Silicosis).

2.3.1. Generalidades.

Las partículas y fibras más pequeñas son las más peligrosas dado que son las que pueden alcanzar los bronquios, generalmente se presenta el riesgo de sufrir silicosis con partículas inferiores a las 5 micras. A medida que el polvo se acumula en sus pulmones se desarrollan los hongos y bacterias, éstos sufren daños y se hace más difícil respirar con el paso de los años.

Con frecuencia produce la muerte, causada por respirar polvo que contiene partículas muy pequeñas o finas de sílice cristalina. La exposición a la sílice cristalina se puede presentar durante el procesamiento de la sílice (extracción, chancado, molienda fina, etc.); durante el manejo del cemento, en las obras de albañilería, en la arenisca, en las rocas, en las pinturas y en otros abrasivos.

El límite permisible de exposición permitido a la sílice cristalina de los trabajadores que pueden estar expuestos es de 8 horas máximo de trabajo, incluyendo tiempos de descanso fuera del área de trabajo.

La exposición intensa a la sílice puede causar esta enfermedad en un año o menos, pero, por lo general, toma al menos 10 o 15 años de exposición antes de que se presenten los síntomas. La silicosis se ha hecho menos común desde que la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) instituyó regulaciones que exigen el uso de equipo protector que limita la cantidad de polvo de sílice inhalado.

2.3.2. Los síntomas de la silicosis son:

- Dificultad al respirar cuando se hace un esfuerzo físico.
- Pérdida de peso.
- Falta de aliento después de algún esfuerzo físico
- Tos grave
- Fatiga
- Pérdida del apetito
- Dolores en el pecho
- Fiebre
- Tos crónica

2.3.3. Complicaciones

- Aumento del riesgo de tuberculosis.
- Fibrosis masiva progresiva.

2.3.4. Prevención

- Usar guantes de protección contra riesgos mecánicos (abrasión).
- Usar gafas o pantallas que aseguren protección completa contra polvo e impactos. Si es necesario, combinar con la protección respiratoria.

2.3.5. Primeros auxilios

Contacto con la piel: Lavar las partes afectadas con agua, para evitar el efecto abrasivo, si la irritación persiste, llevar a revisión médica.

Contacto con los ojos: Lavarlos con abundante agua durante 10 minutos sobre todo por debajo de los párpados. Si persiste la irritación o el dolor, llevar a revisión médica.

Evitar una exposición innecesaria al polvo de sílice cristalina manteniendo una buena higiene personal:

- Lavar las manos y cara antes de comer, beber, ir al baño, fumar o ponerse maquillaje.
- Usar ropa protectora y respiradores de acuerdo al estándar de protección respiratoria.

2.4. Definiciones conceptuales.

Son definiciones de los términos o palabras claves que se utilizaron con mayor frecuencia en el proceso de investigación.

Abiótico: Conjunto de componentes carentes de vida en un ecosistema o medio ambiente.

Aleatorización o estocástico: Técnica importante utilizada para reducir la influencia de los factores extraños o intervinientes en los resultados del proceso de investigación experimental.

Biótico: Son los seres vivos de un ecosistema formado por la fauna y flora de una región.

Cabeza: Es el contenido del mineral valioso (ley de cabeza) en la mena que se alimenta a la planta de tratamiento o beneficio

Confirmar o ensayos post-test: Corroborar la verdad, certeza o el grado de probabilidad de algo.

Contaminación: Es un cambio perjudicial en las características químicas, físicas y biológicas de un ambiente o entorno.

Corrida Experimental: Son los ensayos o experimentos que se realiza en el laboratorio, en el orden aleatorizado del diseño factorial.

Daño ambiental: Acción negativa o perjudicial ejercida por un factor o factores ajenos al medio ambiente.

Delimitar: Determinar o fijar con precisión los límites de algo

Diseño: Es la estructura constituida por los factores y los niveles asignados en la experimentación. El diseño es la parte que controla el experimentador.

Diseño de experimentos: Es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso

Ecosistema: Comunidad de elementos bióticos y abióticos en estrecha relación con el medio y que ocupa un determinado espacio terrestre o acuático.

Ensayo de confirmación (post-prueba): Es para demostrar el grado de confiabilidad (producir resultados consistentes y coherentes) y validez del instrumento de medición, por lo tanto, el instrumento es confiable y válido.

Estadística Analítica o Inferencial: Es el conjunto de técnicas y cálculos que auxilian al investigador sobre la posible influencia de los factores experimentales sobre los resultados y a generalizarlos a la población de la cual se tomó la muestra para el estudio.

Factor: Elementos que potencialmente causan variación de la variable dependiente (VD), son controlados o manipulados por el experimentador o investigador.

Factores Intervinientes: Denominados generalmente en el diseño y análisis de experimentos como “ruido” o error experimental; son factores que alteran o influyen en la relación de la Vi con la Vd, no pueden ser manipulados o controlados por el investigador.

Factorial: Es una combinación de factores para formar los diseños factoriales, que indica el orden de las corridas experimentales en el laboratorio

Herramienta: Es cualquier recurso particular a disposición de una técnica, de un método o de un procedimiento experimental para realizar las operaciones de investigación en ciencias naturales.

Hipótesis Científica: Es un intento de explicación o una respuesta provisional a un fenómeno.

Impacto: Modificación del medio ambiente, las cuales pueden ser positivas o negativas.

Indicador: Es la señal que permite identificar las características de las variables.

Ley de concentrado: La ley indica el grado de pureza que tiene el producto o el mineral concentrado.

Liberar: Quiere decir reducir a la mena de tamaño grande a tamaños bien pequeños, de tal manera que cada parte valiosa de la mena sea separado o liberado de otro elemento llamado materia estéril o ganga.

Medidas de mitigación: Conjunto de acciones de prevención, control, restauración y compensación de impactos ambientales negativos.

Mena: Está constituida por especies mineralógicas valiosas y no valiosas, materia de procesamiento metalúrgico.

Método: Es el conjunto de procedimientos o sucesión de pasos que se deben dar para descubrir nuevos conocimientos.

Metodología: Es el conocimiento del conjunto de procedimientos del método.

Mineralurgia: Tratamiento mecánico y concentración de minerales.

Mitigar: Disminuir los efectos negativos sobre el medio ambiente. Este término es muy usado en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA).

Niveles de un factor: Son los valores que toma un factor. Generalmente en ingeniería toman valores que se miden en escala cuantitativa.

Recursos no renovables: Son aquellos bienes que existen en la tierra que se agotan. Ejemplo: petróleo, carbón, cobre, etc.

Recursos renovables: Son aquellos bienes que existen en la tierra y que no se agotan, tales como el aire, el viento, el agua del mar. Se reproducen solos o con la ayuda del hombre.

Técnica: Implica manejo de habilidades (destrezas o saber hacer las cosas), aplicación de un conjunto de herramientas o instrumentos y la capacidad inventiva comportamiento humano.

2.5. Métodos.

2.5.1. Método teórico.

Las teorías existentes no explican a plenitud el problema investigado, para ello se requiere acudir a elementos teóricos generales y a desarrollar una nueva teoría para la solución a dicho problema, mediante la imaginación, experiencia y creatividad.

El marco teórico es el punto de partida para la formulación del problema y la hipótesis, elaboración de las interpretaciones, conclusiones y resultados finales del trabajo de investigación.

Además sin el marco teórico no podemos explicar y operacionalizar las variables de investigación.

En el presente trabajo, se usó las teorías existentes de flotación directa de minerales no metálicos y la experiencia propia de trabajos de investigación realizados para obtener mi grado de maestro; debido a la carencia de teorías existentes. Es necesario indicar que en la concentración de los polimetálicos se realizan mediante la concentración directa y en el caso de minerales no metálicos se realizan la purificación mediante la flotación directa, en un pH de procesamiento elevado, siendo contaminantes del medio ambiente.

Definido correctamente estos aspectos, el problema principal radica en evitar el impacto negativo del medio ambiente de la zona, para ello se debe controlar fundamentalmente el pH de la pulpa de procesamiento, este conocimiento resulta de los ensayos repetidos en el laboratorio haciendo uso de los principales factores experimentales más significativos, a esto se llama investigación.

2.5.2. Método experimental científico.

El experimento resulta el más complejo y eficaz en los resultados de la investigación; surge como resultado del desarrollo de la técnica y del conocimiento humano, como consecuencia del esfuerzo que realiza el hombre bajo ciertas condiciones experimentales del objeto a investigar y de esa manera demostrar la hipótesis formulada.

La relación causa-efecto están relacionados en entre sí, cuando se produce un cierto fenómeno (causa), sucede

obligatoriamente el otro (efecto), en determinado contexto o situación.

A lo largo de toda investigación científica, los métodos teóricos y experimentales están dialécticamente relacionados entre sí; como regla general, para que se desarrolle uno de los métodos depende del otro y viceversa.

2.5.3. Método de la observación científica.

El método científico más apropiado fue la observación directa del proceso. Además, la observación estimula la curiosidad, impulsa el desarrollo de nuevos hechos que pueden tener interés científico.

La observación científica consiste en la percepción directa del proceso de investigación en el laboratorio o gabinete, manipulando intencionalmente todos los factores controlables y sus efectos de las mismas.

La ventaja fundamental de la observación radica en la investigación directa del fenómeno (10).

Por lo tanto, el método científico sirve para resolver el problema de investigación, mediante las pruebas experimentales que siguen los hombres de ciencia en sus laboratorios o gabinetes, siguiendo un orden lógico se obtienen conclusiones confiables (11).

En general se puede afirmar que el método científico consta de cuatro partes fundamentales:

- Recolección documental
- La recolección y análisis de los datos experimentales.
- Las pruebas de la hipótesis.
- La comprobación de la hipótesis.

2.5.4. Método estadístico.

El método estadístico depende del diseño factorial seleccionado. La recolección de datos cuantitativos se realiza a lo largo de amplios periodos de ensayos para la determinación de los valores óptimos de los factores, para luego ser alimentado y procesado mediante el programa estadístico, statgraphics centurión XVI.

2.6. Productos químicos usados.

Las descripciones de los reactivos de flotación usados durante el proceso de experimentación y otros, se detallan en seguida:

- a. En el ítem 3.9, descripción genérico de los reactivos de flotación.
- b. En el ítem 4.1 ver a los reactivos seleccionados después de una serie en ensayos preliminares, las características ver en la tabla 9.
- c. En el ítem 4.2 se ve las dosificaciones finales y los tiempos de acondicionamiento de los reactivos.

2.7. Fundamentos de pruebas de hipótesis.

El propósito central de la investigación lo constituye la prueba de hipótesis, mediante el cual se pretende comprobar si los hechos observados concuerdan con las hipótesis planteadas.

Una hipótesis representa la posible solución al problema de investigación. Se puede definir como la relación potencial que existe entre dos o más factores experimentales, y que puede ser probablemente cierta o falsa. Algunas hipótesis pueden ser mejores que otras en cuanto a su planteamiento o formulación.

2.7.1. Clases de hipótesis.

Esta hipótesis se refiere a la formulación teórica que respalda

el trabajo de investigación; es la hipótesis que servirá para relacionar los resultados con el marco teórico o conceptual. Esta hipótesis por lo general es la que se deriva de una teoría, ley o principio general, y que finalmente será confirmada o desconfirmada según los resultados experimentales de la investigación.

a. Hipótesis de trabajo o experimental.

Esta se conoce también como hipótesis empírica, difiere de la conceptual, porque se plantea o formula en términos de variables o factores experimentales, que son manipulados intencionalmente por el investigador durante el proceso de investigación; al final se analiza la existencia de una relación o relaciones existentes que pueden ser, positivas o negativas entre los factores.

b. Hipótesis estadísticas.

La confirmación de las hipótesis de trabajo es la prueba de las hipótesis estadísticas: la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_1).

Una vez establecidas las hipótesis; se especifica el nivel de significancia con el que se aceptarán o rechazarán. Por lo general en las ciencias naturales son 1% y 5% de nivel de significancia.

Si la hipótesis nula es rechazada se acepta a la alterna y como consecuencia puede concluirse que se confirma la hipótesis de trabajo correspondiente:

- Hipótesis nula.- Es una hipótesis que afirma lo contrario de lo que se quiere probar; se representa con el símbolo H_0 , y se

formula con la intención de rechazarla.

- Hipótesis alternativa.- Es una hipótesis diferente de la H_0 ; expresa lo que realmente creemos es factible, es decir constituye la hipótesis de investigación. Se le designa por el símbolo H_1 .

2.7.2. Criterios de rechazo o aceptación de la H_0

- Si $P > \alpha$ Aceptamos H_0
- Si $P < \alpha$ Rechazamos H_0
- Cuando F calculado $>$ al F tabulado rechazamos a la H_0 ; en caso contrario se acepta a la H_0
- Cuando F calculado es mayor a P , rechazamos a la H_0 ; en caso contrario se acepta a la H_0

El valor de α especificado por el investigador desde que planea el estudio de investigación, es la probabilidad de la región o intervalo de rechazo. Generalmente se utilizan los valores de $\alpha = 0,05$ o $0,01$ (12); dependiendo del riesgo que se quiera admitir en la conclusión. Por ejemplo, si la acción a tomar después de rechazar H_0 implica una inversión fuerte de recursos, se recomienda utilizar $\alpha = 0,01$ para tener mayor confianza de que la decisión será la adecuada. Si la decisión no implica una inversión fuerte, es suficiente trabajar con $\alpha = 0,05$, que es el valor más utilizado para este riesgo.

$1 - \alpha =$ se llama coeficiente de confianza.

Si $\alpha = 0,05$, se llama intervalo de confianza de 95%.

Siendo la fórmula $100 (1 - \alpha)$; entonces es 95%.

2.8. Conceptos estadísticos básicos.

A cada una de las observaciones del experimento se llama corrida. Las corridas individuales difieren, por la existencia de fluctuaciones o ruido en los resultados. Es común llamar a este ruido, error experimental o simplemente error.

Se trata de un error estadístico, lo cual significa que se origina por la variación que no está bajo control y que generalmente es inevitable. Ejemplo: Ley de cabeza, impurezas, etc.

Debido a que las corridas muestrales que difieren como resultado del error experimental a menudo se encuentran descritas adecuadamente en la distribución normal, esta desempeña un papel fundamental en el análisis de los datos de experimentos diseñados.

2.9. Informes sobre ensayos.

Los resultados y los análisis estadísticos de los ensayos experimentales que se realizaron mediante los diseños experimentales, se explica detalladamente en el capítulo IV.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

31. Materiales.

3.1.1. Ubicación de la Comunidad Campesina.

Fue creada mediante Ley del 27 de noviembre de 1994, en el gobierno del Presidente Manuel Prado Ugarteche; se encuentra situado al Norte de los distritos de Chaupimarca y Yanacancha, forma parte de la Sub Región Alto Andina, a una altitud que varía entre los 3 250 m.s.n.m. y 4 380 m.s.n.m.; las coordenadas aproximadas es $9^{\circ} 45'$ y $10^{\circ} 15'$ latitud sur y $74^{\circ} 45'$ y $76^{\circ} 45'$ longitud oeste. Ver imágenes N^o 1; 2; 3; 4 y 5. Ver Anexo 1.

3.1.2. Vías de comunicación.

El acceso a la Comunidad es por la carretera central Cerro de Pasco – Huánuco totalmente pavimentada, cuya distancia es aproximadamente unos 14 Km. Desde el distrito de Yanacancha – Pasco.

3.1.3. Línea base ambiental de la Comunidad.

a. Aspectos físicos

Fisiografía: El relieve terrestre es accidentado, con valles profundos, pero de ancho reducido y con vertientes de inclinación pronunciada. Los valles principales tienen una inclinación generalizada de sur a norte.

Clima y meteorología: El clima es frío, con temperaturas negativas en horas de la noche especialmente en las primeras horas de la madrugada, que se alternan con días soleados y con alta intensidad de insolación al medio día; la lluvia se

presenta con intensidad en épocas de invierno entre los meses de noviembre y marzo, con vientos fuertes en horas de la tarde que van en dirección sureste.

Hidrología: Las fuentes de agua como el río Pariamarca y el flujo de las quebradas que integran esta parte de la cuenca, están constituidas por el aporte de la precipitación pluvial y el aporte de los afloramientos de agua subterránea provenientes de los acuíferos en forma de manantiales; las aguas de escorrentía son variables durante todo el año, mayor caudal de agua son los meses de octubre a marzo, disminuyendo los caudales en el periodo de estiaje de abril a setiembre.

Ruido: El nivel de ruido ambiental es de nivel medio (45–50 decibeles) al alrededor del área de estudio, el ruido es producido por los vehículos motorizados que pasan por el lugar durante las 24 horas.

b. Aspecto biológico:

- **Flora:** La zona se caracteriza por la presencia de dos ecosistemas o tipos de vegetación, tales como el roquedal y el pajonal. El roquedal está formado por zonas rocosas, que contienen fundamentalmente a los líquenes y musgos; el pajonal está constituido por pastos (hierbas y pequeños arbustos). Ver imágenes N^o 6 y 7; ver anexo 01
- **Fauna:** En el lugar se observó la presencia de animales: insectos, aves y mamíferos, la cantidad de estas especies son bajas. Ver imágenes 8; 9 y 10 del anexo 1.

c. Aspecto económico:

El yacimiento presenta un gran volumen no calculada de reservas de cuarzo, por esta razón, la explotación de la sílice en el futuro presentará un impacto positivo de larga duración, debido a la necesidad de mano de obra calificada y no calificada, así como el requerimiento de bienes y servicios, es decir habrá un movimiento económico importante; los cuales permitirán mayor ingreso económico y desarrollo de la comunidad propia y aledañas.

3.1.4. Mapeo Geológico.

La zona en estudio está constituida por una amplia gama de rocas sedimentarias, que fueron depositadas en ambientes marinos, que son cortadas a su vez por numerosas fracturas que tal vez se extienden en profundidad; en el futuro cuando se prepara el proyecto de explotación se harán perforaciones diamantadas, está servirá para los cálculos de las reservas.

3.1.5. Potencial Geológico Minero.

Los terrenos superficiales donde se emplazará el proyecto son terrenos de la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa – Pasco. Determinado el área en función a los afloramientos; para las tomas de muestras se determinó un área estimado de 186 950 m², luego se estimó una profundidad de 10 metros, por lo tanto, se estima una reserva probable de 1 869 500 m³, explotando 1 500 m³ de sílice mensuales, entonces al año se explotarán 18 000 m³, por lo tanto, la reserva tiene una duración de 103,86 años.

32 Tipos de Investigación.

Desde el punto de vista de la ingeniería se utilizó dos tipos fundamentales de investigación:

3.2.1. Investigación Aplicada.

Tiene como objetivo resolver problemas prácticos, o sea satisfacer las necesidades de la sociedad en la solución de problemas inmediatos a casos concretos.

Este tipo de investigación se aplicó el nivel experimental, para producir cambios cualitativos y cuantitativos de la sílice, mediante la aplicación de nuevas técnicas para la purificación del cuarzo. En esta investigación es indispensable la concurrencia de la teoría científica, así como las leyes y principios que explican los hechos y fenómenos de la realidad, sin ellos no es posible su ejecución (13).

3.2.2. Investigación tecnológica.

Está dirigida a descubrir nuevas técnicas más apropiadas para operar en el procesamiento de la sílice sin contaminar el medio ambiente.

33. Validez de la investigación.

- a. Interna:** Los efectos negativos de los factores perturbadores (extrañas) fueron controlados mediante la aleatorización de las corridas experimentales; llegando obtener mayor validez interna del proceso de investigación de tesis.
- b. Externa:** Con los ensayos experimentales realizados con las muestras tomadas de los diferentes puntos de la reserva de sílice, se obtuvieron resultados positivos, vale decir la inferencia estadística a toda la

población es positiva, por lo tanto, a mayor generalización de los resultados obtenidos más validez externa.

34. Diseño y esquema de investigación.

3.4.1. Diseño factorial Plackett-Burman

Se usa cuando los factores experimentales son seis o mayor a seis; si los factores crece, entonces el número de tratamientos aumenta en los diseños factoriales; en la práctica resulta imposible realizar muchas corridas experimentales, además del alto costo resulta innecesario; para lograr el estudio de muchos factores se realiza solamente con una parte del diseño experimental.

Inicialmente el número de factores experimentales seleccionados teóricamente fueron 07, después de los ensayos cuasiexperimentales haciendo uso del diseño factorial Plackett-Burman, se declararon 05 factores más significativos.

3.4.2. Diseño factorial fraccionado.

Los diseños factoriales fraccionado fueron creados entre los años 1945-1946; quedando definitivamente sistematizado por los años 1949-1952.

En resumen, en el presente trabajo de investigación del procesamiento del cuarzo por flotación inversa, se usó diseño Packett-Durman; diseño factorial fraccionado y diseño central compuesto.

Los diseños factoriales se usan ampliamente en diseños experimentales para determinar a los factores experimentales más influyentes sobre una respuesta o respuestas del proceso de investigación (14).

El control del impacto ambiental negativo está determinada por las decisiones correctas del diseño experimental, y por ello muchos procesos metalúrgicos tienen políticas para que el desarrollo de sus productos sea ecológicamente correcto; para lo cual se siguen en el desarrollo algunos de los siguientes requisitos:

- Bajo consumo de energía
- Menor uso de reactivos perjudiciales para el medio ambiente
- Menor pH ácido o alcalino de procesamiento
- Menores desechos, con posibilidad de ser reciclado
- Menores tamaños de los encapsulados.

3.4.3. Esquema de investigación cuantitativa.

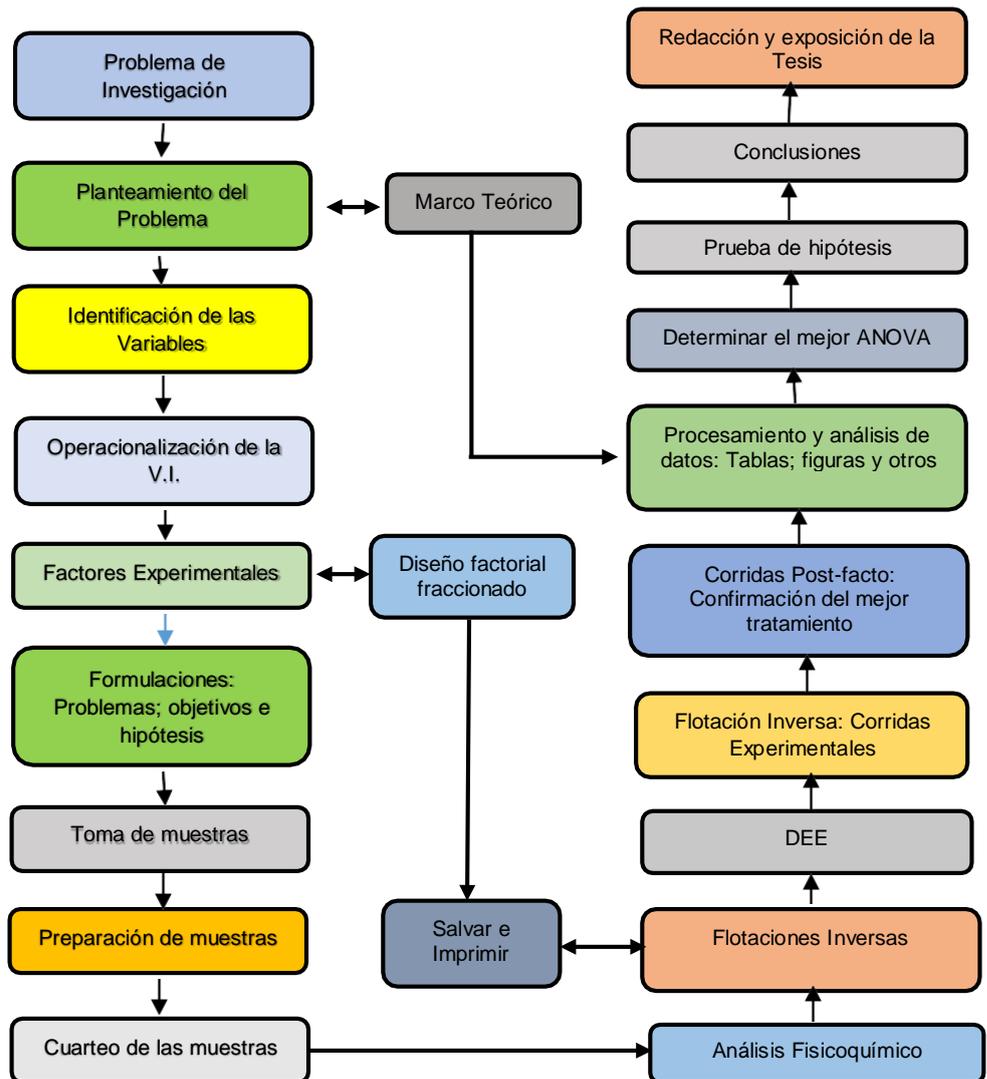
En el desarrollo del trabajo de investigación experimental, se basó en la manipulación o control intencional de los factores experimentales (causas), para obtener el mejor efecto o efectos (consecuencias) ganadores, son situaciones que ocurren en condiciones controladas por el investigador. Ver esquema 2.

3.5. Población y muestra.

La población fue constituida por la reserva probable ubicada en los terrenos de la comunidad campesina, la exploración y los cálculos de reserva definitivos deben ser realizados por los especialistas.

Muestra, es un subgrupo de la población, que representan todas las características o atributos de la población.

Cuando se trata de tomar muestras en grandes áreas, se establecen sobre ella patrones de toma de muestra por lotes del mineral en forma de W; X; S y malla; útiles para lotes homogéneos o para una primera prospección.



Esquema 2: Esquema de la investigación cuantitativa

FUENTE: Autoría propia

3.5.1. Muestreo.

El muestreo o toma de muestras del material sílice que forma el suelo de la comunidad campesina, es la etapa fundamental de todo proceso de investigación, para la obtención de los componentes físicoquímicos del material, con la finalidad de determinar la viabilidad del procesamiento; en cualquier caso, el muestreo debe ser representativo.

Como resultado de las muestras representativas obtenidas, es la variación de los minerales contaminantes y sus

concentraciones de la sílice. Los factores que afectan a la representatividad de una muestra son las siguientes:

- Las variaciones en la composición mineralógica del suelo.
- Las variaciones en la composición química de los contaminantes
- Los errores sistemáticos o esporádicos producidos en el muestreo, en la manipulación y en el transporte de las muestras al laboratorio

3.5.2. Objetivo y ventajas del muestreo.

El muestreo de los minerales se realizó con la finalidad de conocer los valores y características de la mena y determinar la posibilidad de exploración y explotación.

El muestreo se llevó a cabo tomando en cuenta parte del volumen del mineral (yacimiento) de tal modo que esta responsabilidad recae en una muestra muy pequeña que debe ser representativa a la totalidad de la población.

Toda investigación a partir de una muestra o muestras, tiene muchas ventajas; entre éstas destacan las siguientes:

- Permite realizar el estudio en menor tiempo (ahorro de tiempo)
- Ahorro de dinero
- Posibilita realizar varias corridas experimentales, para profundizar el efecto de los factores activos sobre la respuesta o respuestas, variable dependiente.
- Permite elegir y controlar eficientemente a los factores en estudio.

Es importante delimitar la población (delimitación espacial), a partir de la población delimitada se extraen las muestras.

3.5.3. Método de muestreo usado en la investigación.

Existen diferentes criterios de clasificar a los diferentes tipos de muestreo, aunque en general pueden dividirse en dos grandes grupos: métodos de muestreo probabilístico y método de muestreo no probabilístico.

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se usó el método de muestreo no probabilístico, específicamente el muestreo intencional o de conveniencia, consiste en la obtención deliberada de muestras “representativas” seleccionando en forma directa o intencionadamente los puntos de la población de fácil acceso.

Dicho en otras palabras, se usó el muestreo al azar, siendo el método más simple de todos. La selección de las muestras se realizó completamente al azar y no hay relación con ninguna variación de los contaminantes observados en el suelo.

Por lo tanto, las muestras no probabilísticas, no están sujetas a principios ni reglas estadísticas y solo dependen de la voluntad y decisión del investigador.

3.5.4. Muestreo de la sílice.

Las muestras de arena sílice para la presente tesis, proviene de los terrenos de la propiedad de la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa, según detalle siguiente:

Comunidad Campesina : San Juan Jarapampa

Distrito : Chaupimarca

Provincia : Pasco

Región : Pasco

El suelo es un cuerpo cambiante y heterogéneo en cuanto a sus características o propiedades a lo largo y ancho del perfil y en el tiempo, se trató de asegurar que las muestras tomadas sean representativas a todo al área del material de sílice.

Las herramientas para la toma de muestras son:

- Barreta
- Guantes
- Bolsas de plástico
- Etiquetas
- Marcadores
- Cubetas para muestreo
- Libreta de apuntes

Para obtener las muestras con mucha facilidad, se usó el método de puntos aplicados fundamentalmente para cuerpos de gran potencia y con distribución irregular de mineralización o cuerpos masivos y diseminados con estratificación fina y jaspeada.

Las muestras superficiales, se obtuvieron por simple excavación con profundidades de 50 cm.

Para los estudios se tomó 10 muestras de 04 kilogramos aproximadamente de cada uno, siendo las más representativas del área de sílice o superficie donde está aflorando la mineralización considerada potencialmente explotable, colocando cada muestra en bolsa de plástico doble y gruesas etiquetados.

Los puntos de muestreo, ver tabla 4 y las imágenes en anexo 2; además se tomó puntos adicionales para el dibujo de curvas de nivel del plano topográfico, ver 5.

Tabla 4: Puntos de la toma de muestras

MUESTRA	# sat	Precisión	N	E	Z
M-01	04	03	8819168	0370812	4079
M-02	05	03	8819082	0370723	4066
M-03	05	03	8819348	0370763	4047
M-04	04	03	8819079	0370512	4011
M-05	05	03	8819622	0370737	3996
M-06	05	04	8819374	0370658	3980
M-07	03	04	8819479	0370780	4022
M-08	05	03	8819598	0370663	3901
M-09	05	03	8819620	0370605	3979
M-10	04	04	8819585	0370560	3961

FUENTE: Autoría propia

Tabla 5: Puntos adicionales para curvas de nivel

PUNTO	# sat	Precisión	N	E	Z
11	05	03	8819044	0370646	4056
12	05	03	8819143	0370728	4064
13	05	03	8819272	0370767	4050
14	04	03	8819481	0370814	4058
15	04	03	8889621	0370710	4017
16	04	03	8819619	0370485	3943
17	03	03	8819499	0370470	3945
18	05	03	8819260	0370356	3937
19	03	03	8818876	0370209	3948

FUENTE: Autoría propia

3.6. Análisis fisicoquímico.

La primera etapa, en todo análisis físico de investigación mineralógica de menas, es necesaria la concurrencia de la observación microscópica usada en toda investigación de carácter metalúrgico.

Por lo tanto, las propiedades físicas de las menas son de gran importancia para los metalurgistas tales como: la dureza; brillo, gravedad específica, densidad; propiedades importantes en la flotación. Las informaciones de las propiedades físicas es de mucho valor, para evitar la sobre molienda con formación de lamas que podría hacer difícil o imposible la concentración o purificación de los minerales valiosos. Cuando la molienda de la mena es deficiente, la ley de concentrado disminuye debido a la falta de liberación de los minerales valiosos.

La segunda etapa fue el análisis químico para conocer a los principales elementos o minerales que constituyen a la mena, lo cual es

de suma importancia para el metalurgista encargado del procesamiento, para la seleccionar el método de tratamiento adecuado para el beneficio de las menas.

Por todas las consideraciones, para el mejor desarrollo de todo trabajo de investigación, es necesario la concurrencia de un equipo de profesionales multidisciplinarios.

3.6.1. Análisis físico de las muestras o unidades experimentales.

Las coloraciones de la sílice de la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa, se debe fundamentalmente a la presencia de los compuestos de hierro:

- a. Limonita, $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, las coloraciones son: amarillo, marrón amarillento, negruzco.
- b. Hematita, Fe_2O_3 , las coloraciones son: gris, acerado, negro, rojo pardo.
- c. Magnetita, $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$; las coloraciones son: negro de brillo metálico.
- d. Ópalo, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; los colores son: incoloro, blanco, amarillo, pardo, verde, gris, rojo.

Tabla 6: Características físicas de las muestras

Muestra	Solubilidad	Color	Brillo	Densidad	pH
M-01	No	Amarillo naranja	Sin brillo	2,22	7,22
M-02	No	Beige	Sin brillo	2,50	8,00
M-03	No	Blanco perla	Sin brillo	2,50	7,90
M-04	No	Blanco perla	Sin brillo	2,50	7,85
M-05	No	Amarillo azafrán	Sin brillo	2,50	7,80
M-06	No	Amarillo pastel	Sin brillo	2,50	7,97
M-07	No	Amarillo miel	Sin brillo	2,50	8,01
M-08	No	Amarillo maíz	Sin brillo	2,50	7,30
M-09	No	Amarillo pastel	Sin brillo	2,50	7,78
M-10	No	Amarillo retama	Sin brillo	2,50	7,81

FUENTE: Autoría propia

Las características físicas de las 10 muestras tomadas, ver tabla 6; observar colores en probetas imagen 11 del anexo 3.

3.6.2. Preparación de la muestra.

La muestra representativa de todo lo muestreado en campo, 10 muestras, se preparó del modo siguiente:

- a. Se pesó 04 kilogramos de cada muestra consideradas con mayor contenido de sílice: 2, 3, 4, 6, 9 y 10; en seguida se hizo la homogenización. Ver imagen 12 del anexo 3
- b. A la muestra mezclada se hizo el secado, molienda y homogenización mediante el cuarteador. En seguida se pesó un total de 12 kilogramos embolsando como muestra única para el análisis químico y las corridas experimentales mediante los diseños factoriales. Imagen 13 de anexo 3

3.6.3. Análisis químico.

Habiendo realizado el análisis de la muestra única, la mena tiene los componentes siguientes, ver tabla 7.

Tabla 7: Análisis químico de las muestras

Muestra única	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺ y otros	SiO ₂	Observaciones
	21.72%	78,28%	

FUENTE: Autoría propia

37. Instrumentos de recolección de datos cuantitativos y validación

3.7.1. Instrumentos.

Son los medios que usa el investigador para recolectar los datos o información necesaria, puede decirse que los mismos son fuentes para el procesamiento de los datos, las técnicas e instrumentos más usadas para la recopilación de datos

experimentales, son: la observación, equipos, diagrama de flujo, etc.

En toda investigación se utiliza instrumentos para medir o controlar a los factores del proceso de investigación y en seguida demostrar las hipótesis.

En la puesta en marcha del proceso de investigación, se realizó aplicando las herramientas diseñados para la recolección de datos, su procesamiento y sistematización de la información con la finalidad de obtener resultados precisos y oportunos, se hicieron con responsabilidad y con sumo cuidado en la utilización de los materiales e instrumentos del Laboratorio de Metalurgia y Absorción Atómica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), los principales instrumentos o equipos que se usaron fueron: Materiales de vidrio (vasos, fiolas, probetas, lunas de reloj, etc.); goteros; cámara fotográfica; balanza eléctrica; estereoscopio; potenciómetro; cuarteador Jones; molino de bolas; celda de flotación; cronómetro; bandejas y otros

3.7.2. Descripción de los principales equipos usados en la flotación inversa de sílice.

Los equipos de laboratorio usados durante el desarrollo del trabajo de investigación que se nominan a continuación es propiedad de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, son:

a. Balanza eléctrica.

Se usó para pesar y posterior preparación de los reactivos de flotación. Ver imagen 14 de anexo 4.

b. Agitador magnético.

Se usó para acelerar la solubilidad de los reactivos sólidos y completar la preparación de los reactivos con las concentraciones predeterminadas utilizados en la flotación inversa del mineral no metálico valioso. Ver imagen 15 de anexo 4.

c. Cuarteador estático Jones

Equipo diseñado para dividir muestras de bajo volumen y granulometría fina; cuenta con dos bandejas de aluminio. Fue usado para homogenizar y reducir las muestras en 02 porciones iguales, cada porción mantiene la representatividad de la muestra base, posteriormente se hizo el cuarteo manualmente mediante el método del cono. Ver imagen 16 de anexo 4

d. Molino de bolas:

El molino de bolas de laboratorio es de tipo Denver, construido de acero inoxidable, tiene una capacidad de 9 litros, está diseñado para moler muestras de minerales húmedas. Este molino funciona de manera ideal en un rodillo de laboratorio. Ver imagen 17 de anexo 4

e. Potenciómetro.

Se usó para controlar el pH durante el procesamiento de sílice. Ver imagen 18 de anexo 4

f. Equipo de flotación laboratorio.

Celdas de flotación DENVER (03) y celda de flotación VYMSA (03). Ver imagen 19 de anexo 4

Modelo : TE1BF0X0
 RPM : 1760
 Fabricante : VYMSA
 Tipo de equipo : Mecánica
 Celda Rougher : 7 litros
 Cleaner : 3.5 litros

Las funciones que cumple la celda de flotación son:

- Agitar la pulpa para mantener en suspensión a las partículas minerales de la pulpa, para prevenir la sedimentación de los mismos.
- Producir una buena aireación, para evitar que las partículas minerales se mojen y reaccione con facilidad con reactivos colectores, depresores o activadores según el caso y la formación de burbujas.
- Promover las colisiones y adhesiones de las partículas minerales en las burbujas de aire estabilizados.
- Proveer un eficiente transporte de las espumas cargadas de minerales contaminantes de la sílice.

g. Estereoscopio.

Se usó para ver muestras sólidas, húmedas y secas, antes y después del procesamiento del mineral no metálico valioso. Ver imagen 20 de anexo 4

Modelo : CZM6
 Características : 110-240V; 50/60Hz, 35 Watts;
 Bottom Lamp 12V 20W
 Vendedor : Kossodo S.A.C.

3.7.3. Validación o requisitos de los instrumentos de medición.

Todo instrumento de medición para la recolección de los datos experimentales deben tener 03 requisitos fundamentales:

La confiabilidad, los instrumentos fueron precisos en las mediciones o resultados de la investigación; realizados los ensayos repetidos o post ensayos produjeron resultados consistentes o coherentes o muy semejantes. Pero, en las investigaciones ingenieriles casi nunca se obtiene resultados iguales.

La validez, los instrumentos usados en el laboratorio durante el procesamiento de la sílice fueron diseñados para medir a los factores de investigación, por ejemplo la celda de flotación de minerales, fue validado por haber obtenido un alto grado purificación de la sílice, mediante el control correcto de los factores de procesamiento.

La objetividad, los instrumentos fueron permeables a la influencia de ciertos factores no controlables o intervinientes.

La validez, confiabilidad y la objetividad de los instrumentos de medición, no se asumen, el grado de confiabilidad fueron comprobados en el laboratorio, una vez encontrado a los factores más significativos del proceso con una buena ley de sílice y una buena recuperación de la misma; para contrastar la validez del equipo de flotación, se hizo el ensayo de confirmación (post prueba), obteniendo resultados consistentes y coherentes, en consecuencia los instrumentos son confiables y válidos. Ver imagen 21 de anexo 4.

Por lo tanto, si el instrumento de medición no cumple por lo menos con una de las condiciones, los resultados o las

conclusiones no son legítimos o confiables ni válidos, en consecuencia, la investigación debe ser rechazada.

3.7.4. Características de los factores de medición.

La descripción de los factores controlados durante el proceso de flotación inversa de la sílice, ver tabla 8.

Tabla 8:: Factores y escalas de medición

Factores	Tipo de factor	Valores de los factores	Escala de medición
Granulometría	Cuantitativo continuo	Por determinar	Intervalo
Densidad de la pulpa	Cuantitativo continuo	30-35% de sólidos	Fijo
pH	Cuantitativo continuo	Por determinar	Intervalo
Colector	Cuantitativo discreto	Por determinar	Intervalo
Espumante	Cuantitativo discreto	Por determinar	Intervalo
Acondicionamiento	Cuantitativo discreto	Por determinar	Intervalo
Agitación	Cuantitativo discreto	1250 RPM	Fijo

FUENTE: Autoría propia

a. Granulometría (molienda):

La molienda fue efectuada a malla -100, es uno de los factores principales de la flotación, fue explorado convenientemente, para establecer el grado de molienda requerida u optima, para controlar a los factores involucrados en la flotación.

El tamaño de las partículas de la mena es un factor sobre la cual debe ponerse más énfasis en su control, debido a su efecto de liberación de los minerales de interés minero, para obtener una buena ley de mineral purificado y recuperación metalúrgica.

b. Densidad de la pulpa:

La densidad de pulpa afecta el tiempo de residencia del mineral en las etapas de flotación. En general, en la etapa de

flotación rougher o flotación primaria la densidad o el porcentaje de sólidos utilizados fueron controlados en el orden del 30% a 35% de sólidos, mientras que, en las etapas de limpieza (cleaner) se trabajó con un porcentaje de sólidos de 25% a 30%.

Es muy importante resaltar, que la densidad de la pulpa varía constantemente a medida que los sólidos contaminantes son removidos con la espuma y se añade agua para mantener el nivel de pulpa para la flotación.

c. pH:

El pH es el factor de control más utilizada en el proceso de flotación por espumas, siendo fundamental para la selectividad y recuperación, haciendo uso de los diversos reactivos orgánicos e inorgánicos.

El proceso de flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación inversa. Los reactivos de flotación, principalmente los colectores, operan mejor en ciertos rangos de pH.

Mayormente en la flotación directa, la regulación del pH se realiza con cal; en este caso, además de actuar como modificador de pH, es un depresor de la pirita, sílice y otros contaminantes en la flotación selectiva directa de minerales de cobre y otros.

En la flotación inversa de la sílice no se usa cal, porque activa a la sílice en pH mayor a 8; se debe usar ácido sulfúrico o NaOH o Na_2CO_3 para obtener un pH de óptimo de flotación.

d. Acondicionamiento.

En las diferentes etapas de la flotación inversa se controló el acondicionamiento o periodo de agitación de la pulpa, para la aproximación a las condiciones de equilibrio en forma eficiente de los reactivos de flotación con la superficie de los minerales, bajo esta condición los reactivos de flotación reaccionan rápidamente con la superficie de la sílice o con la superficie de los contaminantes, obteniendo propiedades específicas del mineral valioso, hidrofobización, activación y depresión.

e. Agitación.

La agitación de la pulpa, fue para permitir el contacto directo de los reactivos con las partículas minerales; de esa manera acelerar las reacciones químicas; para mantener siempre en suspensión a los minerales pulverizados; contacto del mineral con las burbujas estabilizadas, etc.

3.8. Técnicas de recojo, procesamiento y presentación de datos.

La observación estimula la curiosidad, provoca el planteamiento de problemas y de las hipótesis correspondientes; las técnicas de recolección de datos son la observación, equipos, diagrama de flujo, etc.

3.8.1. Técnicas de recojo de datos.

La técnica usada para la recolección de datos fue la observación directa del proceso de flotación, mediante el uso sistemático de mis sentidos, completando esta técnica con la libreta de notas, las tablas, máquina fotográfica, grabadora, etc.

Características de la observación.

- **Sistemática**, las observaciones se hizo en forma ordenada, coherente.
- **Es un proceso sensorial**, los sentidos fueron los medios de captación de los datos e informaciones del proceso de investigación experimental.
- **Es instrumental**, la observación se hizo mediante el empleo de instrumentos, medios electrónicos, mecánicos o manuales para lograr una captación más eficiente y real.
- **Es objetiva**, los datos obtenidos mediante los instrumentos fueron reales y confiables.

Tipos de observación.

a. Por el grado de manipulación de los factores:

- **Observación experimental**, consistió en la manipulación intencional de los factores o indicadores, con la finalidad de obtener los mejores resultados o respuestas o efectos (variable dependiente).
- **Observación no experimental**, no usé en ningún caso, porque mi trabajo de tesis fue netamente experimental en el laboratorio.

b. Por los medios empleados:

- **Observación estructurada**, se usó instrumentos que se encuentran en el laboratorio, elegidos con previsión y anticipación, a partir del cuadro de operacionalización de las variables.
- **Observación no estructurada**, esta observación fue realizada en forma libre no espontanea y sin el empleo de

instrumentos de investigación, solamente haciendo uso de mis sentidos.

c. Por el lugar donde se realiza:

- **Observación en laboratorio**, esta práctica se hizo en las instalaciones del laboratorio con los respectivos equipos, instrumentos y medios necesarios preparados y organizados anticipadamente.
- **Observación de campo**, se realizó durante la toma de muestras, sin manipular o controlar ningún factor; planificado en forma espontánea y no espontánea.

3.8.2. Técnicas de procesamiento y presentación de datos:

La disponibilidad en el mercado de la tecnología de computadoras y programas estadísticos, me facilitó el uso del diseño factorial y los análisis estadísticos en tiempo real de los experimentos del procesamiento de la sílice por el método de flotación inversa por espumas; debido a la presencia de un número considerable de factores experimentales, específicamente cuando el costo experimental es alto.

En la presente investigación, se empleó la técnica estadística para el procesamiento y presentación de los datos obtenidos mediante la observación haciendo uso de las tablas, modelos matemáticos y gráficos; éstos tienen que ser interpretados. En esta parte de la investigación científica se usó:

- Una laptop
- Software estadístico, statgraphics centurión XVI
- Cuaderno de apuntes

- Una impresora
- Papeles, A4
- Otros

Como el conjunto de factores experimentales son cuantitativos continuos, las técnicas apropiadas para los análisis de datos, se realizó haciendo uso de un programa estadístico, mediante las regresiones simples, parciales o múltiples, según el caso, con la finalidad de predecir el valor o valores de los efectos más significativos o resultados más óptimos del proceso de investigación cuantitativa.

3.9. Reactivos de flotación.

Los principales reactivos de flotación evaluados o usados durante el proceso de purificación, fueron: colectores; espumantes y modificadores.

3.9.1. Colectores.

Son moléculas o iones orgánicos que son absorbidos por la superficie de los minerales para ser hidrofóbicos, de esa manera crear las condiciones favorables para su adherencia a las burbujas de aire estabilizado y ser flotados.

El carácter hidrofóbico del mineral se debe al radical hidrocarburo del colector o promotor, impidiendo y destruyendo su hidratación, así mismo dota al colector más estabilidad de absorción sobre la superficie del mineral.

3.9.2. Espumantes.

Son sustancias orgánicas heteropolares parcialmente solubles en agua y reducen la tensión superficial del agua. Estos

reactivos se adhieren a la interface aire-agua, para formar una espuma dentro de la pulpa y salen a la superficie de la misma.

3.9.3. Modificadores.

Tales como activadores, depresores, modificadores de pH, floculantes, dispersantes, sulfurantes y otros; se usan para intensificar la acción de los colectores sobre la superficie del mineral o para modificar las propiedades fisicoquímicas de la superficie de las partículas minerales según sea el caso.

Por lo tanto, la función específica de los reactivos modificadores es preparar las superficies minerales para la adsorción o desorción de un determinado reactivo sobre ellas y crear en la pulpa de flotación las condiciones apropiadas para realizar una buena flotación de los minerales valiosos.

3.10. Diseño experimental activa.

Son realizados mediante un diseño predeterminado (diseño de experimentos), que permiten evaluar simultáneamente todos los factores considerados; evaluar las interacciones entre los factores y reducir el número de experimentos o corridas; que reduce el tiempo de experimentación, mejora la eficiencia, nos conduce a conclusiones confiables mediante el análisis estadístico y predicciones verdaderos (15).

Diseño de experimentos, es un conjunto de pruebas experimentales, bajo ciertas condiciones operacionales; de tal manera que los datos obtenidos o generados pueden ser analizados estadísticamente para obtener conclusiones objetivas y válidas del proceso de investigación.

3.11. Diseño experimental pasiva.

Denominado también convencional, clásica o VUFCV (variar un factor cada vez), los ensayos experimentos son llevados a cabo variando una factor cada vez; el inconveniente es cuando existe interacción entre los factores en estudio. Por ejemplo, en una corrida experimental, se hace variar la primera variable mientras que la segunda variable se mantiene constante y viceversa.

Este método no es muy conveniente cuando se investiga más de dos factores, además no se considera las interacciones entre los factores. Se tiene la probabilidad de conducirnos a un falso resultado (15)

3.12. Tipos de factores.

- a. Continuos: Son representados por números enteros o fracciones
- b. Discretos: Son representados únicamente por números enteros.

3.13. Determinación de los factores experimentales del proceso.

En la metalurgia extractiva, específicamente en el procesamiento de minerales mediante el método de flotación por espumas, hay muchos factores que afectan a la flotación que no pueden ser controlados en global por el investigador; los factores que regularmente se controlan son: molienda, densidad de la pulpa, reactivos químicos, acondicionamiento, pH, velocidad de agitación, temperatura, pre-aireación, agua, carga circulante y otros. En consecuencia, para la buena selección de los factores experimentales es necesario la operacionalización de la variable independiente (causa) y la experiencia del investigador en el tema de flotación. Ver esquema 1.

“La operacionalización es un proceso que variará de acuerdo al tipo de investigación y su diseño. No obstante, las variables deben estar claramente definidas y convenientemente operacionalizadas” (16).

El proceso de llevar a una variable teórica de un nivel abstracto a un plano operacional o concreto, se denomina operacionalización, que consiste en descomponer deductivamente a las variables que forman parte del problema de investigación.

Antes de realizar la recolección de datos, el investigador debe definir los indicadores o factores experimentales o variables activas o variables explicativas o variables empíricas; y para ello deberá utilizar términos operacionales, es decir, que produzcan datos concretos, que sean cuantificables. (17) (18)

Una exploración completa de todos los factores involucrados en el problema de investigación nunca es factible. Los factores seleccionados dependen del problema en estudio, así como de los resultados obtenidos de los trabajos experimentales preliminares.

En la mayoría de los casos de procesamientos experimentales de minerales por el método de flotación por espumas gira alrededor de los siguientes factores: Reactivos químicos, principalmente los colectores, depresores, activadores, reguladores de pH y otros como la densidad de la pulpa y granulometría. Al final el procesamiento del mineral debe ser el más económico, no necesariamente el más sencillo.

Por lo tanto, ningún investigador serio, se lanza a buscar conocimientos sin operacionalizar a las variables de investigación para obtener factores o indicadores experimentales que deben ser

directamente manipulados los valores, mediante los instrumentos que permite observar (16).

Habiendo realizado los ensayos preliminares en el laboratorio, los factores experimentales iniciales más significativos fueron:

- Molienda
- Sulfuro de sodio
- Sulfato de cobre
- AEREO 343
- Silicato de sodio
- MIBC
- pH

Estos factores llamados también indicadores o variables de entrada del proceso, se pueden fijar en un punto o en un nivel de operación, éstos usualmente fueron controlados experimentalmente en el laboratorio durante el proceso de investigación, se distinguen porque se pueden manipular su nivel de operación de esa manera experimentar con ellos.

Las características de los factores experimentales de flotación inversa, ver tabla N° 9.

3.14. Diseños factoriales.

El objetivo de un diseño factorial es el estudio de varios factores o variables activas sobre una o varias respuestas o características de calidad, es decir se busca estudiar la relación entre los factores experimentales y la respuesta(s) que mejoren el desempeño del proceso.

Tabla 9: Características de los reactivos de flotación (factores) experimentales

DESCRIPCIÓN	Molienda	Na₂S	Sulfato de cobre	AERO 343	Silicato de sodio	MIBC	pH
Denominación	Molienda	Reactivo Químico	Reactivo Químico	Reactivo químico	Reactivo químico	Espumante	pH
Tipo	Experimental	Experimental	Experimental	Experimental	Experimental	Experimental	Experimental
Naturaleza	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo	Cuantitativo
Medición	Análisis de Malla	Sulfurizar a los contaminantes	Activar a los contaminantes	Dotar el carácter hidrofóbico al mineral	Deprimir a la sílice	Produce espumas	pH de la pulpa
Indicador	Granulometría-Liberación de la sílice	Grado de flotación de los contaminantes	Flotabilidad de los contaminantes activados	Contaminantes hidrofobizados	Grado de depresión de la sílice	Adherencia de la sílice	Alcalinidad o acidez de la pulpa
Unidad de medida	Nº de malla	Gotas	Gotas	Gotas	Gotas	Gotas	Unidad
Instrumento	Equipos de Molienda	Celdas de flotación	Celdas de flotación	Celdas de flotación	Celdas de flotación	Celdas de flotación	Potenciómetro
Dimensión	Mineral pulverizado	Minerales sulfurizados	Minerales activados	Minerales aerofóbicos	Mineral con pureza comercial	Mineral con pureza comercial	Pulpa con pH conocido
Definición Conceptual	Molienda del mineral	Reactivo heteropolar	Reactivo heteropolar	Reactivo heteropolar	Reactivo heteropolar	Reactivo heteropolar	pH de pulpa
Definición operacional	Experimental	Experimental	Experimental	Experimental	Experimental	Experimental	Experimental

FUENTE: Autoría propia

Con el diseño factorial completa o fraccionado se corren aleatoriamente el proceso con todas las posibles combinaciones de los factores activas con los niveles seleccionados (19) (20).

3.14.1. Ventajas de los diseños factoriales.

- a. Se pueden correr diseños factoriales fraccionados, las cuales son de gran utilidad en las primeras etapas de una investigación que involucra a muchos factores.
- b. Se pueden correr diseños factoriales de segundo orden.

La interpretación y cálculos de los efectos se realizan con la ayuda de un programa estadístico.

3.14.2. Análisis del diseño factorial.

Una vez realizado o hecha las corridas del experimento y los análisis químicos, regresamos a la computadora y abrimos el archivo donde se guardó la secuencia de los ensayos experimentales, allí se cargan los resultados (efectos).

Lo recomendable es construir el diagrama de Pareto y el Gráfico de Daniel con los factores participantes; luego se procede a excluir los efectos pequeños o confundidos hasta obtener el mejor ANOVA del proceso.

Identificado el mejor ANOVA, se procede a la etapa de interpretación de los efectos activos mediante las tablas y figuras principales y de interacciones.

3.14.3. Análisis de significancia.

Para determinar la significancia de los factores existen dos métodos importantes:

- a. El método de los signos.
- b. Usando regresión con software estadístico

3.14.4. Modelos matemáticos empíricos.

La técnica de construir los modelos, es a través de diseños experimentales que son utilizados para la optimización de procesos metalúrgicos. Existen dos tipos de modelos matemáticos: Primer orden y segundo orden, cada una de ellas tienen su propia interpretación.

3.15. Conclusiones.

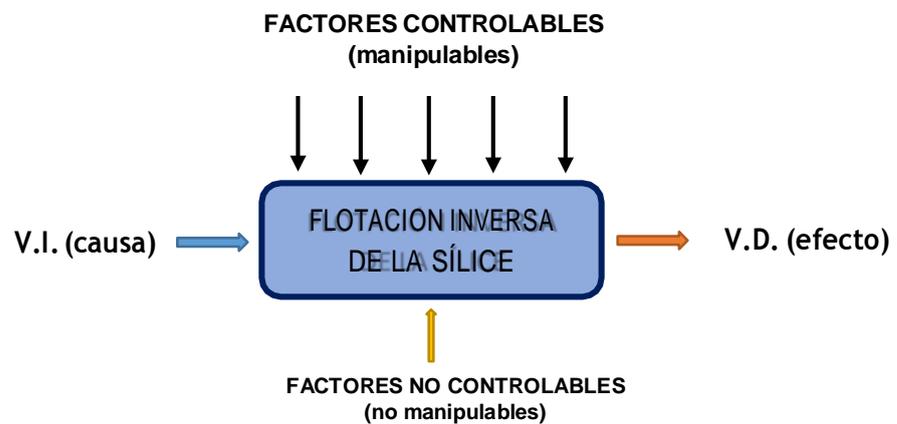
Las conclusiones deben ser claras, afirmaciones no ambiguas, basadas en la evidencia de los resultados (21) (22)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Corridos o pruebas experimentales pre experimental.

Haciendo uso del esquema N° 3, se realizó la primera etapa de flotación preliminar para seleccionar a los factores de operación más significativos del proceso mediante el diseño factorial de Plankett-Burman, el factor pH alcalino de la pulpa resultó muy elevado, mayores a pH 9; obteniendo como resultado la flotación de pocos contaminantes pero con abundante sílice, siendo el proceso incorrecto; con el pH del efluente líquido metalúrgico resultante no se puede mitigar el impacto ambiental negativo.



Esquema 3: Diseño experimental del proceso
FUENTE: Autoría propia

Luego se hizo la segunda etapa de pruebas experimentales con cambio de ciertos reactivos, fundamentalmente al colector, encontrando un resultado algo positivo mediante la flotación inversa. Cuando la parte estéril representa una fracción menor en relación al mineral de interés minero, la separación por flotación adopta un carácter de un proceso de purificación o flotación inversa.

Después haber realizado la tercera etapa con una serie de ensayos, pruebas o corridas experimentales en el laboratorio de metalurgia, se reconfirmó por la flotación inversa; encontrando otros factores más significativos con sus niveles correspondientes del proceso; vale indicar, después de las pruebas experimentales de pre ensayos se eliminó al Na_2S ; Na_2SiO_3 y al colector Z-11, este último fue sustituido por el colector PBA49; que correspondía a la Tabla N° 9; ahora ver tabla 10.

Tabla 10: Factores para el diseño factorial fraccionado

VARIABLES	NIVEL (-)	NIVEL (+)
X ₁ : Molienda (min)	4	5
X ₂ : PBA49 (gotas)	3	4
X ₃ : Sulfato de cobre (gotas)	1	2
X ₄ : MIBC	2	3
X ₅ : pH	7	8

Mineral : 500 g

Malla : -100

FUENTE: Autoría propia

4.2 Consideraciones finales para el procesamiento correcto de flotación inversa.

a. Flotación rougher o primaria:

El procedimiento de la flotación primaria se realizó tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Peso del mineral, 500 gramos
- La molienda fina es -100 malla, 4 minutos.
- La RPM de la celda de flotación: 1250
- Una vez trasferido la pulpa a la celda de flotación, se agrega 500 centímetros cúbicos de agua de agua, obteniendo una densidad alta de la pulpa, 1,145 g/ml; en seguida se acondiciona con ingreso de aire durante 3 minutos.
- Se dosifica 2 gotas de colector PBA49 en la celda de flotación funcionando, se acondiciona 3 minutos

- Se dosifica 3 gotas de CuSO_4 en la celda de flotación, como activador de los contaminantes, se acondiciona durante 3 minutos.
- Se agrega 1 700 ml de agua, obteniendo una densidad de flotación de 1 063 g/ml.
- En pleno funcionamiento de la celda de flotación se agrega 2 gotas de dimetil isobutil carbinol (MIBC).
- Acondicionar durante 3 minutos.
- Se realiza el control riguroso del pH del proceso, siendo el pH ligeramente alcalino, 7,6 aproximadamente.
- Tiempo de flotación 15 minutos

b. Flotación de limpieza o cleaner:

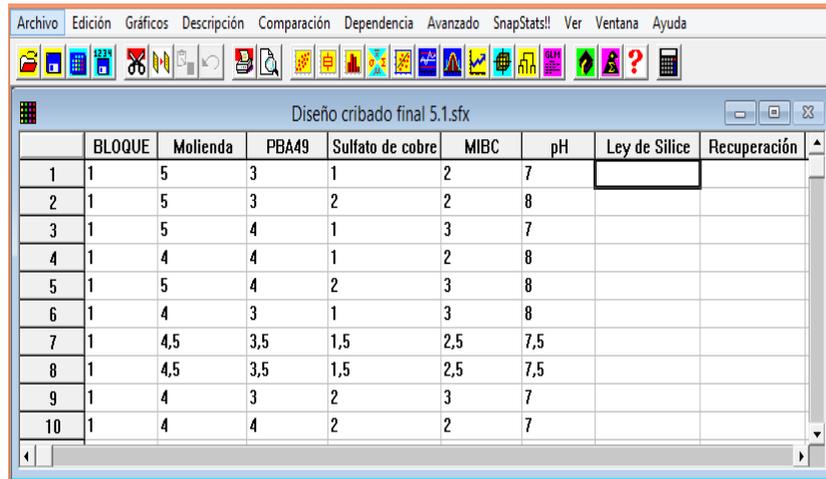
La limpieza del concentrado primario o el producto de la flotación rougher, se realizó tomando en cuenta las siguientes dosificaciones de reactivos y los acondicionamientos respectivamente:

- PAB49 = 1 gotas
- Acondicionamiento = 3 minutos
- Sulfato de cobre = 1 gota
- Acondicionamiento = 3 minutos
- MIBC = 1 gota
- Acondicionamiento = 3 minutos
- pH = 7,6 – 7,8
- Tiempo de flotación = 10 minutos

4.3. Construcción del diseño factorial fraccionado

Tomando en cuenta la tabla 10 se construye el diseño factorial fraccionado, ver tabla 11.

Tabla 11: Diseño factorial fraccionado



	BLOQUE	Molienda	PBA49	Sulfato de cobre	MIBC	pH	Ley de Sílice	Recuperación
1	1	5	3	1	2	7		
2	1	5	3	2	2	8		
3	1	5	4	1	3	7		
4	1	4	4	1	2	8		
5	1	5	4	2	3	8		
6	1	4	3	1	3	8		
7	1	4,5	3,5	1,5	2,5	7,5		
8	1	4,5	3,5	1,5	2,5	7,5		
9	1	4	3	2	3	7		
10	1	4	4	2	2	7		

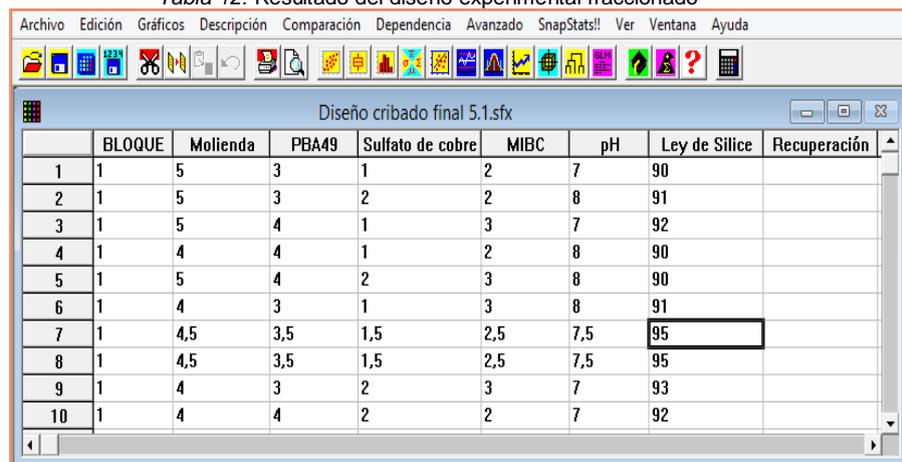
FUENTE: Autoría propia

4.4. Corridos o pruebas experimentales.

Las pruebas experimentales se realizaron en el orden indicado en la Tabla N^o 11 en el Laboratorio de Metalurgia y Absorción Atómica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), obteniendo los resultados siguientes: Ver imágenes 22; 23; 24 y 25 del anexo 5; figuras 1 y 2; además tablas 12; 13 y 14.

El pH 8,35 inicial de la pulpa se reguló a un pH 7,5 aproximadamente; para mejorar los resultados, además para mitigar el efluente líquido.

Tabla 12: Resultado del diseño experimental fraccionado



	BLOQUE	Molienda	PBA49	Sulfato de cobre	MIBC	pH	Ley de Sílice	Recuperación
1	1	5	3	1	2	7	90	
2	1	5	3	2	2	8	91	
3	1	5	4	1	3	7	92	
4	1	4	4	1	2	8	90	
5	1	5	4	2	3	8	90	
6	1	4	3	1	3	8	91	
7	1	4,5	3,5	1,5	2,5	7,5	95	
8	1	4,5	3,5	1,5	2,5	7,5	95	
9	1	4	3	2	3	7	93	
10	1	4	4	2	2	7	92	

FUENTE: Autoría propia

Al analizar el diseño experimental, no se obtienen resultados satisfactorios del proceso de purificación de la sílice. Ver figuras 1 y 2.

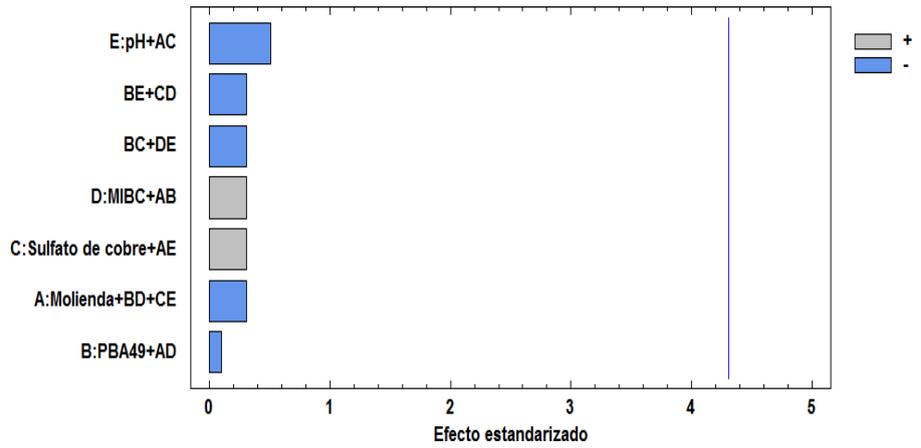


Figura 1: Pareto estandarizado inicial para la Ley de sílice
FUENTE: Autoría propia

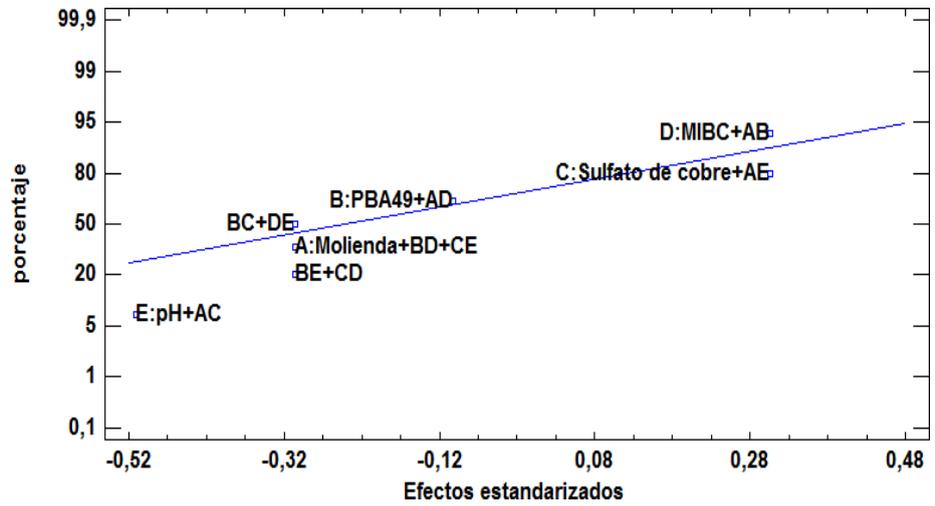


Figura 2: Probabilidad normal para ley de sílice
FUENTE: Autoría propia

Tabla 13: Efectos estimados inicial para Ley de Sílice (%)

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	91,9	+/- 4,71577	
A:Molienda+BD+CE	-0,75	+/- 10,5448	1,0
B:PBA49+AD	-0,25	+/- 10,5448	1,0
C:Sulfato de cobre+AE	0,75	+/- 10,5448	1,0
D:MIBC+AB	0,75	+/- 10,5448	1,0
E:pH+AC	-1,25	+/- 10,5448	1,0
BC+DE	-0,75	+/- 10,5448	1,0
BE+CD	-0,75	+/- 10,5448	1,0

FUENTE: Autoría propia

Tabla 14: ANOVA inicial del proceso

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Molienda+BD+CE	1,125	1	1,125	0,09	0,7885
B:PBA49+AD	0,125	1	0,125	0,01	0,9281
C:Sulfato de cobre+AE	1,125	1	1,125	0,09	0,7885
D:MIBC+AB	1,125	1	1,125	0,09	0,7885
E:pH+AC	3,125	1	3,125	0,26	0,6607
BC+DE	1,125	1	1,125	0,09	0,7885
BE+CD	1,125	1	1,125	0,09	0,7885
Error total	24,025	2	12,0125		
Total (corr.)	32,9	9			

R-cuadrada = 26,9757 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,0 por ciento

FUENTE: Autoría propia

4.5. Criterios de eliminación de los efectos o interacciones menos significativos del proceso de purificación de la sílice.

En la tabla 14, los efectos no son significativos porque los Valor-P son mayores al 5% de nivel de significancia (elegido por el investigador), a los factores confundidos en las interacciones se eliminan y se mandan al error; finalmente se obtiene el MEJOR ANOVA que solo tienen términos significativos, probablemente sea la herramienta más útil en la inferencia estadística. Habiendo eliminado ciertos factores confundidos en las interacciones, realizados a partir de las figuras 1 y 2. Ver figura 3:

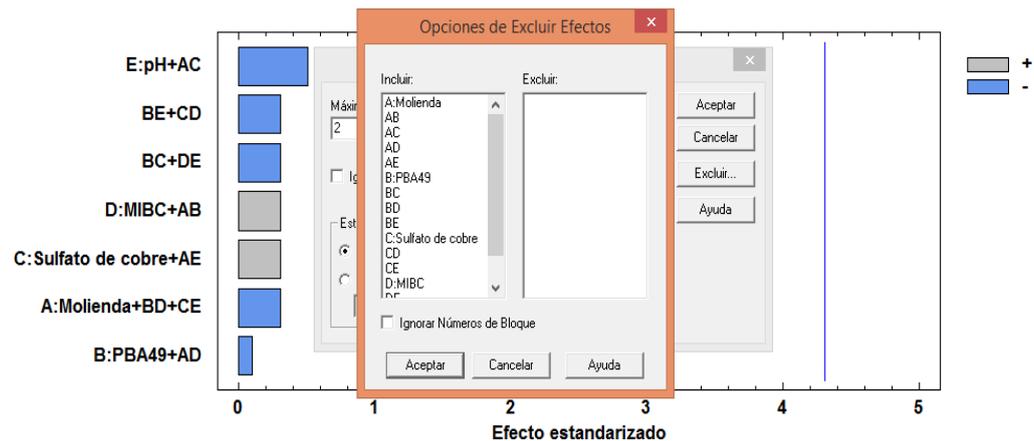


Figura 3: Eliminación de factores o interacciones confundidos
FUENTE: Autoría propia

Después de las eliminaciones, se obtienen los siguientes resultados:

Ver figuras 4 y 5, además tablas 15 y 16.

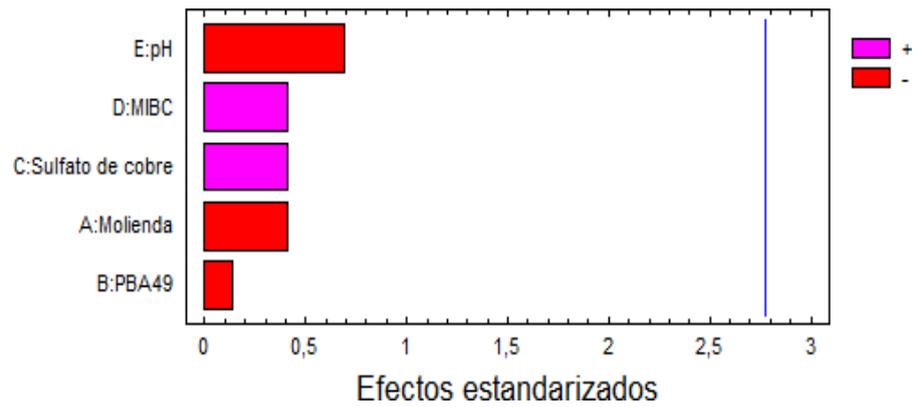


Figura 4: Pareto estandarizado final para la Ley de sílice
FUENTE: Autoría propia

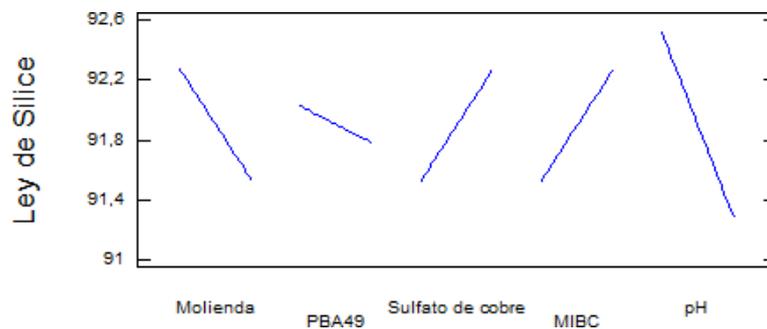


Figura 5: Efectos principales para la ley de sílice
FUENTE: Autoría propia

Tabla 15: Efectos estimados final para Ley de Sílice (%)

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	91.9	+/- 2.25026	
A:Molienda	-0.75	+/- 5.03172	1.0
B:PBA49	-0.25	+/- 5.03172	1.0
C:Sulfato de cobre	0.75	+/- 5.03172	1.0
D:MIBC	0.75	+/- 5.03172	1.0
E:pH	-1.25	+/- 5.03172	1.0

FUENTE: Autoría propia

Tabla 16: ANOVA resultante después de haber eliminado factores confundidos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Molienda	1,125	1	1,125	0,17	0,7002
B:PBA49	0,125	1	0,125	0,02	0,8969
C:Sulfato de cobre	1,125	1	1,125	0,17	0,7002
D:MIBC	1,125	1	1,125	0,17	0,7002
E:pH	3,125	1	3,125	0,48	0,5283
Error total	26,275	4	6,56875		
Total (corr.)	32,9	9			

R-cuadrada = 20,1368 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,0 por ciento

FUENTE: Autoría propia

4.5.1. Análisis estadístico de los datos.

Para analizar los datos obtenidos se usó Statgraphics Centurión XVI, que cuenta con **interface directa** para el análisis

estadístico; con la finalidad de que los resultados y las conclusiones sean objetivos y no de carácter apreciativo. Con frecuencia que los métodos gráficos simples desempeñan un papel importante en el análisis e interpretación de datos.

Interpretación de los efectos según tabla 15; figuras 4 y 5.

En la tabla 15 y figura 4, se observa:

- Los signos de los factores A; B; E son negativos, lo cual indica que están en su nivel máximo, o sea en el punto óptimo, es decir son constantes durante el proceso.
- Los signos de los factores C; D; son positivos, por tanto, están en su nivel mínimo, siendo las causantes de la variabilidad de la ley de sílice y la recuperación de la misma; por lo cual deben ser maximizados para establecer sus rangos de trabajo óptimo y obtener sílice de alta pureza.

Al haber identificado a los factores más significativos del procesamiento de la sílice, se pasará a la etapa del DCC para mejorar la ley sílice y la recuperación de las misma, manteniendo el pH 7,6 como promedio; permitido por las normas nacionales e internacionales para no contaminar al medio ambiente, fundamentalmente al estado de agregación líquido, ver Ítem 1.3.

4.5.2. Análisis de la varianza del proceso inicial (ANOVA)

La interpretación de la tabla 16 de ANOVA se realizó con la observación de la primera y la última columna. Si el Valor-P es menor que el nivel de significancia prefijado α , se concluye que el efecto correspondiente es estadísticamente distinto de cero (0), es decir, tal

efecto está activo o influye de manera significativa sobre la respuesta. Además, mientras más pequeño sea el Valor-P de un efecto, más importante es tal efecto (23).

Se interpreta del modo siguiente:

Se evalúa a partir del Valor-P de Pareto, el cual indica que el valor que tiende a cero (0) tiene mayor significancia.

- Se observa que el factor E es el que tiende más a cero (0), por lo tanto, es el factor que tiene mayor significancia en el proceso.
- El coeficiente de correlación de 20,1368 % no es bastante aceptable, por tener valor muy bajo, lo cual confirma, que se debe pasar a un segundo estudio, tomando en cuenta a los factores más significativos del proceso, es decir con los valores de los factores optimizados.
- Así mismo el cuadrado medio (Mean Square) o varianza del error 6,56875 es mayor a la unidad (1), significa que el error cometido durante el proceso es significativo, por consiguiente, se afirma que debe realizar otras corridas experimentales de confirmación y pasar de un modelo matemático primer orden a un modelo cuadrático o segundo orden.

4.5.3. Modelo matemático de primer orden

Ley de Sílice = 102.525 – 0.75*Molienda – 0.25*PBA49 + 0.75*Sulfato de cobre + 0.75*MIBC – 1.25*pH

Interpretación: La constante del modelo matemático (102.525) es positivo, indica que se encuentra en el mínimo, debe ser maximizado hasta el óptimo; tomando en cuenta el factor con mayor significancia, factor C (sulfato de cobre) seguido por el factor D (MIBC), por tener pendiente positiva respectivamente.

4.5.4. Figura de superficie respuesta.

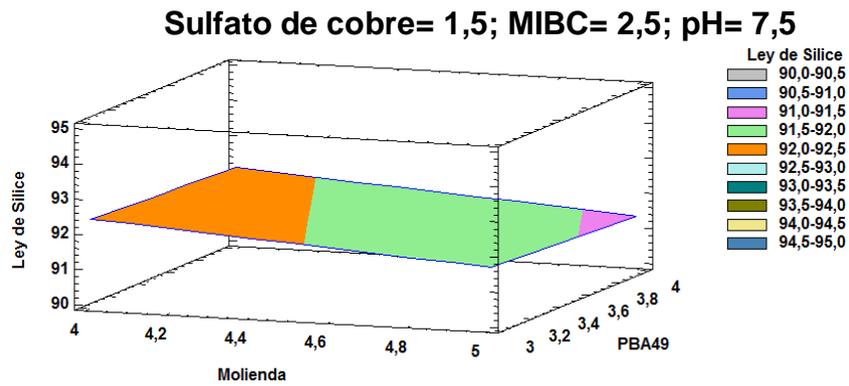


Figura 6: Superficie de respuesta estimada

FUENTE: Autoría propia

Interpretación.- La figura 6, representa un modelo matemático de primer orden y se observa que la superficie de respuesta es un hiperplano, no tiene términos de interacción ni términos cuadráticos, es decir no presenta curvatura. Por lo tanto, el modelo matemático de primer orden es adecuado para pasar a un modelo matemático de segundo orden.

4.6. Diseño compuesto central (DCC).

Después de los resultados y los análisis respectivamente, para mejorar la ley y la recuperación de la sílice, se optó por el diseño compuesto central (DCC), también denominado Diseño Estadístico de Experimentos (DEE), es el diseño más utilizado en la etapa de búsqueda del modelo matemático de segundo orden, debido a su gran flexibilidad, se construye a partir de un diseño factorial fraccionado.

En el presente trabajo de investigación, se eligió el DCC, porque permite optimizar el gasto del recurso experimental: No hay necesidad de comenzar de cero, aprovechar las corridas realizadas para la selección de factores experimentales mediante el diseño factorial fraccionado.

El uso del DCC es con la finalidad de incrementar el rango de los niveles a ambos lados o extremos sin tener que mover los datos originales,

ya sea a la izquierda o derecha de los valores de niveles de los factores más significativos en estudio (24).

Sabiendo que los factores sulfato de cobre (A) y MIBC (B) tienen pendiente positiva, para formular el DCC, se tomó en cuenta los valores optimizados de los factores mencionados más significativos, ver tabla 17.

Tabla 17: Valores óptimos

Meta: maximizar Ley de Sílice
Valor óptimo = 93,775

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Molienda	4,0	5,0	4,0
PBA49	3,0	4,0	3,0
Sulfato de cobre	1,0	2,0	2,0
MIBC	2,0	3,0	3,0
pH	7,0	8,0	7,0

FUENTE: Autoría propia

Tomando en cuenta la tabla 17 y las figuras 4 y 5 se formuló otra tabla para continuar con las corridas experimentales y analizar los efectos de los factores más significativos con la finalidad de mejorar la ley y la recuperación de la sílice. Ver tabla 18.

Tabla 18: Factores más significativos para el diseño de DCC

VARIABLES	NIVEL (-)	NIVEL (+)
X ₃ : Sulfato de cobre (gotas)	2	3
X ₄ : MIBC	2	3

Mineral : 500 g

Malla : -100

FUENTE: Autoría propia

Habiendo disminuido el número de factores del proceso, haciendo uso la tabla 18 se construye el DEE completo con una réplica mediante el programa estadístico anteriormente usado; ver tabla 19.

Para las pruebas experimentales, la tabla 19 debe estar acompañada de los factores considerados como constantes (ver figura 5 y tabla 15), además los valores son asignados de la experiencia propia del proceso de flotación inversa del presente tema de investigación, son:

- PBA49 = 3 gotas
- pH = 7,6
- Molienda = 5 min.

Tabla 19: Diseño compuesto central

	BLOQUE	Sulfato de cobre	MIBC	Ley de Sílice	Recuperación
1	1	3	2		
2	1	2,5	1,79289		
3	1	2	2		
4	1	2,5	3,20711		
5	1	1,79289	2,5		
6	1	3	3		
7	1	2,5	2,5		
8	1	2,5	2,5		
9	1	2	3		
10	1	3,20711	2,5		
11					

FUENTE: Autoría propia

Para las corridas experimentales del DCC, se tomó en cuenta el procedimiento del Ítem 4.2, la única diferencia fue el tiempo de molienda del mineral, 5 minutos; el efecto fue la mejor liberación de los minerales valiosos de los no valiosos.

Después de haber realizado las corridas o pruebas experimentales y las limpiezas respectivas en el orden indicado en la Tabla 19 y los análisis respectivos en el Laboratorio de Metalurgia y Absorción Atómica de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) y Universidad Nacional del Centro del Perú, se han obtenido los resultados siguientes: Ver tabla 20.

Tabla 20: Resultados de las pruebas experimentales del DCC

	BLOQUE	Sulfato de cobre	MIBC	Ley de Sílice	Recuperación
1	1	3	2	98	94
2	1	2,5	1,79289	98	94
3	1	2	2	94	86
4	1	2,5	3,20711	95	86
5	1	1,79289	2,5	93	82
6	1	3	3	96	86
7	1	2,5	2,5	98	92
8	1	2,5	2,5	98	92
9	1	2	3	94	87
10	1	3,20711	2,5	98	92
11					

FUENTE: Autoría propia

4.6.1. Figuras de los resultados.

Ver resultados en función a los factores más significativos:

- a. La figura 7, indica la ley y la recuperación de la sílice en función al sulfato de cobre, 98% y 94% respectivamente.

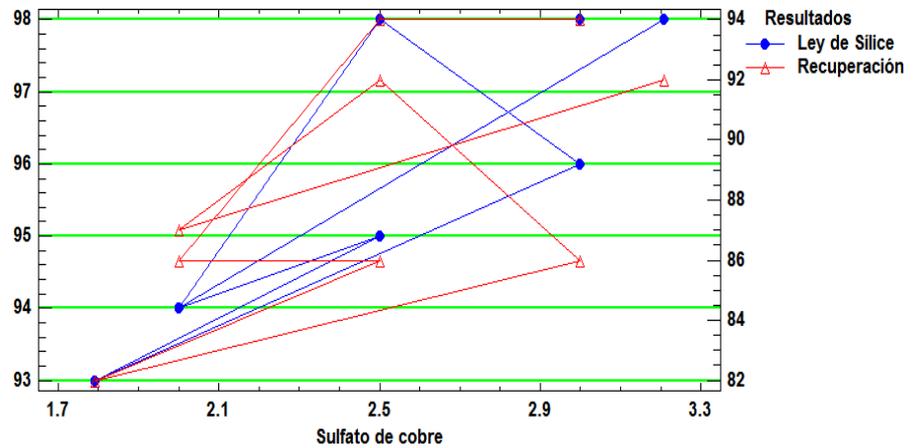


Figura 7: Análisis multivariado de resultados en función al sulfato de cobre
FUENTE: Autoría propia

- b. La figura 8, indica la ley y la recuperación de la sílice en función al MIBC, 98% y 94% respectivamente.

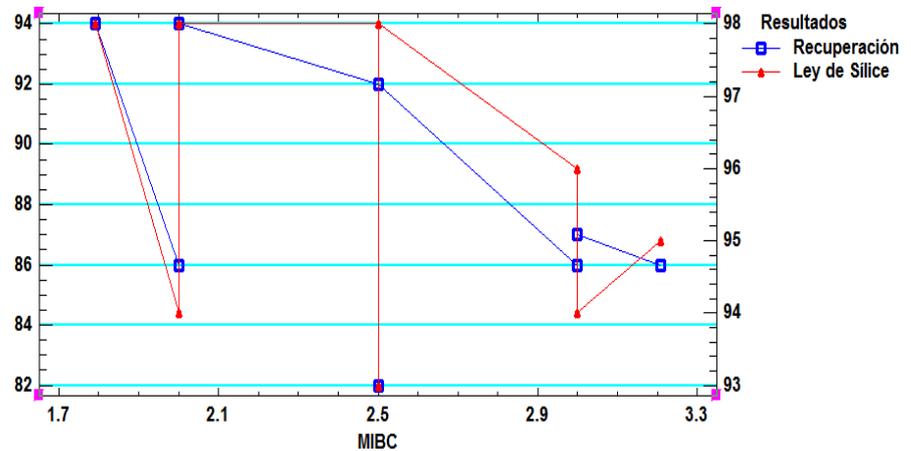


Figura 8: Análisis multivariado de resultados en función al MIBC
FUENTE: Autoría propia

4.6.2. Presentación física de los ensayos y resultados.

Al ver los resultados metalúrgicos en la tabla 20 con un pH de 7,61; se mejoró la ley de sílice y la recuperación de la misma en las

corridas 1 y 2; obteniendo 98% y 94% de ley de sílice y recuperación respectivamente. Ver Imágenes 26; 27; 28 y 29 en el anexo 5.

4.7. Análisis estadístico de los datos obtenidos en función a la ley de sílice.

Para analizar los datos obtenidos, se usa Statgraphics Centurión XVI, que cuenta con interface directa para el análisis estadístico; con la finalidad de que los resultados y las conclusiones sean objetivos y no de carácter apreciativo. Con frecuencia los métodos gráficos o figuras simples y tablas, desempeñan un papel importante en el análisis e interpretación de datos.

Tomando en cuenta la tabla 20, se realizaron el análisis estadístico obteniendo las tablas y figuras siguientes: Tabla 21 y 22; figuras 9; 10 y 11.

Tabla 21: Efectos estimados para Ley de Sílice

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Int. Confianza</i>	<i>V.I.F.</i>
promedio	98.0	+/- 1.10715	
A:Sulfato de cobre	3.26776	+/- 1.10715	1.0
B:MIBC	-1.56066	+/- 1.10715	1.0
AA	-2.74998	+/- 1.46461	1.225
AB	-1.0	+/- 1.56575	1.0
BB	-1.74999	+/- 1.46461	1.225

FUENTE: Autoría propia

Gráfico de Pareto estandarizado para Ley de Sílice

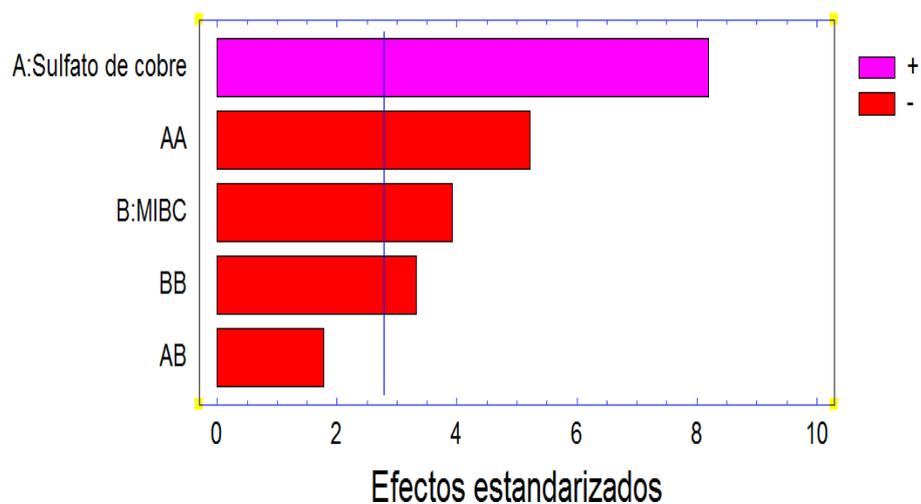


Figura 9: Gráfico de Pareto

FUENTE: Autoría propia

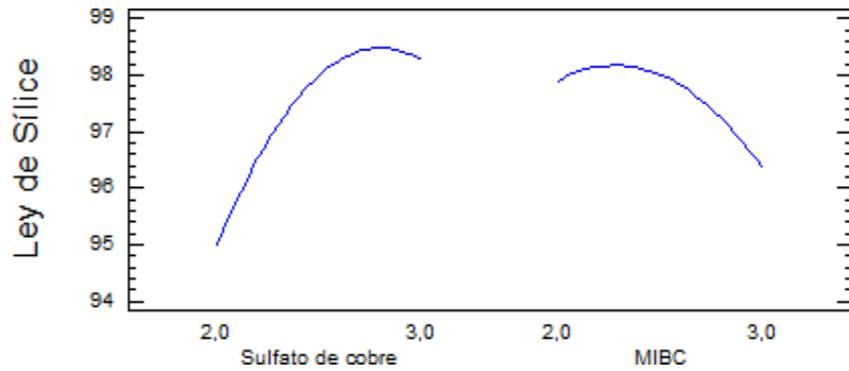


Figura 10: Efectos principales para la ley de sílice
 FUENTE: Autoría propia

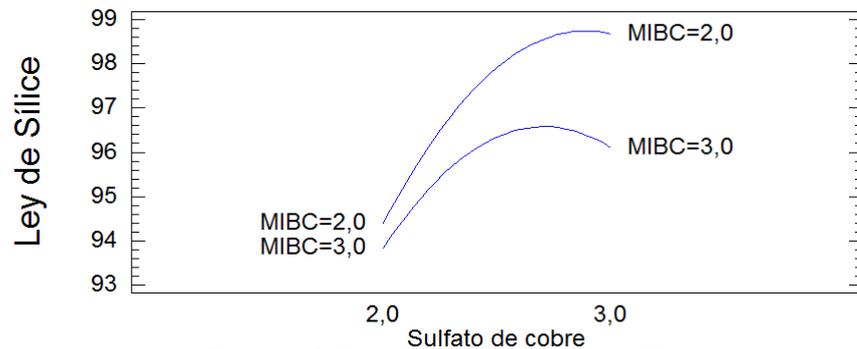


Figura 11: Gráfico de interacción para ley de sílice
 FUENTE: Autoría propia

Tabla 22: Análisis de la Varianza para Ley de Sílice (%) – Purificación de la sílice final

Análisis de Varianza para Ley de Sílice - Purificación de la sílice final					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Sulfato de cobre	21,3566	1	21,3566	67,15	0,0012
B:MIBC	4,87133	1	4,87133	15,32	0,0173
AA	8,64283	1	8,64283	27,18	0,0065
AB	1,0	1	1,0	3,14	0,1509
BB	3,5	1	3,5	11,01	0,0294
Error total	1,2721	4	0,318026		
Total (corr.)	37,6	9			

R-cuadrado = 96,6167 por ciento
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 92,3877 por ciento
 Error Estándar de Est. = 0,563938
 FUENTE: Autoría propia

4.7.1. Interpretaciones de los efectos:

a. Tabla 21, efectos estimados de la ley de sílice

Los signos de los efectos de los factores experimentales es la característica fundamental de la metalurgia extractiva: Tomando en cuenta la tabla 21 y las figuras 9 y 10;

Interpretación de los signos de los factores.

- El signo y la pendiente del factor sulfato de cobre (A) es positivo, por lo tanto, está en su nivel mínimo, por lo cual este factor debe ser maximizado, es decir es considerado como factor significativo y debe ser optimizado y establecido su rango de trabajo óptimo.
- El signo y la pendiente del factor MIBC (B) es negativo, los cuales indican que está en su nivel máximo, o sea en el punto óptimo, es decir dicho factor es constante durante el proceso.

Interpretación de las interacciones:

El signo de la interacción **AB** es negativo, significa que no existe interacción entre los factores **A** y **B**, además indica que dicha interacción está en su nivel máximo, por lo tanto, no debe ser maximizado, además se confirma mediante la figura 11, en la cual se ve que las líneas no se cruzan, en este caso significa que no hay interacción entre los factores sulfato de cobre (A) y MIBC (B).

Análisis de las cuadraturas:

El signo de las cuadraturas **AA** y **BB** son negativos, los cuales indican que ambas cuadraturas están en su máximo, por lo tanto, están en el rango máximo con el valor máximo, esto significa que dichas cuadraturas son constantes en el proceso.

b. Tabla 22, análisis de varianza de la ley de sílice (ANOVA)

Muchas veces las interpretaciones de los factores presentados en las figuras aparentan ser importantes, ellas no son tan suficientes para concluir que afectan de manera

significativa al efecto respuesta, para confirmar los efectos se debe hacer un análisis de varianza (ANOVA). La interpretación de la tabla 22 de ANOVA se realiza con la observación de la primera y última columna. Si el valor de Valor-P es menor que el nivel de significancia prefijada α , se concluye que el efecto correspondiente es estadísticamente distinto a **cero**, es decir, tal efecto está activo o influye de manera significativa sobre la respuesta. Además, mientras más pequeño sea el Valor-P de un efecto, más importante es tal efecto.

Según la tabla 22, los 4 efectos tienen Valor-P inferiores al 0,05 de nivel de significancia, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95,0% de nivel de confianza. Por lo tanto, cuando los valores de Valor-P son menores de 0,05, se rechaza a la hipótesis nula (H_0), por lo que se concluye, que los parámetros arriba mencionados son significativamente diferentes a cero, por lo tanto, la conclusión es contundente y que prácticamente no se corre ningún riesgo de rechazar a la hipótesis nula en falso.

Además, coeficiente de correlación es 96,6167% que establece que el modelo matemático se ajusta al proceso, la varianza del error o cuadrado medio es 0,318026, menor a 1, el cual indica que la variabilidad de los datos es adecuado para el trabajo de investigación, esto significa que está dentro de la curva de Gauss, por lo tanto, se afirma que el trabajo está bien desarrollado y se puede reconfirmar dicho proceso cuantas veces sea.

c. Modelo matemático de segundo orden.

Realizada la regresión, se obtiene la tabla 23 y el modelo matemático en sus unidades originales:

Tabla 23: Coeficiente de regresión para ley de sílice

<i>Coeficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	24,9826
A:Sulfato de cobre	35,7676
B:MIBC	20,9392
AA	-5,49996
AB	-2,0
BB	-3,49998

FUENTE: Autoría propia

$$\text{Ley de Sílice} = 24,9826 + 35,7676 \cdot \text{Sulfato de cobre} + 20,9392 \cdot \text{MIBC} - 5,49996 \cdot \text{Sulfato de cobre}^2 - 2,0 \cdot \text{Sulfato de cobre} \cdot \text{MIBC} - 3,49998 \cdot \text{MIBC}^2$$

Análisis del modelo matemático

- Si los factores sulfato de cobre (A) y MIBC (B) es igual a CERO podemos establecer que la ley de sílice está en su valor mínimo.
- Los factores A y B tienen signos positivos, significa que están en su mínimo, aun debiendo maximizarse para elevar la ley de sílice y la recuperación de la misma.
- Los factores cuadráticos tienen signos negativos, pero constantes diferentes, por lo tanto, se establece que es una elipse (hiperhelipsoide o hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio y estaremos ante una posibilidad de un máximo. Ver figuras 12 y 13.
- Según la figura 9, para maximizar la ley y la recuperación de la sílice, se nota que depende fundamentalmente del **sulfato de cobre** de la pulpa.

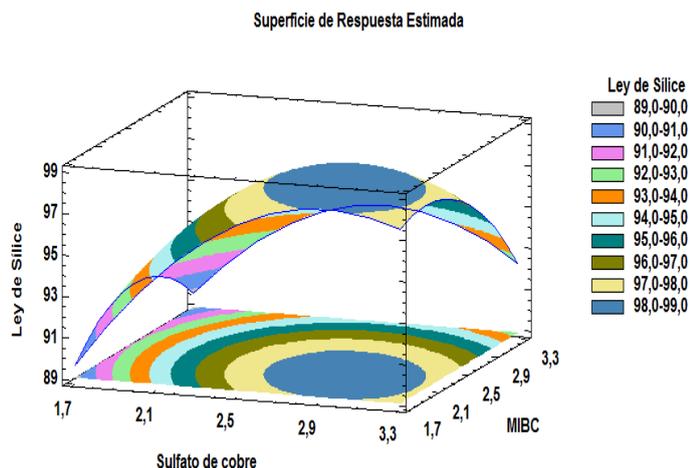


Figura 12: Análisis gráfico espacial de respuesta para ley de sílice
FUENTE: Autoría propia

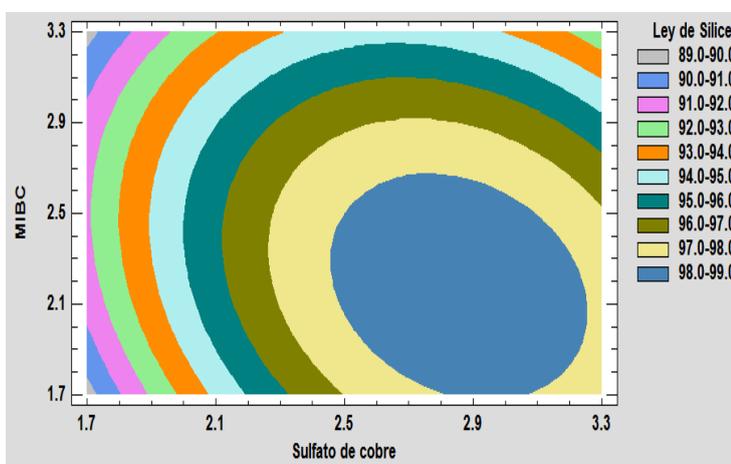


Figura 13: Contornos de la superficie de la respuesta estimada
FUENTE: Autoría propia

4.7.2 Determinación de condiciones óptimas del proceso en función a la ley de sílice.

Otra alternativa fundamental para mejorar los efectos de ley y recuperación de la sílice es optimizando el proceso, para lo cual mediante el Statgraphics Centurión XVI se formula la tabla 24

Tabla 24: Respuesta Optimizada Meta: maximizar Ley de Sílice, valor óptimo 98,8352

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Sulfato de cobre	1,79289	3,20711	2,85579
MIBC	1,79289	3,20711	2,17559

FUENTE: Autoría propia

Para maximizar la ley de sílice se debe realizar otras corridas experimentales de optimización, para obtener cerca al 98,8352% de ley de sílice final.

4.8. Análisis estadístico de los datos obtenidos en función a la recuperación de sílice.

Continuando con los análisis estadísticos teniendo como base la tabla 20, se obtienen las tablas 25 y 26; además las figuras 14; 15 y 16.

Tabla 25: Efectos estimados para la recuperación de sílice (%)

Efecto	Estimado	Int. Confianza	V.I.F.
promedio	92,0	+/- 2,91646	
A:Sulfato de cobre	5,28553	+/- 2,91646	1,0
B:MIBC	-4,57842	+/- 2,91646	1,0
AA	-5,12497	+/- 3,85809	1,225
AB	-4,5	+/- 4,1245	1,0
BB	-2,12499	+/- 3,85809	1,225

FUENTE: Autoría propia

Diagrama de Pareto Estandarizada para Recuperación

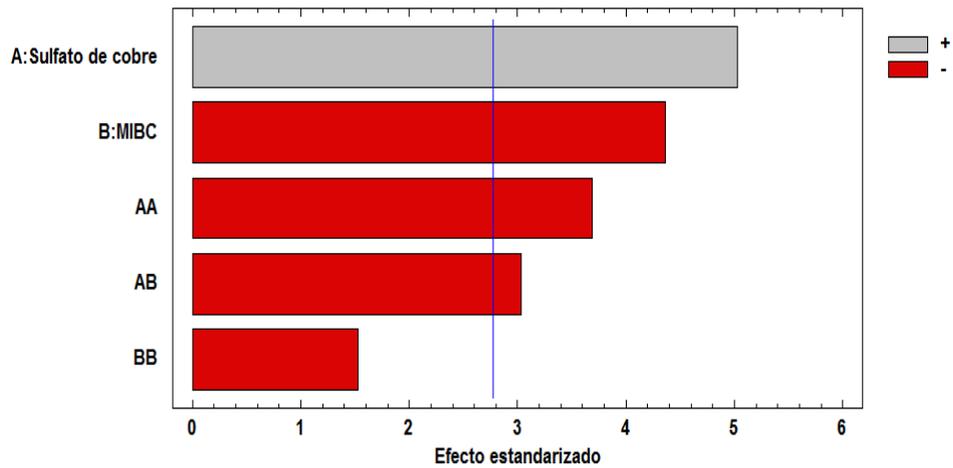


Figura 14: Gráfico de Pareto
FUENTE: Autoría propia

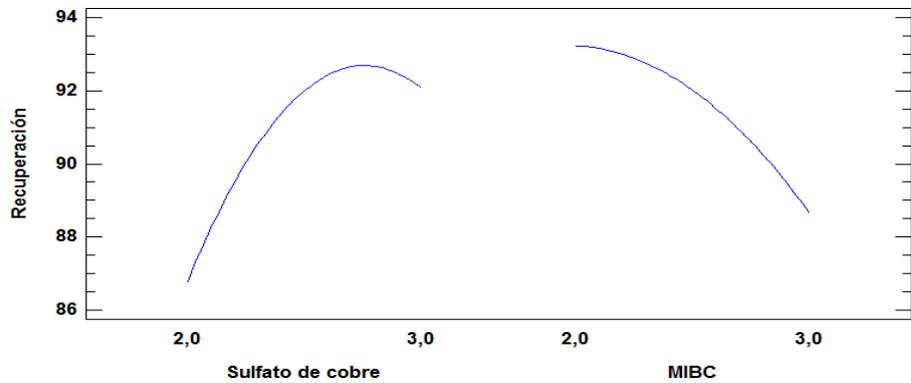


Figura 15: Efectos principales para la recuperación de sílice
FUENTE: Autoría propia

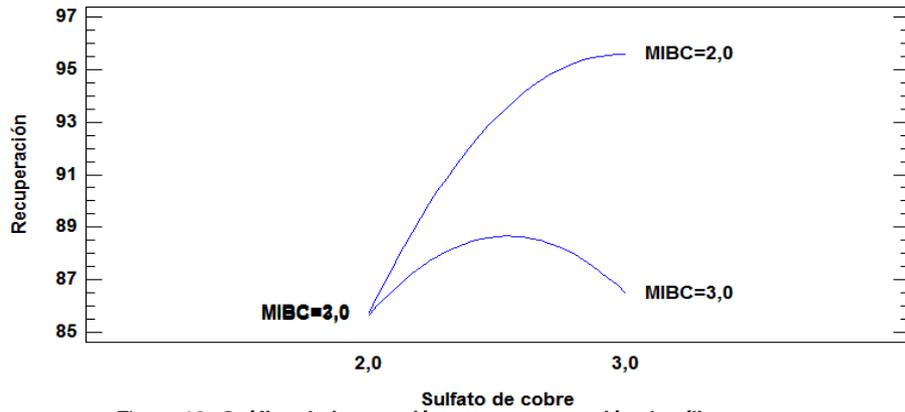


Figura 16: Gráfica de interacción para recuperación de sílice
FUENTE: Autoría propia

Tabla 26: Análisis de la Varianza para la recuperación final de sílice (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Sulfato de cobre	55,8738	1	55,8738	25,32	0,0073
B:MIBC	41,924	1	41,924	19,00	0,0121
AA	30,0178	1	30,0178	13,60	0,0211
AB	20,25	1	20,25	9,18	0,0388
BB	5,16075	1	5,16075	2,34	0,2009
Error total	8,82717	4	2,20679		
Total (corr.)	156,9	9			

R-cuadrada = 94,374 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 87,3415 por ciento

Error estándar del est. = 1,48553

Error absoluto medio = 0,762127

FUENTE: Autoría propia

4.8.1. Interpretaciones de los efectos:

a. Tabla 25, efectos estimados para la recuperación de sílice.

Tomando en cuenta la tabla 25 y las figuras 14 y 15; los signos de los efectos es la característica metalúrgica fundamental:

Interpretación de los signos de los factores.

- El signo y la pendiente del factor sulfato de cobre (A) es positivo, por lo tanto, está en su nivel mínimo, por lo cual este factor debe ser maximizado, es decir es considerado como significativo y debe ser optimizado y establecido su rango de trabajo óptimo.
- El signo y la pendiente del factor MIBC (B) es negativo, los cuales indican que está en su nivel máximo, o sea en el

punto óptimo, es decir dicho factor es constante durante el proceso.

Interpretación de las interacciones:

- Según la tabla 25, el signo de la interacción AB es negativo, significa que no existe interacción entre los factores sulfato de cobre (A) y MIBC (B), además indica que dicha interacción está en su nivel máximo, por lo tanto, no debe ser maximizado; se confirma mediante figura 16.

Análisis de las cuadraturas:

- Según la tabla 25, el signo de las cuadraturas AA y BB son negativos, los cuales indican que ambas cuadraturas están en su máximo, por lo tanto, están en el rango máximo con el valor máximo, esto significa que dichas cuadraturas son constantes en el proceso.

b. Tabla 26, análisis de varianza de la recuperación de sílice (ANOVA)

- La interpretación de la Tabla 26 de ANOVA se realiza con la observación de la primera y última columna. En este caso, los 4 efectos tienen los Valor-P inferiores o menores al 5% de nivel de significancia. Por lo tanto, cuando los valores de Valor-P son menores al 0,05, se rechazan la hipótesis nula (H_0), se demuestra que la conclusión o conclusiones son contundentes y que prácticamente no se corre ningún riesgo de rechazar en falso la H_0 .
- Además, coeficiente de correlación (R- cuadrado = 94,374%) establece que el modelo matemático se ajusta al

proceso, la varianza del error (cuadrado medio = mean square = 2,20679) es mayor a la 1, el cual indica que la variabilidad de los datos no es adecuado para el trabajo de investigación, esto significa que está fuera de la curva de Gauss, por lo tanto, se afirma que se debe continuar con la investigación, para mejorar recuperación de la sílice.

c. Modelo matemático de segundo orden.

Realizada la regresión, se obtiene el Tabla 27 y el modelo matemático correspondiente.

Tabla 27: Coeficiente de regresión para recuperación de sílice

<i>Coficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	-56,6423
A:Sulfato de cobre	79,0352
B:MIBC	39,1715
AA	-10,2499
AB	-9,0
BB	-4,24999

FUENTE: Autoría propia

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Recuperación} = -56,6423 + 79,0352 \cdot \text{Sulfato de cobre} + 39,1715 \cdot \text{MIBC} - 10,2499 \cdot \text{Sulfato de cobre}^2 - 9,0 \cdot \text{Sulfato de cobre} \cdot \text{MIBC} - 4,24999 \cdot \text{MIBC}^2$$

Los valores de los factores están en sus unidades originales.

Análisis del modelo matemático

- Cuando los factores sulfato de cobre (A) y, MIBC (B) es igual a CERO podemos establecer que la recuperación de sílice está en su valor máximo.
- Los factores A y B tienen signos positivos, significa que están en su mínimo, debiendo maximizarse para elevar la recuperación de sílice.

- Los factores cuadráticos tienen signos negativos, pero constantes diferentes, por lo tanto, se establece que es una elipse (hiperhelipsoide o hiperboloide) o cascara de huevo en el espacio y estaremos ante una posibilidad de un máximo. Ver figura 17.
- Según la figura 14, para maximizar la recuperación de sílice, se nota que depende fundamentalmente del sulfato de cobre.

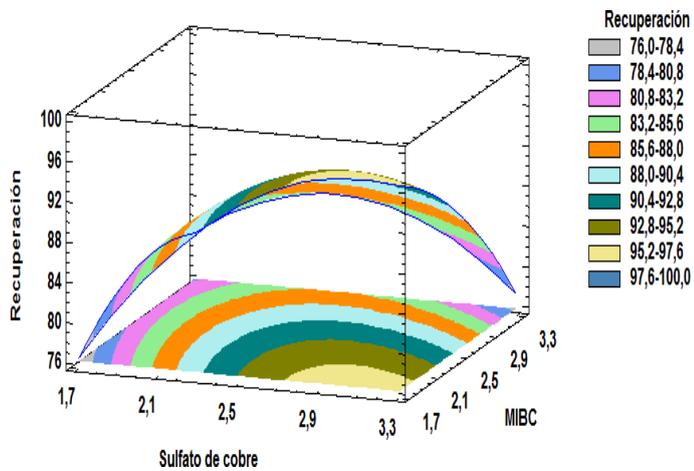


Figura 17: Superficie de respuesta estimada de la recuperación de sílice

FUENTE: Autoría propia

4.8.2 Determinación de condiciones óptimas en función a la recuperación de la sílice.

Una condición inicial es remover los niveles de operación y determinar los resultados óptimos mediante el Statgraphics Centurión XVI, para determinar los nuevos niveles operacionales (pendiente ascendente o descendente). Ver Tabla 28.

Tabla 28: Respuesta Optimizada Meta: maximizar la recuperación de Sílice

Valor óptimo = 96,4225

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Sulfato de cobre	1,79289	3,20711	3,068
MIBC	1,79289	3,20711	1,79289

FUENTE: Autoría propia

En esta tabla muestra la combinación de niveles de los factores para maximizar la recuperación por encima de la región indicada.

Para maximizar la recuperación de la sílice se debe realizar otras corridas experimentales de optimización, para obtener cerca al 96,4225% de recuperación de sílice final.

4.9. Diagrama de flujo final del procesamiento de la sílice.

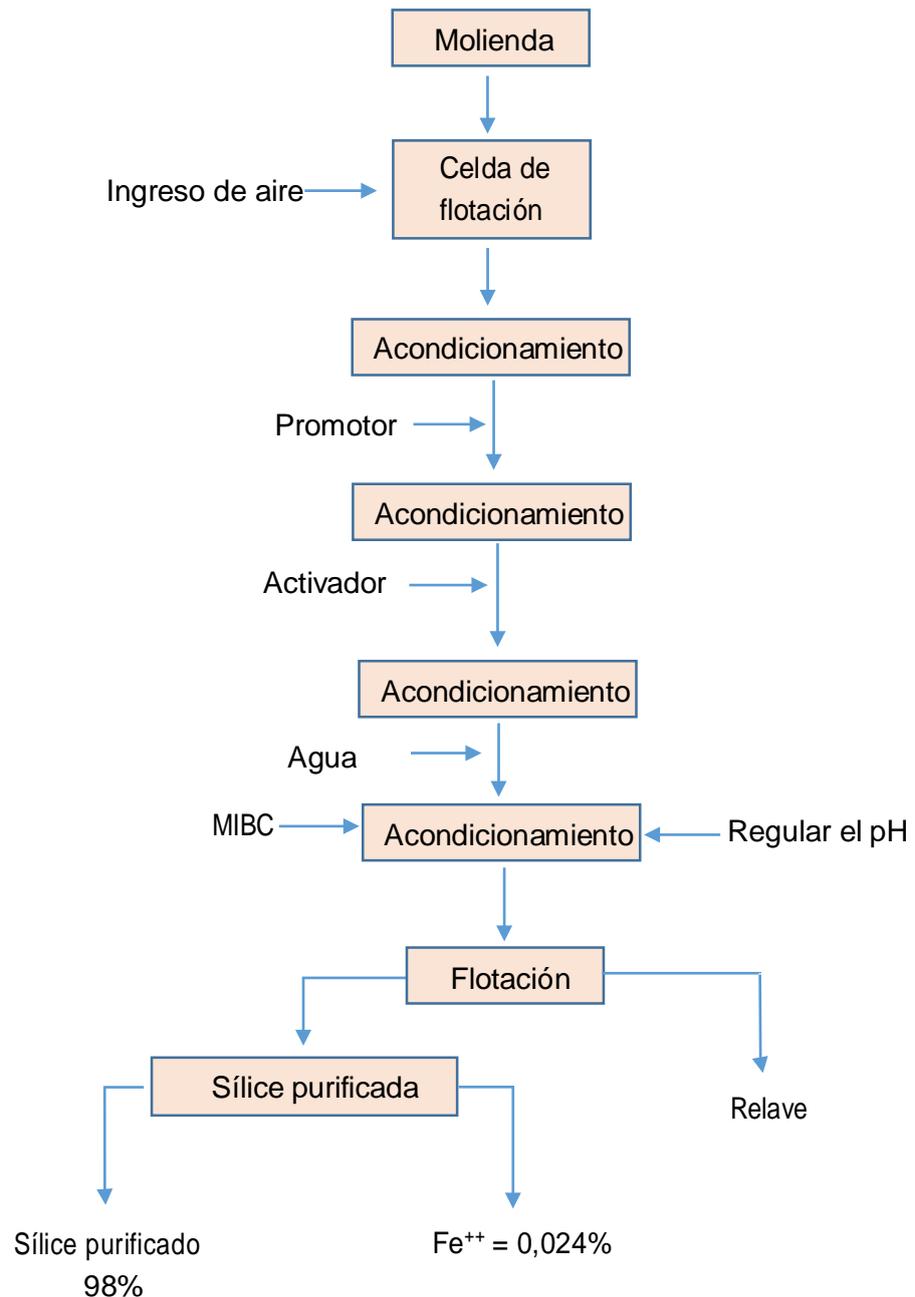
Es una representación gráfica de flujo del proceso de purificación de la sílice, basado fundamentalmente en la utilización de diversos símbolos conectados con flechas para representar operaciones específicas e indicar la secuencia de la operación. Posiblemente, un buen diagrama de flujo reemplaza a varias páginas de texto. Ver esquema 4.

4.10. Análisis granulométrico.

La molienda fue uno de los factores más importantes para la liberación de la sílice de los contaminantes, dicho grado es determinado por la molienda y análisis de la misma.

Las razones fundamentales para la molienda óptima del mineral fueron:

- a.** Las partículas excesivamente grandes provocan que los minerales no son liberados de los contaminantes o ganga, el procesamiento no es confiable.
- b.** La molienda en exceso forman partículas muy finas, lamas; la cual cubre a los minerales valiosos que impiden la flotación, siendo el consumo de reactivos mayor.
- c.** La interacción de los reactivos y minerales son deficientes, no permite la selección conveniente del mineral valioso.



Esquema 4; Diagrama de flujo final (DCC) del procesamiento de sílice

Fuente: Autoría propia

Los factores que se controló para la molienda racional fueron: carga de mineral; suministro de agua; cargar de bolas y tiempo de molienda.

En la presente tesis, la molienda efectiva para liberar a la sílice de los contaminantes, especialmente de los compuestos de hierro, fue malla -100, como resultado se obtuvo una excelente liberación de los contaminantes y de la sílice, una vez procesado se llegó a obtener una buena ley de sílice

purificada con una buena recuperación del mismo: Peso de sílice purificado, 375 gramos con una ley del 98% y una recuperación de 94%.

La técnica consistió en colocar la muestra purificada y seca en la parte superior de un juego de tamices, uno debajo del otro con una secuencia de reducción sucesiva del tamaño del orificio de la malla (mayor a menor abertura). El juego de tamices con su contenido (muestra) se agita y las partículas con las dimensiones adecuadas pasaran a través de las diferentes mallas, reteniéndose sobre aquellas las partículas que no presenten la capacidad de atravesarlas. Hay diferentes estándares de mallas existentes: ASTM, TYLER, USA, UE y otros. En el presente caso se usó las mallas ASTM E-11. Ver tabla 29.

Tabla 29: Análisis granulométrico de la sílice purificada

# de tamiz	Diámetro (um)	Masa mineral retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
20	850	0	0,00	100,00
30	600	0,6	0,16	99,84
50	300	3,4	0,91	98,93
70	212	10,3	2,75	96,19
100	150	15,2	4,05	92,13
140	106	317,3	84,61	7,52
200	75	20,5	5,47	2,05
	FONDO	7,7	2,05	
TOTAL		375	100,00	

FUENTE: Elaboración propia

Cálculos de D (diámetro de finos):

$$D_X = \frac{D_2 - D_1}{\log \%_2 - \log \%_1} * \log \%_x - \log \%_1 + D_1$$

$$D_{20} = 185,72$$

$$D_{30} = 207,77$$

$$D_{60} = 219,89$$

Coefficiente de uniformidad

$$C_u = D_{60}/D_{20}$$

$$C_u = 219/185,72$$

$$C_u = 1,18$$

Coeficiente de curvatura:

$$C_c \text{ o } C_z = D_{30}^2 / D_{60} * D_{20}$$

$$C_c \text{ o } C_z = D_{30}^2 / D_{60} * D_{20}$$

$$C_c \text{ o } C_z = (207,77)^2 / (219,89)(185,72)$$

$$C_c \text{ o } C_z = 1,057$$

4.11. Balance metalúrgico.

En la actualidad toda planta concentradora producen concentrados limpios de minerales y de valor comercial, para cumplir con esta meta se usan herramientas que permiten ver cómo marcha la producción, tales como: los ensayos químicos, reportes energéticos y sobre todo los balances de materia. En todo proceso metalúrgico los resultados obtenidos son datos reales, los cuales en muchos casos no resultan exactos y tienen un pequeño margen de error.

Para desarrollar el balance metalúrgico del procesamiento de la sílice se hizo mediante el método convencional por tener un solo producto, sílice purificada. Ver tabla 30 y esquema 5.

Tabla 30: Análisis de la sílice purificada

	Leyes		
	%SiO ₂	%Fe	% insoluble
Cabeza	78,28	21,72	----
SiO ₂ purificado	98,24	0,024	----
Relave	18	21.70	----

FUENTE: Autoría propia



Esquema 5: Esquema de balance metalúrgico
FUENTE: Autoría propia

Datos:

F= 500 g

f= 78% de SiO₂

C=?

c= 98% de SiO₂

T=?

t= 18% de SiO₂

a. Cálculo de peso de SiO₂ purificado ©:

$$C = F \left(\frac{f-t}{c-t} \right) \quad C = 500 \left(\frac{78-18}{98-18} \right)$$

C= 375 g de SiO₂ purificado

b. Cálculo de gramos del relave (T):

$$F = C + T$$

$$T = F - C$$

$$T = 500 \text{ g} - 375 \text{ g}$$

$$T = 125 \text{ g de relave}$$

c. Cálculo de la recuperación de SiO₂:

$$R = \frac{C}{F}$$

$$R = \frac{(375)(98\%)}{(500)(78\%)} \quad R = 100$$

$$R = 94\%$$

d. Cálculo de la razón de concentración (K):

$$K = \frac{C}{F}$$

$$K = \frac{375}{500}$$

$$K = 1,33$$

Se necesita 1,33 kilogramos de sílice para obtener 01 kilogramo de sílice con una pureza de 98%.

4.12 Pruebas de hipótesis experimentales

4.12.1. Prueba de hipótesis de trabajo.

Después de una serie de ensayos o corridas experimentales en el laboratorio, se logró seleccionar a los factores más

significativos del proceso, para cumplir con el objetivo u objetivos del presente trabajo de investigación. Los factores son:

- a. Molienda
- b. Colector, PBA49
- c. Activador, sulfato de cobre
- d. Espumante, MIBC
- e. pH del proceso.

En resumen, los resultados se detallan a continuación:

- a. Según la tabla 12 del diseño factorial fraccionado, los mejores resultados se obtienen en las corridas 7 y 8, logrando obtener una ley de sílice de 95% respectivamente, bajando el pH desde 8,35 hasta 7,6 como promedio; ver imágenes 22 al 25 (anexo 5); por lo tanto, el resultado es satisfactorio.

La constante del modelo matemático de primer orden es positivo, el cual indica que se encuentra en el mínimo, se debe maximizar para mejorar los resultados del proceso inicial; pero el gráfico del modelo matemático es hiperplano es decir no tiene términos de interacción ni términos cuadráticos, esta carencia del grafico es adecuado para pasar a un modelo matemático de segundo orden.

- b. Cumplido con el paso (a), se seleccionó a los factores más influentes del proceso, ver tabla 18; realizadas las corridas experimentales mediante el DCC en el orden indicado en la tabla 19 y las limpiezas respectivas, se obtiene la tabla 20, los resultados son muy satisfactorios, en los ensayos 1 y 2 con

98% y 94% de ley y recuperación de sílice respectivamente, en un pH de la pulpa de 7,61. Ver imágenes 26 al 29.

La constante del modelo matemático de segundo orden en función a la ley de sílice es positivo, el cual indica que aún se encuentra en el mínimo, se debe maximizar para mejorar u optimizar el resultado, que depende fundamentalmente del activador.

El modelo matemático de segundo orden en función de la recuperación de la ley de sílice, presenta una constante negativa, el cual satisface que la recuperación tiene un valor máximo.

En consecuencia, cumplí con los objetivos y las hipótesis formuladas en función a los factores experimentales del presente trabajo de investigación. Con una buena ley de sílice purificada, que tenía inicialmente una ley del 78,20%; una vez procesado se obtiene una ley del 98% y con una recuperación del 94%, en un pH de pulpa de 7,61; mucho menor a los estándares nacionales e internacionales de pH en el medio acuoso, agua; señalados en la tabla 1 y 2. Logrando prevenir el impacto ambiental negativo de la comunidad campesina.

En consecuencia, se rechaza a la H_0 .

4.122. Pruebas de hipótesis estadísticas.

a. Prueba de hipótesis en función al ANOVA

La mayoría de los programas modernos de cómputo, incluyendo Excel; SAS; Minitab; SPSS; statgraphics y otros,

calculan el Valor-P y F, estas distribuciones experimentales sirven para la prueba de hipótesis en tiempo real.

Las formulaciones de criterio de rechazo o aceptación a las hipótesis estadísticas son:

H_0 = Los factores experimentales o variables activas no influyen en la purificación de la sílice.

H_a = Los factores experimentales o variables activas influyen significativamente en la purificación de la sílice.

- Cumplido el primer ensayo en función al diseño experimental fraccionado, como resultado se tiene 95% de ley de sílice; con un ANOVA inicial, tabla 14 y ANOVA tabla 16 como resultado de eliminar los efectos o interacciones menos significativos del proceso, en las cuales se aprecia los valores de P son mayores al 5% de nivel de significancia; además F es menor que P.

Por lo tanto, no se rechaza a la H_0

- Habiendo realizado las corridas experimentales del DCC en el orden indicado en tabla 19, ver resultados en la tabla 20; obteniendo ANOVAs muy satisfactorios, tabla 22 y 26 en función a la ley y recuperación de sílice en un pH 7,61; siendo los valores de Valor-P menor al 5% de nivel significancia; además los valores de F son mayores a los valores de P.

Por lo tanto, contundentemente se rechaza a la H_0

b. Prueba de hipótesis en función a los estadísticos t-student y Chi Cuadrado.

Prueba de Hipótesis para Ley de Sílice:

➤ Prueba T–Student:

Alternativa: no igual

Estadístico calculado $t = 148,834$

Estadístico tabulado $t = 2,132$

Se rechaza la hipótesis nula, porque el t-student calculado (148,834) es mayor al T-student tabulado (2,132)

➤ Prueba Chi Cuadrado:

Chi-cuadrado calculado = 37,60

Chi-cuadrado tabulado = 9,488

Se rechaza la hipótesis nula, porque Chi-cuadrado calculado (37,60) es mayor al Chi-cuadrado tabulado (9,488)

4.12.3. Prueba de hipótesis gráficamente.

a. En función a F de Fisher.

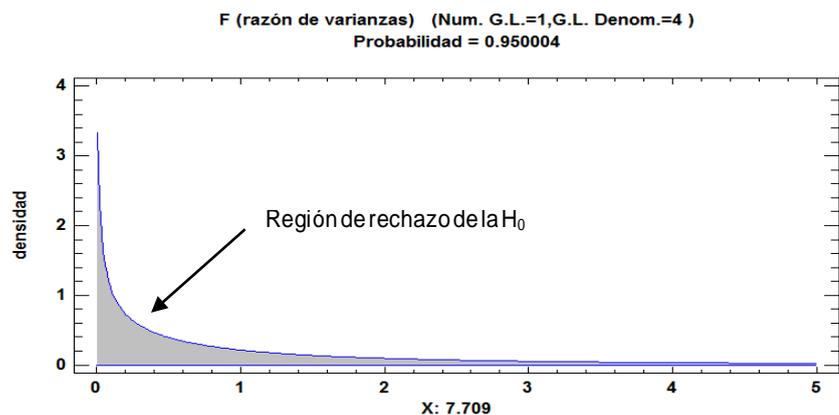


Figura 18: Gráfico de F de Fisher

FUENTE: Autoría propia

Análisis: El valor crítico tabulado= 7,709

Los valores F calculados, tabla 22 (ley de sílice) y tabla 26 (recuperación de sílice), son mayores al valor crítico calculado con la tabla de distribución de F de Fisher (7,709),

en consecuencia, según figura 18, los F calculados se encuentran ubicados en la región de rechazo de la hipótesis nula.

Por lo tanto, la decisión de rechazo de la hipótesis nula está dada por la probabilidad (nivel de significación) menor que 0.05 (18), con un nivel de confianza del 95%.

Por todos los considerandos de criterios de rechazo, se rechaza a la H_0 .

b. En función a los límites de tolerancia estadística

- Tamaño de muestra = 10
- Media de la muestra = 97,0
- Desviación estándar de la muestra = 2,04396
- Nivel de confianza al 95%

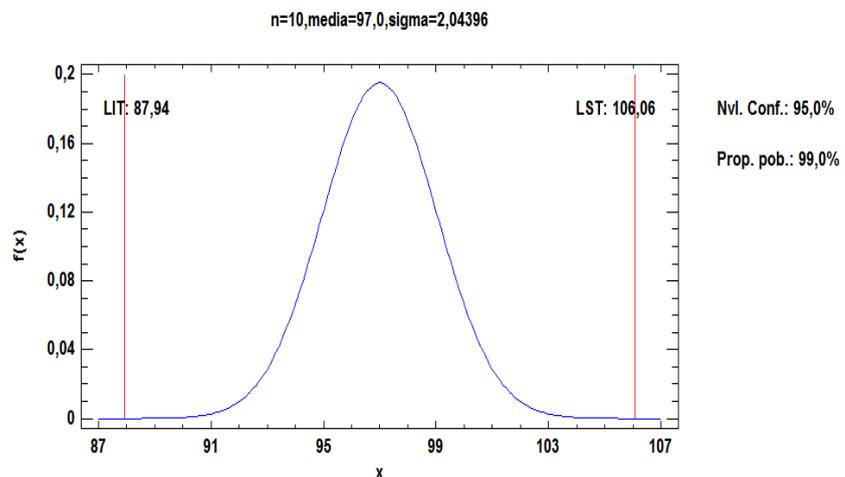


Figura 19: Límites de tolerancia normal

FUENTE: Autoría propia

Según la figura 19, los valores experimentales de la ley de sílice y de recuperación de la misma, se encuentran dentro de la curva de Gauss, por lo tanto se rechaza a la hipótesis nula.

4.12.4. Prueba con distribución de frecuencias

a. En función a la ley de sílice

La figura 20 presenta la existencia de 5 pruebas experimentales con una ley de sílice purificado del 98%, los cuales indican que los post ensayos fueron los correctos con distintas recuperaciones de sílice, por lo tanto, la clase que tiene mayor frecuencia absoluta es 98%, ver tabla 20, corridas 1, 2, 7, 8 y 10 . Se rechaza a la H_0 .

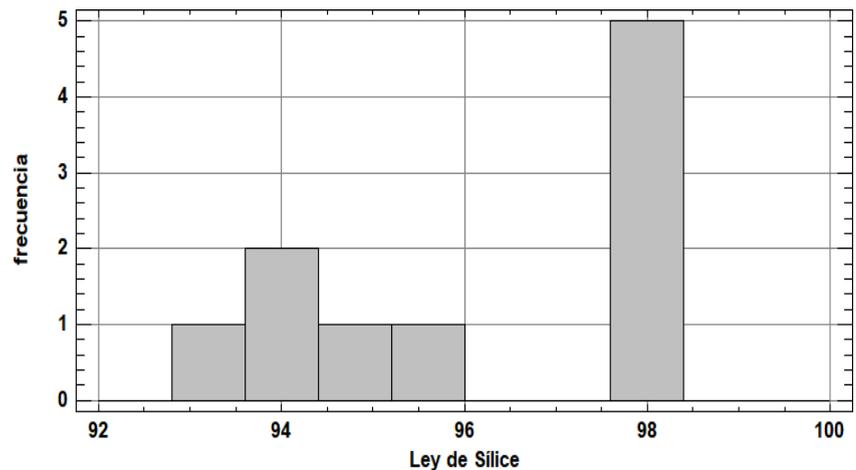


Figura 20: Histograma de frecuencias de la ley de sílice

FUENTE: Autoría propia

b. En función a la recuperación de sílice

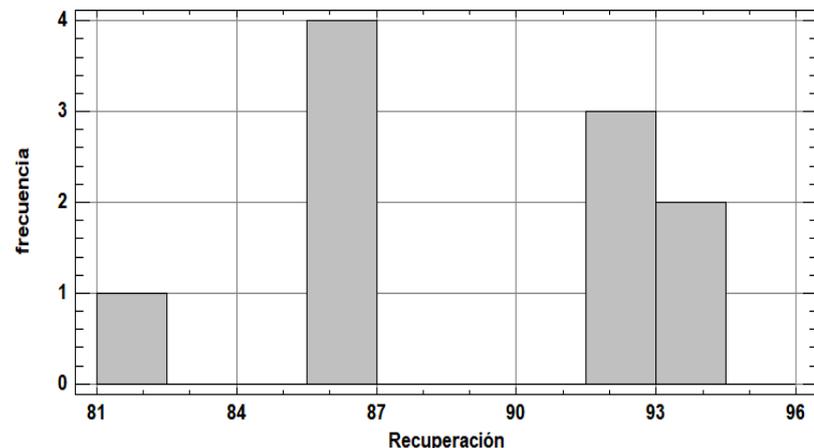


Figura 21: Histograma de frecuencias de la recuperación de sílice

FUENTE: Autoría propia

Esta figura 21 presenta la existencia de 2 pruebas experimentales con una recuperación de sílice purificado al 94%, los cuales indican que los post ensayos fueron los correctos, estas respuestas experimentales se nota

claramente en la tabla 20 en las corridas 1 y 2, por lo tanto, la clase que tiene mayor frecuencia absoluta es 94%. Se rechaza a la H_0 .

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 51. Contrastación de los resultados del trabajo de campo con los referentes bibliográficos de las bases teóricas.**
- a. Según, Reactivos de Flotación II – Universidad de Chile páginas 38-43 (6), para obtener alta pureza de la sílice se realiza mediante la flotación directa en un pH de la pulpa fuertemente alcalino hasta 12 o fuertemente ácido hasta 1,8; estos valores son muy contaminantes de los efluentes líquidos y del ecosistema, sin el mínimo respeto a las normas legales o a los estándares de calidad ambiental (ECA); en el presente caso de investigación el procesamiento de la sílice se efectuó mediante flotación inversa o indirecta en un pH de la pulpa ligeramente alcalino vale decir cerca al pH neutro (7,61); en este caso no es contaminante al medio ambiente de la zona en estudio.
 - b. Según, Yasna Romina Orozco López página 52 (7), el procesamiento de la sílice para obtener un producto de alto ley de pureza lo realiza mediante el método de flotación directa a un pH de la pulpa a 10,5 que consiste en flotar a la sílice; el efluente líquido que sale como subproducto del tratamiento metalúrgico; es altamente contaminante de los efluentes líquidos y del ecosistema, no cumple con las normas de calidad ambiental; en el presente trabajo de investigación, el tratamiento de la sílice se realizó mediante flotación indirecta a un pH del medio o pulpa de 7,61; este método consiste en flotar a los contaminantes del mineral valioso, cumpliendo con los estándares de calidad ambiental y no contaminar fundamentalmente a los efluentes líquidos de la zona.

Tomando en cuenta estos antecedentes, desarrollé mi trabajo de investigación contradiciendo plenamente a las teorías líneas arriba mencionadas, durante el desarrollo usé el método de flotación inversa por espumas, llegando a flotar en un pH 7,60; por lo tanto, vale afirmar contundentemente que el factor pH utilizado se encuentra dentro del rango permitido del LMP de las normas legales nominados en las tablas 1 y 2, obteniendo un producto al 98% de pureza de sílice y con una recuperación del 94% de la misma.

Los efectos negativos de los factores perturbadores o extrañas en los resultados del proceso experimental de la metalurgia extractiva de la sílice, fueron controlados mediante la aleatorización durante el procedimiento de las corridas experimentales; llegando obtener un resultado muy prometedora de 98% de pureza de sílice sin contaminar al ecosistema, esto confirma la mayor validez interna del proceso de investigación.

Con los ensayos experimentales realizados con las muestras tomadas de los diferentes puntos de la reserva de sílice, se obtuvieron resultados muy positivos, confirmando que la inferencia estadística a toda la población de sílice es positiva, en consecuencia, la generalización de los resultados obtenidos indican la validez externa del procesamiento de la sílice mediante la flotación inversa.

Los factores más influyentes fueron el sulfato de cobre usado como activador de los contaminantes de la sílice y el espumante MIBC y los demás factores llamados colector; molienda y pH fueron considerados como constantes del proceso de flotación, hechas las corridas experimentales en el laboratorio mediante el proceso de

flotación inversa se llegó obtener como resultado un producto con 98% de pureza (concentrado) con una recuperación de 94% de sílice, estos resultados cumplen con los objetivos y la demostración de la hipótesis, entonces se rechaza contundentemente a la hipótesis nula.

Por lo tanto, las dificultades en la investigación superé gracias a la experiencia obtenida en el procesamiento de otros minerales no metálicos, tales como la baritina, carbón, etc. Haciendo el uso del método de flotación inversa.

52 Contrastación de la hipótesis general en base a la prueba de hipótesis.

El método adecuado para la purificación de la sílice fue el procesamiento de la sílice mediante la flotación inversa por espumas, después de una serie de pruebas preliminares o cuasi experimentales, finalmente se aplicó el diseño estadístico experimental de los 05 factores iniciales se controló específicamente 02 factores más significativos del proceso, sulfato de cobre usado como activador de los contaminantes y al espumante MIBC; siendo el pH= 7,61 de la pulpa, adecuado para este tratamiento, obteniendo como producto de una buena ley de sílice purificada, que tenía inicialmente una ley del 78,20%; una vez procesado se obtiene una ley del 98% y con una recuperación del 94%; logrando prevenir el impacto ambiental negativo de la comunidad campesina, finalmente llegando a controlar el pH metalúrgico del efluente líquido mucho menor a los estándares nacionales e internacionales de la concentración de hidrógeno del medio acuoso, por lo tanto, queda demostrada la hipótesis general, estadísticamente se acepta la hipótesis alterna y se rechaza a la hipótesis nula. Mayor detalle ver ítem 1.3.

5.3. Aporte científico de la investigación.

El aporte científico importante, es el descubrimiento de un nuevo procesamiento metalúrgico de la sílice mediante la flotación inversa por espumas en un medio ligeramente alcalino (7,61); aplicando los parámetros nacionales e internacionales de las leyes ambientales, en el presente caso cuidando fundamentalmente el pH de los efluentes líquidos del proceso metalúrgico dentro del límite máximo permisible de las normas legales de carácter ambiental, de esa manera prevenir el impacto ambiental negativo de los efluentes líquidos a las aguas superficiales, subterráneas y al ecosistema.

CONCLUSIONES

1. El método más adecuado para el procesamiento de la sílice es la flotación inversa por espumas en un pH de 7,61 que previene el impacto ambiental negativo de los efluentes líquidos y del ecosistema.
2. Los factores activos considerados constantes del proceso experimental de flotación inversa de la sílice, según la figura 5 son la molienda, PBA49 y pH por presentar pendiente negativa, manteniendo los valores de factores en 5 minutos; 3 gotas y 7,6 respectivamente se previene el impacto ambiental.
3. Los factores experimentales del proceso flotación inversa de la sílice considerados significativos según la figura 5 son el sulfato de cobre y el MIBC; manteniendo constante los valores en 3 gotas y 2 gotas respectivamente se previene el impacto ambiental.
4. Realizadas las corridas experimentales aplicando el diseño compuesto central (DCC) con los factores más significativos del proceso (sulfato de cobre y MIBC); se obtienen 98% de pureza y 94% de recuperación de la sílice respectivamente, se observa claramente en la tabla 20 e imagen 28.
5. Analizadas las tablas de los mejores ANOVA, tablas 22 y 26; los valores de F calculados son mayores a los valores de P-Value; además los valores de F calculados son mayores a los F críticos (7,709), por lo tanto, se rechaza con firmeza a la hipótesis nula (H_0) para el 5% de nivel de significancia, siendo contundente demostración de la hipótesis.

RECOMENDACIONES

1. Optimizar las respuestas múltiples con los datos de las condiciones óptimas del proceso, tomando en cuenta las tablas 24 y 28, para obtener aún 98,8352 % y 96,4225 % de ley y recuperación de la sílice respectivamente.
2. Cuando se hace realidad el procesamiento de la sílice, habrá formación de desbroces y relaves, estos materiales deben ser usados; para ello recomiendo realizar la investigación para la fabricación de ladrillos térmicos aplicables a las zonas de clima frígida y otros.
3. Habiendo establecido el método de purificación de la sílice mediante flotación inversa a nivel de laboratorio, continuar los estudios más detallados con los factores aplicados en este sistema (post-tesis), para tener mayor nivel de confiabilidad y que nos dé la seguridad su aplicación a escala de planta piloto o industrial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Universidad de San Martín de Porres. Manual: Seminario de Tesis Lima-Perú: Escuela Profesional de Contabilidad y Finanzas; 2008.
2. Meza Riquelme M. Guía para la Elaboración de un Trabajo de Investigación Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2008.
3. Espinoza LV. Variables y Propiedades que Influyen en el Proceso de Flotación Antofagasta-Chile: Universidad Católica del Norte; 2013.
4. Carrasco Díaz S. Metodología de la Investigación Científica Perú: San Marcos; 2005.
5. Alfaro Rodríguez CH. Metodología de Investigación Científica Aplicado a la Ingeniería Electrónica IdIdFdIEy, editor. Lima-Perú: Universidad Nacional del Callao; 2012.
6. Universidad de Chile. Reactivos de flotación II. [Online].; s/f [cited 2017 Marzo Jueves. Available from: https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiP8MW8iN3WAhVDG5AKHcZ8DVgQFgg_rMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.u-cursos.cl%2Fingenieria%2F2007%2F1%2FMI52E%2F1%2Fmaterial_docente%2Fbajar%3Fid_material%3D125193&usq=AOvV.
7. Orozco López YR. Estudio del efecto del tipo y concentración de espumante en la selectividad del proceso de flotación a escala laboratorio. 2012..
8. MINERO, DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO. Perfil de Mercado del Sílice México: Secretaría de Economía; 2012.
9. Rd NATURAL SALUSVIR. [Online].; 2010 [cited 2017 Septiembre 10/09/17. Available from: <http://www.rdnatural.es/blog/silicio/>.
10. Francisco Martín W. Proceso Investigación Científica para Ingenieros Cuba: Universidad Cienfuegos; 2006.
11. Gutierrez Pulido H. Análisis y Diseño de Experimentos México: McGrawHill; 2008.
12. Fernández Loureiro E, García P. Métodos Estadísticos y Valor de P (P-value) Econometría Ey, editor. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires; s/f.

13. Carrasco Diaz S. Metodología de la Investigación Científica Perú: San Marcos; 2005.
14. Villamil García E, García Hernández MJ. Introducción al Proyecto de Ingeniería Buenos Aires: Derechos Reservados; 2003.
15. Ayala Mina J, Pardo Mercado R. Optimización por Diseños Experimentales con Aplicaciones en Ingeniería Lima-Perú: A&B S.A.; 1995.
16. Calderon Saldaña JP, Alzamora de los Godos Urcia LyDAHE. Guía de Elaboración de Proyectos de Tesis Doctoral Lima: Universidad Alas Peruanas; 2009.
17. Villamil Gracia E, García Hernández MJ. Introducción al Proyecto de Ingeniería Buenos Aires: Derechos Reservados; 2003.
18. Besarón P, Muler H. Operacionalización de las variables de una hipótesis. [Online].; 2013 [cited 2015 Marzo 25. Available from: <http://optometria2013.blogspot.com/2013/03/operacionalizacion-de-las-variables-de.html>.
19. Gutierrez Pulido H. Análisis y Diseño de Experimentos México: Programas Educativos S.A. de C.V.; 2003.
20. Palacios C. S. Diseño Experimental Aplicado a Ciencia y Tecnología. Primera ed. Lima-Perú: CONCYTEC; 2004.
21. Ronald VR. Herramientas para realizar una Investigación Bolivia: Universidad Mayor de San Simón; 2006.
22. Rojas C. M. Manual de Redacción Científica Lima-Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2016.
23. Palacios C. S. Diseño Experimental Aplicado a Ciencia y Tecnología. Primera ed. ed. Lima-Perú: CONCYTEC; 2004.
24. Gutierrez Pulido H, de la Vara Salazar R. Análisis y Diseño de Experimentos México: Programas Educativos S.A. de C.V.; 2008.

ANEXOS

ANEXO N° 1

1. Plano satelital de la Comunidad Campesina

1



Imagen 1: Plano satelital de la Comunidad Campesina de San Juan Jarapampa
Fuente: Autoría propia

2. Vista panorámica de la cantera de sílice



Imagen 2: Exploración visual de la cantera de sílice
Fuente: Autoría propia



Imagen 3: Exploración visual de la cantera de sílice

Fuente: Autoría propia



Imagen 4: Exploración visual de la cantera de sílice

Fuente: Autoría propia



Imagen 5: Exploración visual de la cantera de sílice

Fuente: Autoría propia



Imagen 6: Roquedal

Fuente: Autoría propia



Imagen 7: Pajonal

Fuente: Autoría propia

3. Línea base de la comunidad.



Imagen 8: Presencia de asnos

Fuente: Autoría propia



Imagen 9: Presencia de vacunos

Fuente: Autoría propia



Imagen 10: Presencia de ovinos

Fuente: Autoría propia

ANEXO N° 2

Puntos de toma de muestras de la sílice









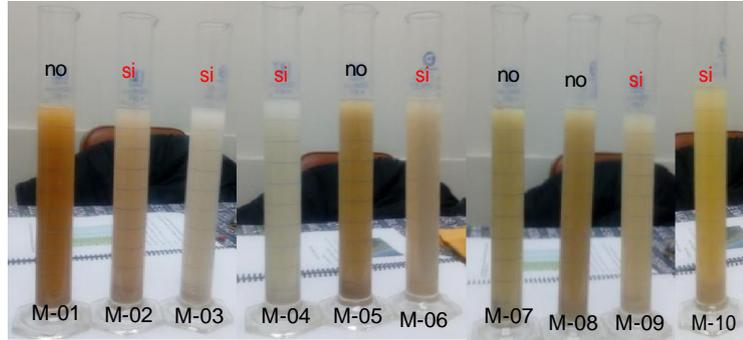
ANEXO N° 3**Preparación de las muestras de sílice en el Laboratorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**

Imagen 11: Colores aproximados de las muestras según carta de colores RAL

FUENTE: Autoría propia

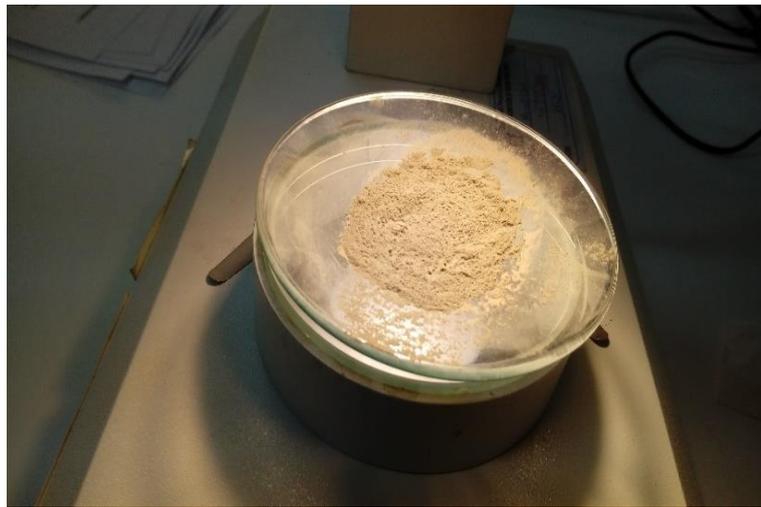


Imagen 12: Resultado de la mezcla de muestras no molida
Fuente: Autoría propia



Imagen 13: Resultado de la mezcla de muestras molidas
Fuente: Autoría propia

ANEXO N° 4**Instrumentos de recolección de datos cuantitativos de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y validación**

Imagen 14: Balanza Eléctrica para pesar reactivos
Fuente: Laboratorio UNDAC



Imagen 15: Agitador Magnético para disolución de los reactivos
Fuente: Laboratorio UNDAC



Imagen 16: Cuarteador Estático Jones para homogenizador de muestras de sílice
Fuente: Laboratorio UNDAC



Imagen 17: Molino de bolas

Fuente: Laboratorio UNDAC



Imagen 18 :Potenciómetro Adwa AD 12

Fuente: Compra propia



Equipo de flotación DENVER



Equipo de flotación VYMSA

Imagen 19: Equipo de flotación Dever y VYMSA

Fuente: Laboratorio UNDAC



Imagen 20: Esteoscopio de sólidos

Fuente: Laboratorio UNDAC



Imagen 21: Validación experimental del instrumento de flotación
FUENTE: Autoría propia

ANEXO N° 5**Pruebas experimentales en el laboratorio de metalurgia de la
Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**

1. Ensayos experimentales mediante el diseño experimental fraccionado.



Imagen 22: Control del pH de la primera flotación
FUENTE: Autoría propia



Imagen 23: Se observa la flotación de relaves
FUENTE: Autoría propia



Imagen 24: Contaminante flotado en la corrida 7
FUENTE: Autoría propia



Imagen 25:: Resultado de la corrida 7, ley de sílice 95%
FUENTE: Autoría propia

2. Ensayos experimentales mediante el diseño compuesto central.



Imagen 26: Control de pH de la pulpa
FUENTE: Autoría propia



Imagen 27: Flotación de primera limpieza del ensayo 1
FUENTE: Autoría propia



Imagen 28: Sílice con una pureza del 98% en la corrida 1
FUENTE: Autoría propia



Imagen 29: Relave flotado
FUENTE: Autoría propia