

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**“INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PULVERIZADOR PARA LA
PREPARACIÓN MECÁNICA DE MINERALES AURÍFEROS EN EL
PROCESO DE ANÁLISIS”**

TESIS

PRESENTADA POR:

- **CARMEN NATALIA MARÓN MAMANI**
- **EDSON BARNETH JAVIER SONCO**
- **ROY WILMER LUQUE MACHACA**
- **MARCO ERIK LOPEZ CANCHARI**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUIMICO

PUNO - PERU

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

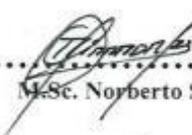
**“INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PULVERIZADOR PARA LA
PREPARACIÓN MECÁNICA DE MINERALES AURÍFEROS EN EL
PROCESO DE ANÁLISIS”**

TESIS PRESENTADA POR:

- CARMEN NATALIA MARÓN MAMANI
- EDSON BARNETH JAVIER SONCO
- ROY WILMER LUQUE MACHACA
- MARCO ERIK LOPEZ CANCHARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUÍMICO

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE	:	 M.Sc. Norberto Sixto Miranda Zea
PRIMER MIEMBRO	:	 Dr. Teófilo Donaires Flores
SEGUNDO MIEMBRO	:	 M.Sc. Moisés Pérez Capa
DIRECTOR DE TESIS	:	 M.Sc. German Quilte Calizaya

AREA: PROCESOS INDUSTRIALES METALURGICOS

TEMA: TRATAMIENTO DE MINERALES

LINEA: INGENIERIA DE PROCESOS

PUNO - PERU

2016

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Hector y Elsa, a mis hermanas Suzel y Cynthia, porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos, apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que yo soy gracias a ellos.

A mi esposa Karina y mis dos hermosas hijas Samy Aymara y Killary Saywa,

A toda mi familia que es lo mejor y más valioso que me ha dado Dios.

Roy W. Luque Machaca

Quiero dedicar esta tesis a mis padres

Faustino y Asunta por su inmenso cariño, sus consejos y por haberme forjado con el incansable ejemplo de lucha y superación, todos mis logros se los debo a ustedes.

Marco Erik Lopez Canchari

DEDICATORIAS

Esta tesis, se la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer e estado.

Con toda la humildad de mi corazón a mis queridos padres Demetrio y María Cecilia, por su apoyo, consejos, comprensión, ayuda en los momentos difíciles.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar profesionalmente.

A mis sobrinos quienes han sido y son mi motivación, inspiración y felicidad, para cumplir mis objetivos.

Así como también al Ing. Percy E. Mamani Luque, quien me ha brindado su apoyo incondicional para la realización de mi tesis.

Carmen Natalia Marón Mamani

La presente se la dedico a Dios que me da fortaleza y valor.

A mis padres Serapio y Agripina, gracias a su apoyo pude concluir mi carrera.

A mi esposa e hijo y toda mi familia por su apoyo, cariño y comprensión para así cumplir mi objetivo.

Edson Barneth Javier Sonco

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, damos gracias a Dios,
por permitirnos tener tan buena experiencia
dentro de nuestra universidad, gracias a nuestra
Universidad por permitirnos convertirnos en seres
profesionales en lo que tanto nos apasiona.

Gracias a cada maestro que hizo parte
de este proceso integral de formación profesional,
que deja como producto terminado a este grupo de graduados,
y como recuerdo y prueba viviente en la historia; esta tesis que
perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo
de las demás generaciones.

Finalmente agradecemos a quienes lean
este apartado y más de nuestra tesis, por permitir
a mis experiencias, investigaciones y conocimiento,
incurrir dentro de su repertorio información mental.

Agradezco a los docentes de la
Facultad de Ingeniería Química, por
las enseñanzas impartidas durante nuestra
Formación académica.

Los autores

INDICE GENERAL

RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPITULO I.....	15
1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.1 PLANTEAMIENTO.....	15
1.2 ANTECEDENTES	16
1.2.1 Antecedentes Locales	16
1.2.2 Antecedentes nacionales.....	17
1.2.3 Antecedentes internacionales.....	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.5 ALCANCES.....	19
1.5.1 BENEFICIARIOS.....	19
1.5.2 BENEFICIARIOS DIRECTOS	19
1.5.3 BENEFICIARIOS INDIRECTOS.....	20
1.6 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	20
1.6.1 Variables Independientes.....	20
1.6.2 Variables Dependientes	20
1.6.3 Intervinientes Controladas	20
1.7 PARTE EXPERIMENTAL.....	22
1.7.1 Procedimiento de la etapa de pulverización	22
1.7.2 Análisis granulométrico	24
CAPITULO II.....	25
2 FUNDAMENTO TECNOLOGICOS.....	25
2.1 Definición de Mineral	25
2.1.1 Minerales de Oro.....	25
2.1.2 Dureza de los Minerales.....	26
2.1.3 Clasificación de minerales asociados al oro	27
2.1.4 El Oro.....	27
2.1.5 Análisis químico de oro	28
2.1.6 Métodos analíticos para el oro.....	28
2.1.7 La Plata	30
2.2 OPERACIÓN DE MUESTREO.....	31
2.2.1 Muestra.....	31
2.2.2 Muestreo	31
2.2.3 Reducción de tamaño de la muestra	31

2.3 REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE PARTICULA O CONMINUCION	32
2.3.1 Relación energía tamaño de partícula.....	33
2.3.2 Energía suministrada para la conminucion	33
2.4 PRINCIPIO DE CONMINUCION	34
2.4.1 Impacto:.....	35
2.4.2 Compresión:.....	35
2.4.3 Fricción:	35
2.5 TEORIA DE CONMINUCION	37
2.5.1 Postulados Clásicos Sobre Conminucion	37
2.5.2 Radio de reducción (rr).....	43
2.5.3 Naturaleza del material a triturar	45
2.6 EQUIPOS PARA LA REDUCCION DE TAMAÑO.....	45
2.6.1 Trituradora de mandíbulas o quijadas.	46
2.6.2 Trituradora cónica.	47
2.6.3 Trituradora de rodillos.....	48
2.6.4 Molinos de Martillos	49
2.6.5 Molinos de impactos	50
2.6.6 Molinos pulverizadores.....	51
2.6.7 Pulverizador de anillos	51
2.6.8 Pulverizador de discos	52
2.6.9 Pulverizadores de alta energía molino tipo attritor horizontal	53
2.6.10 El molino vibratorio	54
2.6.11 Molino planetario	54
2.7 TAMICES O CRIBAS.....	55
2.7.1 Análisis granulométrico	56
CAPITULO III.....	57
3 SELECCIÓN DEL EQUIPO Y ESPECIFICACIONES	57
3.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO.....	57
3.1.1 Estudio de selección del equipo.....	57
3.2 ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS	58
3.3 VARIABLES DEL PROCESO DE PULVERIZACION	58
3.3.1 Tipo de molino	59
3.3.2 Conjunto de molienda.....	59
3.3.3 Velocidad de molienda	59
3.3.4 Tiempo de molienda	60
3.3.5 Capacidad	60
3.4 EJECUCION DEL DISEÑO DEL MOLINO.....	60
3.4.1 Selección de materiales	60
3.5 EVALUACION DEL EQUIPO PULVERIZADOR DE ANILLOS.....	61
3.5.1 Partes del pulverizador de anillos	62

3.6	BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA	68
3.6.1	Balance de materia	68
3.6.2	Balance de Energía	68
3.6.3	Calculo de la eficiencia de la operación de molienda.....	69
	CAPITULO IV	70
4	METODOLOGIA Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS.....	70
4.1	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	70
4.1.1	Descripción	70
4.1.2	Granulometría inicial.....	70
4.1.3	Granulometría final.....	70
4.2	METODOLOGIA DE TRABAJO EXPERIMENTAL	71
4.2.1	Variables a estudiar	71
4.2.2	Análisis granulométrico para mineral oxido.	73
4.2.3	Análisis granulométrico para mineral sulfurado.....	84
4.2.3	Resumen Del Análisis Para Minerales Oxidos	99
4.2.4	Resumen Del Análisis Para Minerales Sulfurados.....	109
4.3	CALCULO DE LA EFICIENCIA DE LA OPERACIÓN DE MOLIENDA	118
4.3.1	Para mineral oxido	118
4.3.2	Para mineral sulfurado	119
4.4	CALCULO ENERGETICO.....	120
4.4.1	Calculo teórico para la necesidad energética del equipo pulverizador de anillos.....	120
4.4.2	Calculo de la energía realmente consumida en el equipo ..	122
4.4.3	Calculo de consumo total de energía (w).....	124
	COSTO DEL EQUIPO.....	125
	CONCLUSIONES.....	127
	RECOMENDACIONES.....	128
	BÍBLIOGRAFIA.....	129
	ANEXOS.....	131

INDICE DE TABLAS

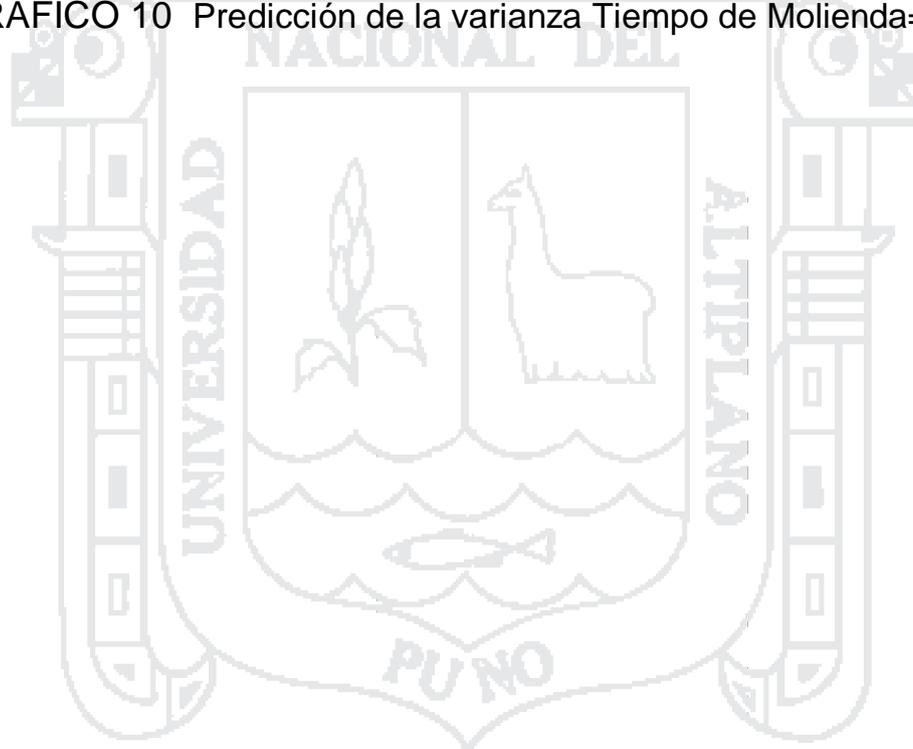
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	21
Tabla 2 Dureza de minerales	26
Tabla 3 Tipos de fractura.....	36
Tabla 4 Eventos de fractura	39
Tabla 5 Tabla work index	43
Tabla 6 Equipos de trituración	46
Tabla 7 Síntesis de las alternativas de selección del equipo.....	58
Tabla 8 Tamaño de partícula en la alimentación.....	71
Tabla 9 Variación de parámetros.....	72
Tabla 10 Combinación de tratamientos factoriales 2^3	72
Tabla 11 Combinación de tratamientos factoriales 2^3	73
Tabla 12 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	74
Tabla 13 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	75
Tabla 14 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	76
Tabla 15 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	77
Tabla 16 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	78
Tabla 17 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	79
Tabla 18 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	80
Tabla 19 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	81
Tabla 20 Porcentaje de material que paso a través de la malla 40.....	81
Tabla 21 Valores para graficar la distribución normal.....	83
Tabla 22 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	84
Tabla 23 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	85
Tabla 24 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	86
Tabla 25 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	87
Tabla 26 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	88
Tabla 27 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	89
Tabla 28 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	90
Tabla 29 Análisis granulométrico de mineral aurífero.....	91
Tabla 30 Porcentaje pasante de la malla 140.....	92
Tabla 31 Valores para graficar la distribución normal.....	93
Tabla 32 Registro de amperaje realmente suministrado.....	123
Tabla 33 Consumo de energía por tonelada.....	124
Tabla 34 Costo total de energía	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Dureza del mineral	26
Figura 2 Oro nativo	28
Figura 3 Plata nativa	30
Figura 4 Cuarteo manual	32
Figura 5 Esquema de acción de impacto	35
Figura 6 Esquema de acción de compresión	35
Figura 7 Esquema de efecto de fricción	36
Figura 8 Intensidad creciente de energía	36
Figura 9 Trituradora de mandíbulas o de quijadas	47
Figura 10 Trituradora cónica	47
Figura 11 Trituradora de rodillos	48
Figura 12 Trituradora de rodillos con un solo cilindro	48
Figura 13 Esquema básico de un molino de martillos	49
Figura 14 Otro tipo de molino de martillos	50
Figura 15 Esquema molino de bolas	50
Figura 16 Molino de barras	51
Figura 17 Pulverizador de anillos	52
Figura 18 Pulverizador de discos	52
Figura 19 Pulverizador de alta energía attritor	53
Figura 20 Molino vibratorio	54
Figura 21 Molino vibro planeatorio	55
Figura 22 Elementos constitutivos del set de molienda	62
Figura 23 Campana del set de molienda	64
Figura 24 Fuerzas de campana del set de molienda	64
Figura 25 Resorte helicoidal escuadrado y amoldado	67
Figura 26 Sistema para distribución de resortes	67
Figura 27 Cubierta del sistema de resortes	68

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 1 Porcentaje del mineral que paso a través de la malla N° 140 .	82
GRAFICO 2 Distribución normal.....	83
GRAFICO 3 Porcentaje pasante malla	92
GRAFICO 4 Distribución normal.....	94
GRAFICO 5 Histograma	96
GRAFICO 6 Método grafico de distribución	97
GRAFICO 7 Diseño de experimentos mineral oxido.....	102
GRAFICO 8 Predicción de varianza.....	103
GRAFICO 9 Diseño de experimentos mineral sulfurado	112
GRAFICO 10 Predicción de la varianza Tiempo de Molienda=4.0	113



LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM	: American Society for Testing Materials
atm.	: Atmosferas
°C	: Grados Celsius
g.	: Gramos
G.E	: Gravedad especifica
kg.	: Kilogramo.
kW-h	: Kilovatio-hora
min.	: minuto
mm	: milímetro
pulg.	: pulgada
rpm.	: Revoluciones por minuto
µm.	: Micrómetro
%	: porciento

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el equipo pulverizador de anillos, instalado en el CIP SALCEDO, de la Facultad de Ingeniería Química UNA - PUNO esta corresponde al área de preparación mecánica de muestras de minerales, Para realizar el análisis químico se requiere una previa preparación mecánica de la muestra de mineral la cual es fundamental, para esta operación se necesita equipos adecuados que trabajen en forma eficiente, razón por la cual se evaluó el pulverizador para la preparación mecánica de minerales y se determinó los parámetros óptimos de operación, eficiencia y consumo de energía. La metodología aplicada para el estudio de variables que afectan la operación fue un análisis factorial 2^3 , siendo las variables de operación tamaño de partícula en la alimentación, cantidad de muestra y tiempo de operación. Mediante las pruebas de pulverizado se pudo determinar los parámetros de operación, tamaño de partícula en la alimentación de nivel 1 (malla N°12, apertura de 1,7mm), cantidad de muestra de 200g y tiempo de pulverizado de 5 minutos, obteniendo como resultado un 97,08% pasante malla 140 para minerales óxidos tal como se muestra en la tabla 20. Para los minerales sulfurados los parámetros de operación son los mismos que para los óxidos, el porcentaje de material pasante fue del 98,20% indicados en la tabla 30, estos resultados cumplen con los requeridos en laboratorios de análisis, La eficiencia de molienda del equipo pulverizador se determinó en los resultados de los análisis granulométricos los cuales tuvieron resultados de 81,26% para los minerales óxidos y 92,30% para los minerales sulfurados. El consumo de energía se registró tanto en el arranque como en el régimen obteniendo el valor de consumo total de 1165,52 kW-h, para todas las pruebas.

PALABRAS CLAVE: mineral aurífero, pulverización, pulverizador de anillos, granulometría, tamizado.

INTRODUCCIÓN

La Conminución puede definirse como la operación de reducción del tamaño de partícula, dentro de ésta se resaltan dos procesos elementales: trituración y molienda. La trituración es una operación de reducción de tamaño, la molienda o pulverizado es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida, que a pesar de que implica sólo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, también es de suma importancia en diversos procesos, ya que el tamaño de partícula representa en forma indirecta áreas que a su vez afectan las magnitudes de los fenómenos de transferencia entre otras cosas.

La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado. El pulverizador no solo produce un material fino adecuado para propósitos de ensayos, sino también homogeniza el material de tal manera que una pequeña sub muestra es representativa.

La preparación de la muestra para el análisis químico del oro comprende básicamente las operaciones de trituración, mezclado, reducción, secado y pulverizado. En la operación del equipo pulverizador, el juego de molienda se fija de manera segura sobre el plato vibratorio. El cual efectúa movimientos de vibración circulares en el plano horizontal. Como consecuencia de la fuerza centrífuga, las herramientas de molienda en este caso los anillos dentro del recipiente, ejercen una acción extrema de presión, choque y fricción sobre el material, por efecto de esta acción es que se hace posible pulverizar diferentes tipos de materiales semiduros, duros, frágiles y fibrosos, que alcanza granulometrías de grado analítico por debajo de la malla 140.

El equipo a evaluar permitió realizar pruebas referidas al análisis granulométrico, para determinar el tamaño de partícula, trabajando con cantidades pequeñas de muestra, para así con el producto obtenido realizar pruebas de análisis químico.

CAPITULO I

1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.1 PLANTEAMIENTO

La industria minero-metalúrgica es fuente de riqueza de mayor importancia en el contexto socio económico, dicha actividad se desarrolla en forma acelerada. Para realizar los procesos metalúrgicos de extracción de los metales preciosos, se requiere de un análisis previo que nos permita determinar la cantidad de dicho metal contenido en la mena o lote de mineral, lo cual se conoce como ley del mineral, que se determina por análisis químico.

Para realizar el análisis químico se requiere una previa preparación mecánica de la muestra de mineral, la cual es fundamental en los análisis, donde la preparación mecánica consiste en la molienda o pulverizado, para reducir a un tamaño adecuado de partícula y así liberar las partículas valiosas, para esta operación se necesita equipos adecuados que trabajen en forma eficiente, razón por la cual es necesario instalar y evaluar un pulverizador para la preparación mecánica de minerales y encontrar los parámetros adecuados en el equipo. Por lo que se plante las siguientes interrogantes:

Problema general:

¿Cómo contribuirá la instalación y evaluación de un pulverizador para la preparación mecánica de minerales auríferos en el proceso de análisis?

Problemas específicos:

- 1.- ¿Cuáles serán los parámetros óptimos de operación del pulverizador de anillos, para la preparación mecánica de minerales?
- 2.- ¿Cuál es la eficiencia de molienda en el equipo pulverizador?
- 3.- ¿Cuál será el consumo de energía para la operación de pulverizado?

1.2 ANTECEDENTES**1.2.1 Antecedentes Locales**

Chura. *et al.*(2011). Presentaron una tesis de instalación y evaluación de un molino de bolas para minerales de cuarzo aurífero, donde realizaron pruebas experimentales de molienda con diferentes porcentajes en peso de mineral, de 50, 60, 70 y 80 %, con tiempos variables de operación de 30, 45, 60 minutos con la finalidad de determinar la carga óptima de mineral en función del tiempo, este trabajo reporta un equipo a escala de laboratorio útil para el procesamiento de minerales, donde llegaron a obtener un porcentaje de pasante acumulado en la malla 60 de un 9,235%, por lo cual no se obtuvo una eficiente molienda.

Caparó *et al.* (2009). En la tesis de instalación y evaluación de un molino de discos para pasta de cacao con controlador de temperatura, estudian las características estructurales de las partículas en la entrada y salida de la molienda, evalúan la temperatura óptima y rendimiento del molino, así como cálculos concernientes al balance de materia y energía. Se pudo determinar experimentalmente que el molino de discos opera óptimamente a un espacio interdiscal de 0,4 mm, que a su vez es la mínima distancia que la cual se puede operar. Las pruebas de molienda se realizaron con los siguientes espaciamientos: 1 mm, 0,6 mm, 0,05 mm y 0,04 mm. Siendo este último el adecuado tanto para obtener un producto de granulometría adecuada como para una fluidez de pasta. Se pudo determinar el rendimiento del equipo el cual dio como resultado de 62,5% de acuerdo a la capacidad instalada y la capacidad esperada.

Arapa *et al* (2012). En la tesis de evaluación de equipos mecánicos para molienda de piedra caliza calcinada, evalúan el funcionamiento y los parámetros de capacidad de carga, reducción de tamaño, rendimiento y potencia requerida para los equipos, chancadora de quijadas, molino de bolas, zarandas vibratorias, y un transportador de tornillo sin fin. Se realizaron en el molino de bolas pruebas para tres volúmenes de carga de piedra caliza-calcinada de 50%, 55% y 60% y para tiempos de operación de 5, 8, y 11 minutos respectivamente. El mejor rendimiento de molienda en seco se obtuvo para:

- Carga al molino en un volumen al 55% de capacidad
- Tiempo de operación para 8 minutos
- Rendimiento de material pasante acumulado al 76,6 %
- Malla de abertura de producto pasante a 175 μm

1.2.2 Antecedentes nacionales.

Portocarrero. *et al.* (2010) en su tesis Diseño, construcción y determinación de los parámetros de operación de un molino de bolas para el laboratorio metalúrgico de la escuela profesional de ingeniería química, mediante las pruebas de molienda se pudo determinar los parámetros de operación para reducir de tamaño un mineral con tamaño máximo de partícula a un tamaño 55% pasante la malla 200.

1.2.3 Antecedentes internacionales.

Herrera. *et al.* (2005). En su tesis diseño y construcción de un molino de bolas de alta energía y alta capacidad combina el movimiento planetario y vibratorio conferido a recipientes, que contienen materiales en polvo, para utilizarlos en la producción de aleaciones y materiales compuestos, el molino es de alta capacidad por la cantidad de masa que se puede llegar a moler en una sola tanda, comparada con la capacidad de los molinos comerciales para laboratorios.

Guayllas. *et al.* (2011). En la tesis de diseño y construcción de un molino de martillos con tamiz intercambiable para pulverizar yeso crudo, llega a obtener una eficiencia del equipo de 95.5 % donde el producto obtenido pasa por un tamiz de 1000 μm y con mayor velocidad es posible obtener una cantidad mayor al 75% que pasa a través del tamiz de 212 μm .

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Instalar y evaluar un pulverizador de anillos para la preparación mecánica de minerales auríferos en el proceso de análisis

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar los parámetros óptimos de operación en el equipo pulverizador de anillos para el análisis de minerales auríferos.
- Determinar la eficiencia de molienda en el equipo pulverizador.
- Determinar el consumo de energía en la operación de pulverizado

1.4 JUSTIFICACIÓN.

La operación de reducción del tamaño de las partículas forma parte importante en el proceso de análisis químico de minerales auríferos, ya sea de forma cualitativa o cuantitativa, para realizar este proceso se requiere una previa preparación mecánica de la muestra de mineral, la cual consiste en pulverizar los minerales a partículas finas, esta operación requiere de equipos adecuados y eficientes, los cuales puedan trabajar con cantidades de muestras pequeñas, para realizar una trituración rápida y sin pérdidas de materiales, ya sean estos duros, frágiles y fibrosos, en comparación con otros modelos. El equipo pulverizador es importante porque es utilizado en los laboratorios químicos de empresas mineras, ya que muchas medidas de operación que se toman en planta o mina, toman como base los resultados que proporciona el laboratorio químico.

Con el equipo pulverizador los estudiantes de la facultad de Ingeniería Química tendrán la posibilidad de realizar prácticas en preparación mecánica de minerales auríferos u otros metales contenidos en los diferentes tipos de minerales existentes en nuestra región. Así mismo se espera que este equipo sirva como un instrumento que permita a los estudiantes realizar pruebas, experimentos y trabajos de investigación en áreas relacionadas a la actividad minero metalúrgicos.

Por otro lado contribuye a alcanzar los objetivos del plan de estudios de la Facultad de Ingeniería Química, en el curso de Operaciones y Procesos Metalúrgicos, como también en los cursos de química analítica cualitativa y cuantitativa. Es necesario contar con un laboratorio de operaciones de reducción de tamaño y análisis de minerales, que permitan aplicar y mejorar los conocimientos adquiridos en las aulas, que brinde servicios a personas o empresas relacionadas a la actividad minero metalúrgicos.

Actualmente los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química no cuentan con un equipo para la reducción de tamaño de minerales, que trabaje con cantidades pequeñas de muestras, es por tal motivo que se tienen la necesidad de contar con el equipo pulverizador.

1.5 ALCANCES.

Con la instalación del pulverizador a llevarse a cabo en la facultad de Ingeniería Química de la UNA - Puno, se propone evaluar la operatividad del pulverizador para la preparación mecánica de minerales auríferos.

1.5.1 BENEFICIARIOS

El equipo de pulverizado se basa en la operación de reducción de tamaño, el cual permite alcanzar granulometrías de grado analítico y emplear principalmente para la preparación de muestras que serán sometidas a análisis de muestras de aéreas de geología, metalurgia y minería.

1.5.2 BENEFICIARIOS DIRECTOS

Estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química para desarrollar aspectos de:

- De atención académica; para desarrollar trabajos de laboratorio, debido a la rápida preparación mecánica de diferentes muestras de minerales.
- De investigación; desarrollar trabajos de investigación relacionados al sector minero metalúrgico.

1.5.3 BENEFICIARIOS INDIRECTOS

De desarrollo; generar desarrollo académico y tecnológico para estudiantes, egresados, profesionales, personal técnico, y prestación de servicio a la empresa privada, en el campo industrial minero metalúrgico.

1.6 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

1.6.1 Variables Independientes

- Tamaño de partícula en la alimentación
- Cantidad de muestra
- Tiempo de molienda

1.6.2 Variables Dependientes

- Eficiencia de molienda en el equipo
- Consumo de energía

1.6.3 Intervinientes Controladas

- Humedad del mineral
- Temperatura ambiental
- Presión ambiental
- Velocidad de operación

Tabla 1 Operacionalización de variables

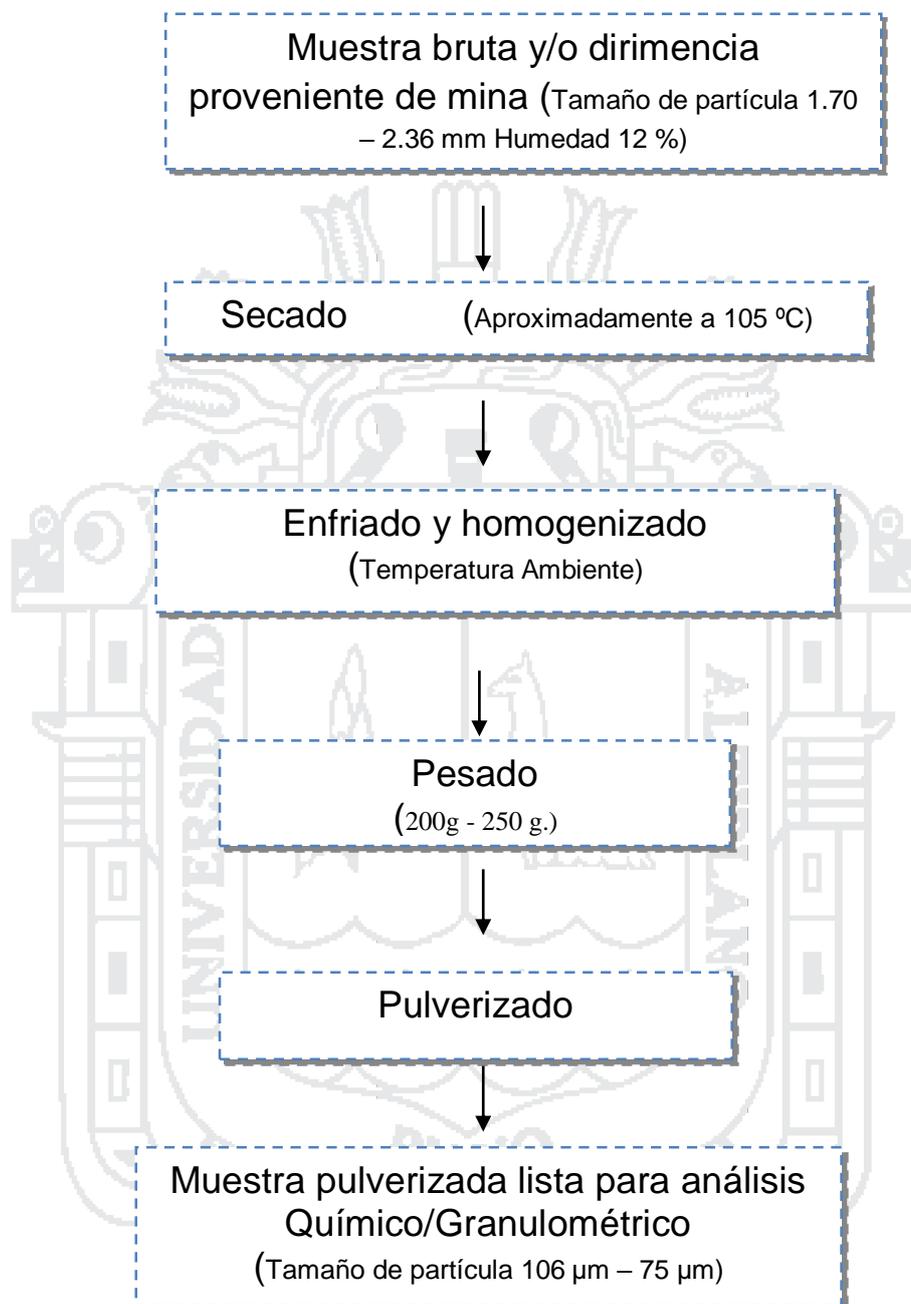
Variable independiente (Vi)	Dimensión	Indicador	Índice	Instrumento
Granulometría inicial	Reducción de tamaño, pulverizado de minerales auríferos	Porcentaje pasante	%	Mallas
Cantidad de muestra		peso de material	g	Balanza analítica
Tiempo de molienda		Minutos	min	Cronometro
Variable dependiente (Vd)	Dimensión	Indicador	Índice	Instrumento
Parámetros del pulverizador para la preparación mecánica de muestras de minerales auríferos	Reducción de tamaño, pulverizado de minerales auríferos	Porcentaje pasante malla200	%	Mallas tyler
		Consumo de energía	kW-h	Medidor de energía
Variable interviniente(V_{inter})	Dimensión	Indicador	Índice	Instrumento
Humedad de mineral	factores de operación	Porcentaje de humedad	%	Balanza
Temperatura ambiental		Grados Celsius	°C	Termómetro
Presión atmosférica		Atmosferas	atm	Barómetro
Velocidad de operación		Revoluciones por minuto	rpm	

1.7 PARTE EXPERIMENTAL

1.7.1 Procedimiento de la etapa de pulverización

1. Para la realización de este estudio, el mineral a usar para las pruebas de pulverizado las muestras fueron recolectadas en la mina San Luis ubicada en la Provincia Sancos – Lucanas de la Región Ayacucho y mineral proveniente del Centro Poblado de la Rinconada del Distrito de Ananea de la Provincia de San Antonio De Putina del Departamento de Puno.
2. Se hizo el cuarteado correspondiente, tomando muestras de 200g y 250g.
3. Las muestras tomadas se llevaron a un secado previo, esto con el fin de reducir su contenido de humedad, para que al momento de realizar el pulverizado del mineral no se adhieran en las paredes del pulverizador.
4. Las muestras se colocaron en la olla de pulverizado por un tiempo determinado de 3 min y 5 min.
5. Con la muestra ya pulverizada se procedió a homogenizar y se sometió el material seco a una operación de tamizado.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE PULVERIZADO



1.7.2 Análisis granulométrico

1. La técnica para material fino, consiste en separar el mineral pulverizado por tamaños haciéndolos pasar a través de mallas de aberturas diferentes. Colocar 50g de muestra sobre la malla fina y hacer pasar con agua todo el material fino (lamas) cuyo tamaño es más pequeño que la abertura de la malla, se continúa esta operación hasta que el agua se vea completamente clara.
2. Secar el material que quedó retenido en los tamices, luego pesar.
3. Proceder de la misma manera con todas las demás muestras de mineral.
4. Calcular el porcentaje de material pasante por la malla número 140 con la ecuación .

$$\% \text{ Malla} = \frac{P_i - P_{ret}}{P_i} * 100 \quad (01)$$

Donde:

$\% \text{ Malla}$: porcentaje de material pasante por la malla (%)

P_i : peso de la muestra inicial (g)

P_{ret} : peso retenido (g)

5. Registrar el peso en la hoja de trabajo. Según lo establecido la muestra de mineral a la salida del pulverizador, debe tener un tamaño de partícula menor a 0.106mm, con un 90 % pasante por el tamiz de N° 140

Se calcula el porcentaje de material retenido con la siguiente ecuación

$$\% \text{ Ret} = \frac{P_{ret}}{P_{total}} * 100 \quad (02)$$

Donde:

$\% \text{ Ret}$: porcentaje de material retenido (%)

P_{ret} : peso del material retenido (g)

P_{total} : peso total de la muestra tamizada (g)

CAPITULO II

2 FUNDAMENTO TECNOLOGICOS.

2.1 Definición de Mineral

Pozo. *et al* (2008). Un mineral es un compuesto químico sólido y homogéneo, de origen natural formado como consecuencia de un proceso generalmente inorgánico, dotado de una composición química definida pero no fija y con una estructura interna ordenada. Los minerales son elementos o Compuestos químicos naturales, homogéneos por su composición y estructura, forman parte de las rocas y las micas. Se encuentran en la naturaleza en estado sólido o líquido. Los minerales son recursos naturales no renovables, por ello se hace necesaria una explotación controlada de los yacimientos minerales, ya que podemos compararlos como un depósito bancario y su duración dependerá del manejo que se haga de él.

2.1.1 Minerales de Oro

Cornelis. *et al*. (1996). El oro tiene una abundancia media de 0,004 ppm en la corteza terrestre, y es por tanto, un elemento raro. Aparece en la naturaleza diseminado en pequeñas cantidades. Se le halla corrientemente en filones que tiene relación genética con rocas ígneas de tipo silícico. La mayor parte del oro aparece como elemento nativo.

La principal fuente de oro son los llamados filones hidrotermales de cuarzo y oro, donde junto a la pirita y otros sulfuros, el oro fue depositado por soluciones minerales ascendentes que lo contenían. El oro se recupera también como subproducto de los depósitos de sulfuros explotados esencialmente para la obtención de los metales correspondientes. En la mayoría de los filones, el oro esta tan finamente dividido y

distribuido de forma tan uniforme, que su presencia solo puede ser detectada por técnicas microscópicas.

2.1.2 Dureza de los Minerales

Pozo. *et al.* (2008). Una de las principales características que definen a un mineral es su dureza. Un mineral es más duro cuanto más cerca están los átomos unos de los otros y cuanto más duro son los enlaces en todas sus direcciones. La forma más simple de medir la dureza de un mineral es intentar rayarlo mediante muestras de varios minerales con una dureza conocida. Como referente usamos los minerales que conforman la famosa escala de Mohs:

Tabla 2 Dureza de minerales

Dureza	Mineral
1	Talco
2	Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Ortosa
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindón
10	Diamante

Fuente: M. Pozo; I. Carretero (2008).

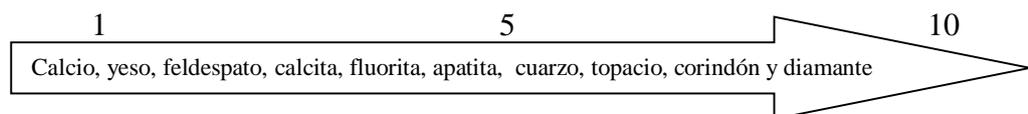


Figura 1 Dureza del mineral

Según lo anterior la dureza de un material suave se cataloga en la escala entre 1 y 3, uno de dureza Intermedia entre 4 y 7, y los materiales duros entre 8 y 10.

2.1.3 Clasificación de minerales asociados al oro

Misari, F. (1993). Clasifican los minerales en los siguientes grupos:

- **Minerales cuarcíferos:** Pertenece a este grupo los minerales en los cuales predominan la sílice y los silicatos.
- **Minerales ferruginosos:** Pertenecen a este grupo todos aquellos minerales en los que predomina el hierro, tanto oxidado como en forma de piritas. Si se encuentra formando piritas se calcina previamente para expulsar el azufre.
- **Minerales cupríferos:** A este grupo pertenecen todos los minerales que contienen cobre, ya sea oxidado o en forma de piritas. Si contiene piritas el mineral (sulfuro de cobre) o bien sustancias volátiles como arsénico, antimonio, se calcinan fuertemente.
- **Minerales complejos:** A este grupo pertenecen los minerales que contienen compuestos de arsénico, de antimonio, galena, óxidos o carbonatos de calcio y magnesio, bismuto telurio zinc selenio y manganeso.

2.1.4 El Oro

James, D. (1992). El oro se halla en la naturaleza en una proporción bajísima. muy dúctil y maleable, pues puede reducirse a láminas hasta una diezmilésima de milímetro de espesor (pan de oro). Es inalterable frente a los agentes atmosféricos y solo es atacable por muy pocos agentes químicos, como el cloro, el bromo, el agua regia, el mercurio y el cianuro de sodio en presencia de oxígeno.

Pimentel, N. (2010). El oro es un elemento químico de número atómico 79, situado en el grupo 11 de la tabla periódica. Es un metal precioso blando de color amarillo. Su símbolo es Au.



Figura 2 Oro nativo

Propiedades del oro

Cornelis. *et al.* (1996).

Cristalografía:

Sistema y clase: Cúbico holoédrico (4/m32/m)

Grupo espacial: Fm3m $a = 4,079 \text{ \AA}$; Z = 4.

Propiedades físicas: Color amarillo, raya amarilla, brillo metálico.

Dureza= 2,5-3

G.E= 19,3g / cm³.

Óptica: opaco

Propiedades Químicas: Es oro puro. Presenta solución sólida frecuente con plata. Cuando el porcentaje de plata es mayor o igual al 20%, se denomina electrum.

Funde a 1062°C.

El oro es fácilmente soluble en agua regia.

El oro disuelve en ácido clorhídrico en presencia de sustancias orgánicas.

El oro es disuelto por cloruros férricos o cúpricos.

2.1.5 Análisis químico de oro

Garritz, A (1998) El análisis químico permite conocer qué tipo de sustancia se encuentra presente en una muestra determinada y en qué cantidad, así el contenido de oro en un mineral permitirá saber si vale construir una mina o llevar a cabo un proyecto.

2.1.6 Métodos analíticos para el oro

En oro fino:

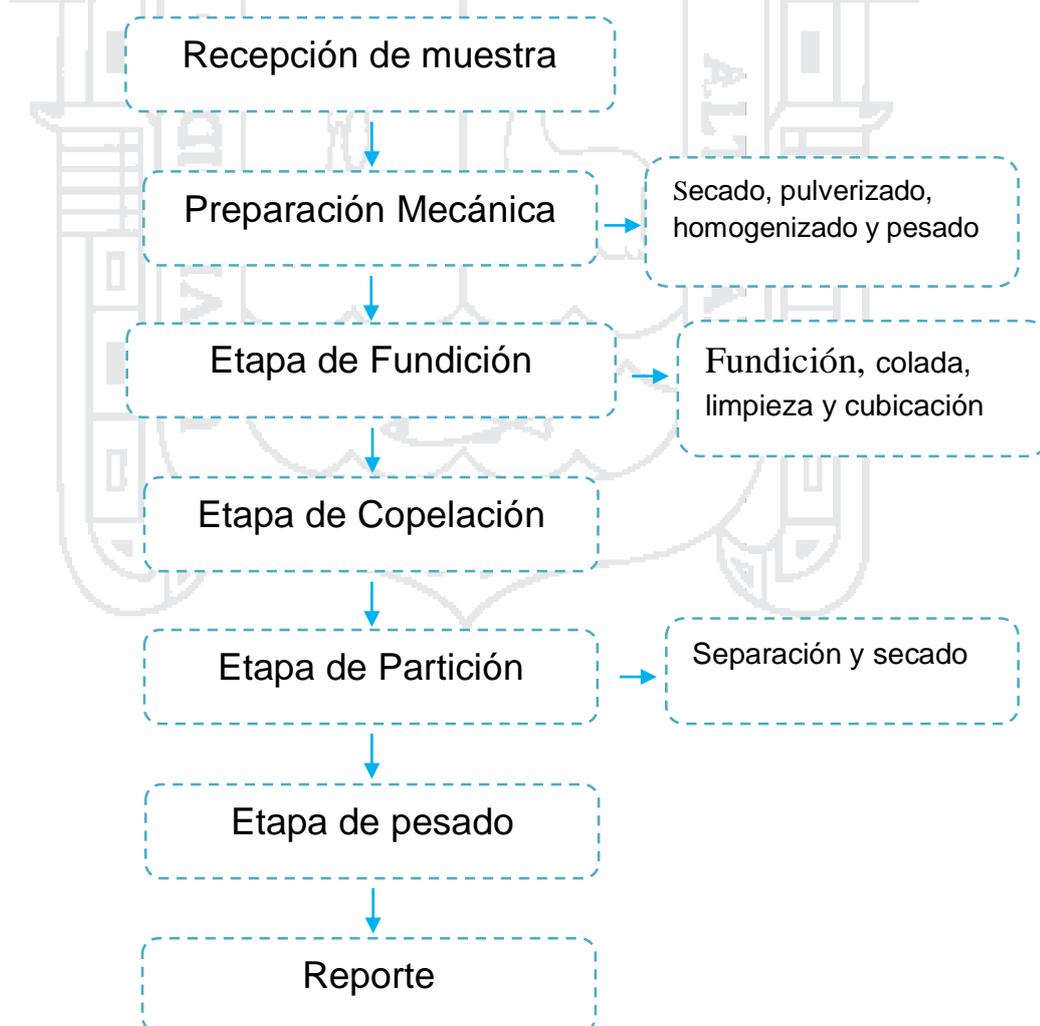
Pimentel, N. (2010) El método empleado para el análisis de oro fino es la copelación, que consiste en fundir una cantidad de muestra, a la cual se le añade plomo y plata en

cantidades apropiadas separando así el oro y la plata de las impurezas en un botón metálico (Dore).

En mineral de oro:

Pimentel, N. (2010) Para el análisis químico del oro en minerales el método empleado es el Fire Assay (ensayo al fuego), donde una cantidad de la muestra pulverizada se funde con los reactivos apropiados a fin de separar la escoria de los metales preciosos presentes en la muestra.

**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE ANÁLISIS QUÍMICO DE
ORO Y PLATA**



2.1.7 La Plata

Pimentel, N. (2010). La plata (Ag) es un elemento químico de número atómico 47 situado en el grupo 11 de la tabla periódica.

James, D. (1992). La plata es un material blando, maleable con un brillo característico. Se halla en escasa proporción en la naturaleza, encontrándose en unos 0,1 mg/Kg, tanto en forma nativa, como presente en algunos minerales (argentita) o más comúnmente asociada a sales de plomo, zinc, cobre y oro. Tiene las conductividades térmicas y eléctricas más elevadas de todos los metales. Suele encontrarse no combinada, o en los minerales de sulfuro o arseniuro desde los cuales puede ser recuperada como complejo de cianuro que se reduce en una solución acuosa utilizando zinc hasta conseguir el metal. El metal puro es estable en agua y oxígeno, pero es atacado al aire por compuestos sulfurosos para formar la característica capa negra del sulfuro de plata. Es soluble en ácidos sulfúrico y nítrico.



Figura 3 Plata nativa

Propiedades de la plata:

Cornelis. *et al.* (1996).

- **Cristalografía:**

Sistema y clase: Cúbico holoédrico (4/m³ 2/m)

- **Grupo espacial:** Fm3m a = 4,09 Å ; Z = 4

Propiedades físicas : color blanco de plata, raya blanca, brillo metálico

Dureza = 2,5 a 3

G.E = 10,5 g/cm³

Óptica: opaco

Otras: ductilidad y maleabilidad

- **Propiedades Químicas:** Va asociada a cobre y oro. Menos frecuentemente se presenta en aleación con el mercurio, platino, antimonio y bismuto. Funde a 960°C. La solución sólida de plata y mercurio se denomina amalgama.

2.2 OPERACIÓN DE MUESTREO

2.2.1 Muestra

En Procesamiento de Minerales, muestra es una pequeña porción de un lote de mineral, el cual contiene todos los componentes químicos y mineralógicos, en la misma proporción que existen en el original

2.2.2 Muestreo

El muestreo es una operación de control metalúrgico que obligatoriamente se hace en toda Planta Concentradora que consiste en la obtención de pequeñas muestras que representan todas las cualidades del tonelaje tratado, es decir, el muestreo conduce a la obtención de una muestra representativa que permite estimar a través de ella, todas las características de un gran conjunto de mineral del que fue extraída.

Esta operación se ejecuta con el propósito de investigar, controlar y establecer las condiciones en que se desarrollan todas las operaciones de un proceso metalúrgico extractivo.

2.2.3 Reducción de tamaño de la muestra

Buscarons. *et al.* (2005). El paso de la muestra bruta (casi de varios Kilogramos) a muestra de laboratorio (20g a 100g), sobre la que se efectuara el análisis, debe realizarse de tal forma que este siga conservando las propiedades iniciales. Suele llevarse a cabo mediante el sistema de cuarteo manual o mecánico con la ayuda de cuarteadores o reductores. Consiste el cuarteo manual en formar con la muestra bruta un montón cónico procurando que no tenga lugar segregación de los materiales por tamaño; tras lo cual se aplana la parte superior del montón y divide en cuatro partes iguales. Al rechazar dos sectores opuestos se habrá reducido la muestra a la mitad. Esta operación se debe realizar el suficiente número de veces, alternándolos con una adecuada reducción de tamaño de partículas para homogenizar, hasta que se obtenga la muestra de laboratorio de tamaño adecuado.

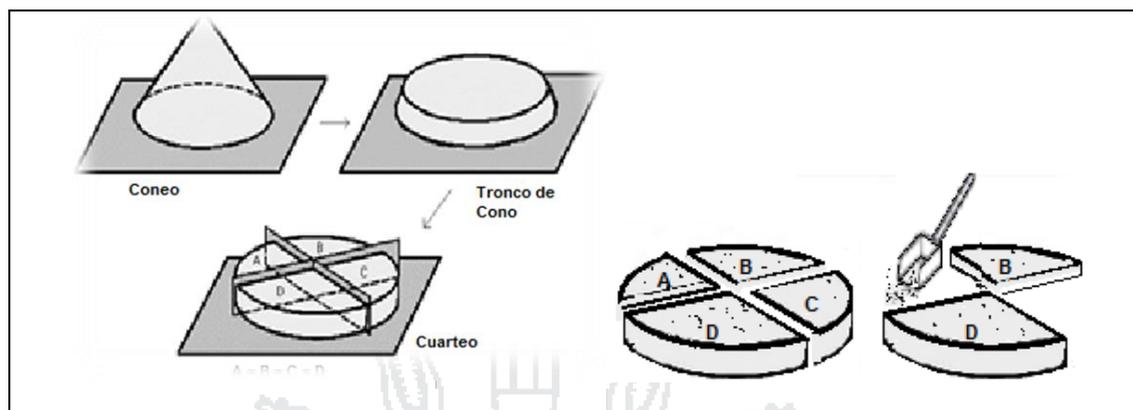


Figura 4 Cuarteo manual

2.3 REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE PARTICULA O CONMINUCION

Carcamo, H. (2003). La reducción de tamaño de partículas o conminucion es una operación necesaria en una variada gama de actividades que incluye a las industrias mineras, metalúrgicas, químicas, del cemento, entre otras. El objetivo que normalmente se persigue en la industria minera es obtener un producto, de un tamaño en el cual las especies mineralógicas valiosas se encuentran liberadas y puedan ser separadas de la ganga en procesos posteriores.

Metcalf. *et al.* (2003). La reducción de tamaño de partícula o conminucion se efectúa normalmente para aumentar la superficie, ya que en la mayoría de las reacciones en las que intervienen partículas sólidas la velocidad es directamente proporcional al área de contacto con una segunda fase. Existen además otras razones para llevar a cabo la reducción de tamaño.

Buscarons, *et. al.* (2005). El tamaño de partícula será simplemente el que permita una mejor disolución de la muestra. No es conveniente una excesiva pulverización porque además de la pérdida de tiempo que implica, aumenta la posibilidad de que se impurifique la muestra por el material del mortero o de que varíe su composición química. La comprobación del tamaño de partícula se lleva a cabo por tamizado una porción de la muestra con el juego de tamices de diferente tamaño de malla.

Las operaciones unitarias de reducción de tamaños de partículas más utilizadas son:

La trituración, que aplica esfuerzos mecánicos de compresión y flexión entre superficies rígidas o por impacto contra superficies duras, todo ello dentro de un espacio limitado. Por lo general la trituración es un proceso en seco y puede llevarse a cabo en distintas etapas o fases, en cada uno de los cuales se consigue determinado grado de reducción.

La molienda, que utiliza esfuerzos mecánicos de abrasión e impacto del material entre sí y con elementos de movimiento libre, como bolas, barras o guijarros, frecuentemente se realiza en húmedo porque, no es demasiado utilizado en recuperación de metales.

2.3.1 Relación energía tamaño de partícula

Carcamo, H. (2003). Desde los primeros años de la aplicación industrial de los procesos de conminución al campo de beneficio de minerales, se pudo constatar la relevancia del consumo de energía específica como parámetro controlante de la reducción de tamaño y granulometría final del producto, en cada etapa de conminución.

En términos generales, la energía consumida en los procesos de conminución se encuentra estrechamente ligado con el grado de reducción de tamaño de las partículas en la etapa correspondiente. Por otro lado, se ha logrado demostrar que en las etapas de chancado y molienda convencional la energía mecánica suministrada supera entre 100 a 1000 veces el consumo teórico de energía requerida para crear nuevas superficies, es decir menos del 1% del total de energía entregada al equipo de conminución es efectivamente empleada en la fragmentación de las partículas.

2.3.2 Energía suministrada para la conminución

Carcamo, H. (2003).

Material que se fractura:

- Reordenamiento cristalino
- Energía superficial
- Deformación elástica de las partículas
- Deformación plástica de las partículas

Máquinas de Conminución:

- Fricción entre partículas
- Roce entre piezas de la maquina
- Energía cinética proporcionada a la maquina
- Deformaciones elásticas de la maquina
- Efectos eléctricos
- Ruido
- Vibraciones de la instalación

Lo anterior indica la importancia de establecer correlaciones confiables entre la energía específica, kW-h/ton, consumida en un proceso de conminución y la correspondiente reducción de tamaño alcanzada en dicho proceso, a objeto de determinar la eficiencia energética de los respectivos equipos, facilitar su apropiada elección.

2.4 PRINCIPIO DE CONMINUCION

Carcamo, H. (2003). Los minerales poseen estructura cristalina y sus energías de unión se deben a los diferentes tipos de uniones y enlaces que participan en la configuración de sus átomos. Estos enlaces interatómicos son efectivos solo a corta distancia y pueden ser rotos por la aplicación de esfuerzos de tensión o compresión. Para romper un material se necesita una menor energía que la teoría, debido a que el material presenta fallas que pueden ser microscópicas o grietas. Se ha demostrado que estos sitios en que, al aplicar los esfuerzos, estos se concentran en dichas fallas y así estas se activan y aumentan el largo de la grieta, aumentando la concentración de esfuerzos y causando una rápida propagación de la grieta, produciéndose entonces la fractura.

Cuando la fractura ocurre, la energía almacenada se puede transformar en energía libre superficial, la cual es la energía potencial de los átomos en estas superficies creadas, y así estas superficies frescas son más reactivas, y aptas para la acción de los reactivos.

La energía requerida en la conminución se puede reducir por la presencia de agua o por otros aditivos que se absorben en el sólido. Esto puede deberse a la disminución de la energía superficial en la adsorción, dado que el agente tenso-activo puede penetrar en la grieta y reducir la fuerza de enlace y así facilitar la fractura.

Las partículas reales son de forma irregular, la carga del esfuerzo sino es uniforme es logrado mediante puntos o pequeñas áreas de contacto. La rotura se logra mayormente por chancado, impacto o fricción. Cuando las partículas se quiebran por compresión o chancado los productos caen en dos rangos distintos de tamaño, partículas gruesas resultado de la ruptura por tensión inducida y partículas finas de la ruptura por compresión cerca de los puntos de la carga.

Los tipos de esfuerzos que pueden dar origen a la fractura son:

2.4.1 Impacto:

Es la aplicación de un esfuerzo en forma instantánea, y así la partícula adsorbe más energía que la necesaria para romperse. El producto es a menudo muy similar en tamaño y forma.

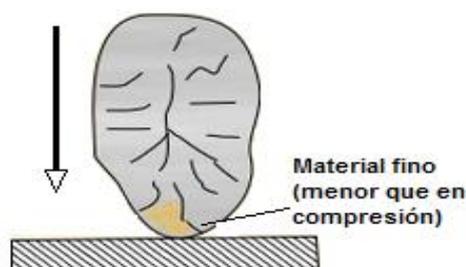


Figura 5 Esquema de acción de impacto

2.4.2 Compresión:

La aplicación de estos esfuerzos es lenta, normalmente se produce en máquinas de chancado donde existe superficie fija y otra móvil. Da origen a partículas finas y gruesas. La cantidad de finos se puede reducir, disminuyendo el área de contacto, usando superficies corrugadas.

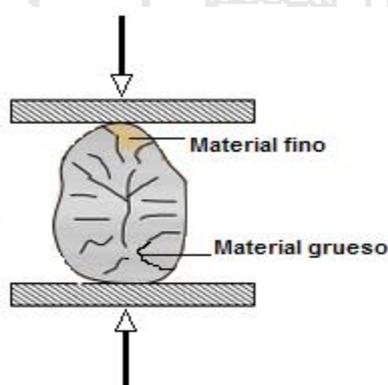


Figura 6 Esquema de acción de compresión

2.4.3 Fricción:

La fricción ocurre como un esfuerzo secundario al aplicar esfuerzos de compresión y de impacto. Produce gran cantidad de finos.

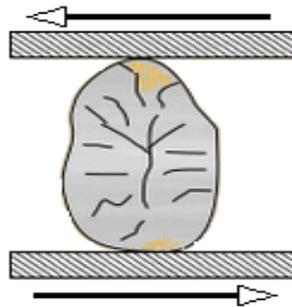


Figura 7 Esquema de efecto de fricción

Tabla 3 Tipos de fractura

TIPO DE CARGA APLICADA	MECANISMO DE FRACTURA	DISTRIBUCION DE TAMAÑOS DE PARTICULA
IMPACTO	Estallido por fuerza de tracción aplicados a alta velocidad	Partículas gruesas y algunos finos
COMPRESION	Compresión	Homogéneo
FRICCION	Abrasión por esfuerzo cortante superficial	Finos y gruesos

En la rotura por impacto debido a la carga rápida del esfuerzo, una partícula experimenta un esfuerzo más grande que bajo una carga de esfuerzo más lento. Como resultado las partículas absorben más energía que lo necesario para lograr simple fracturación, y tienden a quebrarse más rápidamente en productos separados principalmente debido a la rotura por tensión, los productos son a menudo, muy similares en tamaño y forma

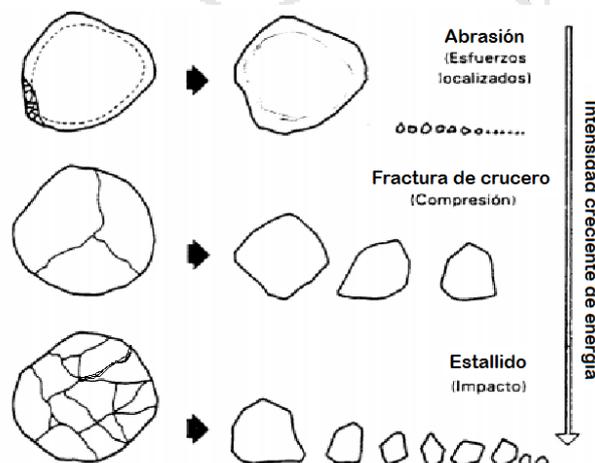


Figura 8 Intensidad creciente de energía

2.5 TEORIA DE CONMINUCION

Carcamo, H. (2003). La teoría de la Conminución se ocupa de la relación entre la energía consumida y del tamaño del producto obtenido de un tamaño dado de alimentación. Varias teorías han sido expuestas, ninguna de ellas es completamente satisfactoria.

El problema más grande se debe al hecho de que la mayoría de la energía suministrada a una máquina de molienda es absorbida por la maquina en sí misma y solamente una pequeña fracción de la energía total es usada para la rotura del material. Se espera que hay una relación entre la energía requerida para quebrar el material y la nueva superficie producida en el proceso, pero esta relación puede ser solamente probado si la energía producida en crear nueva superficie puede ser medida separadamente.

En los molinos de bolas, por ejemplo, ha sido demostrado que menos del 1 % de la energía total suministrada es usada para la reducción de tamaño.

2.5.1 Postulados Clásicos Sobre Conminucion

Metcalf. et al. (2003). Resulta imposible calcular con precisión la energía requerida para llevar a cabo la reducción de tamaño de un determinado material, si bien existe un cierto número de leyes empíricas.

Postulado de Rittinger (Primera Ley de Conminucion)

El postulado de Rittinger establece lo siguiente: "la energía específica consumida en la reducción de tamaño de un sólido es directamente proporcional a la nueva superficie creada".

Este postulado considera solamente la energía necesaria para producir la ruptura de cuerpos solidos ideales (homogéneos, isotrópicos y sin fallas), una vez que el material alcanzo su deformación crítica o límite de ruptura. Podemos entonces describir.

$$E_R = C_R (S_2 - S_1) \quad (03)$$

Donde:

E_R = Consumo de energía específico.

C_R = Constante de proporcionalidad de Rittinger.

S_2 = Superficie específica del producto.

S_1 = Superficie específica del alimento.

La superficie específica está dada por:

$$S' = \frac{S}{M} = \frac{S}{ps} = \frac{as * d^2}{ps * av * d^2} = \left(\frac{as}{ps * av} \right) * \left(\frac{1}{d} \right) \quad (04)$$

Definiendo:

$$K_R = \left(\frac{as}{ps * av} \right) * C_R \quad (05)$$

Donde:

Obteniéndose finalmente:

$$E_R = K_R * \left[\left(\frac{1}{dp} \right) - \left(\frac{1}{df} \right) \right] \quad (06)$$

Donde:

S' = Superficie específica.

S = Superficie

M = Masa del sólido.

ps = Gravedad específica del sólido

as = Factor de forma superficial

av = Factor de forma volumétrico

d = Tamaño promedio característico.

d_f = Subíndices relativos al producto y alimentación

E_R = Consumo de energía específica.

K_R = Constante de Rittinger.

Aun cuando el postulado de Rittinger carece de suficiente respaldo experimental, se ha demostrado en la práctica que dicha teoría funciona mejor para la fracturación de partículas gruesas, es decir, en la etapa de trituración o chancado de material.

POSTULADO DE KICK (SEGUNDA LEY DE CONMINUCION)

En el año 1874, Kirpichev y posteriormente en 1885, Kick, propusieron independientemente una segunda teoría, conocida como el postulado de Kick en ella se establece: “la energía requerida para producir cambios análogos en el tamaño de cuerpos geoméricamente similares es proporcional al volumen de estos cuerpos”. Esto significa que “iguales cantidades de energía producirá iguales cambios geoméricos en el tamaño de los sólidos”.

Kick considero que la energía utilizada en la fractura de un cuerpo solido ideal (homogéneo, isotrópico y sin fallas) era solo aquella necesaria para deformar el sólido hasta su límite de ruptura, despreciando la energía adicional para producir la energía del mismo. Así, por ejemplo, si para romper un cuerpo en dos partes equivalentes necesitamos una unidad de energía, entonces, para quebrar estas dos unidades en cuatro se necesitará otra unidad más de energía y así sucesivamente. De esta manera, de acuerdo al postulado de Kick, cada evento de fractura consumirá una unidad de energía. Si colocamos en serie las partes equivalentes en las cuales se divide un cuerpo, y en otra sucesión las unidades de energía requeridas para efectuar tal división, obtendremos la siguiente tabla:

Tabla 4 Eventos de fractura

Elemento Fractura	0	1	2	n
Numero Partículas	1 2^0	2 2^1	4 2^2	2^n 2^n
Numero Unidades Energía	0	1	2	n
Tamaño partículas	d_0 $d_0 = d_0/2^0$	$d_1 = d_0/2$ $d_1 = d_0/2^1$	$d_2 = d_1/2$ $d_2 = d_1/2^2$	$d_n = d_{n-1}/2$ $d_n = d_0/2^n$

De la tabla anterior, se observa que el número de unidades de energía empleadas equivale al número de eventos de fractura producidos; además:

$$dn = \frac{do}{2n} \tag{07}$$

$$2n = \frac{do}{dn} \tag{08}$$

Tomando logaritmo natural (base) a ambos miembros de la Ec. 08:

$$n * \ln 2 = \ln \left(\frac{do}{dn} \right) \tag{09}$$

Es decir:

$$n = E_x = \frac{1}{\ln 2 * \ln \left(\frac{do}{dn} \right)} \tag{10}$$

Definiendo Finalmente:

$$E_k = K_k * \ln \left(\frac{df}{dp} \right) \tag{11}$$

Donde:

E_k = Consumo de energía superficial

$K_k = 1/\ln 2$: Constante de Kick

$d_f=d_o$: Tamaño promedio volumétrico inicial, característico de la alimentación.

$d_p=d_n$: Tamaño promedio volumétrico final, característico del producto.

Aun cuando el postulado de Kick, al igual que el de Rittinger carece de suficiente respaldo experimental, se ha demostrado en la práctica que su aplicación funciona mejor para caso de molienda de partículas finas.

POSTULADO DE BOND (TERCERA LEY DE CONMINUCION)

Como los postulados de Kick y Rittinger no satisfacían todos los resultados experimentalmente observados en la práctica y como se necesitaba en la industria de una norma estándar para clasificar los materiales según su respuesta a la conminucion, Bond postulo en 1952 una ley empírica que se denominó la “tercera ley de la conminucion” dicha teoría puede enunciarse como sigue: “ la energía consumida para reducir el tamaño 80% de un material, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño 80%; siendo este último igual a la abertura del tamiz (micrones) que deja pasar el 80% en peso de las partículas”.

Bond definió el parámetro K_B en función del work index, W_i (índice de trabajo del material), que corresponde al trabajo total (expresado en Kwh/ton corta) necesario para reducir una tonelada corta de material desde un tamaño teóricamente infinito ($d_f \rightarrow \infty$) hasta partículas que en un 80% sean inferiores a 100 micrones ($d_p = 100\mu m$; o sea, aproximadamente 67% - 200 mallas)

Es decir:

$$E_B = K_B \left[\left(\frac{1}{\sqrt{d_p}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{d_f}} \right) \right] \tag{12}$$

Entonces:

$$W_i = K_B \left[\left(\frac{1}{\sqrt{100^{1/2}}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha^{1/2}}} \right) \right] = \frac{K_B}{10} \tag{13}$$

De donde:

$$K_B = 10 * W_i \tag{14}$$

Y finalmente, al reemplazar la Ec.14 en la Ec. 12:

$$W = 10 * W_i * \left(\frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{F80}} \right) \tag{15}$$

Donde:

$F80$ = Tamaño 80% pasante en la alimentación, μm

$P80$ = Tamaño 80% pasante en el producto, μm

W_i = Índice de trabajo del material (Kwh/ton corta).

$W = E_B$ = Consumo de energía específica (Kwh/ton corta), para reducir un material desde un tamaño inicial F80 a un tamaño final P80.

El parámetro W_i (índice de trabajo de Bond) depende tanto del material (resistencia a la conminución) como del equipo de conminución utilizado (incluyendo la malla de corte empleada en el clasificador, para circuitos cerrados de conminución/clasificación), debiendo ser determinado experimentalmente (a escala estándar de laboratorio) para cada aplicación requerida.

Durante el desarrollo de su tercera teoría de conminución, Fred Bond considero que no existían rocas ideales ni iguales en forma, y que la energía consumida era proporcional a las longitudes de las nuevas grietas creadas. La correlación empírica efectuada por F. Bond, de varios miles de pruebas estándar de laboratorio con datos operacionales de planta, le permitió ganar ventaja con respecto a la controversia Kick-Rittinger, haciendo que su teoría funcionará tanto para chancado como para molienda, con un error promedio de estimación del $\pm 20\%$ para la mayoría de los casos estudiados por Bond.

El índice de trabajo W_i , es el parámetro de la conminución que expresa la resistencia del material a ser chancado o molido; numéricamente son los kilowatt-hora por tonelada corta, requerida, para reducir el material desde teóricamente tamaño infinito de alimentación al 80% passing 100 micrones (malla 80). Varios intentos han sido hechos para demostrar que las deducciones de Rittinger, Kick y Bond, son interpretación de una ecuación general. Hukk, sugiere que la relación entre la energía y el tamaño de partícula, es un composito de las tres leyes, la probabilidad de rotura en conminución es alta para partículas largas y rápidamente disminuye para tamaños finos.

Tabla 5 Tabla work index

MATERIAL	Work index Hp-h/ton	MATERIAL	Work index Hp-h/ton
Baritina	4,73	Caliza	12,54
Yeso	6,73	Mineral de Cobre	12,73
Fluorita	8,91	Hematita	12,93
Pirita	8,93	Cuarzo	13,57
Cuarcita	9,58	Mineral de oro	14,93
Magnetita	9,97	Cuarzo	13,57
Mineral de plomo-Zinc	12,54	Granito	15,13
Dolomita	12,44	Esmeril	56,7
Mineral de Zinc	11,56		
Vidrio	3,39		

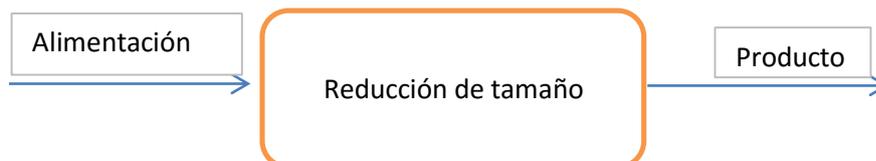
Fuente: Nicolini, J. tablas y ábacos para resolución de problemas.

Los valores de Work Index, pueden ser usados para calcular el efecto de las variables de operación como: velocidad del molino, tamaño del medio molidor, tipo de los forros etc.

2.5.2 Radio de reducción (rr)

Pardavé, W. (2006). Un indicador para evaluar el grado de reducción en un equipo de conminucion, lo constituye el radio de reducción, la cual relaciona el tamaño de la partícula en el alimento respecto al tamaño de partícula en el producto.

Definiendo ahora la razón de reducción del 80% (Rr) como la razón entre las aberturas de los tamices por las cuales pasarían el 80% del material de alimentación y producto de conminución, respectivamente se tendrá:



De ahí que:

$$Rr = \frac{Dp_A}{Dp_P} \quad (16)$$

Donde

Dp_A : Tamaño de partícula en el alimento

Dp_P : Tamaño de partícula en el producto

Tenemos las siguientes variantes.

Radio de reducción promedio (\overline{Rr})

$$\overline{Rr} = \frac{\overline{Dp_A}}{\overline{Dp_P}} \quad (17)$$

Donde:

$\overline{Dp_A}$: Tamaño de partícula en promedio de mezcla de partículas en el alimento (mm)

$\overline{Dp_P}$: Tamaño de partícula en promedio de mezcla de partículas en el producto (mm).

Radio de Reducción Limite (Rr_L)

$$Rr_L = \frac{Dp_A(\max)}{Dp_P(\min)} \quad (18)$$

Donde:

$Dp_A(\max)$: Tamaño de partícula máximo de mezcla de partículas en el alimento (mm).

$Dp_P(\min)$: Tamaño de partícula mínimo de mezcla en el producto (mm).

2.5.3 Naturaleza del material a triturar

Metcalf. *et al.*(2003). La elección de la máquina para una operación de trituración dada será función de la naturaleza del producto requerido y de la cantidad y tamaño del material a tratar. Las propiedades más importantes de la alimentación, además de su tamaño, son las siguientes:

Dureza. La dureza del material afecta al consumo de potencia y el desgaste del equipo. Para materiales duros y abrasivos, es necesario utilizar un equipo de baja velocidad y proteger los rodamientos de los polvos abrasivos producidos.

Estructura. Los materiales granulares corrientes tales como carbón, minerales y rocas pueden triturarse eficazmente utilizando fuerzas normales de compresión, impacto. Con los materiales fibrosos es necesario efectuar una acción de desgarramiento o cizalla.

Humedad. Se ha comprobado que los materiales no fluyen bien si contienen entre aproximadamente el 5 y el 50 % de humedad; en estas condiciones el material tiende a aglomerarse. Fuera de estos valores, en general la trituración puede llevarse a cabo satisfactoriamente.

Tensión de rotura. La potencia requerida para la trituración es casi directamente proporcional a la tensión de rotura del material.

2.6 EQUIPOS PARA LA REDUCCION DE TAMAÑO

Metcalf. *et al.* (2003). Existe una amplia variedad de equipos para la reducción de tamaño. Las principales razones de la falta de estandarización son la variedad de sustancias que se pueden triturar y las calidades requeridas para el producto final, la limitada información útil que se tiene de conminución y los requisitos de diferentes industrias en el balance económico entre el coste de inversión y el de operación. El equipo utilizado para la conminución se divide en quebrantadores, molinos, molinos de ultra finos y máquinas de corte. Un listado de algunos tipos de estos molinos se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 6 Equipos de trituración

Trituradores primarios	Trituradores intermedios	Trituradores finos
Quebrantador de mandíbulas Blake	Triturador de rodillos	Molino buhrstone
Quebrantador de mandíbulas Dodge	Triturador de discos	Molino de rodillos
Triturador giratorio	Molino de muelas verticales	Molino Raymond
	Triturador cónico	Molino Griffin
	Batería de bocartes	Molino de bolas centrífugo
	Molino de martillos	Molino de anillos y rodillo
	Triturador de un solo rodillos	Molino de bolas
	Molino de agujas	Molino tubular
	Molino de mortero	Molino hardinge
	Triturador de jaula de ardilla	Molino lopulco

Fuente: Coulson, J.M (2003). Ingeniería Química Operaciones Basicas

2.6.1 Trituradora de mandíbulas o quijadas.

A la trituradora de mandíbula también se le conoce con el nombre de trituradora de quijada. Es una máquina utilizada en la trituración llamada de primer nivel. La trituración de primer nivel es una trituración gruesa y media y las partículas trituradas que se obtienen no son tan finas como resultarían de otro proceso de trituración.

En la trituradora de mandíbulas la alimentación se introduce entre dos mandíbulas que forman una V abierta por la parte superior. Una de las mandíbulas, que recibe el nombre de yunque, es fija, está situada en posición casi vertical y no se mueve; la otra, que recibe el nombre de oscilante, se mueve alternativamente en un plano vertical, y forma un ángulo de 20 a 30° con la mandíbula fija. Está accionada por una excéntrica, de forma que aplica una gran fuerza de compresión a los trozos situados entre las mandíbulas.

Las caras de las mandíbulas son planas o ligeramente combadas, y pueden tener muescas en forma de hendiduras horizontales. Los trozos grandes atrapados entre las partes superiores de las mandíbulas se rompen, descienden hacia el espacio más estrecho inferior, y vuelven a romperse en el siguiente movimiento de cierre de la mandíbula. Las mandíbulas se abren y cierran unas 250 a 400 veces por minuto, ver figura. 09.

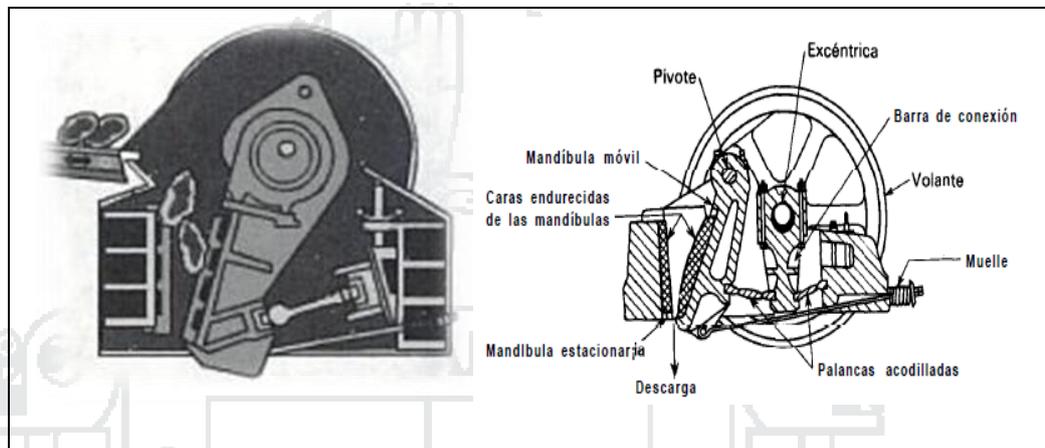


Figura 9 Trituradora de mandíbulas o de quijadas

2.6.2 Trituradora cónica.

Consiste en un cono con movimiento rotativo excéntrico, que gira dentro de otro fijo, aproximándose y separándose periódicamente. Las generatrices correspondientes de cada superficie y las disposiciones básicas son diferentes, manteniéndose siempre la misma disposición constructiva (ver figura 10). Son máquinas de utilización muy amplia siendo su campo de empleo desde la trituración primaria, capaz de recibir grandes bloques hasta la secundaria y terciaria.

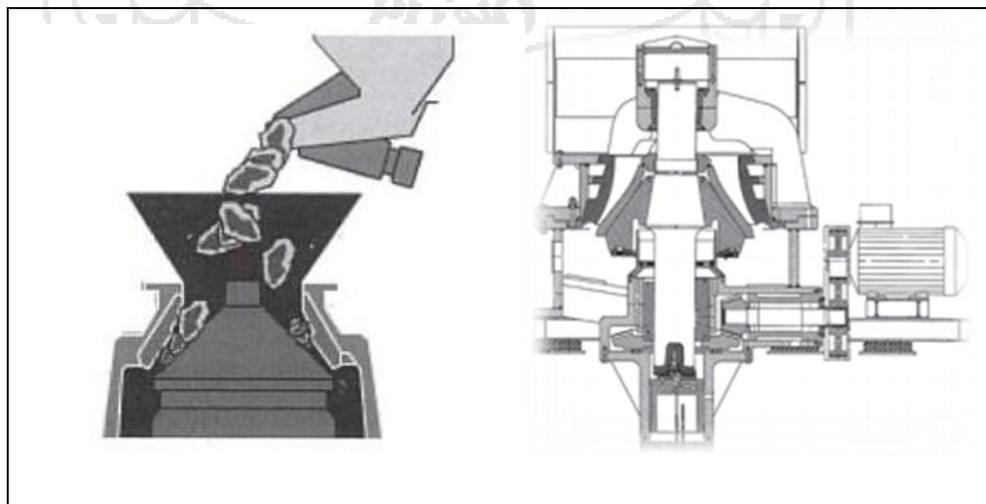


Figura 10 Trituradora cónica

2.6.3 Trituradora de rodillos

Las partículas de la alimentación quedan atrapadas entre los rodillos, se rompen por compresión y caen por la parte inferior. Los dos rodillos giran uno hacia el otro con la misma velocidad. Los rodillos son relativamente estrechos y de gran diámetro de forma que pueden atrapar trozos moderadamente grandes. Los rodillos típicos tienen desde 24 pulg (600 mm) de diámetro y 12 pulg (300 mm) de longitud hasta 78 pulg (2000 mm) de diámetro y 36 pulg (914 mm) de longitud. El intervalo de giro de los rodillos está comprendido entre 50 y 300 rpm. Los quebrantadores de rodillos son quebrantadores secundarios, con tamaños de alimentación comprendidos entre 1/2 y 3 pulg (12 a 75 mm) y de productos entre 1/2 pulg (12 mm) y aproximadamente 20 mallas. (ver Figura. 11a). Pueden construirse también con un solo cilindro que gira frente a una superficie fija rígida (Ver Figura. 11b).



Figura 11 Trituradora de rodillos



Figura 12 Trituradora de rodillos con un solo cilindro

2.6.4 Molinos de Martillos

Todos estos molinos contienen un rotor que gira a alta velocidad en el interior de una carcasa cilíndrica. El eje generalmente es horizontal. La alimentación entra por la parte superior de la carcasa, se trocea y cae a través de una abertura situada en el fondo. En un molino de martillos las partículas se rompen por una serie de martillos giratorios acoplados a un disco rotor. Una partícula que entra en la zona de molienda no puede salir sin ser golpeada por los martillos. Se rompe en pedazos, se proyecta contra la placa estacionaria situada dentro de la carcasa rompiéndose todavía en fragmentos más pequeños. Estas a su vez son pulverizadas por los martillos y son impulsadas a través de una rejilla o tamiz que cubre la abertura de descarga.

Con frecuencia se montan sobre el mismo eje varios discos rotores, cada uno de 6 a 18 pulg (150 a 450 mm) de diámetro y con cuatro a ocho martillos. Los martillos pueden ser barras rectas de metal con los extremos planos o alargados, o bien afilados para formar un borde cortante. Los molinos de martillos con reducción de tamaño intermedio dan lugar a un producto con un tamaño de partículas de 1 pulg (25 mm) a 20 mallas. En molinos de martillos para una molienda fina la velocidad periférica de los extremos de los martillos puede llegar a ser de 22 000 pies/min (112 m/s), y tratan de 0,1 a 15 toneladas/h hasta tamaños más finos que 200 mallas. La capacidad y el consumo de energía de un molino de martillos varían con el tipo de la alimentación y no se pueden estimar con confianza a partir de consideraciones teóricas, sino que es preferible obtener estos valores a partir de la información publicada o todavía mejor a partir de ensayos a pequeña o gran escala realizados en el molino con una muestra real del material a tratar.



Figura 13 Esquema básico de un molino de martillos

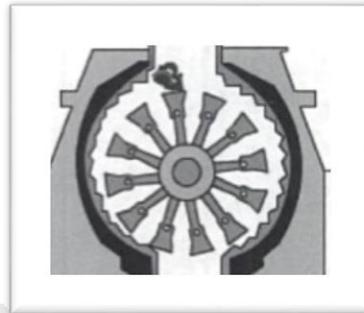


Figura 14 Otro tipo de molino de martillos

2.6.5 Molinos de impactos

Estas máquinas están constituidas por un tambor cilíndrico, cuyo eje de giro es horizontal y pasa por el eje geométrico de la figura, la trituración del mineral se efectúa dentro de estos tambores por efecto de la caída y choque de los cuerpos pesados y duros encerrados, lo mismo que el mineral dentro de ellos, como consecuencia del movimiento giratorio de los tambores.

Funcionan proyectando el material entre unas placas recambiables de acero duro, produciéndose la fragmentación en el impacto. Dentro de este molino tenemos los que emplean medios como bolas o barras (Ver Figura. 13a y 13b), que se emplean como última etapa de fragmentación siempre que haya que conseguir granulometrías finas, para la recuperación de metales, su uso puede ser por vía seca, con circuito neumático para la circulación de materiales.

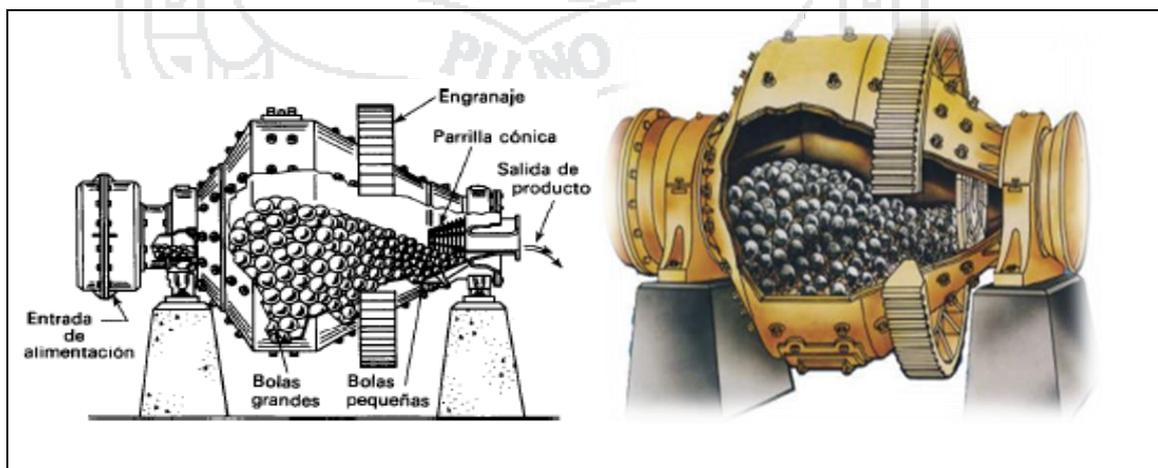


Figura 15 Esquema molino de bolas

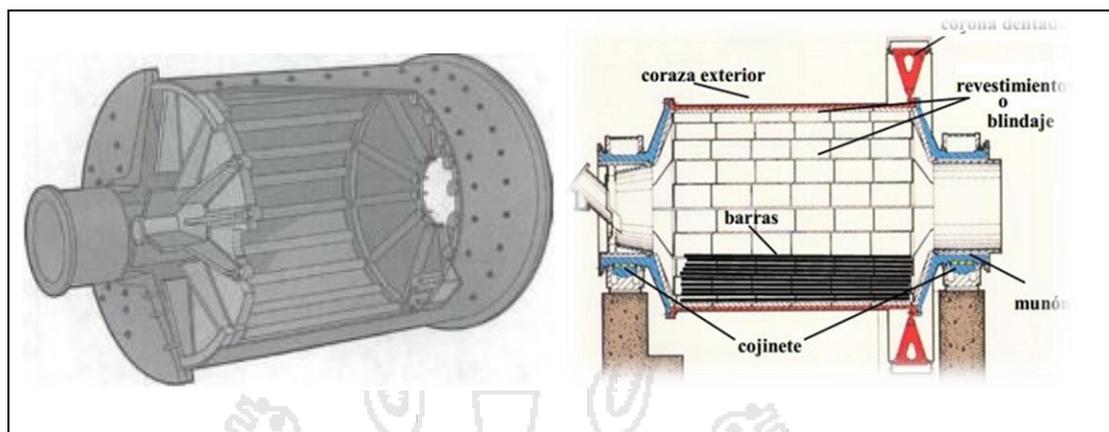


Figura 16 Molino de barras

2.6.6 Molinos pulverizadores

Tecsup. (2007) La pulverización consiste en la disgregación de una sustancia para reducirla a partículas muy pequeñas cuyo tamaño depende de la aplicación al que se le destine.

Estas máquinas se utilizan para destruir los materiales en diminutos fragmentos o gránulos. El Equipo Pulverizador puede aplastar varios tipos de productos, incluido el vidrio, aluminio, hormigón, plástico, carbón, piedra, resina y residuos médicos.

2.6.7 Pulverizador de anillos

Tecsup. (2007). El pulverizador de anillos es un equipo diseñado para pulverizar muestras minerales y dejarlas aptas para el análisis químico. Requerido para preparar muestras de testigo, concentrados, relaves y productos intermedios, en tiempos de molienda inferiores a cinco minutos. Básicamente el pulverizador de anillos se basa en el movimiento excéntrico de la carcasa lo que provoca el contacto y continua fricción de los anillos de menor diámetro dentro del tazón u olla produciendo el desgaste progresivo del mineral hasta su pulverización. Este pulverizador rotatorio usa dos anillos, un disco dentro de un tazón de moler de acero aleado con cromo de 8" de diámetro. El motor está directamente acoplado a un excéntrico rotatorio, que mueve el tazón y el contenido alimentado, es rápidamente reducido de $\frac{1}{2}$ " a finos de 400 mallas. Las áreas de aplicación incluyen minerales, cemento, roca, tierra y materiales similares. La capacidad del tazón es de 200 - 300 g.

La aplicación del pulverizador de anillo vibratorio es tanto para el pulverizado en húmedo o en seco de minerales.



Figura 17 Pulverizador de anillos

2.6.8 Pulverizador de discos

Tecsup (2007) El pulverizador de discos es un equipo que se utiliza para la tritución primaria y fina, por lotes o continua, de sólidos semiduros a duros y frágiles (hasta 8 en la escala de Mohs). Gracias a su robusto diseño, este aparato no sólo puede usarse en laboratorios y plantas piloto bajo condiciones duras de operación, sino también instalado en plantas industriales en línea para asegurar la calidad de materias primas. El principio de operación es el cizallamiento.

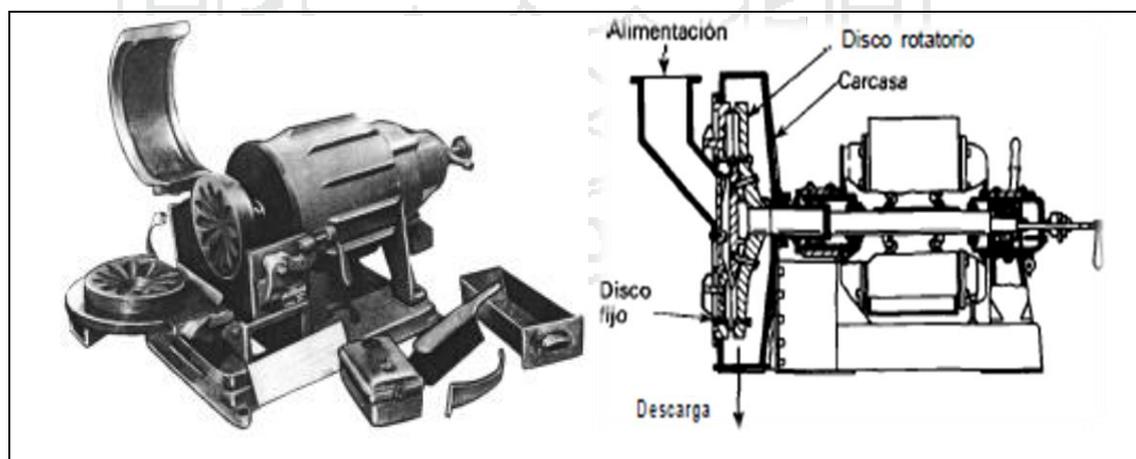


Figura 18 Pulverizador de discos

El material se introduce centralmente y se le obliga a pasar a través de un espacio entre dos discos por el efecto de la rotación a alta velocidad. Y el perfil especial de los dientes reduce progresivamente el material en polvo.

2.6.9 Pulverizadores de alta energía molino tipo attritor horizontal

Herrera. *et al.* (2005). (ver Figura 16) Cuenta con una cámara de molienda donde se depositan tanto material como medios moledores, estos se encuentran en contacto directo con el impulsor y las paletas, las cuales aprovechan la velocidad que entrega el motor y la acción de la gravedad, garantizando que las bolas estén en contacto permanente entre ellas y el contenedor. El impulsor debe tener un tratamiento térmico resistente al desgaste. Es un sistema sencillo, pero con desventaja en relación con la carga y la descarga del material.

El concepto más importante del Attritor es que la entrada de energía está utilizada directamente para agitar, los medios que permiten moler y no se utiliza ningún sistema para rotar o vibrar algún tipo de tanque que origine pérdidas de potencia. Se debe tener en cuenta que debido a la concentración de gran energía de impacto se nota un aumento en la temperatura interna del sistema que es contraproducente para la producción de la aleación mecánica, la cual debe producirse a bajas temperaturas, por lo tanto el mecanismo debe estar provisto de un sistema de refrigeración capaz de mantener la temperatura interna de manera constante y un sistema de aislamiento o de atmósfera controlada que permita bajos índices de contaminación de la aleación final.

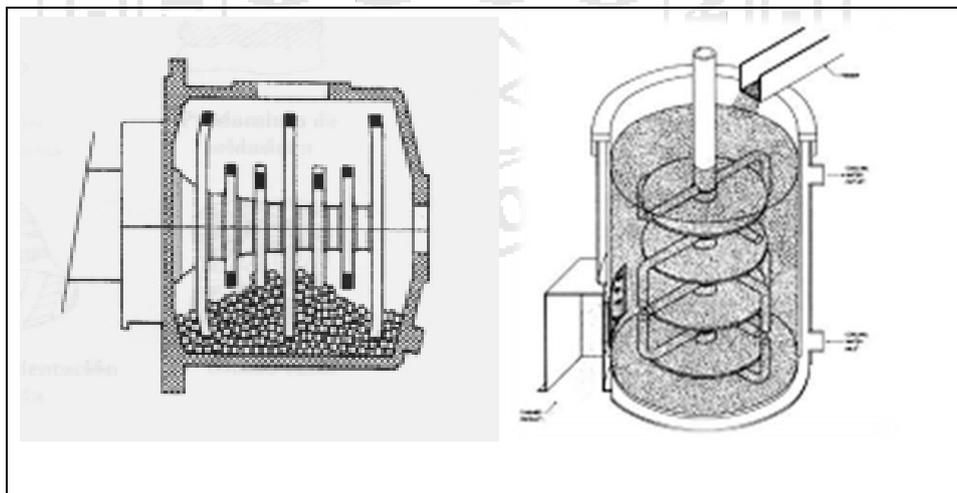


Figura 19 Pulverizador de alta energía attritor

2.6.10 El molino vibratorio

Herrera. *et al.* (2005). Es un sistema que aprovecha la vibración para desempeñar su trabajo, es importante la acción tridimensional ya que produce un movimiento exacto, de alta frecuencia y se puede moler una mayor variedad de materiales a tamaños de partícula cercanas a la medida del micrón, gracias a que combina movimiento centrífugo y axial que garantiza una molienda homogénea, convirtiéndose en equipos de alta eficiencia.

En este sistema se usa un motor convencional para lograr la combinación de los dos movimientos, el detalle para la generación de este es la disposición de contrapesos por fuera de la línea axial que permiten el desplazamiento arriba abajo.



Figura 20 Molino vibratorio

2.6.11 Molino planetario

Herrera. *et al.* (2005) por lo general posee medios de molienda esféricos y de alta energía, tiene normalmente entre 2 y 4 jarras que rotan alrededor de un eje central común, los medios que muelen y pulverizan el material se da por impacto, agotamiento o acción combinada. El planetario acumula una fuerza centrífuga fuerte con la rotación y la revolución de sus jarras. Cabe destacar que cuando se trata de transmitir alta energía de impacto con un sistema mecánico de mediana sencillez, este se convierte en la primera opción para generarlo y se convierte en el más utilizado para producir aleación mecánica.



Figura 21 Molino vibro planeatorio

2.7 TAMICES O CRIBAS

Metcalf. *et al.* (2003). Estos aparatos se utilizan industrialmente en gran escala para la separación de partículas según sus tamaños, y en pequeña escala para la producción de materiales de muy estrecha distribución de tamaños y para llevar a cabo análisis granulométricos. Este método puede aplicarse a partículas de tamaños cuyo límite inferior esta aproximadamente en los 50 μm , pero no a materiales muy finos debido a la dificultad de producir tejidos de suficiente precisión y resistencia, y debido también a que dichos tamices quedan obturados. Para tamaños finos se utilizan generalmente tejidos de alambre y para las aberturas mayores placas perforadas. Algunos tamices industriales grandes están formados por una serie de barras paralelas o varillas en forma de H, aunque lo más corriente son las aberturas circulares y cuadradas.

2.7.1 Análisis granulométrico

Muchas especificaciones de producto pueden indicar tamaños definidos del material en términos de un porcentaje dado, que pase o que no pase por una abertura, donde la verificación de esa indicación deberá hacerse por medio de tamices estándar. Estos se emplean para evaluar el funcionamiento de los equipos de trituración y molienda. El hecho de que una partícula pase por una abertura dada depende de varios factores, como forma de la partícula, tiempo de zarandeo, adhesividad, etc. Por este procedimiento el tamaño de partícula se asocia al número de aberturas que tiene el tamiz por pulgada lineal.

Un análisis granulométrico completo, consiste en hacer pasar una cantidad de muestra por una serie de tamices comenzando por el de menor malla y concluyendo con el de mayor malla. Las series de tamices Tyler es de secuencia geométrica y difiere de otras series en que identifica las telas por una designación de malla y no de abertura como las otras. Los resultados de un análisis granulométrico pueden ser generalizados y cuantificado por expresiones matemáticas llamadas funciones de distribución de tamaños que relacionan el tamaño de partícula con el porcentaje en peso generalmente el acumulado retenido o el pasante.

CAPITULO III

3 SELECCIÓN DEL EQUIPO Y ESPECIFICACIONES

La elección de un equipo de conminución se debe basar en varios factores asociados tanto a la naturaleza intrínseca de la roca, su formación geológica y disposición en la naturaleza como a todos aquellos aspectos técnicos propios de los equipos de reducción. Se deben tener los máximos datos posibles; es decir, la resistencia a compresión de la roca, su abrasividad y el contenido en SiO₂, la energía que se consume al tratarla, su desgaste. Todo esto permitirá la elección adecuada.

3.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO.

Esta decisión se debe tomarse teniendo en cuenta:

- Inversión que se está dispuesto a realizar
- Síntesis de las alternativas de selección de equipo
- El tamaño del equipo pulverizador
- Las características del lugar a instalar
- La simplicidad que se quiere lograr en el manejo

La Selección del equipo debe tener en cuenta las especificaciones anteriores y estas deben ser de una operación y manejo simple.

3.1.1 Estudio de selección del equipo

Una vez analizadas las alternativas de equipos de reducción utilizadas en laboratorio y que se encuentran en el mercado, se decidió por un equipo que pueda cumplir con las especificaciones deseadas para dicho equipo.

La selección del equipo debe brindar facilidades de construcción ya que cuenta con un tazón o contenedor único dentro del cual se realiza la operación de reducción, así como la generación de material fino requerido.

La tabla muestra los diferentes tipos de molinos pulverizadores que se encuentran.

Tabla 7 Síntesis de las alternativas de selección del equipo

Características	Molino de bolas	Pulverizador de anillos	Pulverizador de discos	Molinos de alta energía
Carga descarga	difícil	Fácil	facil	Fácil
Velocidad de reducción	bajo	Alta	Media	Media
Operación y Control	facil	Fácil	facil	Fácil
Aplicación	bajo	Alto	alto	Bajo
Perdida de material	alto	Bajo	medio	Bajo
Capacidad de carga	Muy alta	Bajo	medio	Bajo

Fuente: elaboración propia

3.2 ESPECIFICACIONES Y REQUISITOS

- **Capacidad de molienda:** Se requiere que el pulverizador brinde un producto entre 200 a 250 g de material finamente pulverizado, teniendo en cuenta el mineral pulverizado y los medios moledores en el contenedor.
- **Tamaño de partícula:** El producto obtenido debe ser lo más homogéneo posible, no debe ser sujeto a fuentes de contaminación, y del tamaño de partícula del micrón para realizar un buen análisis en laboratorio.

3.3 VARIABLES DEL PROCESO DE PULVERIZACION

La pulverización es una operación compleja que involucra la optimización de un conjunto de variables para lograr la máxima eficiencia. Algunos de los parámetros más importantes que determinan el tamaño final de la partícula son.

- Tipo de molino
- Conjunto de molienda
- Velocidad de molienda
- Tiempo de molienda
- Capacidad, o cantidad
- Tamaño de alimentación y descarga

Todas las variables no son totalmente independientes. Por ejemplo, el tiempo óptimo de molienda depende del tipo de molino, tamaño de partículas en la alimentación y salida del molino, la velocidad de molienda.

A continuación se exponen los efectos de las variables en el proceso de pulverización:

3.3.1 Tipo de molino

Ya se mencionó, existen diferentes tipos de molinos para lograr la reducción de tamaño de una muestra de mineral. Estos molinos difieren en su capacidad, velocidad y el principio bajo el cual realizan el proceso.

3.3.2 Conjunto de molienda

El material utilizado para la construcción del conjunto de molienda es muy importante y debe escogerse con mucho cuidado, ya que todo esto va ligado principalmente con la dureza y abrasividad del mineral y al impacto continuo de los elementos entre sí. Si el material es muy débil, partes del material provenientes de las paredes podrían desprenderse contaminando la muestra, además de disminuir la eficiencia de la molienda.

3.3.3 Velocidad de molienda

Es de esperar que elevadas velocidades de rotación aporten mayor energía a los elementos de molienda durante el proceso de pulverizado, logrando realizar el trabajo más eficientemente, sin embargo, dependiendo del diseño del molino existen limitaciones sobre las máximas velocidades a emplear.

3.3.4 Tiempo de molienda

El tiempo de molienda es uno de los factores más importantes dentro de un proceso de pulverización. Los tiempos requeridos varían según el tipo de molino utilizado, la intensidad de molienda, las relaciones de volumen entre el mineral y los elementos de molienda. Teóricamente cualquier material puede molerse hasta tamaños ilimitados a través del tiempo en una progresión logarítmica. Realmente, a medida que transcurre la pulverización, la fuerza mínima requerida para causar la fractura se incrementa por la disminución del número de grietas.

3.3.5 Capacidad

En cuanto a la capacidad de molienda de un molino, debe tenerse en cuenta que este presenta la mayor eficiencia

3.4 EJECUCION DEL DISEÑO DEL MOLINO

La selección de la unidad de molienda y las condiciones de operación para un funcionamiento óptimo, se basan en los cálculos de ecuaciones de molienda, de acuerdo a los postulados empíricos. Se diseñó y construyó un equipo pulverizador de anillos, por ser adecuado para materiales finos y gruesos, moliendas en seco. Cuando el material puede ser molido en vía seca, el consumo de energía, desgaste del recubrimiento y los costos de capital determinan el diseño.

3.4.1 Selección de materiales

La selección de materiales de estos elementos se evaluó bajo la necesidad de minimizar la contaminación de las muestras y su alta resistencia al desgaste cuando son sometidos a cargas de impacto y fricción. El material de diseño para el recipiente de molienda es el mismo acero que el de la masa y los anillos,

- El contenedor u olla, tiene un diámetro de 20.22cm y será diseñado con un asiento en la parte inferior que pueda encajar debidamente en la base vibratoria, así también contará con un sistema de seguridad, para garantizar que la tapa no se salga por el movimiento de vibración producida por el motor. El contenedor u olla de pulverizado

está fabricado de acero al cromo molibdeno, con tapa y empaquetadura, con dos anillos concéntricos y una masa central de acero al cromo molibdeno. ya que proporciona excelentes propiedades anticorrosión y después de ser sometido a un tratamiento térmico para aumentar su dureza superficial muestra un óptimo comportamiento al desgaste por cargas de impacto y fricción. De esta forma se minimiza el riesgo de que se originen grietas que resultan de estos esfuerzos

- Se diseñó un seguro para tapa de ajuste con timón y tornillo sin fin telescópico, que ajusta los elementos de molienda durante la operación. Cuenta con una estructura que sirve de apoyo al sistema motriz y al sistema de pulverización en sí, la campana del set de molienda, que cumple la función de unir el set de molienda al sistema generatriz fueron fabricados con acero chronit T1 que es un acero resistente al desgaste.
- Resortes están fabricados en acero templado (código anexo 03), están destinados a soportar esfuerzos de compresión y choque. Esto les permite disminuir su volumen cuando se aumenta la presión ejercida sobre ellos, convirtiéndose en los dispositivos de almacenamiento de energía disponible más eficientes.

El equipo pulverizador tiene una base vibratoria, montada sobre seis resortes fabricados de acero templado, donde la muestra se muele por el efecto de impacto y fricción que se genera.

- Se diseñó un gabinete de metal, con izonorización, arrancador y corte de energía de seguridad.

Las condiciones de trabajo al cual va a ser sometido el equipo; son factores muy importantes que siempre se consideran en la selección de un material, así como también el costo y la disponibilidad de dicho material en nuestro ámbito comercial.

3.5 EVALUACION DEL EQUIPO PULVERIZADOR DE ANILLOS

Los elementos esenciales de estos pulverizadores de anillos que dentro de un recipiente contenedor pulverizan las muestras de minerales para el mejoramiento de los resultados en muestras minerales se detallan:

3.5.1 Partes del pulverizador de anillos

El pulverizador de anillos está distribuido en sub conjuntos según el diseño y selección de partes, siendo su configuración.

- Set de pulverizado
- Cierre de seguridad
- Campana de set de pulverizado
- Sistema generatriz
- Resortes
- Estructura
- Cubierta
- Caja de control

Set De Pulverizado

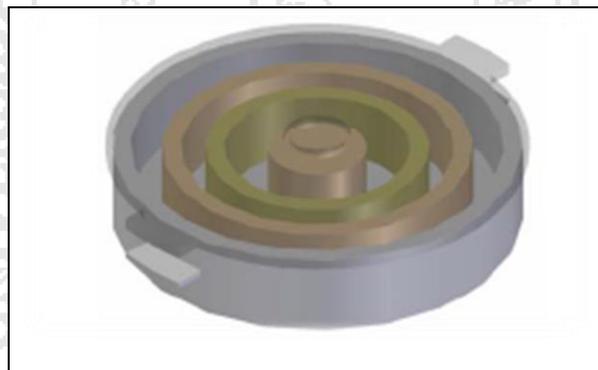


Figura 22 Elementos constitutivos del set de molienda

El sistema de pulverización, es el encargado de pulverizar el mineral en bruto acondicionado previamente a un rango menor 3 mm y que luego de ser introducidos juntos en el contenedor, mediante la agitación de sus elementos de molienda, se reducen a partículas de un tamaño de micras.

Los elementos que componen el sistema son:

- Masa
- Anillos 1 ,2
- Recipiente de molienda (tapa y contenedor)

Lo primero a evaluar es la capacidad de carga requerida, para ello se procedió a realizar una estimación de la geometría del set de molienda, para ello se tuvieron en cuenta los siguientes factores.

- Material a pulverizar; menas Auríferas de densidad promedio 2.5 g/cm^3
- Capacidad de molienda 200 a 400g.
- Capacidad del contenedor 1000g

Calculando el volumen que ocupara la muestra de mineral en el recipiente contenedor, procederemos a calcular el volumen libre que debe tener aun con los anillos y la masa dentro de él.

$$V_m = \frac{M_m}{\rho_m} \quad (19)$$

Donde:

V_m = volumen del mineral

M_m = masa del mineral

ρ_m = densidad del mineral.

$$V_m = \frac{1000\text{g}}{2.5 \text{ g/cm}^3}$$

$$V_m = 400\text{cm}^3$$

El mineral ocupa aproximadamente 400cm^3 .

El molino de anillos opera bajo el principio de vibración, las rotaciones de la masa excéntrica acoplada al eje del motor eléctrico hacen que el set de pulverizado sujetado a un sistema de resortes precargados vibre horizontalmente como resultado de la fuerza centrífuga generada. El movimiento oscilatorio acelerado de los elementos de molienda que constituyen el set de molienda hace que estos se desplacen dentro del contenedor y la muestra es pulverizada por efectos de impacto y fricción.

Al colocar la masa y los anillos dentro del contenedor y llenando el espacio con mineral se coloca la tapa, el conjunto entero se debe montar sobre el cuerpo vibratorio.

Cierre de seguridad

El cierre de seguridad de este molino se ha diseñado para cumplir función de anclar de manera rápida y segura el set de molienda al cuerpo vibratorio. De igual forma permite retirar el contenedor con el mineral pulverizado al desajustar el timon que ajusta al set de molienda.

Campana del set de molienda

La campana del set de molienda cumple con la función de unir el set de molienda al sistema generatriz y a la estructura.

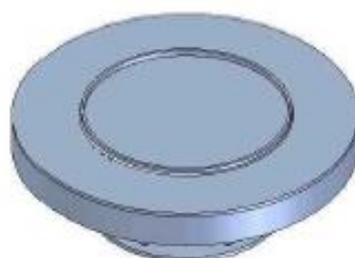


Figura 23 Campana del set de molienda

Las cargas que soporta la campana, sus posiciones de apoyo y sus dimensiones se muestran en el siguiente diagrama de cuerpo libre.

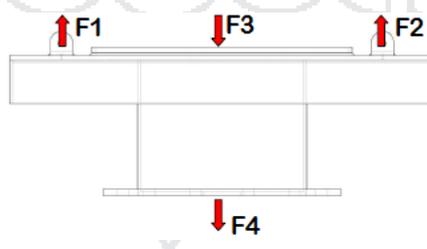


Figura 24 Fuerzas de campana del set de molienda

Las fuerzas F_1 y F_2 son las reacciones generadas en los apoyos del cierre de seguridad y la fuerza F_3 es la fuerza de cierre generada por los discos. La fuerza F_4 es la suma de los pesos del motor eléctrico, la excéntrica y la adaptación al eje que se encuentran acoplados a la campana por medio de una brida.

Sistema de generatriz

Este sistema es el encargado de conferirle el movimiento oscilatorio al molino de anillos a partir de una unidad motriz que en este caso es un motor eléctrico acoplado de manera directa a la campana del set de molienda por medio de una brida, para que se mueva junto a este y lo mantenga en sincronía con las oscilaciones y así reducir grandemente las cargas en los rodamientos debido al desbalanceo en el eje generado por la excéntrica. El sistema motriz está compuesto por el motor y una adaptación al eje diseñada en acero, que conecta un buje en la parte baja de la campana donde rota libremente y ofrece estabilidad al motor para una mejor transmisión de la fuerza de oscilación.

La función del motor es la de suministrar la potencia necesaria para hacer rotar la excéntrica y por causa efecto el set de pulverización entre en oscilación continua y se lleve a cabo la operación de molienda satisfactoriamente, el motor está calculado para ser de 3 hp. con protección térmica incorporada.

La selección del motor eléctrico se realizó después de calcular la potencia que consume el proceso de pulverización, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Tamaño de la alimentación
- Tamaño del producto
- Velocidad de alimentación

Utilizando datos y teniendo en cuenta las consideraciones sobre los materiales, se seleccionó un motor con las siguientes características:

Motor trifásico marca: VOGES

Potencia : 3 Hp

Velocidad : 1145 rpm

Voltaje : 220

El motor cuenta con características físicas como su robustez y funcionalidad con alto desempeño ante exigencias mecánicas extremas.

El motor tiene una caja de terminales en la parte superior; entrada de cables de la acometida por dos lados, tiene bornera de conexión lo que facilita su manejo. Cuenta

también con una brida con la cual se sujeta el motor a la parte inferior del cuerpo vibratorio.

Resortes

Teniendo en cuenta que el pulverizador de anillos basa su principio de operación en oscilaciones constantes generadas por un desbalanceo mecánico forzado en su unidad motora.

Para realizar el diseño de los resortes se estudió su comportamiento frente a dos parámetros distintos de operación, su resistencia a la fatiga a cargas de flexión y su estabilidad ante frecuencias de resonancia para evitar que fallen por fatigas o ruptura debido a las frecuencias naturales con las que se comporta el sistema. Puesto que son los encargados de soportar el conjunto de elementos que participan directamente en la pulverización del mineral son diseñados para trabajar bajo cargas de compresión.

Las cargas de compresión a las que se someten los resortes es la suma de las cargas de cuerpo de los elementos que apoyan sobre estos. A continuación se enumeran los elementos.

- Elementos de molienda
- Cierre de seguridad
- Campana de set
- Guías de resorte
- Excéntricas
- Motor más brida
- Mineral

Para el molino de anillos se presenta una disposición simétrica de los resortes separados uno al otro por un ángulo de 60° , con el objetivo de disminuir las cargas de flexión y dejarlo trabajar en mayor proporción bajo cargas de compresión.



Figura 25 Resorte helicoidal escuadrado y amoldado

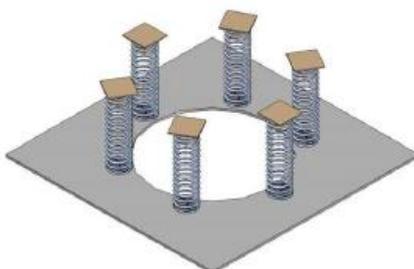


Figura 26 Sistema para distribución de resortes

Estructura

El diseño de la estructura se realizó con el fin de estudiar las relaciones que existen entre las cargas externas aplicadas y la intensidad de los esfuerzos internos que actúa dentro del cuerpo.

Cubierta

La cubierta fue diseñada en lamina de acero doblada de tal forma que cubra las cuatro caras de la estructura con el conjunto de molienda ya acoplado, al igual que sus tapas superiores y frontal. Se le ha adherido una espuma a sus paredes interiores cuya función es opacar el ruido producido por el set de molienda al entrar en operación.

En su parte superior cuenta con la tapa que se ancla a esta por un par de bisagras permitiendo el abrir y cerrar fácilmente el molino y poder así sin mas complicaciones retirar el set de molienda para cambiar el mineral pulverizado por mineral si tratar y entrar nuevamente en operación.

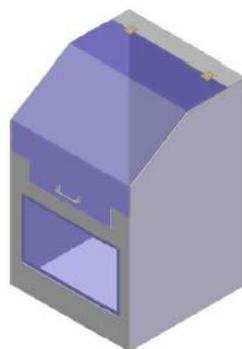


Figura 27 Cubierta del sistema de resortes

3.6 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA

3.6.1 Balance de materia

En la operación de reducción de tamaño trabajamos con diferentes cantidades de muestra, aplicando diferentes tiempos de operación.

En la operación de pulverización no existe reacción química, generación, acumulación, por lo tanto se planteara de la siguiente forma:

$$\text{Entrada} + \text{Generacion} = \text{Salida} + \text{Acumulacion}$$

$$\text{Entrada} + \text{Generacion} = \text{Salida} + \text{Acumulacion}$$

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Acumulacion}$$

3.6.2 Balance de Energía

Los costos de energía representan el gasto principal de la operación de molienda, por eso las variables que controlan estos costos son importantes. Para el cálculo del consumo de energía se emplean las siguientes relaciones:

$$P = V * I * \sqrt{3} * \cos \varphi \quad (20)$$

Donde:

P = energía realmente suministrada

V = Voltaje suministrado al motor, se toma de la placa.

I = Amperaje realmente suministrado al motor, se determina midiendo el amperaje de los tres conductores y obteniendo un promedio.

$\sqrt{3}$ = Factor de corrección en estrella del motor trifásico.

$\cos\phi$ = factor de potencia (anexo 04).

3.6.3 Cálculo de la eficiencia de la operación de molienda

Considerando al sistema de molienda como uno solo, podemos asegurar lo

Siguiente:

$$A = B + C \quad (21)$$

Donde:

A= Masa de mineral que entra al sistema de molienda (g)

B= Masa de mineral que sale del sistema de molienda (g)

C= Masa de mineral que se retiene en el sistema de molienda (g)

Si conocemos estos valores podemos determinar el porcentaje de mineral que ha sido procesado con el equipo pulverizador empleado, mediante la siguiente ecuación:

$$em = \frac{B}{A + C} \quad (22)$$

Donde:

em = Eficiencia de la operación de molienda.

CAPITULO IV

4 METODOLOGIA Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS

El objetivo de este trabajo es obtener los parámetros óptimos de operación del pulverizador de anillos, determinado mediante pruebas de molienda, el efecto de las variables más importantes que intervienen en la molienda son: tamaño de partícula en la alimentación, cantidad de muestra, tiempo de molienda. Estas variables afectan la eficiencia de molienda del pulverizador de anillos, razón por la cual este estudio está dirigida a encontrar los valores más adecuados de estos parámetros tal que sea más eficiente la operación de molienda.

4.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.1.1 Descripción

Para la realización de este estudio el mineral a usar para las pruebas de pulverizado las muestras fueron recolectadas en la mina San Luis ubicada en la provincia Sancos – Lucanas Departamento de Ayacucho y mineral proveniente del centro poblado de la Rinconada del Distrito de Ananea de la provincia de San Antonio De Putina del Departamento de Puno.

4.1.2 Granulometría inicial

Los materiales en estudio son minerales auríferos (óxidos y sulfuros), se trabaja con una alimentación 100% que pase la malla # 8, y la malla # 12.

4.1.3 Granulometría final

El mineral en estudio para la liberación de valores, requiere una molienda mayor a 90% a 140 mallas (molienda típica para análisis químico), por tal razón nuestra granulometría final será llegar hasta obtener una granulometría de más de 90% bajo malla 140

4.2 METODOLOGIA DE TRABAJO EXPERIMENTAL

4.2.1 Variables a estudiar

Variables independientes

- Tamaño de partícula en la alimentación.
- Cantidad de muestra.
- Tiempo de molienda

Variables dependientes

- Eficiencia de molienda en el equipo
- Consumo de energía.

Intervinientes controladas

- Humedad del mineral
- Temperatura ambiental
- Presión ambiental.
- Velocidad de operación del molino

Selección de la distribución del tamaño de partícula en la alimentación

En la tabla 08, se muestra el tamaño de apertura en milímetros y el número de la malla al cual pertenece, para nuestro tamaño de partícula en la alimentación los consideraremos como nivel 1 y nivel 2 tal como se muestra en la tabla para determinar el tamaño de partícula en la alimentación para los dos niveles.

Tabla 8 Tamaño de partícula en la alimentación

ÍTEM	Nivel 1	Nivel 2
Nº de malla	12	8
Apertura de la malla (mm)	1,70 mm	2,36 mm

Fuente. Elaboración propia

Variación de parámetros

Los parámetros fueron variados en función de la investigación bibliográfica, en la tabla 09 se presenta las condiciones de operación.

Tabla 9 Variación de parámetros

VARIABLES	NIVELES	
	BAJO	ALTO
A (Tamaño de partícula en la alimentación mm)	1	2
B (Cantidad de muestra Gramos)	200	250
C (Tiempo de molienda minutos)	3	5

Fuente. Elaboración propia

Matriz del diseño compuesto

El método seleccionado será matriz del Diseño Factorial Completo

Tabla 10 Combinación de tratamientos factoriales 2^3

Nº de Tratamientos	VARIABLES		
	A	B	C
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	0
4	1	1	0
5	0	0	1
6	1	0	1
7	0	1	1
8	1	1	1

Fuente. Elaboración propia

Las variables de mayor influencia hacia determinadas respuestas, serán consideradas en nuestra evaluación, para obtener una granulometría de molienda pasante el 90% de la malla 140.

Tabla 11 Combinación de tratamientos factoriales 2³

Nº de Tratamientos	VARIABLES		
	A	B	C
	Tamaño de partícula en la alimentación	Cantidad de muestra Gramos	Tiempo de molienda Minutos
1	1	200	3
2	2	200	3
3	1	250	3
4	2	250	3
5	1	200	5
6	2	200	5
7	1	250	5
8	2	250	5

Fuente: Elaboración propia

Tomando el procedimiento experimental del punto 1.7.1 para cada uno de los experimentos obtenemos los siguientes resultados.

4.2.2 Análisis granulométrico para mineral oxido.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 200 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,75g

Tabla 12 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 3 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	12,87	25,87	25,87	74,13
200	75	4,76	9,56	35,43	64,57
-200		32,13	64,57	100,00	0,00
TOTAL		49,75	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el primer tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 25,87%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 74,13%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 2, peso de 200 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,89g

Tabla 13 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 3 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140		13,85	27,76	27,76	72,24
200		4,57	9,16	36,92	63,08
-200		31,47	63,08	100,00	0,00
TOTAL		49,89	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el segundo tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 27,76%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 72,24%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 250 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,86g

Tabla 14 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 3 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	15,69	31,47	31,47	68,53
200	75	4,35	8,72	40,19	59,81
-200		29,82	59,81	100,00	0,00
TOTAL		49,86	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el tercer tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 31,47%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 68,53%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 2, peso de 250 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,74g

Tabla 15 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 3 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	15,56	31,29	31,29	68,71
200	75	4,48	9,01	40,31	59,69
-200		29,69	59,69	100,00	0,00
TOTAL		49,74	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el cuarto tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 31,27%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 68,71%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 200 g para un tiempo de 5 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,83g

Tabla 16 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 5 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	1,46	2,92	2,92	97,08
200	75	5,58	11,19	14,11	85,89
-200		42,80	85,89	100,00	0,00
TOTAL		49,83	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el quinto tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 2,92%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 97,08%. Este resultado nos indica que con estos parámetros de trabajo llegamos a obtener el % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 2, peso de 200 g para un tiempo de 5 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,7g

Tabla 17 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 5 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	4,30	8,65	8,65	91,35
200	75	6,70	13,48	22,13	77,87
-200		38,70	77,87	100,00	0,00
TOTAL		49,70	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el sexto tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 8,65%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 91,35%. Este resultado nos indica que con estos parámetros de trabajo llegamos a obtener el % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 250 g para un tiempo de 5 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,8g

Tabla 18 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 5 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	9,38	18,83	18,83	81,17
200	75	5,46	10,96	29,79	70,21
-200		34,96	70,21	100,00	0,00
TOTAL		49,80	100,00		

Fuente : Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el septimo tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 18,83%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 81,17%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 250 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50 g

Peso final del mineral : 49,9 g

Tabla 19 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 5 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	10,51	21,06	21,06	78,94
200	75	6,05	12,12	33,17	66,83
-200		33,35	66,83	100,00	0,00
TOTAL		49,90	100,00		

Fuente: Elaboración propia

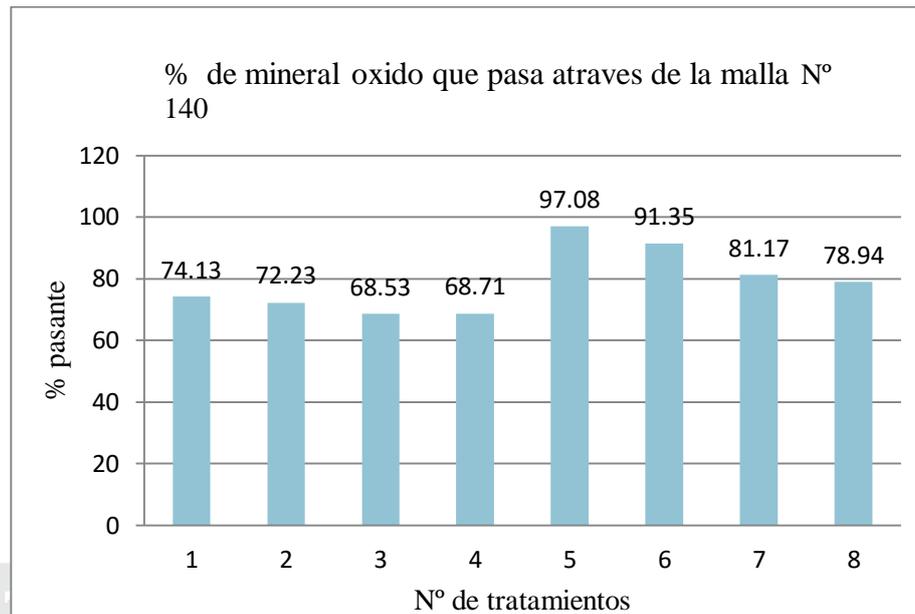
Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el octavo tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 21,06%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 78,94%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Tabla 20 Porcentaje de material que paso a través de la malla 40

N° de Tratamientos	% Pasante malla 140	Cantidad ingreso (g)	Cantidad pasante (g)	Cantidad retenido (g)
1	74,13	50,00	36,89	12,87
2	72,23	50,00	36,04	13,85
3	68,53	50,00	34,17	15,69
4	68,71	50,00	34,17	15,56
5	97,08	50,00	48,38	1,46
6	91,35	50,00	45,40	4,30
7	81,17	50,00	40,42	9,38
8	78,94	50,00	39,40	10,51

Fuente : Elaboración propia

GRAFICO 1 Porcentaje del mineral que paso a través de la malla N° 140



Fuente: Elaboración propia

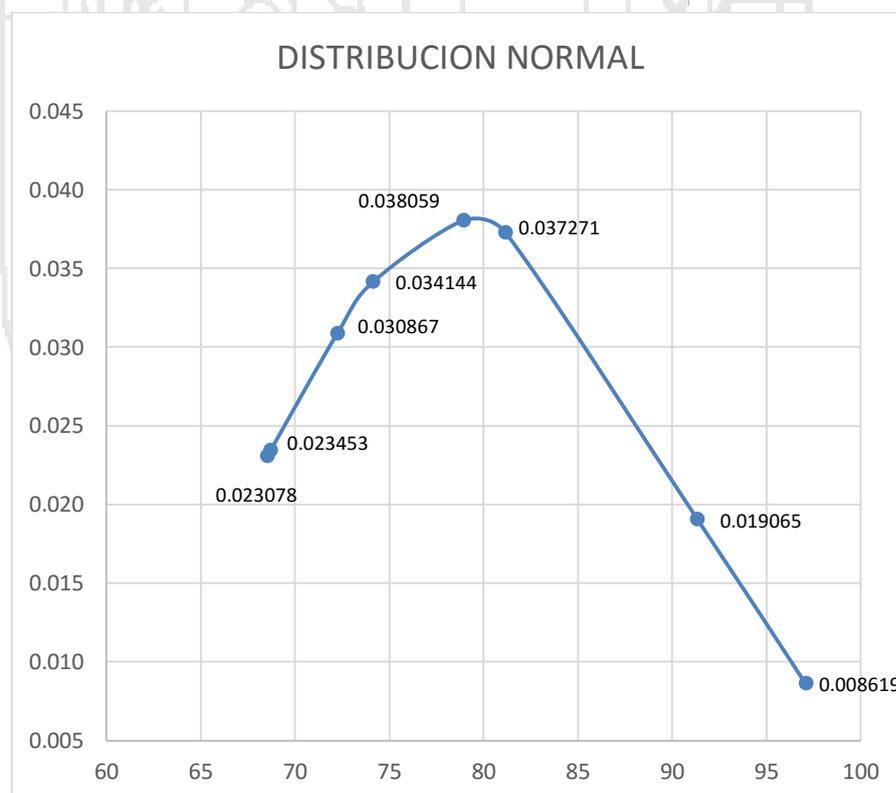
De los resultados obtenidos de las pruebas experimentales de análisis granulométrico para mineral aurífero oxido, se observa que medida que aumenta el tiempo de pulverizado, aumenta el porcentaje de material pasante por la malla 140, es decir un adecuado tiempo de pulverizado una cantidad representativa de muestra y una granulometría adecuada en la alimentación garantiza el tamaño de partícula requerido, de estos resultados podemos indicar que el % pasante malla 140 mas alto, que se obtiene es de 97,08% , este resultado se obtiene trabajando con un tamaño de partícula en la alimentación de nivel 1, cantidad de muestra de 200g y un tiempo óptimo de 5 minutos, este valor cumple lo establecido para la muestra de mineral a la salida del pulverizador, el cual debe tener un tamaño de partícula menor a 106 μ m, con un 90 % pasante por el tamiz de Mesh N° 140.

Con los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas procedemos a realizar la distribución normal para ver si cumple

Tabla 21 Valores para graficar la distribución normal

N° de tratamiento	% pasante malla 140	%	promedio	Desviación estándar	distribución normal
1	74,13	60	79,01475	8,12479685	0,003175
2	72,238	68,53			0,021354
3	68,53	68,7			0,021934
4	68,7	72,23			0,034648
5	97,08	74,13			0,040983
6	91,34	78,94			0,049100
7	81,16	81,16			0,047420
8	78,94	91,34			0,015538

GRAFICO 2 Distribución normal



La distribución de datos es analizada tal como se ve en el gráfico, por lo que estadísticamente se cumple el modelo de distribución normal. La gráfica de su función de densidad tiene una forma acampanada y es simétrica respecto de un determinado parámetro estadístico. Esta curva se conoce como campana de Gauss y es el gráfico de una función gaussiana..

4.2.3 Análisis granulométrico para mineral sulfurado.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 200 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,9g

Tabla 22 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 3 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	5,03	10,07	10,07	89,93
200	75	7,10	14,23	24,30	75,70
-200		37,77	75,70	100,00	0,00
TOTAL		49,90	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral sulfurado para el primer tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 10,07%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la

malla 140 es 89,93%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 2, peso de 200 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,73g

Tabla 23 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 3 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	9,64	19,39	19,39	80,61
200	75	5,55	11,16	30,55	69,45
-200		34,54	69,45	100,00	0,00
	TOTAL	49,73	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral sulfurado para el segundo tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 19,39%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 80,61%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%, los resultados

obtenidos pueden deberse a la presencia de pirita en las muestras, debido a que al tener diferentes propiedades elásticas influye en el resultado del material pulverizado.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 250 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba para análisis granulométrico:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,85g

Tabla 24 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 3 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	8,81	17,68	17,68	82,32
200	75	5,63	11,30	28,97	71,03
-200		35,41	71,03	100,00	0,00
TOTAL		49,85	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral sulfurado para el tercer tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 17,68%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 82,32%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 2, peso de 250 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,84g

Tabla 25 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 3 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	13,41	26,91	26,91	73,09
200	75	5,10	10,23	37,14	62,86
-200		31,33	62,86	100,00	0,00
TOTAL		49,84	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral sulfurado para el cuarto tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 26,91%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 73,09%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 200 g para un tiempo de 5 minutos.

Condiciones de prueba:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,80g

Tabla 26 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 5 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140		0,90	1,80	1,80	98,20
200		4,81	9,67	11,47	88,53
-200		44,09	88,53	100,00	0,00
TOTAL		49,80	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el quinto tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 1,08%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 98,20%. Este resultado nos indica que con estos parámetros de trabajo llegamos a obtener el % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 2, peso de 200 g para un tiempo de 5 minutos.

Condiciones de prueba:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 50g

Tabla 27 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 5 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140		1,71	3,42	3,42	96,58
200		6,41	12,82	16,24	83,76
-200		41,88	83,76	100,00	0,00
TOTAL		50,00	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el sexto tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 3,42%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 96,58%. Este resultado nos indica que con estos parámetros de trabajo llegamos a obtener el % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 250 g para un tiempo de 5 minutos.

Condiciones de prueba:

Peso inicial del mineral : 50g

Peso final del mineral : 49,8g

Tabla 28 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 5 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80					
140	106	3,19	6,40	6,40	93,60
200	75	6,61	13,27	19,67	80,33
-200		40,01	80,33	100,00	0,00
TOTAL		49,80	100,00		

Fuente: Elaboración propia

Según el análisis granulométrico de mineral oxido para el sétimo tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 6,40%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 93,60%. Este resultado nos indica que con estos parámetros de trabajo llegamos a obtener el % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Análisis granulométrico de mineral aurífero, tamaño de partícula en la alimentación nivel 1, peso de 250 g para un tiempo de 3 minutos.

Condiciones de prueba:

Peso inicial del mineral : 50,04g

Peso final del mineral :50g

Tabla 29 Análisis granulométrico de mineral aurífero

Malla	ABERTURA (μm)	MOLIENDA 5 MINUTOS			
		Peso (g)	% Peso	% Ac (+)	% Ac (-)
80	180				
140	106	6,42	12,84	12,84	87,16
200	75	6,04	12,07	24,91	75,09
-200		37,54	75,09	100,00	0,00
TOTAL		50,00	100,00		

Fuente: Elaboración propia

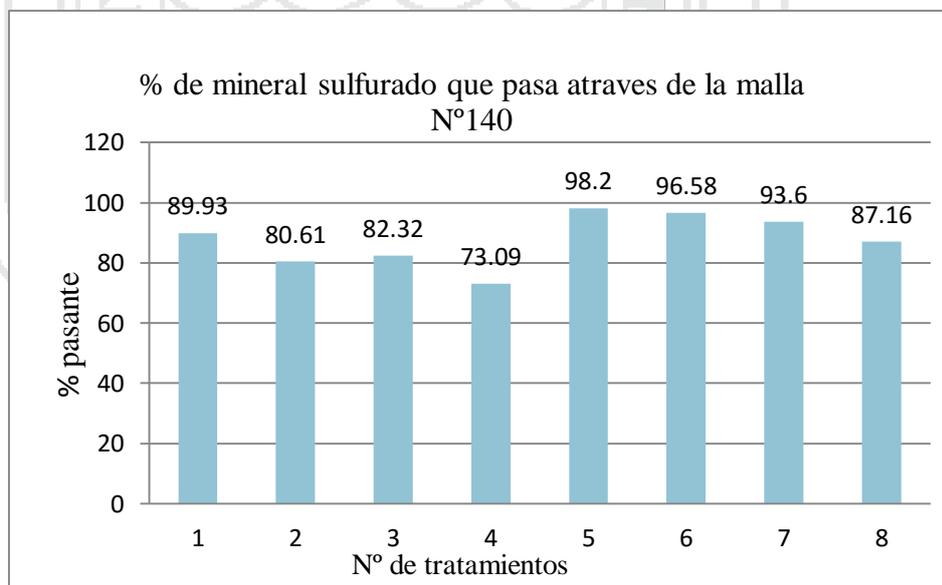
Según el análisis granulométrico de mineral sulfurado para el octavo tratamiento, el % Ac (+), es decir el porcentaje de acumulado retenido en las mallas 140, presenta un valor de 12,84%. Por otra parte, el % Ac (-), es decir el porcentaje de pasante acumulado en la malla 140 es 87,16%. Este resultado nos indica que los parámetros de trabajo no son los adecuados para obtener un % pasante de malla 140 mayor al 90%.

Tabla 30 Porcentaje pasante de la malla 140

N° de Tratamientos	% passing malla 140	Cantidad ingreso (g)	Cantidad pasante (g)	Cantidad retenido (g)
1	89,93	50,00	44,87	5,03
2	80,61	50,00	40,09	9,64
3	82,32	50,00	41,04	8,81
4	73,09	50,00	36,43	13,41
5	98,20	50,00	48,90	0,90
6	96,58	50,00	48,29	1,71
7	93,60	50,00	46,62	3,19
8	87,16	50,00	43,58	6,42

Fuente: Elaboración propia

GRAFICO 3 Porcentaje pasante malla



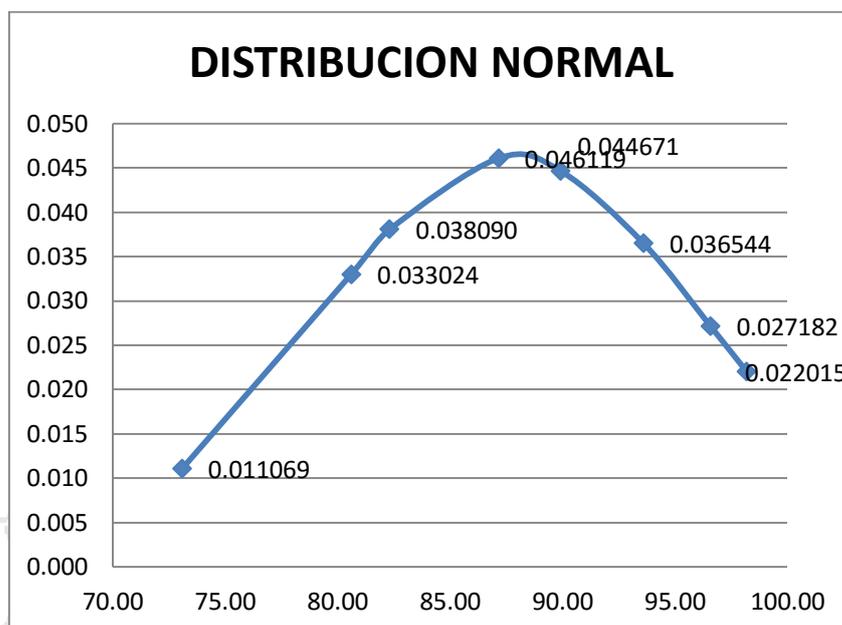
Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos de las pruebas experimentales de análisis granulométrico para mineral aurífero sulfurado, se observa que medida que aumenta el tiempo de pulverizado, aumenta el porcentaje de material pasante por la malla 140, es decir un adecuado tiempo de pulverizado una cantidad representativa de muestra y una granulometría adecuada en la alimentación garantiza el tamaño de partícula requerido, de estos resultados podemos indicar que el % pasante malla 140 mas alto, que se obtiene es de 98,02% , este resultado se obtiene trabajando con un tamaño de partícula en la alimentación de nivel 1, cantidad de muestra de 200g y un tiempo optimo de 5 minutos, este valor cumple lo establecido para la muestra de mineral a la salida del pulverizador, el cual debe tener un tamaño de partícula menor a 106µm, con un 90 % pasante por el tamiz de Mesh N° 140.

Tabla 31 Valores para graficar la distribución normal

N° de tratamiento	% pasante	%	promedio	Desviación estándar	distribución normal
1	89,93	73,09	87.69	8.63	0.011069
2	80,61	80,61			0.033024
3	82,32	82,32			0.038090
4	73,09	87,16			0.046119
5	98,20	89,93			0.044671
6	96,58	93,60			0.036544
7	93,60	96,58			0.027182
8	87,16	98,20			0.022015

GRAFICO 4 Distribución normal



La distribución de datos sigue la distribución normal tal como se ve en el grafico, por lo que cumple. Primeramente se deberá verificar si el conjunto de datos se ajusta a una Ley de distribución normal.

prueba de sulfuros y óxidos	Acumulado en malla 140
1	12,87
2	13,85
3	15,69
4	15,56
5	1,46
6	4,3
7	9,38
8	10,51
1	5,03
2	9,64
3	8,81
4	13,41
5	0,9
6	1,71
7	3,19
8	6,42

Se debe tener un cuadro de estadística descriptiva la cual se halla usando las herramientas del programa Excel de análisis de datos obteniendo:

<i>DATOS</i>	
Media	8,295625
Error típico	1,282150202
Mediana	9,095
Moda	13,2
Desviación estándar	5,128600808
Varianza de la muestra	26,30254625
Curtosis	-1,405502017
Coefficiente de asimetría	-0,025207582
Rango	14,79
Mínimo	0,9
Máximo	15,69
Suma	132,73
Cuenta	16

Cuadro de estadística descriptiva. Determinando los rangos de clase que según la bibliografía recomienda generar 7 datos los cuales se calcularon obteniéndose

Rangos de clase	
1	3,01
2	5,13
3	7,24
4	9,35
5	11,46
6	13,58
7	15,69

A continuación, para la verificación del histograma se calcularon los valores de frecuencia y % acumulado

	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
0,9	1	6,25%
3,01285714	2	18,75%
5,12571429	3	37,50%
7,23857143	1	43,75%
9,35142857	1	50,00%
11,4642857	3	68,75%
13,5771429	2	81,25%
15,69	3	100,00%
y mayor...	0	100,00%

GRAFICO 5 Histograma

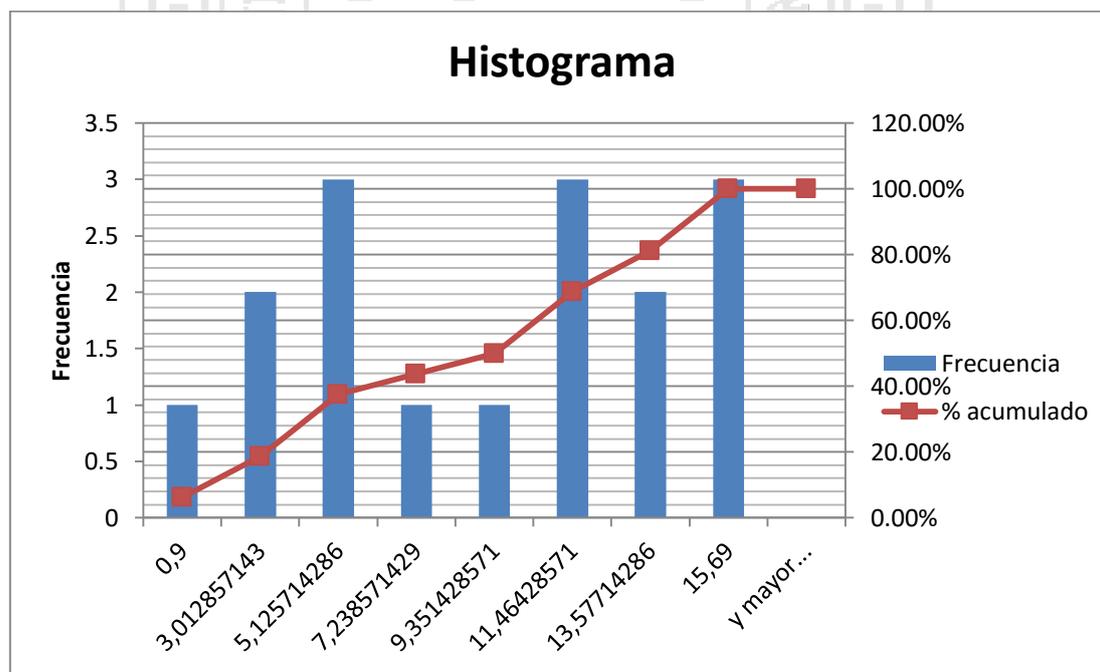
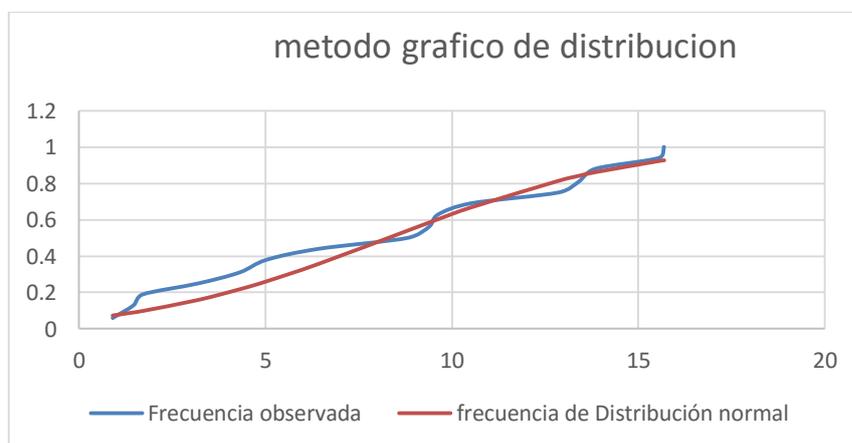


Grafico del histograma. Nos indica que el % acumulado presenta un gráfico aproximado sinoidal lo cual indica que los datos se aproximan a una distribución normal por lo cual utilizaremos para el tratamiento estadístico, la prueba de Kolmogórov-Smirnov (también prueba K-S) es una prueba no paramétrica que determina la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.

DATOS	Frecuencia observada	Frecuencia de Distribución normal	diferencia
0,9	0,06	0,07	0,01464616
1,46	0,13	0,09	0,0387085
1,71	0,19	0,10	0,09044613
3,19	0,25	0,16	0,0902583
4,3	0,31	0,22	0,0920357
5,03	0,38	0,26	0,11785542
6,42	0,44	0,36	0,08271249
8,81	0,5	0,54	0,03994509
9,38	0,56	0,58	0,02372678
9,64	0,63	0,60	0,02660949
10,51	0,69	0,67	0,02295436
12,87	0,75	0,81	0,06378593
13,41	0,81	0,84	0,03067263
13,85	0,88	0,86	0,01939987
15,56	0,94	0,92	0,0183228
15,69	1	0,93	0,07468055

Según el recuadro se obtiene que, para verificar si cumple que datos cumplen con una distribución normal se realiza por dos métodos, el método gráfico y el método matemático, para el modelo grafico se tiene.

GRAFICO 6 Método grafico de distribución



Se nota que, la frecuencia observada sigue la curva descrita por los datos de la frecuencia de distribución normal, por lo que gráficamente se demuestra que los datos obtenidos se adaptan a los parámetros del modelo de distribución normal

Para la determinación matemática de la distribución normal de los datos hallados se calcula.

$$K\alpha = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{n}}$$

Donde:

$K\alpha$ = constante de probabilidad de error

α = probabilidad de error de tipo 1 debe valer entre 1% y 5%

n = número de datos

Calculando:

$$K\alpha = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{5}{2}\right)}{16}}$$

$$K\alpha = 0,4801$$

La constante de probabilidad de error debe ser comparada con el mayor valor de la diferencia del cuadro que para cálculos de Kolmogórov-Smirnov es de 0,1178 (D=0,11785542)

$$D < k\alpha$$

Entonces usando el método matemático de cálculo del modelo de distribución normal se obtiene que Los datos siguen una distribución normal de media 10,4525 y desviación Estándar de 5,2205 según el cuadro de estadística descriptiva obtenida.

Optimización de variables. Se usó el programa Statgraphics centurión xvii para determinar valores óptimos de operación en el pulverizado de las muestras.

Usando el asistente de diseño de experimentos obtenemos

Asistente de Diseño de Experimentos

4.2.3 Resumen Del Análisis Para Minerales Oxidos

Paso 1: Definir las variables respuesta a ser medidas

<i>Nombre</i>	<i>Unidades</i>	<i>Analizar</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Destino</i>	<i>Impacto</i>	<i>Sensibilidad</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>
Malla (140)	gramos	Media	Maximizar		5,0	Medio	10,0	250,0
Malla (200)	gramos	Media	Objetivo alcanzado	0,5	2,0	Medio	10,0	250,0

Paso 2: Definir los factores experimentales que van a variar

<i>Nombre</i>	<i>Unidades</i>	<i>Tipo</i>	<i>Papel</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Niveles</i>
A:Granulometria Inicial	N de malla	Continuo	Controlable	8,0	12,0	
B:Cantidad de Muestra	Gramos	Continuo	Controlable	200,0	250,0	
C:Tiempo de Molienda	Minutos	Continuo	Controlable	3,0	5,0	

Paso 3: Seleccione el diseño experimental

Tipo of	Diseño	Puntos Centrales	Punto Central	Diseño es	Número de	Total	Total
Factor es	Tipo	Por Bloque	Colocaci ^o n	Aleatoriza do	Replicacio nes	Ejecucio nes	<i>Bloques</i>
Proces o	Factorial 2^3	2	Aleatorio	Sí	0	10	1

<i>Error</i>
<i>D.F.</i>
3

Número de muestras por ejecución: 1

Paso 4: Indicar el modelo inicial a ajustar a los resultados del experimento

<i>Factores</i>	<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Efectos excluidos</i>
Proceso	Interacciones de 2 factores	7	

Paso 5: Seleccionar un subconjunto óptimo de ejecuciones (opcional)

10 ejecuciones seleccionadas

Paso 6: Seleccionar tablas y gráficos para evaluar las ejecuciones seleccionadas

Para mostrar diagnósticos de diseño, utilice la casilla de verificación en el cuadro de diálogo Opciones de Análisis.

Paso 7: Guardar el experimento

Archivo de diseño: <sin título> (DISEÑO DE EXPERIMENTOS MINERAL OXIDO)

Paso 8: Analizar los resultados del experimento

<i>Modelo</i>	<i>Malla (140)</i>	<i>Malla (200)</i>
Transformación	Ninguno	Ninguno
Modelo d.f.	6	6
P-valor	0,0000	0,0041
Error d.f.	3	3
Std. error	0,122488	0,118392
R-cuadrado	99,98	99,04
Adj. R-cuadrado	99,93	97,12

Paso 9: Optimizar las respuestas

Ejecutar este paso para determinar las condiciones operativas del óptimo.

Paso 10: Guardar los resultados

StatFolio actual: C:\Users\Erik L C\Desktop\tesis agosto\Tesis corregido UN
DIA ANTES\totalmente importante.SGP

Paso 11: Aumentar diseño

Ejecutar este paso para añadir ejecuciones adicionales al diseño.

Paso 12: Extrapolar el modelo

Ejecutar este paso para encontrar las mejores condiciones de operación.

El StatAdvisor

Ha especificado 2 variables respuesta y 3 factores experimentales. El diseño seleccionado tiene 10 ejecuciones, con 1 una muestra para ser tomada en cada ejecución. El modelo por defecto es Interacciones de 2 factores con 7 coeficientes.

Los modelos estadísticos han sido ajustados a las variables de respuesta. Modelos con P-valores por debajo de 0,05 de los cuales hay 2, indican que el modelo ajustado es estadísticamente significativo al 5,0% de nivel de significación. También es interesante el estadístico

R-cuadrado, el cual muestra el porcentaje de variación en la respuesta que ha sido explicado por el modelo ajustado. El rango de valores de

R-cuadrado varía de 99,04% a 99,98%.

LIBRO DE DATOS

GRAFICO 7 Diseño de experimentos mineral oxido

	BLOQUE	Granulometria Inicial	Cantidad de Muestra	Tiempo de Molienda	Malla (140)	Malla (200)
		N de malla	gramos	minutos	gramos	gramos
1	1	12.0	250.0	5.0	9.38	5.46
2	1	10.0	225.0	4.0	10.45	5.21
3	1	8.0	250.0	5.0	10.51	6.05
4	1	12.0	200.0	5.0	1.46	5.58
5	1	10.0	225.0	4.0	10.45	5.21
6	1	12.0	250.0	3.0	15.69	4.35
7	1	8.0	200.0	3.0	13.85	4.57
8	1	8.0	250.0	3.0	15.56	4.48
9	1	12.0	200.0	3.0	12.87	4.73
10	1	8.0	200.0	5.0	4.3	6.46

Bloque	Granulometría Inicial	Cantidad de Muestra	Tiempo de Molienda	Malla N° 140	Malla N° 200
	N° de Malla	gramos	minutos	Gramos	gramos
1	12	250	5	9,38	5,46
1	10	225	4	10,45	5,21
1	8	250	5	10,51	6,05
1	12	200	5	1,46	5,58
1	10	225	4	10,45	5,21
1	12	250	3	15,69	4,35
1	8	200	3	13,85	4,57
1	8	250	3	15,56	4,48
1	12	200	3	12,87	4,73
1	8	200	5	4,3	6,46

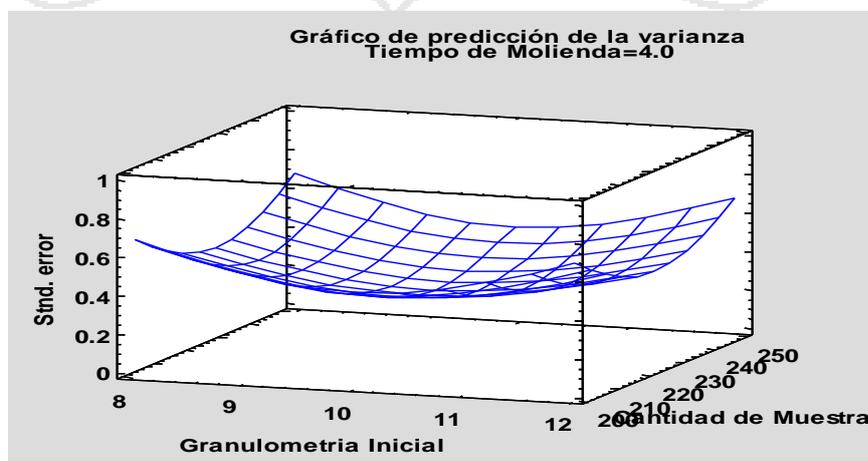
Matriz de Correlación

	A	B	C	AB	AC	BC
A	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
AB	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
AC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
BC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

El StatAdvisor

La matriz de correlación muestra las correlaciones entre las columnas de la matriz de diseño. Un diseño perfectamente ortogonal mostrará una matriz diagonal con 1's en la diagonal y 0's fuera de ella. Cualquier término distinto de cero implica que los estimados de los efectos correspondientes a esa fila y columna estarán correlacionados. En este caso, no hay correlación entre ninguno de los efectos. Esto significa que se obtendrán estimados 'limpios' para todos esos efectos.

GRAFICO 8 Predicción de varianza



Analizar Experimento - Malla (140)

Efectos estimados para Malla (140) (gramos)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
Promedio	10,452	0,0387	
A:Granulometria Inicial	-1,205	0,0866	1,0
B:Cantidad de Muestra	4,665	0,0866	1,0
C:Tiempo de Molienda	-8,08	0,0866	1,0
AB	0,705	0,0866	1,0
AC	-0,78	0,0866	1,0
BC	2,4	0,0866	1,0

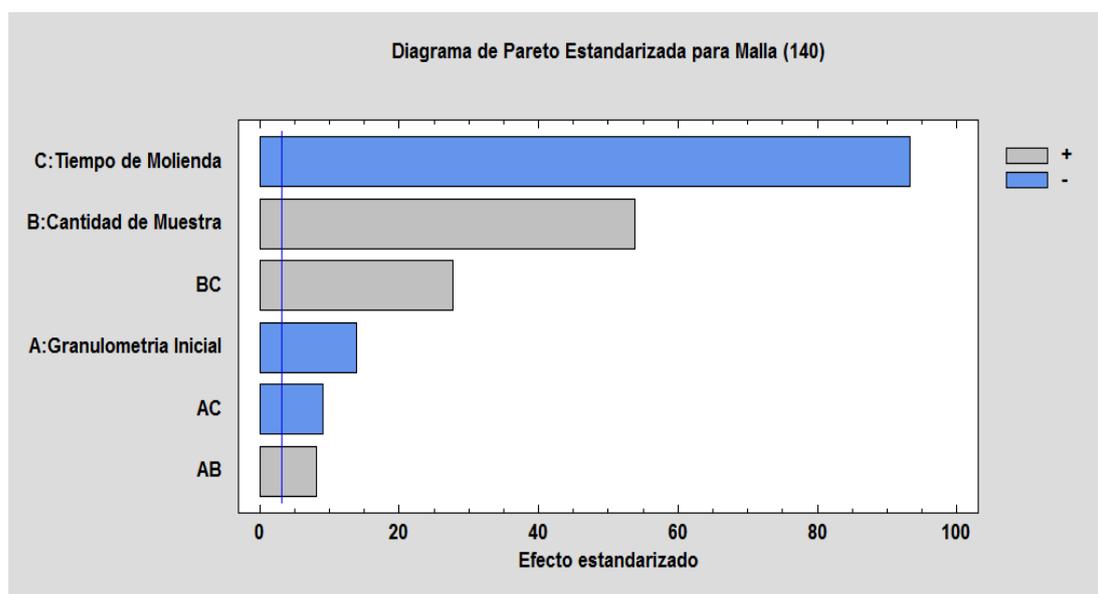
Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

El StatAdvisor

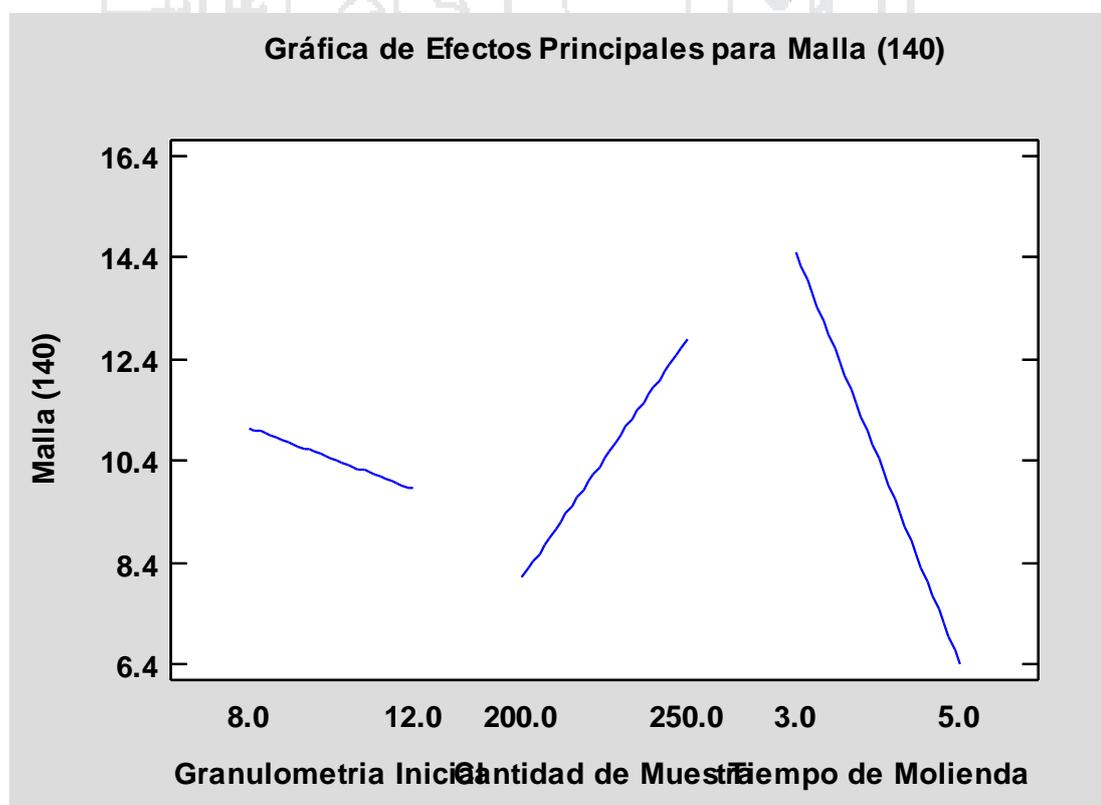
Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0.

Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.



El grafico indica que las variables mas importantes en el procedimiento de tratamiento de las muestras son, el tiempo de molienda y la cantidad de muestra teniendo así a la granulometría inicial como una variable de menor importancia para las muestras del mineral oxido.



Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Malla (140)

Valor óptimo = 15,7645

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Granulometría Inicial	8,0	12,0	12,0
Cantidad de Muestra	200,0	250,0	250,0
Tiempo de Molienda	3,0	5,0	3,0

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Malla (140) sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

ANALIZAR MALLA 200

Efectos estimados para Malla (200) (gramos)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
Promedio	5,21	0,0374388	
A:Granulometria Inicial	-0,36	0,0837158	1,0
B:Cantidad de Muestra	-0,25	0,0837158	1,0
C:Tiempo de Molienda	1,355	0,0837158	1,0
AB	0,0	0,0837158	1,0
AC	-0,375	0,0837158	1,0
BC	-0,015	0,0837158	1,0

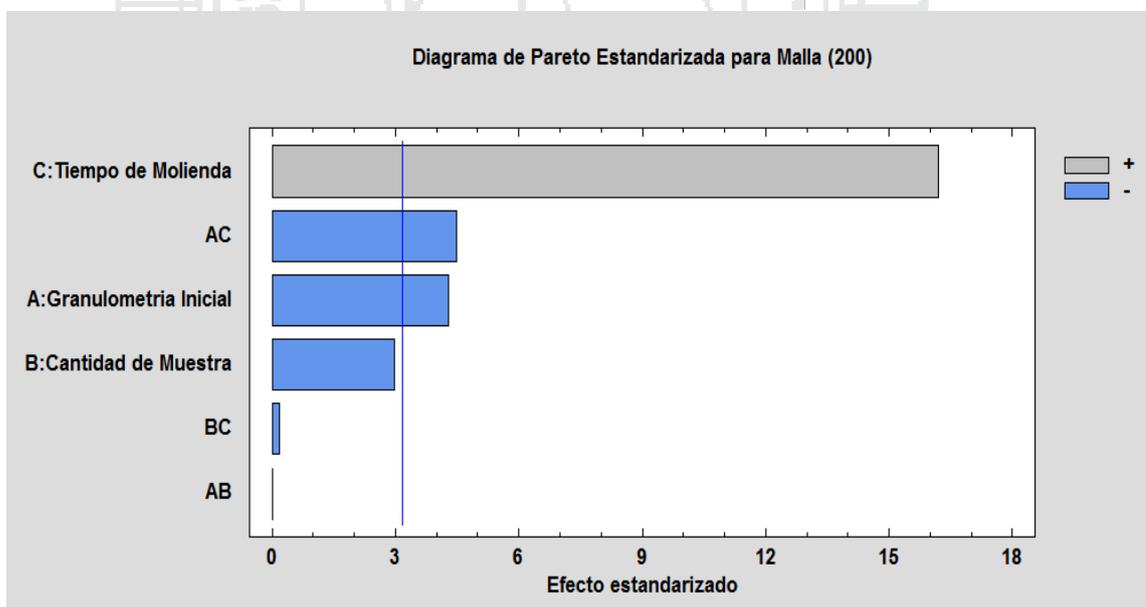
Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

El StatAdvisor

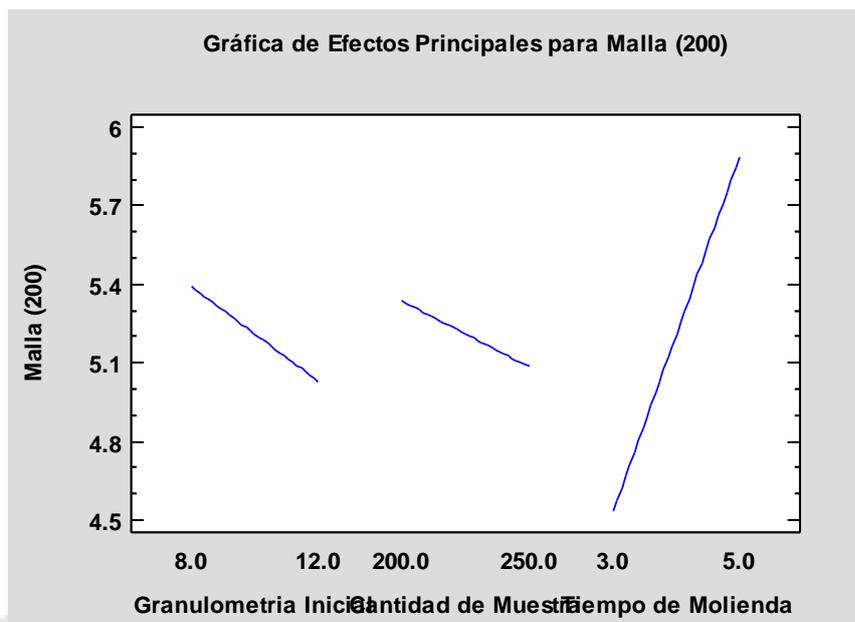
Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0.

Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.



Para la malla 200 el gráfico indica que las variables más importantes en el procedimiento de tratamiento de las muestras son, el tiempo de molienda y la granulometría inicial teniendo así a la cantidad de muestra como una variable de menor importancia para las muestras del mineral óxido



El grafico de efectos principales examina las diferencias entre las medias de nivel para las tres variables, hay un efecto principal cuando diferentes niveles de una variable afectan la respuesta de manera diferente.

las variables afectan de manera significativa a los resultados finales siendo el de mayor importancia el tiempo de residencia en la olla de pulverizado, para la optimización del tiempo de pulverizado de diferentes tipos de muestras se tiene que realizar pruebas específicas con esos materiales.

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Malla (200)

Valor óptimo = 6,3875

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Granulometria Inicial	8,0	12,0	8,0
Cantidad de Muestra	200,0	250,0	200,0
Tiempo de Molienda	3,0	5,0	5,0

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Malla (200) sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

4.2.4 Resumen Del Análisis Para Minerales Sulfurados

Asistente de Diseño de Experimentos

Paso 1: Definir las variables respuesta a ser medidas

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Destino	Impacto	Sensibilidad	Bajo	Alto
Malla (140)	gramos	Media	Maximizar		5,0	Medio	10,0	250,0
Malla (200)	gramos	Media	Objetivo alcanzado	0,5	2,0	Medio	10,0	250,0

Paso 2: Definir los factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto	Niveles
A:Granulometria Inicial	N de malla	Continuo	Controlable	8,0	12,0	
B:Cantidad de Muestra	Gramos	Continuo	Controlable	200,0	250,0	
C:Tiempo de Molienda	Minutos	Continuo	Controlable	3,0	5,0	

Paso 3: Seleccione el diseño experimental

Tipo of	Diseño	Puntos centrales	Punto Central	Diseño es	Número de	Total	Total
Factores	Tipo	Por Bloque	Colocación	Aleatorizado	Replicaciones	Ejecuciones	Bloques
Proceso	Factorial 2 ³	2	Aleatorio	Sí	0	10	1

<i>Error</i>
<i>D.F.</i>
3

Número de muestras por ejecución: 1

Paso 4: Indicar el modelo inicial a ajustar a los resultados del experimento

<i>Factores</i>	<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Efectos excluidos</i>
Proceso	Interacciones de 2 factores	7	

Paso 5: Seleccionar un subconjunto óptimo de ejecuciones (opcional)

10 ejecuciones seleccionadas

Paso 6: Seleccionar tablas y gráficos para evaluar las ejecuciones seleccionadas

Para mostrar diagnósticos de diseño, utilice la casilla de verificación en el cuadro de diálogo Opciones de Análisis.

Paso 7: Guardar el experimento

Archivo de diseño: <sin título> (DISEÑO DE EXPERIMENTOS MINERAL SULFURADO)

Paso 8: Analizar los resultados del experimento

<i>Modelo</i>	<i>Malla (140)</i>	<i>Malla (200)</i>
Transformación	ninguno	Ninguno
Modelo d.f.	6	6
P-valor	0,0052	0,2533
Error d.f.	3	2
Std. Error	0,701245	0,398042
R-cuadrado	98,87	90,72
Adj. R-cuadrado	96,60	62,89

Paso 9: Optimizar las respuestas

Ejecutar este paso para determinar las condiciones operativas del óptimo.

Paso 10: Guardar los resultados

StatFolio actual: C:\Users\Erik L C\Desktop\tesis agosto\Tesis corregido UN
DIA ANTES\totalmente importante.SGP

Paso 11: Aumentar diseño

Ejecutar este paso para añadir ejecuciones adicionales al diseño.

Paso 12: Extrapolar el modelo

Ejecutar este paso para encontrar las mejores condiciones de operación.

El StatAdvisor

Ha especificado 2 variables respuesta y 3 factores experimentales. El diseño seleccionado tiene 10 ejecuciones, con 1 una muestra para ser tomada en cada ejecución. El modelo por defecto es Interacciones de 2 factores con 7 coeficientes.

Los modelos estadísticos han sido ajustados a las variables de respuesta. Modelos con P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 1, indican que el modelo ajustado es estadísticamente significativo al 5.0% de nivel de significación. También es interesante el estadístico R-cuadrado, el cual muestra el porcentaje de variación en la respuesta que

ha sido explicado por el modelo ajustado. El rango de valores de R-cuadrado varía de 90,72% a 98,87%.

LIBRO DE DATOS

GRAFICO 9 Diseño de experimentos mineral sulfurado

	BLOQUE	Granulometria Inicial	Cantidad de Muestra	Tiempo de Molienda	Malla (140)	Malla (200)
		N de malla	gramos	minutos	gramos	gramos
1	1	12.0	250.0	5.0	3.19	6.61
2	1	10.0	225.0	4.0	5.46	5.02
3	1	8.0	250.0	5.0	6.42	6.04
4	1	12.0	200.0	5.0	0.9	4.81
5	1	10.0	225.0	4.0	5.46	5.02
6	1	12.0	250.0	3.0	8.81	5.63
7	1	8.0	200.0	3.0	9.64	5.55
8	1	8.0	250.0	3.0	13.41	5.10
9	1	12.0	200.0	3.0	5.03	7.10
10	1	8.0	200.0	5.0	1.71	6.41

MINERALES SULFURADOS

Bloque	Granulometría Inicial	Cantidad de Muestra	Tiempo de Molienda	Malla N° 140	Malla N° 200
	N° de Malla	gramos	minutos	gramos	Gramos
1	12	250	5	3,19	6,61
1	10	225	4	5,6	5,02
1	8	250	5	6,42	6,04
1	12	200	5	0,9	4,81
1	10	225	4	5,46	5,02
1	12	250	3	8,81	5,63
1	8	200	3	9,64	5,55
1	8	250	3	13,41	5,1
1	12	200	3	5,03	5,02
1	8	200	5	1,71	6,41

MATRIZ DE CORRELACION

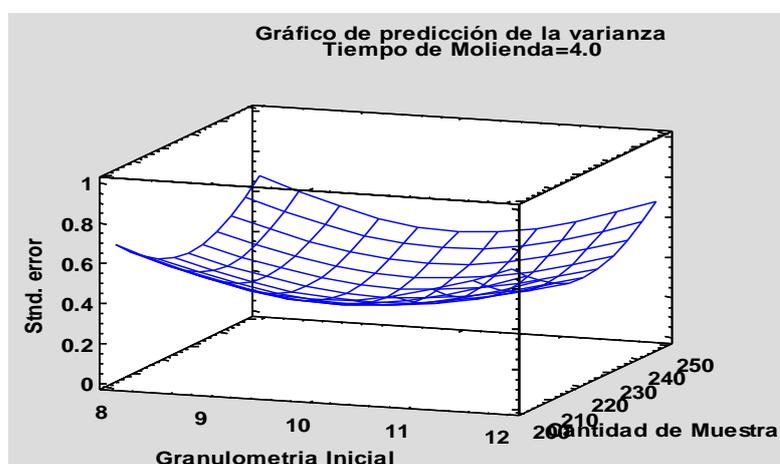
Matriz de Correlación

	A	B	C	AB	AC	BC
A	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
B	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
C	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000
AB	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000
AC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000
BC	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

El StatAdvisor

La matriz de correlación muestra las correlaciones entre las columnas de la matriz de diseño. Un diseño perfectamente ortogonal mostrará una matriz diagonal con 1's en la diagonal y 0's fuera de ella. Cualquier término distinto de cero implica que los estimados de los efectos correspondientes a esa fila y columna estarán correlacionados. En este caso, no hay correlación entre ninguno de los efectos. Esto significa que se obtendrán estimados 'limpios' para todos esos efectos.

GRAFICO 10 Predicción de la varianza Tiempo de Molienda=4.0



Analizar Experimento - Malla (140)

Efectos estimados para Malla (140) (gramos)

<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
Promedio	6,003	0,221753	
A:Granulometria Inicial	-3,3125	0,495855	1,0
B:Cantidad de Muestra	3,6375	0,495855	1,0
C:Tiempo de Molienda	-6,1675	0,495855	1,0
AB	-0,6025	0,495855	1,0
AC	1,2925	0,495855	1,0
BC	-0,1375	0,495855	1,0

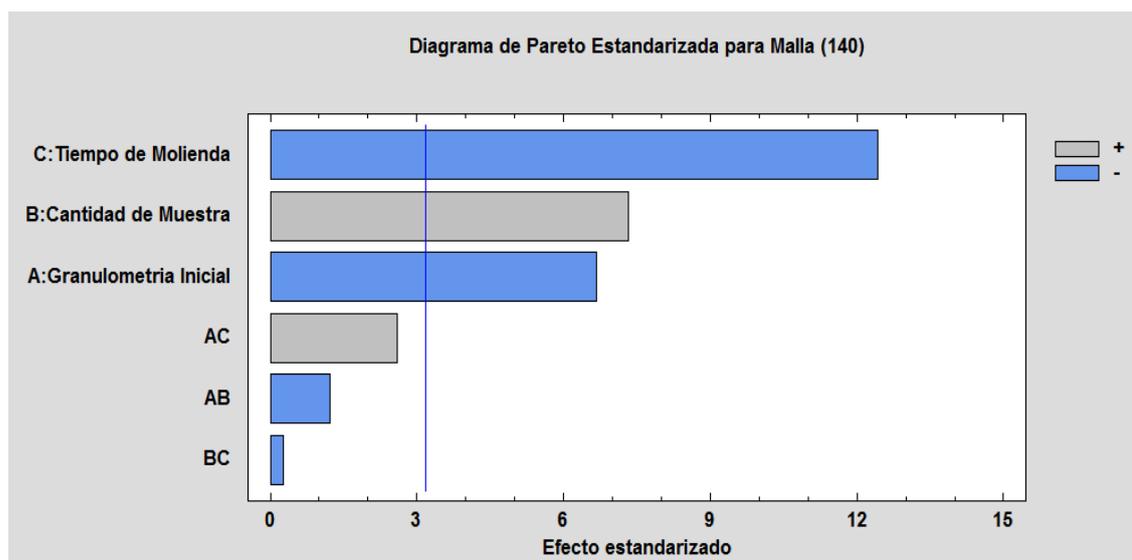
Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

El StatAdvisor

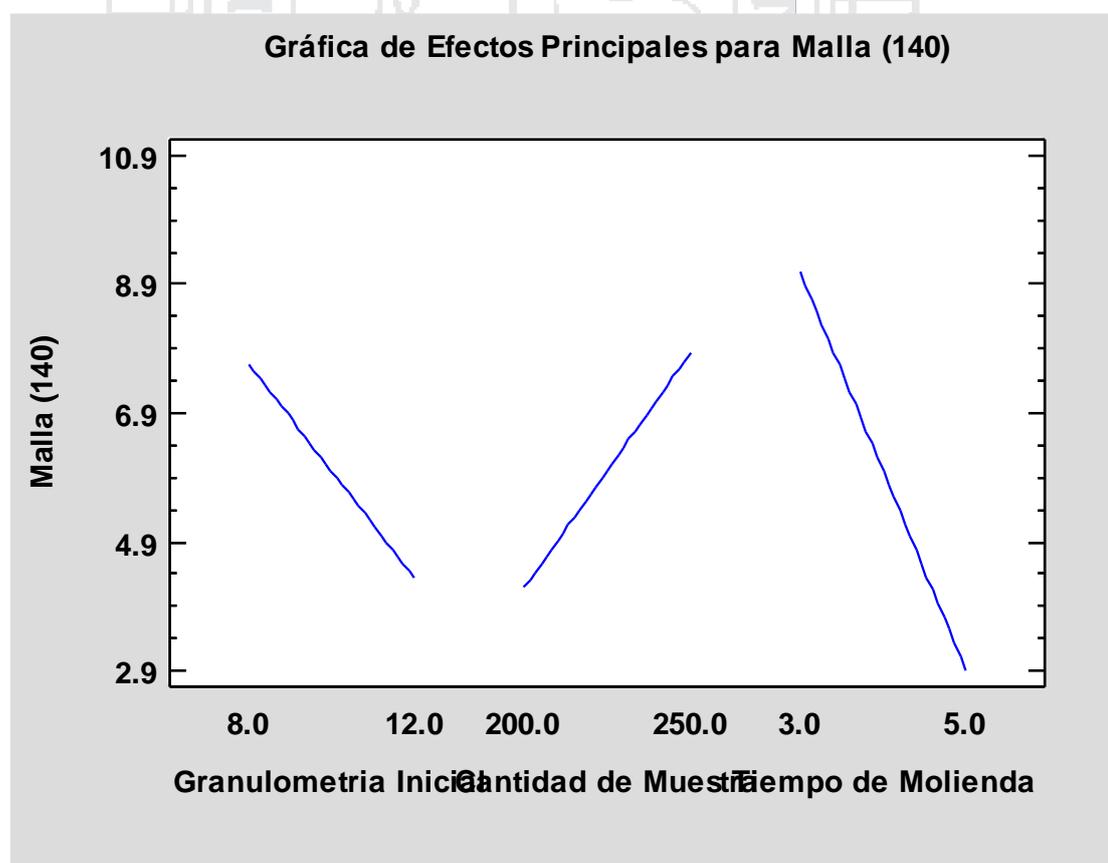
Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0.

Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.



El grafico indica que las variables más importantes en el procedimiento de tratamiento de las muestras son, el tiempo de molienda y la cantidad de muestra además de la granulometría inicial, lo que indica que el estudio del comportamiento de pulverizado para el mineral sulfurado está determinado por el grafico del efecto estandarizado.



Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Malla (140)

Valor óptimo = 13,578

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Granulometría Inicial	8,0	12,0	8,0
Cantidad de Muestra	200,0	250,0	250,0
Tiempo de Molienda	3,0	5,0	3,0

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Malla (140) sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

ANALISIS PARA MALLA 200

Efectos estimados para Malla (200) (gramos)

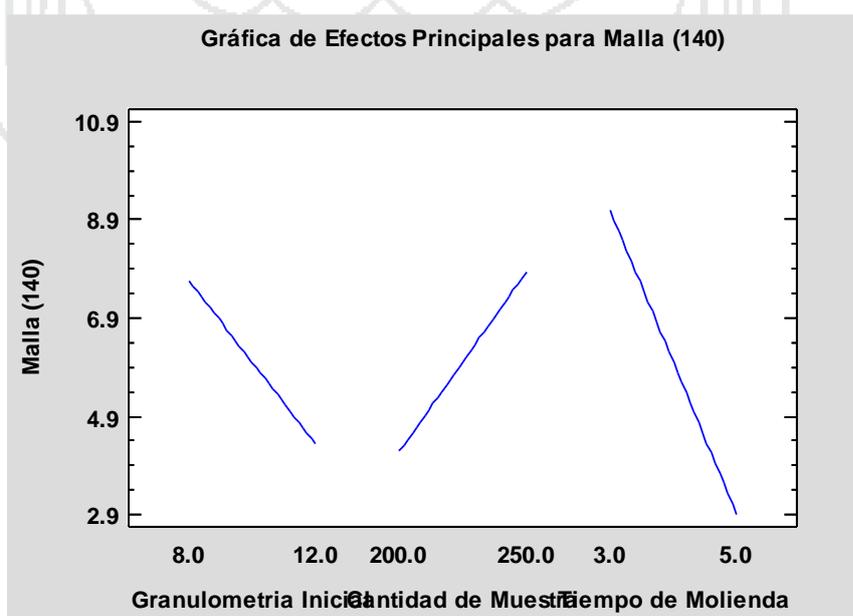
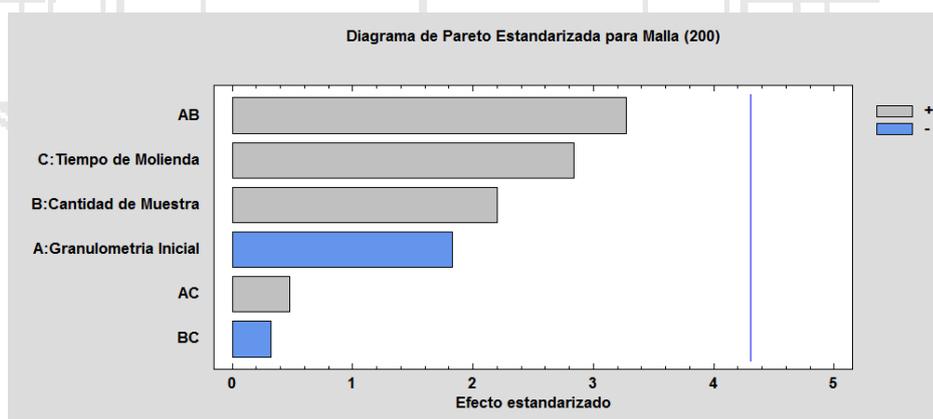
<i>Efecto</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>V.I.F.</i>
Promedio	5,345	0,1625	
A:Granulometria Inicial	-0,6975	0,381096	1,5787
B:Cantidad de Muestra	0,8375	0,381096	1,5787
C:Tiempo de Molienda	1,0825	0,381096	1,5787
AB	1,2475	0,381096	1,5787
AC	0,1825	0,381096	1,5787
BC	-0,1225	0,381096	1,5787

Errores estándar basados en el error total con 2 g.l.

El StatAdvisor

Esta tabla muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.5787. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.



Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Malla (200)

Valor óptimo = 6,61

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Granulometría Inicial	8,0	12,0	12,0
Cantidad de Muestra	200,0	250,0	250,0
Tiempo de Molienda	3,0	5,0	5,0

El StatAdvisor

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Malla (200) sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

4.3 CALCULO DE LA EFICIENCIA DE LA OPERACIÓN DE MOLIENDA**4.3.1 Para mineral oxido**

Considerando el punto 3.8 calculamos la eficiencia del proceso de molienda para el pulverizador de anillos con la ecuación siguiente:

$$A = B + C$$

Donde:

A= Masa de mineral que entra al sistema de molienda (g)

B= Masa de mineral que sale del sistema de molienda (g)

C= Masa de mineral que se retiene en el sistema de molienda (g)

Según los datos obtenidos en tabla 20 de las pruebas realizadas en el equipo pulverizador de anillos se reemplazó los datos de la siguiente manera.

$$A = 50,00g$$

$$B = 44,73g \text{ (promedio de las pruebas más eficientes de la tabla 20)}$$

$$C = 5,05g \text{ (promedio de las pruebas más eficientes de la tabla 20)}$$

Conocidos estos valores podemos determinar el porcentaje de mineral que ha sido procesado con el equipo pulverizador empleado, mediante la siguiente ecuación:

$$em = \frac{B}{A + C}$$

Donde:

em = Eficiencia del proceso de molienda.

$$em = \frac{44,73g}{50,00g + 5,05g}$$

$$em = 0.8126 = 81,26\%$$

4.3.2 Para mineral sulfurado

Considerando el punto 3.8 calculamos la eficiencia del proceso de molienda para el pulverizador de anillos con la ecuación siguiente:

$$A = B + C$$

Donde:

A = Masa de mineral que entra al sistema de molienda (g)

B = Masa de mineral que sale del sistema de molienda (g)

C = Masa de mineral que se retiene en el sistema de molienda (g)

Según los datos obtenidos en tabla 20 de las pruebas realizadas en el equipo pulverizador de anillos se reemplazó los datos de la siguiente manera.

$$A = 50,00g$$

$$B = 47,94g \text{ (promedio de las pruebas más eficientes de la tabla 20)}$$

$$C = 1,93g \text{ (promedio de las pruebas más eficientes de la tabla 20)}$$

Conocidos estos valores podemos determinar el porcentaje de mineral que ha sido procesado con el equipo pulverizador empleado, mediante la siguiente ecuación:

$$em = \frac{B}{A + C}$$

Donde:

em = Eficiencia del proceso de molienda.

$$em = \frac{47,94g}{50,00g + 1,93g}$$

$$em = 0.9230 = 92,30\%$$

4.4 CALCULO ENERGETICO

Para la operación del equipo pulverizador de anillos los balances energéticos se pueden expresar de la siguiente manera:

4.4.1 Calculo teórico para la necesidad energética del equipo pulverizador de anillos

Según el principio de conminución de Kick (ecuación 11), se realizan los cálculos para determinar la elección del motor que genera oscilaciones en el equipo pulverizador de anillos.

$$E_k = K_k * \ln\left(\frac{df}{dp}\right)$$

Donde:

$E_k = 3 \text{ HP} = 2,237.10 \text{ W}$ Consumo de energía superficial

$d_f=d_o$: 2,36 mm diámetro de abertura de la malla 8

$d_p=d_n$: 0,075 mm apertura de la malla 200.

Resolviendo:

$$E_k = K_k * \ln\left(\frac{df}{dp}\right)$$

$$K_k = \frac{E_k}{\ln\left(\frac{df}{dp}\right)}$$

$$K_k = \frac{2237,1W}{\ln\left(\frac{2,36mm}{0,075mm}\right)}$$

$$K_k = 648,64W$$

Y para reducir el tamaño de las partículas a las dimensiones requeridas se procede de la siguiente manera:

$d_f=d_o$: 2,36 mm diámetro de abertura de la malla 8

$d_p=d_n$: 0,076 mm (correspondiente a la desintegración fina)

$$E_k = K_k * \ln\left(\frac{df}{dp}\right)$$

$$E_k = 648.64 * \ln\left(\frac{2,36mm}{0,075mm}\right)$$

$$E_k = 2228,52 \text{ W} = 2,26 \text{ KW}$$

$$E_k = 2,99 \text{ HP} = 3 \text{ HP}$$

4.4.2 Cálculo de la energía realmente consumida en el equipo

Se emplean las siguientes relaciones:

$$P = V * I * \sqrt{3} * \cos \varphi$$

Donde:

Para la intensidad de corriente en línea de la potencia nominal

$$P = 3 \text{ HP} = 2237,10 \text{ W}$$

$$V = 220\text{V}$$

$$\cos \varphi = 0.84 \text{ (según anexo 04)}$$

Reemplazando en la ecuación 21

$$I = \frac{2237,10\text{W}}{1,73 * 220\text{V} * 0,84}$$

$$I = 6,99\text{A}$$

Corriente nominal consumida por el motor a plena carga en cada fase

Intensidad de corriente indicada.

$$I = 6,99 \text{ Amperios}$$

Para estipular la confiabilidad de los cálculos, se realizó una prueba que consistió en medir el amperaje consumido por el motor de 3 HP durante la duración de la operación de pulverizado, una vez realizadas las mediciones en intervalos de tiempo determinados y durante el arranque, se procedió a calcular la potencia eléctrica consumida. A partir de esta se pudo determinar la potencia mecánica teniendo en cuenta la eficiencia del motor.

A continuación, se expone una tabla con los resultados obtenidos durante la prueba.

Tabla 32 Registro de amperaje realmente suministrado

Datos tomados en el arranque			Datos tomados en Régimen		
Prueba	Voltaje (V)	intensidad de Corriente (A)	Tiempo	voltaje	intensidad de Corriente (A)
1	220	9.75	3	220	6.10
2	220	9.74	5	220	6.09
3	220	9.76	3	220	6.11
4	220	9.72	5	220	6.07
5	220	9.74	3	220	6.09
6	220	9.73	5	220	6.08
7	220	9.74	3	220	6.09
8	220	9.74	5	220	6.09

Los valores se promediaron y se obtuvieron los siguientes resultados

Voltaje: 220

Corriente de línea: 9,74Amp (al arranque)

Corriente en línea: 6,09Amp (en régimen)

$\cos \varphi = 0,84$

Al arranque

$$P = V * I * \sqrt{3} * \cos \varphi$$

$$P = 220v * 9,74A * \sqrt{3} * 0,84$$

$$P = 3117,60W = 4,18HP$$

En régimen

$$P = V * I * \sqrt{3} * \cos\phi$$

$$P = 220v * 6,09 * \sqrt{3} * 0.84$$

$$P = 1947,31W = 2.61HP$$

4.4.3 Cálculo de consumo total de energía (w)

Calculando el consumo de energía (Kw-hr/Tc) para cada muestra se consideró:

$$W = \frac{P}{T}$$

Tabla 33 Consumo de energía por tonelada

Numero de prueba	Medida de Malla	B cantidad de muestra gramos	B cantidad de muestra Toneladas	C tiempo de molienda minutos	C tiempo de molienda horas	W consumo de energía (kW-hr/Tn)
1	12	200	2.00E-04	3	0.05	491.70
2	12	200	2.00E-04	5	0.08	819.50
3	12	250	2.50E-04	3	0.05	393.36
4	12	250	2.50E-04	5	0.08	655.60
5	10	225	2.25E-04	4	0.07	582.76
6	10	225	2.25E-04	4	0.07	582.76
7	10	225	2.25E-04	4	0.07	582.76
8	8	200	2.00E-04	3	0.05	491.70
9	8	200	2.00E-04	5	0.08	819.50
10	8	250	2.50E-04	3	0.05	393.36
11	8	250	2.50E-04	5	0.08	655.60
SUB TOTAL			2.48E-03	44	0.73	582.76
TOTAL			4.95E-03	88	1.47	1165.52

El total de energía consumida es de 1165.52 kW-h que es el consumo de energía eléctrica que se ha comprobado en la operación de pulverizado se considera en condiciones nominales

Tabla 34 Costo total de energía

DETALLE DE CONSUMO (PUNO ELECTRO S.A.A.)		energía real consumida kW-hr	
costo de energía kW-h	S/.0.43	S/.0.62	
costo de interés moratorio	S/.0.02	S/.0.02	
ley 28749 Electrificación rural	S/.0.48	S/.0.48	
IGV 18%		S/.0.71	
COSTO TOTAL DE ENERGIA		S/.1.84	
Tiempo de operación (minutos)	Número de operaciones	Total Energía consumida=kW-h	Total de energía utilizada S/
88	22	2.88	S/.5.30

COSTO DEL EQUIPO.

- **RECURSOS HUMANOS**

Bach. CARMEN N. MARÓN MAMANI

Bach. EDSON JAVIER SONCO

Bach. ROY WILMER LUQUE MACHACA

Bach. MARCO ERIK LOPEZ CANCHARI

• COSTO DE LOS RECURSOS MATERIALES

DESCRIPCION	CANT.	UNID.	PRECIO U.(\$)	TOTAL U.S(\$)
EQUIPO PULVERIZADOR	1	Und.	5782,00	5782,00
TAMICES	2	Und.	250,00	500,00
CUARTEADOR JONES	1	Und.	150,00	450,00
Materia prima				400,00
INSUMOS QUIMICOS, MATERIAL DE LABORATORIO Y OTROS				
Recipientes	12	Und.	2,00	24,00
Brocha	1	Und.	4,00	4,00
Costo de análisis	Varios			300,00
			Sub Total	528,00

TEXTOS, REVISTAS Y ARTICULOS DE ESCRITORIO				
Libros	Varios	Und.	8	50,00
Revistas y otros	Varios	Und.	3	6,00
Papel Bond (75g)	1	Millar	10	10,00
Papel Bulky	2	Millar	8	16,00
Impresión y Anillado	Varios			100,00
Empastado de ejemplares	Varios	Und.		40,00
			SUB TOTAL	222,00

GASTOS VARIOS				
Pasajes para viajes	varios			1000,00
Transporte del equipo				250,00
SUB TOTAL				1250,00
TOTAL \$.				8932,00
INPREVISTOS 10%				893.20
COSTO DEL PROYECTO \$.				9825.20

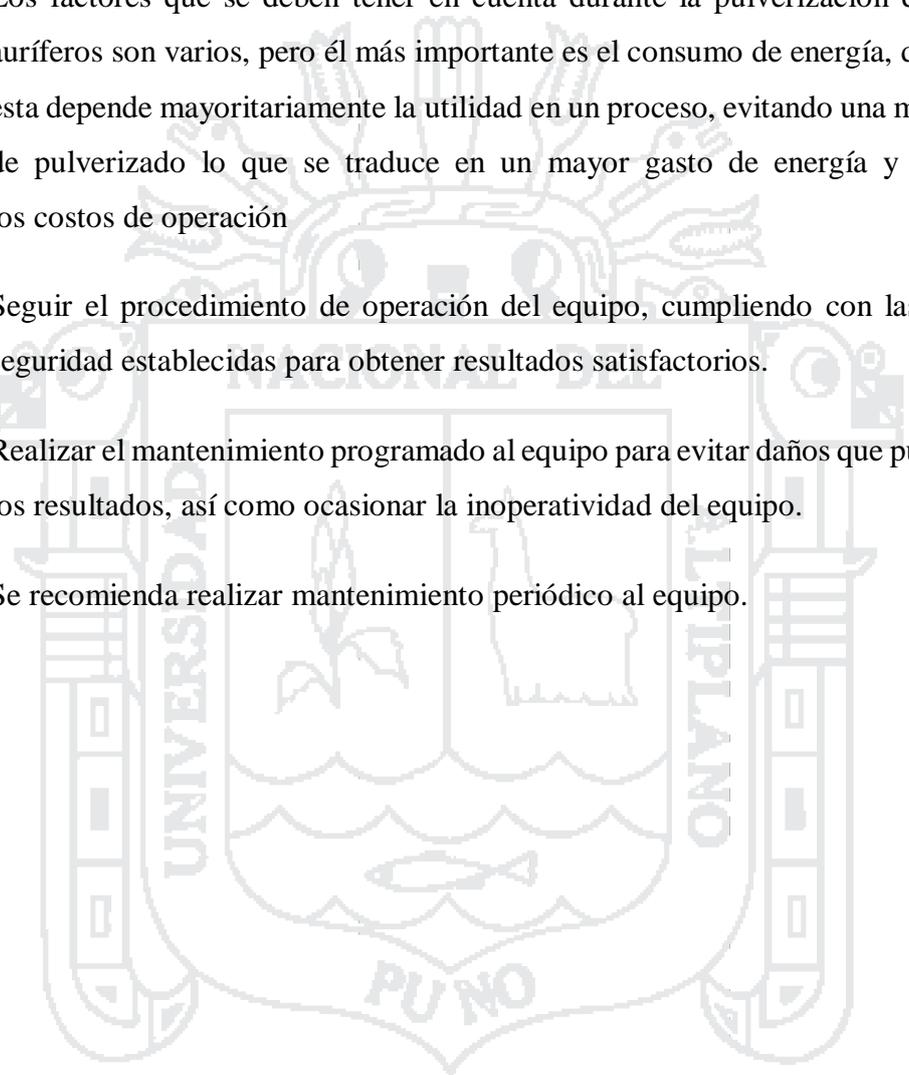
FINANCIAMIENTO: Aporte propio. Tipo de cambio de \$ 3.15

CONCLUSIONES

- Con la Instalación y evaluación del pulverizador de anillos para la preparación mecánica de minerales auríferos en el proceso de análisis de control de calidad, se obtienen resultados satisfactorios pulverizados a malla 140.
- Mediante las pruebas de pulverizado se pudo determinar los parámetros de operación, tamaño de partícula en la alimentación de nivel 1 (malla N°12, apertura de 1,7mm), cantidad de muestra de 200g y tiempo de pulverizado de 5 minutos, obteniendo como resultado un 97,08% pasante de la malla 140 para minerales de óxidos. Y para los minerales sulfurados los parámetros de operación son los mismos que para los óxidos, el porcentaje de material pasante fue del 98,20% , resultado que cumplen con los requerimientos de laboratorio los cuales deben ser mayor al 90% y que cumplen a la malla 140.
- La eficiencia de molienda del equipo pulverizador se determinó en base a resultados de los análisis granulométricos los cuales corresponden a los resultados de 81,26% para los minerales de óxidos y del 92,30% para los minerales sulfurados.
- Para la obtención de La energía requerida se usó el postulado de conminución de Kick, obteniéndose un valor de 2,99 HP de potencia para una conminución satisfactoria, para determinar el consumo energético real del equipo se registró el amperaje realmente suministrado al motor. Tanto en el arranque como en régimen obteniéndose 4,18 HP y 2,61 HP respectivamente lo que indica que el dimensionamiento de motor está por encima de requerimiento óptimo del equipo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar trabajos de pulverizado con otro tipo de materiales diferentes a los minerales auríferos óxidos y sulfurados.
- Los factores que se deben tener en cuenta durante la pulverización de minerales auríferos son varios, pero el más importante es el consumo de energía, del ahorro de esta depende mayoritariamente la utilidad en un proceso, evitando una mayor tiempo de pulverizado lo que se traduce en un mayor gasto de energía y aumento en los costos de operación
- Seguir el procedimiento de operación del equipo, cumpliendo con las normas de seguridad establecidas para obtener resultados satisfactorios.
- Realizar el mantenimiento programado al equipo para evitar daños que puedan alterar los resultados, así como ocasionar la inoperatividad del equipo.
- Se recomienda realizar mantenimiento periódico al equipo.



BÍBLIOGRAFIA

Buscarons, Francisco; Capitán, Fermin; Capitan, Luis. (2005). “*Análisis Inorgánico Cualitativo Sistemático*”. Reimpresión. Editorial Reverte. España.

Chura, Luz marina; Inca, Nancy; Quispe, Jonny. (2011).”*instalación y evaluación de un molino para minerales de cuarzo aurífero*” TESIS. Universidad nacional del altiplano Puno - Puno.

Carcamo. H. (2003) “Operaciones Mecánicas” *Apuntes para ingeniería metalúrgica*. Universidad católica del norte. Antofagasta – Chile.

Cornelis, Hurlbut Cornelius S. Klein, (1996). “*Manual de Mineralogía*” Editorial Reverte. Reimpresión, Cuarta Edición. Barcelona - España.

D. Carcausto. (2007)” *Química analítica y el análisis de minerales*” Arequipa , Perú.

Durand, O. Innovciones “*Tecnológicas en Minería y Metalurgia*”. Minería Chilena.

Garriz, A; Chamizo J.A. (1998) “*Química*”. Primera reimpresión. Industrial Atoto México.

Guayllas, Fernando; Montero, Vicente. (2012). “ *diseño y construcción de un molino de martillos con Tamiz intercambiable, para pulverizar yeso crudo*” TESIS. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo – Ecuador.

Herrera D,F; Grueso J.M; Jaramillo H.E; de Sánchez N.A; Sánchez H. (2005). “*Proceso de diseño de un molino vibro-planetario para la producción de materiales compuestos*”. TESIS. Escuela de Materiales Universidad del Valle. Colombia.

J.M Coulson; J.F Richardson; J.R. Backhurst; J.H. Harker. (2003). “*Ingeniería Química Operaciones Básicas tomo II*”. Reimpresión. Editorial Reverte S.A. Sevilla – España.

James Dana. (1992).”*Manual De Mineralogía de Dana*” 19 th Edición. Editorial Reverte. España.

Kelly, R.G; Spottiswood, D.J. *Introduction to Minerals Processing*, John Wiley & Sons, USA, 1982, 491 p.

Labahn, Kohlhaas (1985). “*Prontuario del cemento*” Quinta Edición Española. Editorial Reverte S.A. Barcelona - España .

Magne, L. et al. (2000). *Operación de Plantas de Molienda SAG : Una Dura Realidad. III Simposio Internacional de Mineralurgia*, TECSUP, Lima.

Minera goldfields la cima s.a “ *muestreo y caracterización de mineral*

Misari Fidel. (1993) “ *Metalurgia del oro*” Centros de estudios promoción y centro de la tierra CEPETEC. Lima – Perú.

Mc Cabe/Smith, *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, 4a ed., Madrid-España, Mc Graw Hill/Interamericana - España.

Nicolini. J. “*Tablas y Abacos para resolución de problemas*” Univeridad de Buenos Aires, facultad de ingeniería. Buenos Aires – Argentina.

Pardavé, Walter. (2006). “*Reciclado Industrial de Metales una Aproximación*”. Primera edición. Editorial Ecoe. Bogotá – Colombia.

Pimentel, Nelly (2010). “*El Oro y el BCV Diversidad Económica y Armonia Ambiental*” Revista – Venezuela

Portocarrero, Nilton ; Pastor, Carmen .(2010). “*Diseño, Construcción Y Determinación De Los Parámetros De Operación De Un Molino De Bolas Para El Laboratorio Metalurgico De La Escuela Profesional De Ingenieria Química*”. TESIS. Arequipa – Perú.

Pozo, Manuel; Carretero, Isabel. (2008) *Mineralogía Aplicada Salud y Medio Ambiente*”, España.

Quiroz Nuñez, Ivan (1986). “*Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales*”, Lima Grafias S.A – Peru.

TantaleanVanini G. (1972) “*Metalurgia General IP*” Lima – Perú

TECSUP “*Mineralogía y Muestreo de Minerales Auríferos*” sistema interactivo de educación a distancia.



GUIA DE OPERACIÓN DEL PULVERIZADOR DE ANILLOS

Antes de comenzar a encender y operar el equipo se debe leer las siguientes instrucciones:

1.- Instalación del Equipo.

Previo al funcionamiento del equipo, es necesario verificar que el equipo pulverizador este fijo, sobre el sitio donde va a trabajar, para ello el equipo cuenta con una base agujereada para colocar pernos de seguridad, los cuales permitirán que el equipo se fije al suelo y no se desplace de un lugar a otro cuando esté en funcionamiento, esto debido a las vibraciones que produce el equipo.

Asi también se verificara que el área de trabajo se encuentre despejado y ordenado y cumpla las condiciones para poder realizar una operación de pulverizado.

El equipo deberá conectarse a una fuente de energía alterna, seguido estos pasos el molino ya estará en condiciones de trabajar en un lugar estable y adecuado.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento normal de operación del pulverizador es como sigue:

- Antes de iniciar a preparar una muestra, se debe verificar las condiciones del área de trabajo, en caso de encontrar una condición sub estándar comunicar al encargado.
- Así mismo deben revisar el estado de los equipos y accesorios dejados por una operación o preparación anterior.
- Antes de iniciar con el trabajo de operar y preparar la muestra, se debe colocarse su equipo completo de protección personal (EPP) específico para este área.
- En caso de tener dificultades para iniciar la operación, solicitar apoyo al encargado o persona capacitada.
- Todas las personas que ingresan al área de preparación de muestras deberán hacerlo con el equipo de protección personal indicado en la parte II de la presente guía.

- Previo al arranque del equipo se verificara que el contenedor este limpio al igual que los anillos y la masa central

- se coloca 200 g de mineral o muestra seca, con una granulometría de alimentación o inicial menor a la malla 12 en el contenedor o set de molienda, verificando que la tapa se encuentre encajada firmemente y no permita la salida del producto.
- Luego se colocara el set de molienda sobre la campana del set de molienda de tal manera que se encuentre perfectamente unido al sistema generatriz y a la estructura, seguidamente se asegurara el set de molienda al cuerpo vibratorio girando el timón en sentido de las agujas del reloj lo que nos permite asegurar y ajustar el set de molienda.
- Seguidamente se cierra la cubierta.
- El equipo deberá ser encendido del panel de control presionando el botón verde de encendido del equipo, controlando el tiempo.
- Para obtener un pulverizado que pase el 90% de la malla 140 se trabajara con un tiempo de 5 minutos, pasado este tiempo se procederá a apagar el equipo desde el panel de control presionando el botón rojo. interruptor de seguridad.
- Después de apagado el equipo se retira el set de molienda, desajustando el timón del seguro, girando en sentido contrario a las agujas del reloj.
- Seguidamente la muestra ya pulverizada con ayuda de una brocha se vacía sobre una lona, de hule de 40 cm * 40 cm, se homogeniza y se conserva para su respectivo análisis químico.
- Asi también después de cada operación de pulverizado se procede a limpiar la olla o set de pulverizado con aire comprimido hasta que quede completamente limpio. En caso que el material se adhiera a las paredes del set de pulverizado, lavar con arena o material no contaminante, para ello seguir el procedimiento de operación de pulverizado, solo que en este caso colocar unos 100 g de arena seca y pulverizar por espacio de 2 min. Limpiar nuevamente con aire comprimido y continuar con las demás muestras.

RESTRICCIONES

- No operar sino cuenta con los equipos de protección personal indicados en la parte 2 del presente PETS.
- No operar si el equipo presenta fallas.
- No operar con la tapa del pulverizador levantada.
- No operar en caso de tormentas eléctricas.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Ropa de trabajo (mameluco con cintas reflexivas)
- Zapatos de cuero con punta de acero
- Casco tipo jockey
- Respirador media cara, con filtros para polvo,
- Mandil de cuero.
- Guantes de nitrilo (Solvex) y/o guantes de Badana.
- Tapones de oído y/o protector auricular.
- Lentes de seguridad de lunas claras.

EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

- 3.1 Pulverizador de anillos.
- 3.2 Olla de pulverizado.
- 3.3 Bandejas de acero.
- 3.4 Pistola de aire comprimido.
- 3.5 Sobres manila tipo Pago.
- 3.6 Brocha de 4”.
- 3.7 Lona plastificada de 40 x 40 cm.

- este tiempo se procederá a apagar el equipo desde el interruptor de seguridad.

ANEXO 02**MANTENIMIENTO DEL EQUIPO PULVERIZADOR DE ANILLOS**

Previo al funcionamiento del equipo es necesario fijar el molino sobre el sitio donde va a trabajar, para ello el equipo cuenta con una base agujereada para colocar pernos de seguridad, los cuales permitirán que el equipo se fije al suelo y no se desplace de un lugar a otro cuando esté en funcionamiento, esto debido a las vibraciones que produce el equipo.

Se verificara que la parte interna del equipo se encuentre despejada.

El equipo deberá conectarse a una fuente de energía alterna, seguido estos pasos el molino ya estará en condiciones de trabajar en un lugar estable.

Un mantenimiento correcto va a permitir que el molino funcione correctamente y que se extienda la vida de operación del mismo. Las precauciones son las siguientes:

1. Previo al arranque del equipo se verificara que el contenedor este limpio al igual que los anillos y la masa central.
2. luego se coloca el mineral a pulverizar en el contenedor u olla de pulverizado.
3. Luego se colocara la tapa del contenedor y se asegurara.
4. El equipo deberá ser encendido del interruptor de seguridad.
5. Para obtener un pulverizado que pase el 90% de la malla 140 se trabajara con un tiempo de 5 minutos, pasado este tiempo se procederá a apagar el equipo desde el interruptor de seguridad.
6. Algunas piezas que se gastan rápido, como la transmisión achatada en los polos y el engranaje articulado, son hechas de acero de alta calidad que ha tenido un tratamiento al calor. Por lo tanto, son piezas muy fuertes y duras. Una vez que ya están gastadas, remueva el rotador y cambie por una pieza nueva.
7. Algunas piezas que se gastan rápido, como la transmisión achatada en los polos y el engranaje articulado, son hechas de acero de alta calidad que ha tenido un tratamiento al calor. Por lo tanto, son piezas muy fuertes y duras. Una vez que ya están gastadas, remueva el rotador y cambie por una pieza nueva.
8. El lubricante usado para el engrase del equipo es grasa de jabón de sodio.
9. Antes de reemplazar los soportes gastados o dañados remueva primero el rotador, luego la polea, las tapas de los extremos interno o externo y el eje principal.

ANEXO 03

ACEROS AL CROMO-MOLIBDENO (acero 41xx)

Es una familia de aceros microaleados (o en inglés, *high-strength low-alloy (HSLA) steel*) de alta resistencia y de baja aleación, según lo especificado por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE Internacional). Sus elementos aleación incluyen el **chromio** y **molibdeno**, (Cr [0.40-1.20 %], Mo [0.08-0.25 %])¹ y como resultado de estos materiales se refiere a menudo como acero **CRMO** o **Chromoly** (CrMo o CroMo). Tienen una fuerza excelente al cociente de peso, son fáciles de soldar y son considerablemente más fuerte y más duro que el estándar 1020 de acero. No es tan ligero como una aleación de aluminio, pero tiene la ventaja de una alta resistencia a la tracción y alta ductilidad.

Características**Aceros aleados 41xx:****4130²**

- Es un acero con buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad hasta temperaturas de más o menos 400 °C.
- Tiene una elevada resistencia al deslizamiento en caliente y no presenta fragilidad de revenido. Por lo general se hace a una velocidad de avance de 0.3 m/min.
- Se utiliza para producir aviones ultraligeros, cuadros de bicicletas y barras de seguridad para autos de carrera.

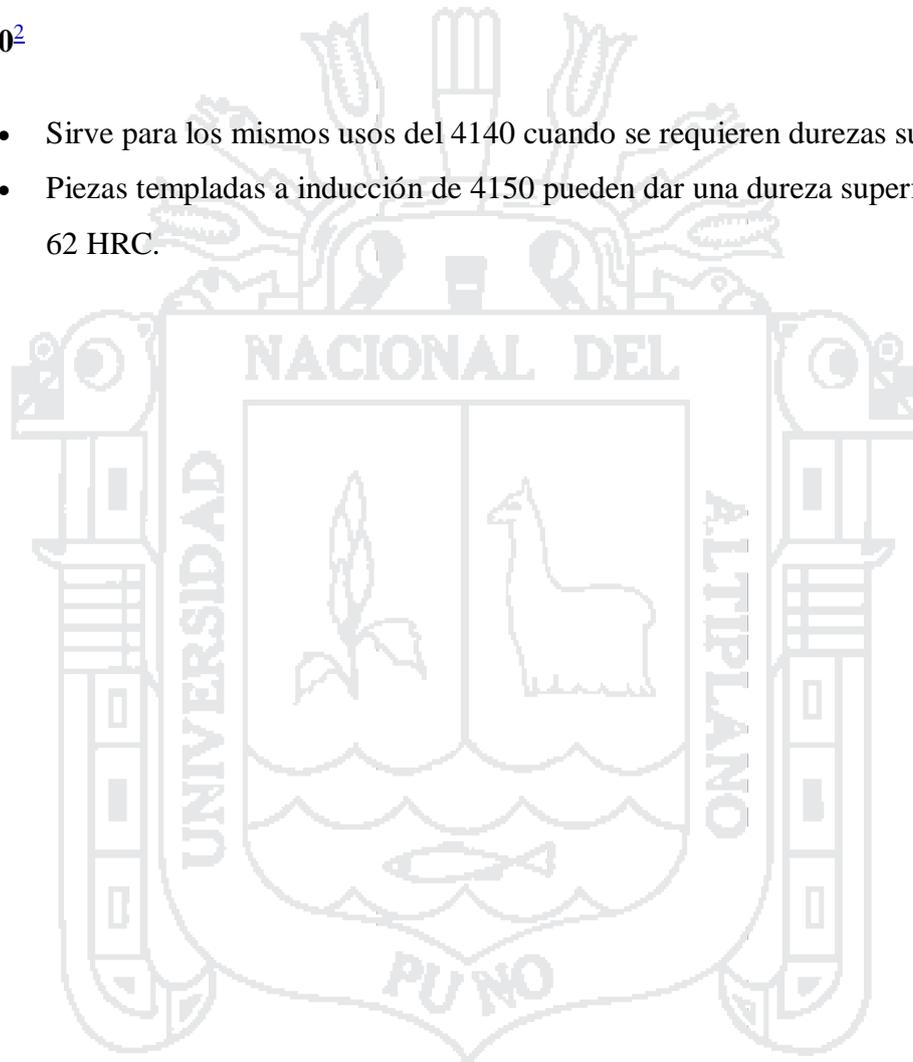
4140²

- Es un acero de buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad en caliente hasta 400 °C.
- Sin fragilidad de revenido, muy versátil y apto para esfuerzos de fatiga y torsión.
- Piezas templadas a inducción pueden dar una dureza de 57-69 Rockwell C.
- Tiene amplia aplicación en construcción de vehículos por ejemplo para cigüeñales, ejes de cardán, bielas, pernos, ejes de contramarcha, ejes de bombas y engranajes.

- Muy utilizado en piezas forjadas como herramientas, llaves de mano, destornilladores, etc.
- Se usa también para espárragos y tornillos de la construcción de plantas que trabajen a temperatura entre 150 °C y 300 °C, como calderas, turbinas de vapor, plantas químicas, etc.

4150²

- Sirve para los mismos usos del 4140 cuando se requieren durezas superiores.
- Piezas templadas a inducción de 4150 pueden dar una dureza superficial de 60-62 HRC.



ANEXO 04

DATOS PARA MOTORES ELECTRICOS

2

40

Potencia, rendimiento, factor de potencia e intensidad para motores de corriente alterna y continua a diferentes tensiones.

INTENSIDADES ABSORBIDAS POR MOTORES DE C. ALTERNA Y C. CONTINUA

Potencia útil CV	KW	Rendimiento η	cos φ	c.a. trifásica a 50 Hz			c.a. bi-fásica 220 V	c.a. monofásica		corriente continua			
				220 V	380 V	500 V		110 V	220 V	110 V	220 V	440 V	500 V
0,5	0,37	0,74	0,75	1,74	1,10	0,77	1,51	6,02	3,01	4,52	2,26	1,13	1,00
0,75	0,55	0,76	0,77	2,48	1,44	1,09	2,15	8,57	4,29	6,60	3,30	1,65	1,46
1	0,74	0,78	0,80	3,10	1,79	1,37	2,58	10,8	5,38	8,58	4,29	2,15	1,89
1,5	1,10	0,79	0,82	4,47	2,59	1,97	3,87	15,5	7,75	12,7	6,35	3,18	2,80
2	1,47	0,81	0,83	5,74	3,32	2,53	4,97	19,9	9,95	16,5	8,25	4,13	3,64
2,5	1,84	0,81	0,83	7,17	4,15	3,16	6,23	24,9	12,5	20,7	10,4	5,16	4,56
3	2,21	0,82	0,84	8,52	4,93	3,75	7,38	29,8	14,8	24,5	12,3	6,13	5,40
4	2,95	0,83	0,85	11,1	6,40	4,89	9,60	38,4	19,2	32,3	16,2	8,16	7,10
5	3,88	0,85	0,87	13,4	7,80	5,90	11,8	46,3	23,2	39,4	19,7	9,84	8,68
6	4,42	0,86	0,87	15,5	9,00	6,90	13,4	53,7	26,9	46,7	23,4	11,7	10,3
7	5,15	0,88	0,87	18,2	10,5	8,00	15,7	62,6	31,4	54,5	27,3	13,7	12,0
8	5,89	0,87	0,87	20,4	11,8	9,00	17,7	70,7	35,4	61,5	30,8	15,4	13,8
9	6,82	0,87	0,87	23,0	13,3	10,1	19,9	79,8	39,8	69,2	34,6	17,3	15,3
10	7,40	0,87	0,88	25,3	14,8	11,1	21,8	87,4	43,7	76,5	38,4	19,2	17,0
11	8,10	0,87	0,88	27,8	16,1	12,3	24,1	96,0	48,0	84,5	42,3	21,2	18,6
12	8,83	0,87	0,88	30,3	17,5	13,3	26,2	105	52,5	92,0	46,0	23,0	20,4
13	9,57	0,87	0,88	32,8	18,5	14,5	28,4	114	56,8	100	50,0	25,0	22,0
14	10,3	0,87	0,88	36,4	20,5	15,6	30,8	122	61,1	108	53,8	26,9	23,8
15	11,0	0,88	0,88	37,4	21,7	16,5	32,8	130	64,8	114	57,0	28,5	25,2
16	11,8	0,88	0,88	40,0	23,2	17,8	35,0	138	69,0	124	61,8	30,4	26,8
17	12,5	0,88	0,88	42,5	24,5	18,7	37,2	147	73,4	130	64,6	32,3	28,4
18	13,2	0,88	0,89	44,5	25,8	19,8	38,4	154	76,9	137	68,5	34,2	30,2
19	14,0	0,88	0,89	46,9	27,2	20,7	40,8	162	81,0	145	72,2	36,1	31,8
20	14,7	0,88	0,89	49,4	28,6	21,8	42,7	170	85,0	152	76,0	38,0	33,6
21	15,5	0,89	0,89	51,2	29,7	22,8	44,4	178	88,7	158	79	39,5	34,8
22	16,2	0,89	0,89	53,6	31,1	23,8	46,5	186	93,0	166	82,7	41,4	36,4
23	16,9	0,89	0,89	56,1	32,5	24,7	48,5	195	97,2	173	86,4	43,2	38,0
24	17,7	0,89	0,89	58,5	33,9	25,8	50,7	203	102	181	90,2	45,1	39,8
25	18,4	0,89	0,89	61,0	35,3	26,9	52,7	212	108	188	94,0	47,0	41,4
30	22,1	0,89	0,90	72,4	41,9	31,8	62,7	251	126	226	113	56,4	49,6
40	29,5	0,89	0,90	96,8	55,9	42,5	83,6	334	167	300	150	75,1	66,2
50	36,8	0,90	0,91	118	68,3	52,0	102	408	204	372	186	93,0	81,8
60	44,2	0,91	0,92	139	80,2	61,0	120	480	240	441	221	111	97,0
70	51,5	0,91	0,92	162	93,5	71,0	140	560	280	515	258	129	114
80	58,9	0,91	0,92	184	107	81,1	160	640	320	588	294	147	130
90	66,2	0,91	0,92	208	120	91,2	180	719	360	662	331	166	146
100	73,6	0,92	0,93	226	131	99,3	196	782	391	727	364	182	160
125	92	0,93	0,93	279	162	123	242	967	484	900	450	225	198
150	110	0,93	0,93	335	194	148	290	1160	580	1080	540	270	238
200	147	0,93	0,93	448	259	197	387	1545	773	1440	720	360	317

Relación entre polaridad y velocidad para motores III a 50 Hz y 60 Hz.

2 p	p	40 Hz	50 Hz	60 Hz
2	1	2.400	3.000	3.600
4	2	1.200	1.500	1.800
6	3	800	1.000	1.200
8	4	600	750	900
10	5	480	600	720
12	6	400	500	600
14	7	342	425	514
16	8	300	375	425
18	9	266	322	400
20	10	240	300	360

$$n = \frac{60 \cdot F}{p}$$

n – número de r.p.m.

F – frecuencia en Hz

p – pares de polos del motor (*)

(*) Un par de polos está formado por:

2 polos (1 N + 1S), por lo que:

$$p = 2 \text{ polos}$$

ANEXO 05



EQUIVALENCIA INTERNACIONAL DE TAMICES

INTERNACIONAL ISO 565 (TLB2):1983	EE.UU. ASTM E 11-87	TYLER Standard screen 1910	BRITANICO BS 410: 1986
Apertura Nomina milímetros/micrones	Equivalente Malla N°	Equivalente Malla N°	Equivalente Malla N°
8,00	-	2 1/2	-
6,70	-	3	-
6,30	3	-	-
5,60	3 1/2	3 1/2	3
4,75	4	4	3 1/2
4,00	5	5	4
3,35	6	6	5
2,80	7	7	6
2,36	8	8	7
2,00	10	9	8
1,70	12	10	10
1,40	14	12	12
1,18	16	14	14
1,00	18	16	16
850 µm	20	20	18
710	25	24	22
600	30	28	25
500	35	32	30
425	40	35	36
355	45	42	44
300	50	48	52
250	60	60	60
212	70	65	72
180	80	80	85
150	100	100	100
125	120	115	120
106	140	150	150
90	170	170	170

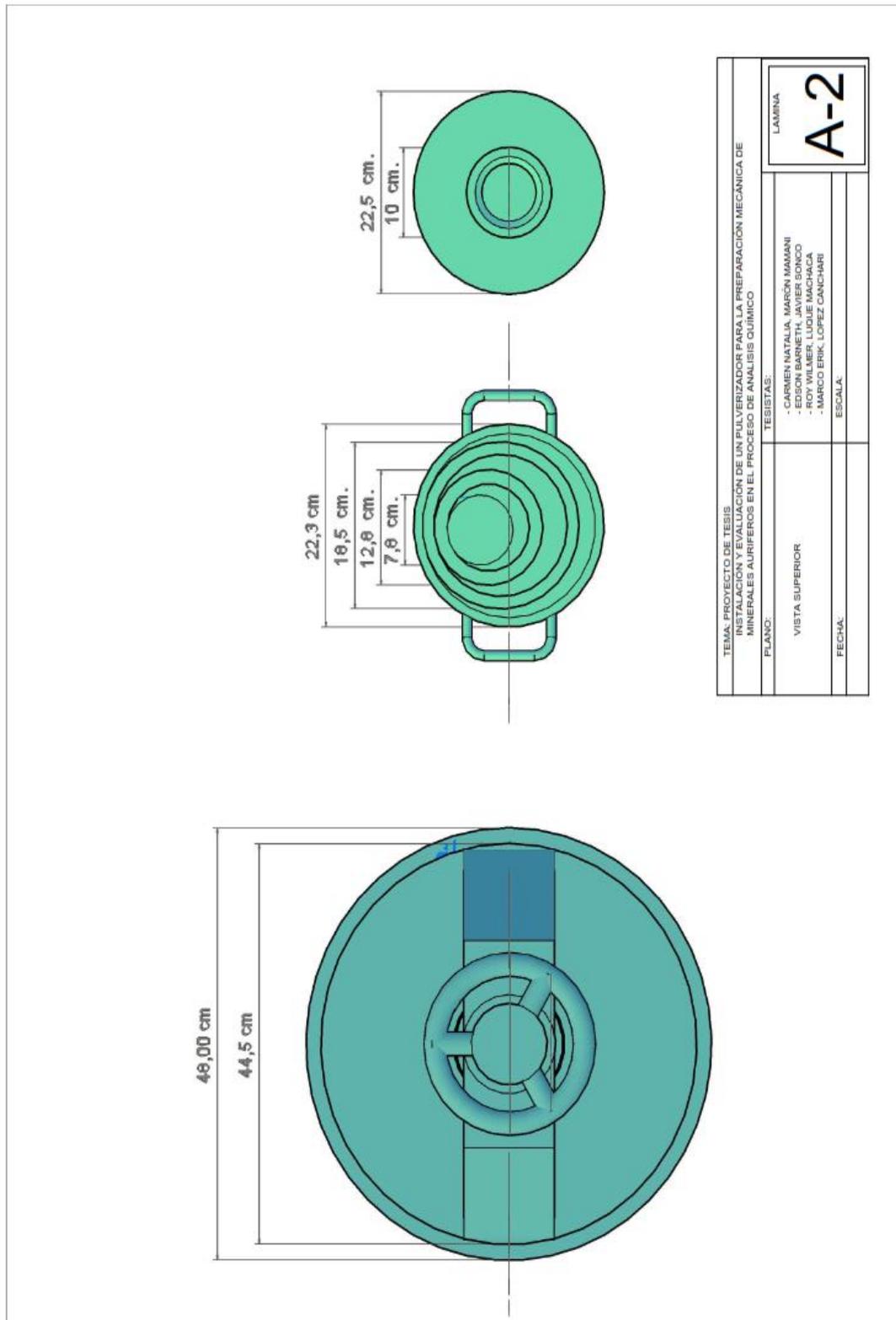
INTERNACIONAL ISO 565 (TLB2):1983	EE.UU. ASTM E 11-87	TYLER Satndard screen 1910	BRITANICO BS 410: 1986
Apertura Nomina milímetros/micrones	Equivalente Malla N°	Equivalente Malla N°	Equivalente Malla N°
75	200	200	200
63	230	250	240
53	270	270	300
45	325	325	350
38	400	400	400
32	450	-	440
25	500	-	-
20	635	-	-

www.sabo.es - P.E. Abra Industrial Parcela 2.2.1 - 48500 Abanto y Ciervana
Telf.: (+34) 94 411 21 21 - Fax: (+34) 94 412 10 22
E-mail: javier.irizar@sabo.es



ANEXO 07

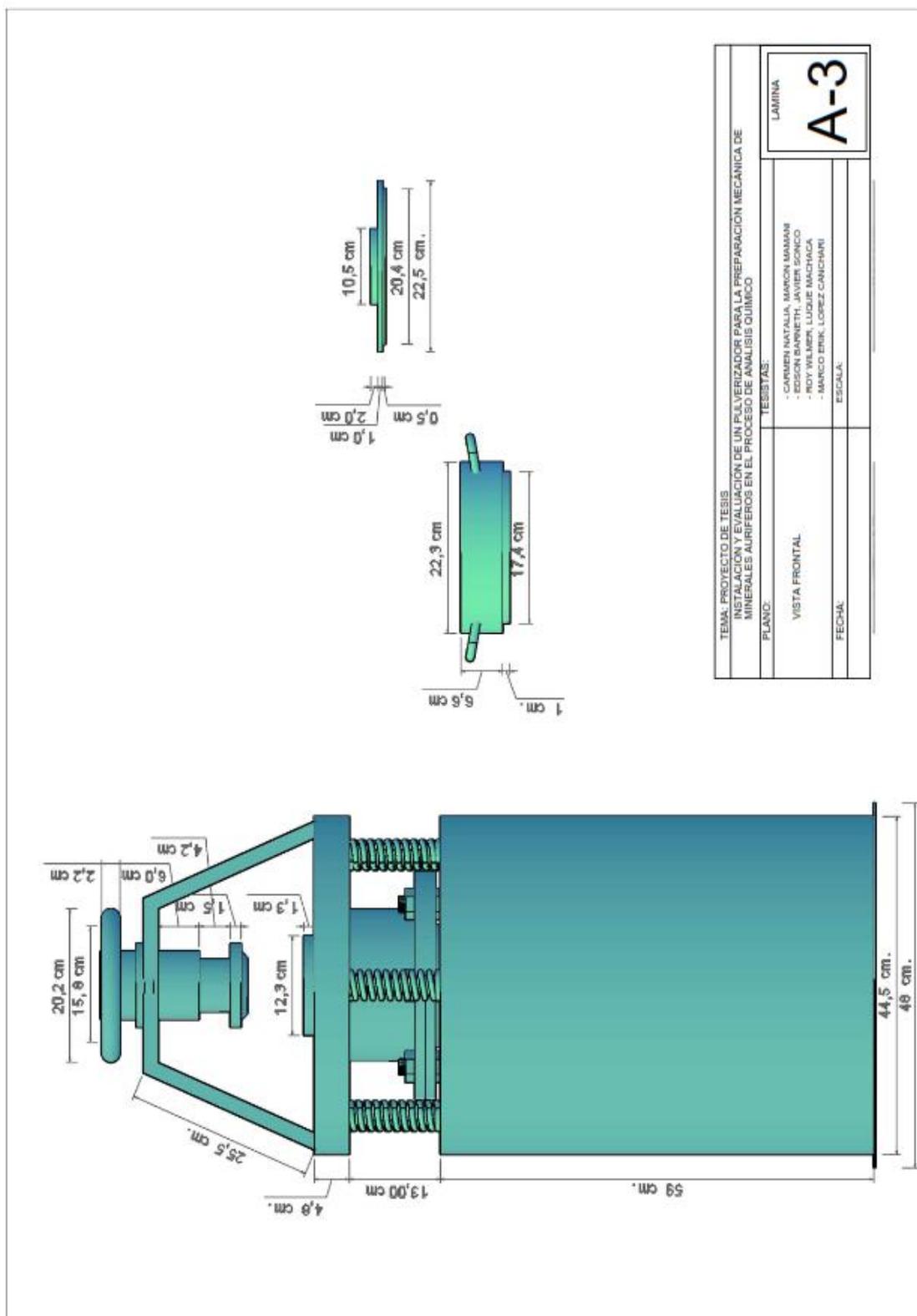
VISTA SUPERIOR DEL EQUIPO PULVERIZADOR



TEMA: PROYECTO DE TESIS INSTALACION Y EVALUACION DE UN PULVERIZADOR PARA LA PREPARACION MECANICA DE MINERALES AURIFEROS EN EL PROCESO DE ANALISIS QUIMICO		LAMINA
PLANO:	VISTA SUPERIOR	A-2
TESISTAS:		- CARMEN NATALIA, MARCON MAMANI - EDSON BARNETH, JAVIER SONCO - ROY WILBER, LUDIE MACHACA - MARCO ENRI, LOPEZ GARCIBARRI
FECHA:	ESCALA:	

ANEXO 08

VISTA FRONTAL DEL EQUIPO PULVERIZADOR



**ANEXO 09
VISTA ISOMTERICA DEL EQUIPO PULVERIZADOR**

TRITURADORES Y MOLINOS	COMENTARIOS
A. De mandíbulas o machacadoras	Los tipos comunes son el Blake y el Dodge; el primero para la producción sin atascamientos y el segundo para la baja producción, servicio intermitente y alta relación de reducción.
B. Giratorios	Sustituye a los de mandíbulas como trituradores o quebrantadores primarios. Sus tres tipos generales son: suspendido, soportado y uso fijo.
C. De conos	Este es un tipo triturador giratorio. Es el sucesor del triturador de discos.
D. De cubeta	Son variaciones de este tipo el molino con las ruedas o muelas verticales y con perseguidores o rascadores. Puede funcionar seco o húmedo.
E. De rodillo liso dentado	Rodillos lisos para materiales duros y blandos; rodillos dentados para materiales blandos. Hay rodillos dentados con disposición simple, doble y múltiple.
F. Rotatorios	Convenientes para trituración basta de materiales blandos.
G. Machacadores de martillos	Construcción robusta con placas rompedoras, fuertes martillos y descarga en parrillas de barras. Funciona a bajas velocidades.
H. De bolas: (De bolas, de guijarros o piedras, de cabillas o barras, de tubo o tubular, de compartimientos)	Longitud igual al diámetro con grandes bolas para la trituración. Longitud igual al diámetro para molienda intermitente. Los molinos de guijarros se emplean para evitar la contaminación por el hierro. Los molinos de cabillas producen un mínimo de "finos"; pueden funcionar con un material húmedo; varillas o cabillas en vez de bolas; la longitud es el doble del diámetro. Los molinos de bolas; de cabillas, de guijarros funcionan con un material húmedo o seco. Los de tubo y los de compartimientos son de longitud mayor que el doble de su diámetro.
I. De rodillos y anillo o corona: (de anillos vertical, de anillo horizontal)	Generalmente comprende clasificación por área o criba. Se adapta el secado mientras se muele. Pueden girar el anillo bien los rodillos se mantienen contra el anillos por la presión de resortes o por la fuerza centrífuga.
J. De martillos: (De martillos rígidos, de martillos oscilantes, de martillos en anillos, de jaula múltiple)	También se llaman molinos de choque. Los espacios libres entre las barras de la parrilla son menores que para la trituración o quebrantamiento y las velocidades son más altas a menudo tienen descarga por placa perforada o criba.
K. De discos. (De rueda o muela simple, de rueda doble, de piedras o muelas horizontales)	El de muela o rueda doble proporciona velocidades relativas más altas. También se le llama molino de frotamiento o de placas. El molino de muelas o de piedras horizontales queda dentro de esta categoría puede funcionar en seco o en húmedo. Los molinos de coloides pueden incluirse en esta clase.
L. De energía fluida (molinos de chorro)	No hay partes móviles en el molino. Los materiales sensibles al calor pueden pulverizarse con aire refrigerado. El vapor de agua es recalentado para evitar su condensación sobre el producto.

ANEXO 10

VISTA ISOMTERICO DEL EQUIPO PULVERIZADOR

	Dureza del Material	Tamaño				Relación de reducción	Tipo de equipo
		Límites para la alimentación		Límites para los productos			
		(mm)		(mm)			
		Max.	Min.	Max.	Min.		
Trituración:		1520	305	508	102	3 : 1	A, B, C
Primaria	Duro	508	102	127	25.4	4 : 1	A, B, C
		127	25.4	25.4	5	5 : 1	A, B, C, D, E
Secundaria	Duro	33	6.3	4.7	0.84	7 : 1	D, E, H, I
Molienda:	Blando	506	102	50.8	10	10 : 1	C, D, E, F, G
Pulverización:							
Gruesa	Duro	4.7	0.84	0.58	0.076	10 : 1	H, I
Fina	Duro	1.168	0.15	0.076	0.01	15 : 1	H, I, L
Desintegración:							
Gruesa	Blando	12.70	1.65	0.58	0.076	20 : 1	H, I, J, K
Fina	Blando	4	0.5	0.076	0.01	50 : 1	H, I, J, K, L

Fuente: Jhon H. Perry, 1978.

ANEXO 11

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	SISTEMA DE GESTION INTEGRADO DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE EN EL TRABAJO SGI-SSMAT	Código: SSMAT-PETS-LAB-005 Versión: 01 Página: 1 de 2
	AREA DE RESPONSABILIDAD	
INGENIERIA QUIMICA	INGENIERIA QUIMICA	
	PULVERIZADO DE MUESTRAS	

1. PERSONAL.**1.1. Preparador de Muestras.****2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

- 2.1. Ropa de trabajo (mameluco con cintas reflexivas)
- 2.2. Zapatos de cuero con punta de acero
- 2.3. Casco tipo jockey
- 2.4. Respirador media cara, con filtros para polvo, cartuchos para gases de mercurio.
- 2.5. Mandil de cuero.
- 2.6. Guantes de nitrilo (Solvex) y/o guantes de Badana.
- 2.7. Tapones de oído y/o protector auricular.
- 2.8. Lentes de seguridad de lunas claras.

3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

- 3.1. Pulverizador de anillos.
- 3.2. Olla de pulverizado.
- 3.3. Bandejas de acero.
- 3.4. Pistola de aire comprimido.
- 3.5. Sobres manila tipo Pago.
- 3.6. Brocha de 4".
- 3.7. Lona plastificada de 40 x 40 cm.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Antes de iniciar el preparador de muestras debe verificar las condiciones del área de trabajo, en caso de encontrar una condición sub estándar comunicar al encargado.
- 4.2. Así mismo deben revisar el estado de los equipos y accesorios dejados por el turno anterior.
- 4.3. Antes de iniciar su trabajo deben colocarse su equipo completo de protección personal.
- 4.4. En caso de tener dificultades para iniciar la etapa, solicitar apoyo al Jefe de Guardia para solucionar esta condición.
- 4.5. En caso de solicitud de apoyo por parte de otra área afín, solo personal ya capacitado por el área realizará la etapa de pulverizado.

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
ING.	ING.	ING.
FECHA DE ELABORACION		FECHA DE APROBACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO DE SEGURIDAD, SALUD Y MEDIO AMBIENTE EN EL TRABAJO SGI-SSMAT	Código: SSMAT-PETS-LAB-005 Versión: 01 Página: 2 de 2
	AREA DE RESPONSABILIDAD	
INGENIERIA QUIMICA	INGENIERIA QUIMICA	
	PULVERIZADO DE MUESTRAS	

4.6. En caso de ingreso de personal ajeno al área de trabajo, o cualquier otra ocurrencia comunicar inmediatamente al jefe de guardia encargado.

4.7. Todas las personas que ingresan al área de preparación de muestras deberán hacerlo con el equipo de protección personal indicado en la parte 2 del presente PETS.

5. RESTRICCIONES

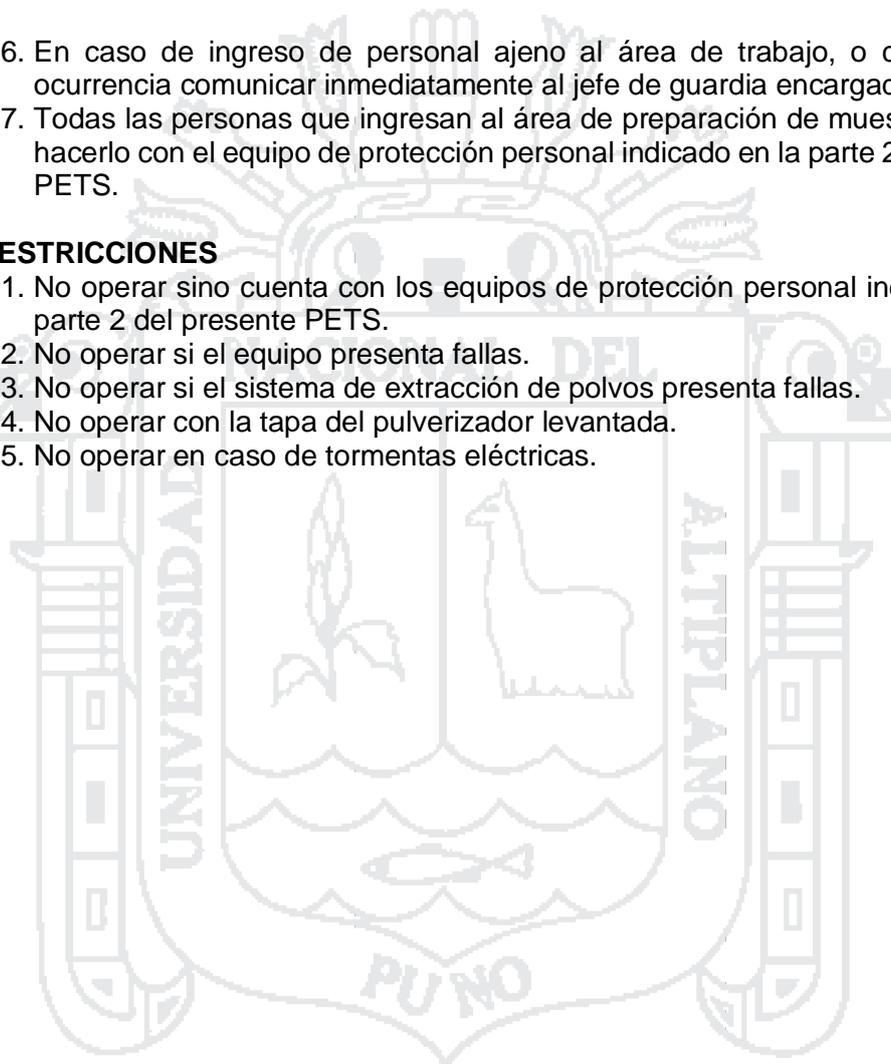
5.1. No operar sino cuenta con los equipos de protección personal indicados en la parte 2 del presente PETS.

5.2. No operar si el equipo presenta fallas.

5.3. No operar si el sistema de extracción de polvos presenta fallas.

5.4. No operar con la tapa del pulverizador levantada.

5.5. No operar en caso de tormentas eléctricas.



PREPARADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
ING.	ING.	ING.
FECHA DE ELABORACION		FECHA DE APROBACION