



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

SEDE VALLENAR

UNIVERSIDAD DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN RO-TAP EN EL
LABORATORIO QUÍMICO - METALÚRGICO DE LA SEDE
VALLENAR, UDA”**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Técnico Universitario en Metalurgia

Profesora Guía: Mg. Carolina Venegas Abarzúa

Escarlett Josefa Álvarez Peña

Evelyn del Carmen Barraza

Rojas Yordana Exabella Díaz

Godoy

Vallenar, Chile 2024

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO	9
1.1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	10
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.5. ANTECEDENTES	10
1.6. JUSTIFICACIÓN	11
1.7. ALCANCES.....	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA: UNIVERSIDAD DE ATACAMA.....	12
2.1.1 HISTORIA.....	12
2.1.2. MISIÓN	13
2.1.3. VISIÓN	14
2.1.4. SEDE VALLENAR	14
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.2.1 CONMINUCIÓN	15
2.2.1.1. TRITURACIÓN O CHANCADO	16
A. CHANCADOR DE MANDÍBULA.....	16
B. CHANCADOR GIRATORIO:	17
C. CHANCADOR DE RODILLO DE ACCIONAMIENTO:	17
D. CHANCADOR DE CONO	18
MOLINOS DE BOLAS:	19
MOLINOS DE BARRAS	20
2.2.2. MECANISMOS DE CONMINUCIÓN	21
COMPRESIÓN	21
IMPACTO:	22
CIZALLE	23
ABRASIÓN	23

2.2.3 CLASIFICACIÓN MINERAL.....	24
HARNERO DE BARRAS “GRIZZLY”	24
HARNEROS CURVA O SIEVE BEND.	25
HARNEROS ROTATORIOS “TROMMEL”	25
HARNEROS VIBRATORIOS PARRILLA “VIBRATORIA”	27
2.2.4. EQUIPOS DE CLASIFICACIÓN MECÁNICA RO-TAP.	27
2.2.5. MÉTODO DE REDUCCIÓN DE MUESTRA	27
EL CORTADOR RIFFLE.....	28
EL DIVISOR ROTATORIO:.....	28
EL CONO CUARTEO	29
2.2.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	30
EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.....	31
2.2.7. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO	32
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	33
3.1 DISEÑAR Y CONSTRUIR UN RO-TAP A ESCALA DE LABORATORIO.	33
3.2 REALIZAR PRUEBAS.....	34
ANÁLITICAS EN EL RO-TAP PARA DETERMINAR TIEMPOS ÓPTIMOS Y COMPARAR MÉTODOS MANUAL Y MECÁNICO.	34
MÉTODO MECÁNICO (RO-TAP).	34
MÉTODO MANUAL.	37
3.3. DIFERENCIAR LOS RESULTADOS A TRAVÉS DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS.....	40
3.4. ELABORAR UN INSTRUCTIVO DE USO Y MANTENCIÓN DEL RO-TAP.....	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	42
4.1 DISEÑAR Y CONSTRUIR UN RO-TAP A ESCALA DE LABORATORIO.	42
4.2. REALIZAR PRUEBAS ANALÍTICAS EN EL RO-TAP PARA DETERMINAR TIEMPOS ÓPTIMOS Y COMPARAR MÉTODOS MANUAL Y MECÁNICO.....	46
4.3. DIFERENCIAR LOS RESULTADOS A TRAVÉS DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS.....	47
CONDICIONES DE LA MUESTRA 1 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.	47
CONDICIONES DE LA MUESTRA 2 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.	48
CONDICIONES DE LA MUESTRA 2 CON EL MÉTODO MANUAL.....	49
CONDICIONES DE LA MUESTRA 3 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.	50
CONDICIONES DE LA MUESTRA 3 CON EL MÉTODO MANUAL.....	51
CONDICIONES DE LA MUESTRA 4 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.	52
CONDICIONES DE LA MUESTRA 4 CON EL MÉTODO MANUAL.....	53

CONDICIONES DE LA MUESTRA 5 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.	54
CONDICIONES DE LA MUESTRA CON EL MÉTODO MANUAL.....	55
4.4. ELABORAR UN INSTRUCTIVO DE USO Y MANTENCIÓN DEL RO-TAP	56
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. CONCLUSIONES.....	60
5.2. RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
GLOSARIO	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 EDIFICIO DE RECTORÍA DE LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA. SEDE COPIAPÓ.	13
FIGURA 2.2 SEDE VALLENAR, UNIVERSIDAD DE ATACAMA.	15
FIGURA 2.3: A LA DERECHA SE VE LA MANDÍBULA FIJA Y MÓVIL Y A LA IZQUIERDA LAS PARTES DE UN CHANCADOR DE MANDÍBULA	16
FIGURA 2.4: PARTES DE UN CHANCADO GIRATORIO	17
FIGURA 2.5 PARTES DE UN CHANCADOR DE RODILLOS DE ACCIONAMIENTO	18
FIGURA 2.6: PARTES DE UN CHANCADOR DE CONO.	19
FIGURA 2.7: MOLINO DE BOLAS.	20
FIGURA 2.8: DISEÑO DE MOLINO DE BARRAS.	21
FIGURA 2.9 MECANISMO DE CONMINUCION (COMPRESIÓN)	22
FIGURA 2.10 MECANISMO DE CONMINUCION (IMPACTO)	22
FIGURA 2.11 MECANISMO DE CONMINUCION (CIZALLE)	23
FIGURA 2.12 MECANISMO DE CONMINUCION (ABRASIÓN)	23
FIGURA 2.10: A LA DERECHA SE OBSERVA LA CLASIFICACIÓN DE TAMAÑO DEL HARNERO Y A LA IZQUIERDA SE VEN COMO SON LAS PARRILLAS DE HARNERO DE BARRAS “GRIZZLY”.	24
FIGURA 2.11: HARNEROS CURVA SIEVE BEND	25
FIGURA 2.12: LA FIGURA DERECHA MUESTRA UN HARNERO “TROMMEL” Y AL LADO IZQUIERDO SE MUESTRA COMO UN HARNERO “TROMMEL” CLASIFICA EL MINERAL.	26
FIGURA 2.13: HARNERO DE PARRILLA VIBRATORIO	27
FIGURA 2.14: CORTADOR DE RIFFLES REPARTIENDO LA MUESTRA EN LAS BANDEJAS DE CADA LADO DEL COSTADO.	28
FIGURA 2.15: DIVISOR ROTATORIO MEDIANTE MOVIMIENTO DE ROTACIÓN.	29
FIGURA 2.16 MÉTODO DE CONO CUARTEO.	30
FIGURA 3.1: MINERAL PESADO EN UNA BALANZA GRANATARIA DIGITAL	35
FIGURA 3.2: HOMOGENIZACIÓN DE MUESTRAS.	35
FIGURA 3.4: TORTA DIVIDIDA EN 4 PARTES Y DOS PARTES SE UTILIZARAN PARA TAMIZAR EN EL ROTAP.	36
FIGURA 3.5: FIGURA DERECHA 632 GRAMOS QUE SE UTILIZARAN PARA TAMIZAR EN EL RO-TAP Y FIGURA IZQUIERDA TAMICES DE FORMA DESCENDIENTE EN EL RO-TAP	36
FIGURA 3.6: FIGURA DERECHA MINERAL RETENIDA EN EL TAMIZ 4 Y LA FIGURA IZQUIERDA MINERAL RETENIDA EN EL FONDO -100.	37
FIGURA 3.7: 2 KILOGRAMOS DE MUESTRA.	38
FIGURA 3.8: ROLEO DE MUESTRA 20 VECES POR LAS 4 ESQUINAS.	38

FIGURA 3.9: FIGURA DERECHA CUARTEO DE MUESTRA Y FIGURA IZQUIERDA MUESTRA ESCOGIDA PARA TAMIZAR	39
FIGURA 3.10: MUESTRA VERTIDA EN LOS TAMICES ORDENADOS DE FORMA DESCENDIENTE	39
FIGURA 3.11: RETENIDO DE LAS MALLAS Y FONDO.	40
FIGURA 4.1 ESQUEMA DE RO-TAP UTILIZADO POR SQM EN SU PLANTA DE YODO DE NUEVA VICTORIA.	42
FIGURA 4.2: DISEÑO RO-TAP UTILIZADO EN LABORATORIO QUÍMICA SAN LORENZO DE VALLENAR.	43
FIGURA 4.3: DISEÑO RO-TAP DE LA EMPRESA SALASING.	43
FIGURA 4.4 ATRIL PARA SOPORTE DE RO-TAP.	45
FIGURA 4.5: EQUIPO RO-TAP TERMINADO	45
FIGURA 4.6: EQUIPO RO-TAP INSTALADO EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD DE ATACAMA, SEDE VALLENAR.	46
FIGURA 4.7: CURVA DE MUESTRA 1 ROTAP Y MANUALMENTE	48
FIGURA 4.9: CURVA DE MUESTRA 3 RO-TAP Y MANUALMENTE	52
FIGURA 4.10: CURVA DE MUESTRA 4 RO-TAP Y MANUALMENTE	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 4.1 COTIZACIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RO-TAP	44
TABLA 4.2 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS DE MUESTRA 1 MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.	47
TABLA 4.3 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS DE MUESTRA 1 MÉTODO MANUAL.	48
TABLA 4.4 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS DE MUESTRA 2 MÉTODO RO-TAP.	49
TABLA 4.5 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS DE MUESTRA 2 MÉTODO MANUAL.	49
TABLA 4.6 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS DE MUESTRA 3 MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.	50
TABLA 4.7 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS DE MUESTRA 3 MÉTODO MANUAL.	51
TABLA 4.8: CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS MUESTRA 4 MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.	52
TABLA 4.9 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS MUESTRA 4 MÉTODO MANUAL	53
TABLA 4.10 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS MUESTRA 5 MÉTODO MECÁNICO RO-TAP	54
TABLA 4.11 CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS MUESTRA 5 MÉTODO MANUAL.	55

RESUMEN

Es importante considerar que la Universidad de Atacama precisamente en la sede Vallenar, el laboratorio químico - metalúrgico no cuenta con equipos de primera necesidad como en este caso lo es el Ro-tap. El Ro-tap es una tamizadora que sirve para facilitar la clasificación de minerales según su tamaño de partículas, este equipo funciona con una columna de tamices de mayor a menor abertura de forma mecánica. Los tamices en su forma más común constan de una malla de alambre tejido, con aberturas cuadradas, montada rígidamente en un marco metálico cilíndrico de poca profundidad. En relación a la temática expuesta el propósito es implementar el Ro-tap en el laboratorio de dicha universidad con el fin de beneficiar a los estudiantes en especial, a los que se encuentran cursando las carreras de geominería para el desarrollo del análisis granulométrico ya que este análisis es fundamental en las carreras mencionadas. A causa de, en el establecimiento estas pruebas se realizan de manera manual lo que provoca variación en el resultado final ya que la agitación de los tamices no es constante y depende de la fuerza de cada individuo a diferencia de la forma mecánica. En relación a la metodología de funcionamiento del equipo creado este trabaja como ya mencionamos anteriormente con una columna de tamices de diferente tamaño de abertura, se añade la muestra en el tamiz superior el cual para evitar pérdida de la muestra es cerrado con la tapa del tamiz y asegurado con la barra superior del mismo equipo, luego se enciende el equipo y comienza a vibrar y girar a una velocidad constante por 10 minutos. Después de ese tiempo, se apaga y se retira la barra superior, se sacan los tamices del Ro-tap y se pesan las fracciones de muestra retenidas en cada tamiz. Como producto de la creación e implementación del equipo Ro-tap en la Universidad de Atacama sede Vallenar se destacan los resultados obtenidos mediante diversas pruebas con diferente tipo de material y tamaño de partículas con una tendencia significativa de la funcionalidad del equipo, es decir que, el equipo cumple con la función esperada en el tiempo ideal. El tiempo por el cual se opta fue dependiendo de las determinadas pruebas de análisis granulométrico que se realizaron en el equipo para poder diseñar nuestra curva de comparación en Excel y con los resultados demostrar que la manera mecánica es mucho mas eficiente y menos fatigoso.

ABSTRACT

It is important to consider that the University of Atacama, precisely at the Vallenar campus, the chemical-metallurgical laboratory does not have essential equipment such as, in this case, the Ro-tap. The Ro-tap is a sieve that serves to facilitate the classification of minerals according to their particle size, this equipment works with a column of sieves from largest to smallest opening mechanically. Sieves in their most common form consist of a woven wire mesh, with square openings, rigidly mounted in cylindrical metal frame with shallow depth. Related to the topic presented, the purpose is to implement the Ro-tap in the laboratory of said university in order to benefit students, in particular, those who are studying geomining careers for the development of granulometric analysis since this Analysis is essential in the aforementioned careers. Because of this, in the establishment these tests are carried out manually, which causes variation in the final result since the agitation of the sieves is not constant and depends on the strength of each individual, unlike the mechanical way. Related to the operating methodology of the equipment created, it works as we previously mentioned with a column of sieves with different opening sizes, the sample is added to the upper sieve which, to avoid loss of the sample, is closed with the sieve lid, and secured with the upper bar of the same equipment, then the equipment is turned on and begins to vibrate and rotate at a steady speed for 10 minutes. After that, it is turned off and the top bar is removed, the sieves are removed from the Ro-tap and the sample fractions retained on each sieve are weighed. As a product of the creation and implementation of the Ro-tap equipment at the University of Atacama, Vallenar's campus, the results obtained through various tests with different types of material and particle size stand out with a significant trend in the functionality of the equipment, that is to say, the equipment fulfills the expected function in the ideal time. The time chosen was depending on the specific granulometric analysis tests that were carried out on the equipment to be able to design our comparison chart in Excel and with the results demonstrate that the mechanical way is much more efficient and less tiring.

CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO

1.1. INTRODUCCIÓN

El ro-tap es un equipo que se utiliza en laboratorios metalúrgicos para ayudar a que el tamizaje de los minerales sea más sencillo, sirve para poner una batería de tamices de mayor a menor diámetro de abertura y que tiene una agitación mecánica controlada en revoluciones y tiempo, este movimiento que es circular permite clasificar una muestra de mineral por tamaños de grano (ensayo granulométrico). El ro-tap es lo más utilizado actualmente cuando se quiere realizar un ensayo granulométrico, antes se realizaba en forma manual, pero esto tiene muchos inconvenientes tales como errores por variaciones en la agitación la cual dependería de la fuerza de cada individuo que realiza el análisis, así como también la duración y constancia en el movimiento. (CROMTEK, s.f.).

En la Sede Vallenar de la Universidad de Atacama no se cuenta con este equipamiento, por lo cual se debe hacer la clasificación de tamaño de grano por malla en forma manual. La idea principal de este proyecto es implementar un ro-tap para el laboratorio químico metalúrgico de la Sede. Esto permitirá que las y los estudiantes puedan conocer el funcionamiento y cuidados que se deben tener en la clasificación mecánica y poder llegar a sus futuros trabajos sabiendo cómo se utiliza.

Para la construcción del equipo se revisarán las dimensiones del que se utiliza en un laboratorio metalúrgico de una empresa minera, se confeccionará por un experto en la materia. Luego, se pondrá en funcionamiento en el laboratorio y se evaluarán parámetros como el tiempo promedio en clasificar una muestra completamente, para optimizar el trabajo tanto en clases con alumnos y alumnas, como en los diferentes proyectos de titulación del área de geominería que así lo requieran. Se realizarán además pruebas con una misma muestra para su clasificación mecánica y manual, lo que permitirá realizar una comparación entre ambos métodos. Además, se confeccionará un instructivo de uso y mantención, para evitar riesgos en su operación y asegurar una mayor duración.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Implementar un ro-tap en el laboratorio químico - metalúrgico de la sede Vallenar, Universidad de Atacama.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un ro-tap a escala de laboratorio.
- Realizar pruebas analíticas en el ro-tap para determinar tiempos óptimos y comparar métodos manual y mecánico.
- Diferenciar los resultados a través de curvas granulométricas.
- Elaborar un instructivo de uso y mantención del ro-tap.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se dijo en la Introducción el método mecánico de clasificación granulométrica es utilizado en la mayoría de los laboratorios metalúrgicos el problema que se tiene es que la Sede Vallenar no cuenta con un ro-tap en su laboratorio químico metalúrgico y por esta razón las y los estudiantes desconocen su operación en forma práctica, solo saben del equipo en forma teórica. Esto genera que lleven un vacío en su formación profesional al momento de salir a trabajar.

1.5. ANTECEDENTES

En primer lugar, no se cuenta con el equipo de agitación mecánica conocido como ro-tap en los laboratorios de la Sede Vallenar. Por otra parte se cuenta con el antecedente de las dimensiones de un ro-tap utilizado en el laboratorio metalúrgico de SOQUIMICH, las cuales son una altura promedio de 1,13 [m] y un ancho de 31,4 [cm], este equipo funciona con un motor trifásico utilizando un condensador para su funcionamiento con tensión monofásica y al motor se acopla un contrapeso mediante un eje para producir vibración,

al igual lleva un soporte para el fondo de los tamices con un diámetro de 21,5 [cm] y una tapa con un diámetro de 22,5 [cm]. Aparte para este equipo se confeccionó un atril con una altura de 2,4 [m] y un ancho de 79 [cm], esto es para tener más seguridad de que no se accidente una persona mientras esté haciendo pruebas de tamizaje. Esta información será utilizada para mandar a confeccionar el equipo que se desea implementar en la Sede.

1.6. JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proyecto radica en entregar a la Sede Vallenar un equipo ro-tap que permitirá que las y los estudiantes puedan tener el conocimiento práctico del manejo y operación del mismo, siendo el método más usado en los laboratorios de la especialidad, constituyendo así una habilidad que es necesaria a la hora de salir al campo laboral.

A su vez los análisis que se proponen permitirán conocer las diferencias que existen entre el método manual y el mecánico lo que también constituirá un insumo para el conocimiento teórico sobre la clasificación.

1.7. ALCANCES

Este proyecto beneficiará a las y los estudiantes de la sede Vallenar especialmente a los que se encuentran cursando las carreras del área de geominería. Así como a las y los estudiantes que se encuentren realizando su trabajo de titulación o participen de alguna investigación ya que se minimiza el error experimental.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA: UNIVERSIDAD DE ATACAMA

2.1.1 HISTORIA

En 1832 se dio inicio al auge de la minería en Atacama y ya en 1857, el presidente Manuel Montt funda la escuela de minas, con el fin de preparar personas capacitadas para la incipiente empresa minera. La escuela en 1926 comienza a otorgar el título de “técnico de minas”, adoptando el nombre de “Escuela de Minas de Copiapó”. Esta Escuela pasa a depender del ministerio de educación en 1927, lo que refuerza su estatus a nivel nacional. Ya en 1952 La Escuela de Minas se entrega a la Universidad Técnica del Estado (UTE) como sede Copiapó. Luego en 1957 se crea la especialidad de Metalurgia Extractiva para dar respuesta al mercado de la creciente minería.

En 1971 se crea la Escuela de Tecnología en la ciudad de Vallenar y en el segundo semestre se crea el Instituto Tecnológico de la Universidad de Atacama. El 26 de octubre de 1981 se crea la Universidad de Atacama y este hecho marca el inicio de la UDA como Universidad autónoma dedicada a la Educación Superior. En 1983 la universidad de atacama amplía su oferta formativa creando la Facultad de Humanidades y Educación quedando alojada en ella la carrera de Pedagogía en Educación General Básica siendo respuesta a las necesidades educativas de la región. En 1991 la Sede Vallenar de la Universidad de Atacama se establece en el centro de la ciudad, siendo asequible para todos y todas. En 1995, se inicia el programa académico en ingeniería en el campus Vallenar, la Universidad se hace cargo así de ser una respuesta académica para la Provincia del Huasco. En 1998 se crean la Facultad de Ciencias Jurídicas que imparte la carrera de Derecho y la Facultad de Ciencias Naturales involucrando con ello la educación, investigación y extensión en las área de la química, física y biología. En el año 2013 se crea la facultad de ciencias de la salud de la Universidad de Atacama surge como un requerimiento regional para poder recibir a los alumnos de las carreras de kinesiología, obstetricia, puericultura y nutrición y dietética de la Universidad del Mar. El Instituto tecnológico pasa a ser la Facultad Tecnológica en el año 2019, más tarde se alojarían en

dicha Facultad las ingeniería de prosecución de estudios. En el año 2020 se concreta el Proyecto de creación de la Facultad de Medicina que viene a dar respuesta a las necesidades de la región respecto de contar con médicos y ojalá especialistas en diversas áreas. (Universidad de Atacama, 2024) (Ver figura 2.1.).



Figura 2.1 Edificio de rectoría de la Universidad de Atacama. Sede Copiapó.

2.1.2. MISIÓN

La universidad de atacama es una institución de educación superior de carácter regional, que imparte docencia de pregrado, postgrado y postítulo en todas las áreas de conocimiento, formando profesionales, técnicos y graduados con base científica, altamente competentes y responsables socialmente. Nuestra tradición universitaria y nuestros procesos de enseñanza – aprendizaje, nos permite ofrecer formación de conocimientos, habilidades y actitudes a nuestros estudiantes, con el fin de que puedan contribuir de manera activa al desarrollo científico, económico, social y cultural de la región de atacama y del país. El foco de nuestro quehacer institucional se basa en dar respuesta a los requerimientos de la sociedad, mediante la vinculación con la comunidad y organizaciones públicas y privadas, entidades académicas y científicas, nacionales y extranjeras, el fomento de actividades de extensión y la promoción de actividades de

investigación, en el cumplimiento de nuestro rol como universidad pública del estado. (Universidad de Atacama, 2024).

2.1.3. VISIÓN

Para el año 2019, consolidaremos nuestro rol como institución de educación superior del estado, integrando una formación integral y de calidad en todas las áreas del conocimiento para los profesionales y técnicos de la región de atacama y el resto del país y, nos posicionaremos como universidad con proyección en investigación, capaz de generar y aplicar conocimiento científico y tecnológico para dar respuesta a los requerimientos de la sociedad. Para ello, aseguraremos la calidad de todos nuestros procesos formativos, fortaleceremos nuestras prácticas y mecanismos de gestión interna, trabajaremos en afianzar el grado de relacionamiento con organizaciones del sector público y privado, la comunidad, entidades académicas y entidades científicas, y consolidaremos líneas de investigación para contribuir al desarrollo sustentable de la región y del país. (Universidad de Atacama, 2024)

2.1.4. SEDE VALLENAR

En la actualidad la sede Vallenar se ubica en la provincia de Huasco, en la comuna de Vallenar. Han cumplido 31 años de existencia en el valle, con una matrícula cercana a los 1000 estudiantes, una dotación docente mayoritaria con grados académicos de magísteres, y una oferta académica de carreras técnicas e ingenierías en ejecución, que se fortalecerá en el año 2025 con la educación de postgrado, postítulo, diplomados y cursos en concordancia con el plan de desarrollo estratégico de la sede y de la universidad. (Universidad de Atacama, 2024). (Ver figura 2.2).

En el campus sede Vallenar cuenta con múltiples laboratorios que son:

- Laboratorio de geominería.
- Laboratorio de mecánica herramientas-máquinas y mantención.

- Laboratorio de automatización.
- Laboratorio químico metalúrgico.
- Laboratorio de prevención de riesgo.
- Laboratorio de computación entre otros.



Figura 2.2 Sede Vallenar, Universidad de Atacama.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 CONMINUCIÓN

La conminución es el proceso de reducción de tamaño de las partículas minerales mediante trituración y molienda para liberar los minerales valiosos que están íntimamente asociados a la ganga.

La conminución es un término que hace referencia a la disminución de tamaño de una especie, con la consecuente liberación de la especie de valor. En minería la primera etapa de la conminución es la voladura o tronadura, donde el explosivo fractura la roca. Luego de esta primera fractura el mineral es llevado a las plantas para una etapa primaria de conminución que es llamada trituración o chancado y una etapa secundaria que es para aquellos procesos en que el mineral se necesita de tamaño mucho más fino llamado molienda (Academia Edu, 2024)

2.2.1.1. TRITURACIÓN O CHANCADO

Como ya se mencionó la trituración corresponde a la primera etapa de la conminución y se realiza por medio de equipos llamados chancadores, estos a su vez son de diferente tipo debido a sus características y propiedades las cuales implican que exista un chancado primario, secundario, terciario y hasta cuaternario, los cuales son utilizados dependiendo del tamaño que se desea dejar el mineral para el proceso de extracción de la especie de valor.

A. CHANCADOR DE MANDÍBULA:

Los Chancadores de mandíbula son equipos que se utilizan en las etapas primarias de los procesos, diseñados para producir impactos continuamente en las rocas situadas entre una placa fija y una móvil. Esta última se mueve y aplica una fuerza sobre la partícula apoyada en la placa fija. (Yomineria.jimdrofree.com). (Ver figura 2.3).

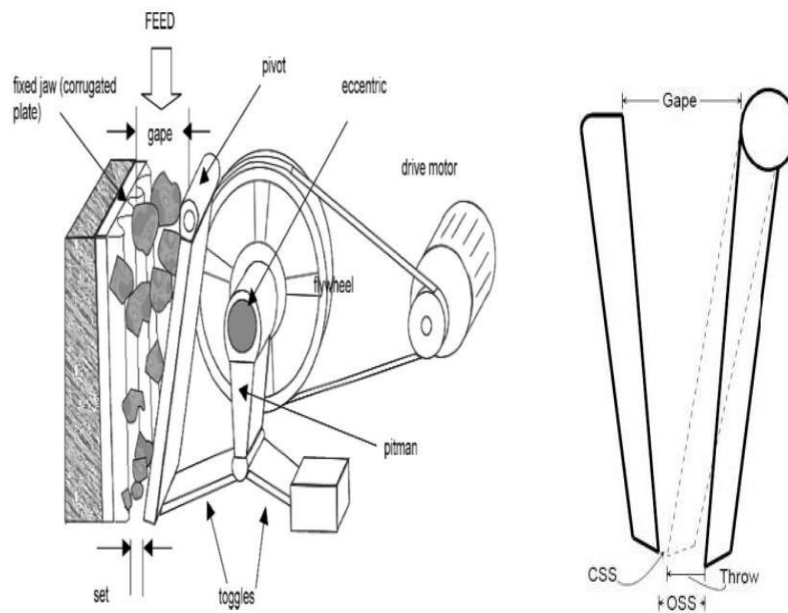


Figura 2.3: A la derecha se ve la mandíbula fija y móvil y a la izquierda las partes de un Chancador de mandíbula

B. CHANCADOR GIRATORIO:

Este equipo también es utilizado en una etapa primaria de chancado, pero en ocasiones también puede funcionar para la etapa secundaria. Los chancadores giratorios se componen fundamentalmente de un tronco de cono recto, donde se coloca el cono móvil que es como una campana y se mueve excéntricamente en el interior de una cámara. (Ver figura 2.4).

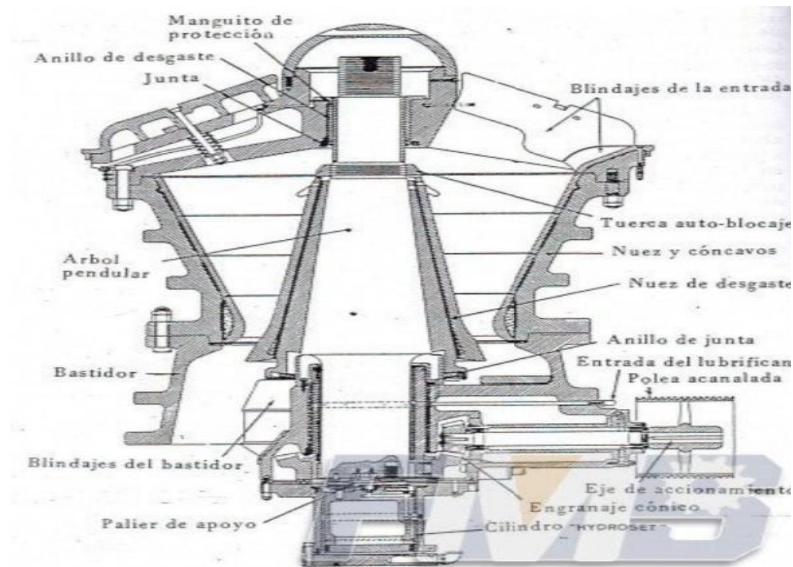


Figura 2.4: partes de un chancado giratorio

C. CHANCADOR DE RODILLO DE ACCIONAMIENTO:

Los chancadores de rodillos de accionamiento directo terciarios son chancadores compactos de transmisión directa con rodillos que giran a baja velocidad hacia afuera y aceptan una velocidad de alimentación constante y controlada de material y calibran la alimentación contra los peines de calibrado ajustables. El material que ya está chancado a medida puede pasar alrededor de la zona de chancado, lo que ayuda a generar menos finos. (McLanahan)(Ver figura 2.5).

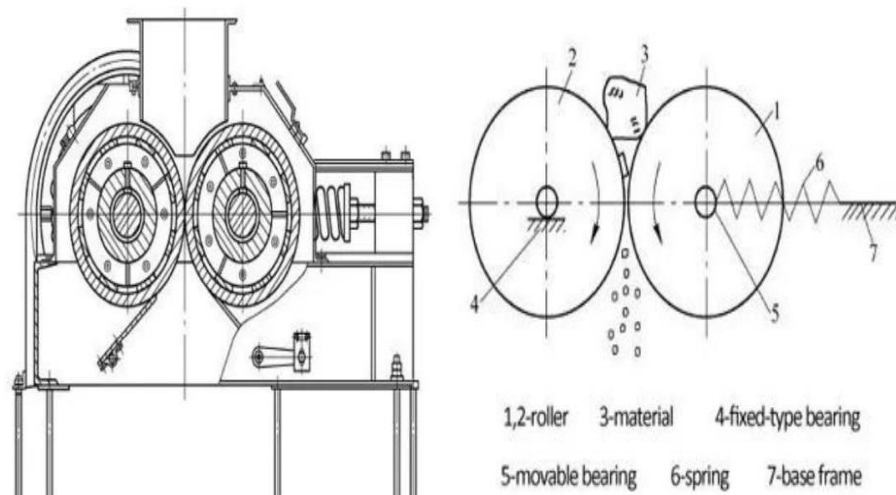


Figura 2.5 Partes de un Chancador de rodillos de accionamiento.

D. CHANCADOR DE CONO:

Se utilizan en las etapas secundarias, terciarias y cuaternarias del proceso de chancado, son máquinas que reducen el tamaño y dan forma a la roca mediante la compresión entre un elemento fijo y un elemento móvil. (Metso, 2024). (Ver figura 2.6).

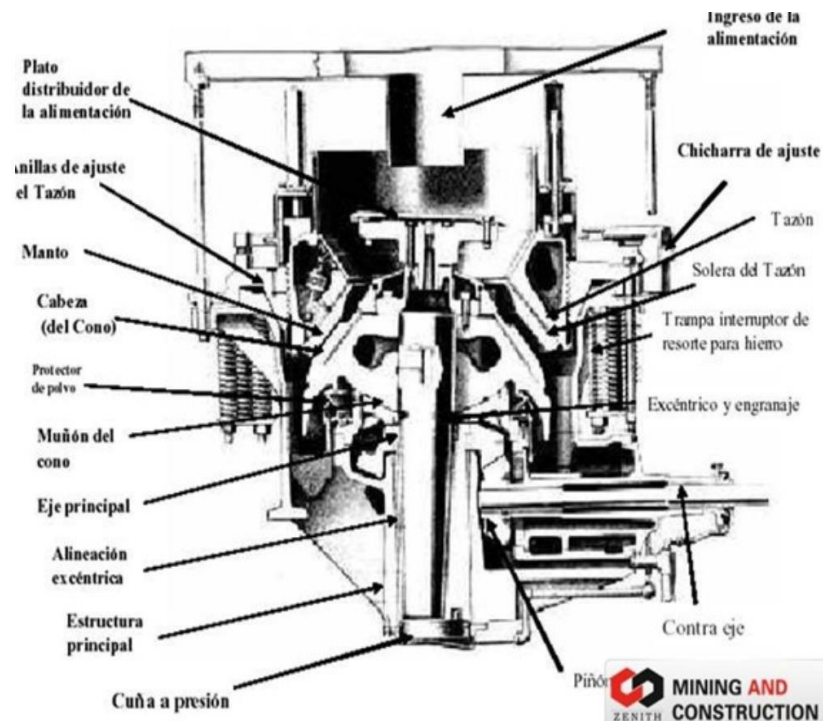


Figura 2.6: Partes de un Chancador de cono.

Después de las etapas de chancado se prosigue con la molienda que es el proceso final de la Conminucion donde el material es reducido a partículas finas mediante la aplicación de fuerzas mecánicas a través de una serie de equipos diseñados específicamente para este fin, esto se puede realizar en seco o en húmedo, los equipos más utilizados en las etapas de molienda son:

MOLINOS DE BOLAS: Es un equipo de rotación, que se utiliza para reducir el tamaño de las partículas de mineral, utilizando una combinación de impacto y abrasión, para conseguir un tamaño de partícula requerido, este molino corresponde a la molienda semi autógena. (Ver figura 2.7)

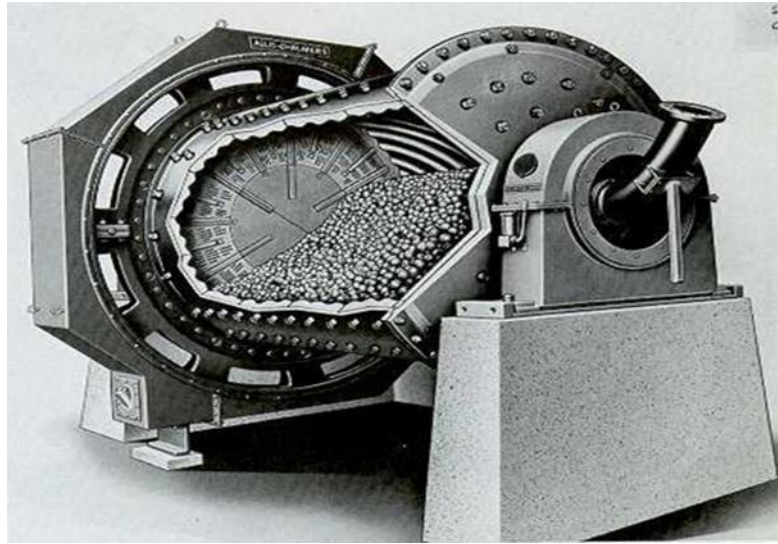


Figura 2.7: Molino de bolas.

MOLINOS DE BARRAS: Estos molinos son utilizados generalmente en etapas primarias de molienda. El funcionamiento del molino de barras se basa en un proceso de molienda de mineral o árido por trituración, tiene forma cilíndrica y se coloca en posición horizontal. Las barras de acero se cargan dentro del tambor giratorio. Dichas barras se mueven al rotar el cilindro, iniciando el proceso de ratificado, este molino corresponde a la molienda convencional. (BAIONI, 2021). (Ver figura 2.8).

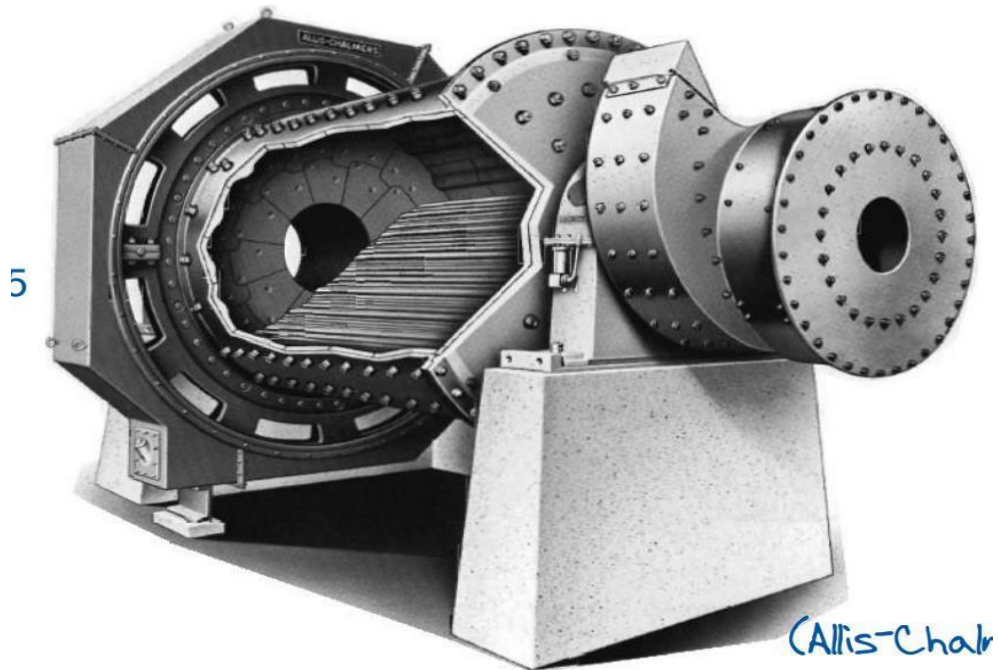


Figura 2.8: diseño de molino de barras.

2.2.2. MECANISMOS DE CONMINUCIÓN

Los minerales poseen estructuras cristalinas y sus uniones se deben a diferentes tipos de enlaces en la configuración de sus átomos. Estos pueden ser fragmentados mediante la aplicación de esfuerzos de tensión o compresión. La fractura es la fragmentación de una roca en varias partes esto es debido a un proceso de deformación no homogéneo, los métodos causantes de la fractura de una roca son Compresión, Impacto y fricción.

COMPRESIÓN:

Ocurre cuando la energía aplicada es suficiente para cargar comparativamente pocas regiones de la partícula hasta el punto de fractura. Su tamaño queda similar al tamaño de la partícula original. Normalmente se producen en las etapas de chancados en donde hay una superficie fija y otra móvil.

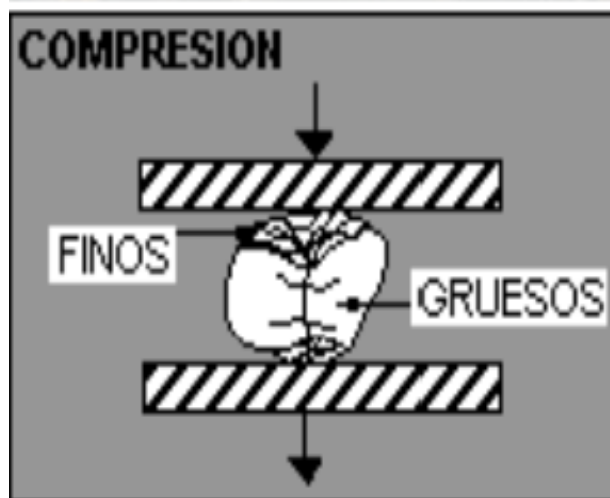


Figura 2.9 Mecanismo de Conminucion (compresión).

IMPACTO:

Se puede definir el impacto como la aplicación de esfuerzo que se da a altas velocidades, de modo que la partícula original absorbe más energía de la necesaria para romperse. El impacto es el choque o colisión entre dos partículas que pueden ser mineral con mineral, mineral con las paredes del equipo o mineral con las bolas de acero, como se da por ejemplo en el molino de bolas.

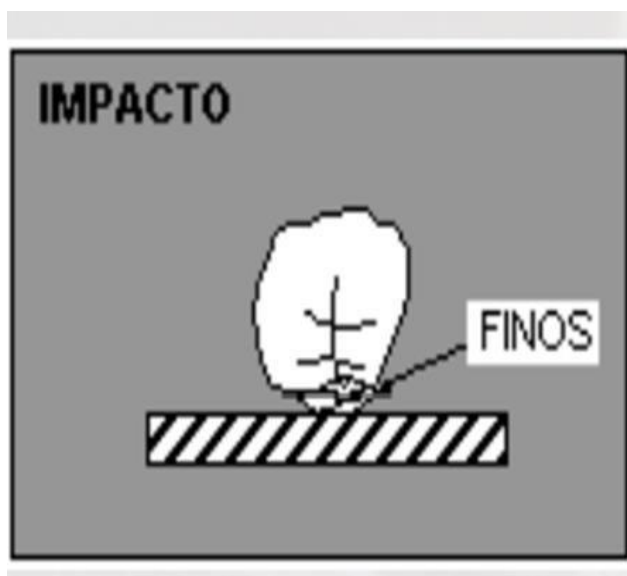


Figura 2.10 Mecanismo de Conminucion (impacto).

CIZALLE:

El cizalle ocurre como un esfuerzo secundario al aplicar esfuerzos de compresión y de impacto. Produce gran cantidad de finos y no es deseable.



Figura 2.11 Mecanismo de Conminucion (cizalle).

ABRASIÓN:

Cuando el esfuerzo de cizalle se concentra en la superficie de la partícula.

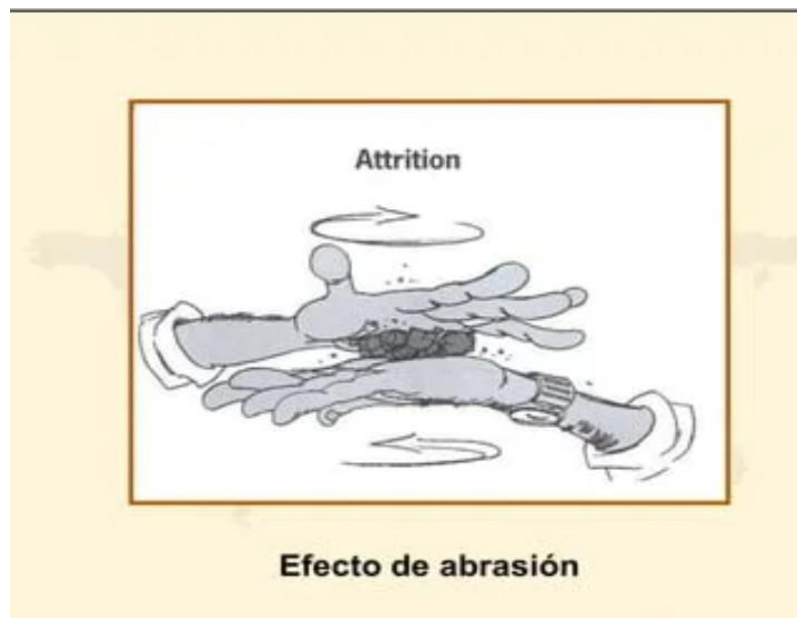


Figura 2.12 Mecanismo de Conminucion (abrasión).

2.2.3 CLASIFICACIÓN MINERAL

El procesamiento y clasificación de minerales constituye un pilar fundamental en la industria minera, siendo un proceso multidisciplinario que abarca diversas etapas para extraer, concentrar y separar los minerales valiosos de los desechos.

Este caso se hacen clasificacion en equipos de harneros y estos son:

HARNERO DE BARRAS “GRIZZLY”

Los alimentadores vibratorios Grizzly se incorporan en su diseño una combinación de funciones de alimentación y separación preliminar en un solo equipo, reduciendo el costo que implica tener dos equipos separados. Se utiliza en operaciones superficie y subterráneas para rocas abrasivas, o blandas, grava, escoria u otros materiales. Se utilizan principalmente en aplicaciones primarias que alimentan un Chancador primario. (McLanahan), (Ver figura 2.10).

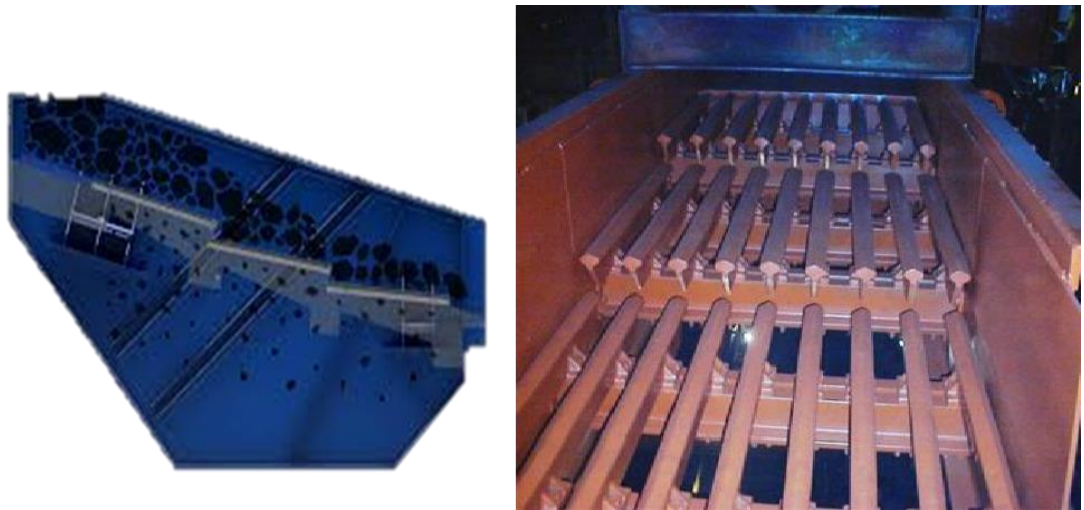


Figura 2.10: A la derecha se observa la clasificación de tamaño del harnero y a la izquierda se ven como son las Parrillas de Harnero de barras “grizzly”.

HARNEROS CURVA O SIEVE BEND.

Los harnero Sieve bend se utilizan tanto para clasificación por tamaño como para la deshidratación de partículas finas en una pulpa. No tiene partes móviles, estos equipos se utilizan principalmente en la industria del carbón, sin embargo, se ha descubierto que estos harneros también tiene usos en la industria minera, incluye bajo costo operacional, son silenciosos y son muy eficientes en el procesamiento de grandes cantidades de material. (Sepor) (Ver figura 2.11).

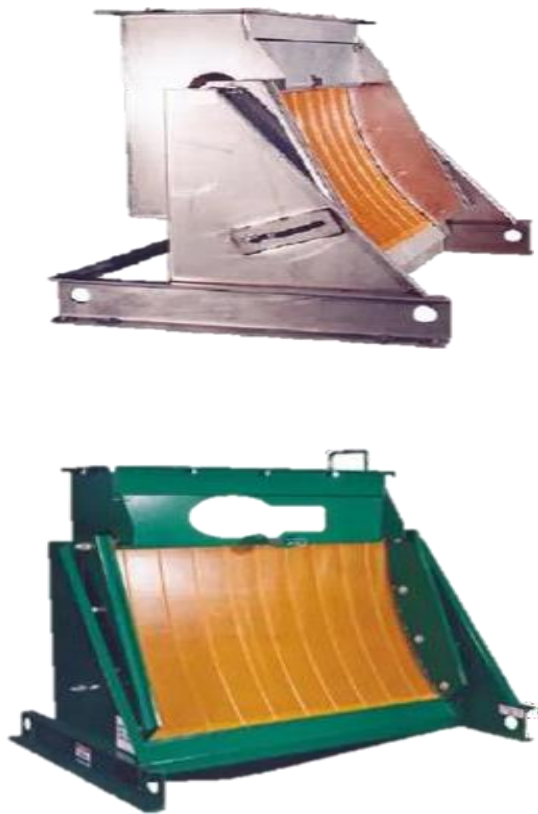


Figura 2.11: harneros curva Sieve bend

HARNEROS ROTATORIOS “TROMMEL”

A medida que el tambor cilíndrico de la zaranda de Trommel rotatorio gira, el material de alimentación bruto es levantado y ubicado en las plataformas hasta que llega casi hasta la

parte superior del tambor. Luego, el material cae y se ubica sobre el resto del material que se encuentra en la parte inferior del tambor. Esta acción ayuda a romper las fracciones más suaves y a separar los diferentes tipos de materiales. A medida que continúa esta caída, las fracciones más pequeñas se filtran a través de los orificios del enchapado de la zaranda, mientras que el material más grande sigue desplazándose a lo largo del cilindro para descargarse al final. Estos dispositivos pueden tener distintas secciones de tamaño de abertura, tratan materiales desde 55mm hasta 6 mm y aun menor tamaño si se procesa en Húmedo.

Sus aplicaciones son: Tratamiento de gravas, de productos de canteras, de Yacimientos aluvionales de oro y estaño.

Su mayor desventaja es la poca capacidad y se tapa o satura con facilidad. (Empírica)(Ver figura 2.12).



Figura 2.12: la figura derecha muestra un harnero “Trommel” y al lado izquierdo se muestra como un harnero “Trommel” clasifica el mineral.

HARNEROS VIBRATORIOS PARRILLA “VIBRATORIA”.

Estos harneros son similares a los harneros grizzly, pero oscila a su totalidad por efecto de tipo eléctrico o mecánico con baja amplitud y alta frecuencia. La vibración facilita el desplazamiento de la carga a lo largo de su superficie, por lo que trabajan con inclinación menor. Actualmente se utilizan como clasificadores de mineral de descarga de molinos semiautógenos. (ADEMAQ MAQUINARIAS)(Ver figura 2.13).



Figura 2.13: Harnero de parrilla vibratorio.

2.2.4. EQUIPOS DE CLASIFICACIÓN MECÁNICA RO-TAP.

En esta sección se detallan el método mecánico y manual al igual pruebas de análisis granulométricos utilizando el equipo ro-tap puesto en marcha.

2.2.5. MÉTODO DE REDUCCIÓN DE MUESTRA

En la minería se trabaja a base de análisis y a pruebas previamente realizadas, en donde se busca identificar la especie de interés. Para estos análisis y pruebas se necesita estudiar el lote con todos sus constituyentes, los cuales están contruibidos por el lote completo, pero sería costoso además de una gran y difícil tarea tratar de analizar el lote completo, por lo cual el volumen del lote se tendrá que disminuir, a un volumen

determinado que contenga todos los constituyentes que tiene el lote, donde estos nos darán la información que deseamos.

Es por eso que existen diversas técnicas para realizar una reducción de muestra, en donde esta reducida contenga todas las características del lote, estas técnicas de reducción pueden ser:

EL CORTADOR RIFFLE:

La técnica de contador de riffle consiste en un recipiente en forma de V, que tiene en sus costados una serie de canales que descargan alternativamente en dos bandejas ubicadas debajo de ambos lados del cortador. El material es vaciado en la parte superior y al pasar por el equipo se divide en dos fracciones aproximadamente de igual tamaño. (Ver figura 2.14).

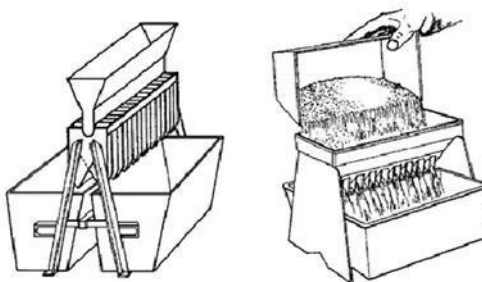


Figura 2.14: Cortador de riffles repartiendo la muestra en las bandejas de cada lado del costado.

EL DIVISOR ROTATORIO:

La técnica del divisor rotatorio consta de un equipo mecánico, que a través de su rotación, va dividiendo la muestra que se le ingresa por la parte superior. (Ver figura 2.15).

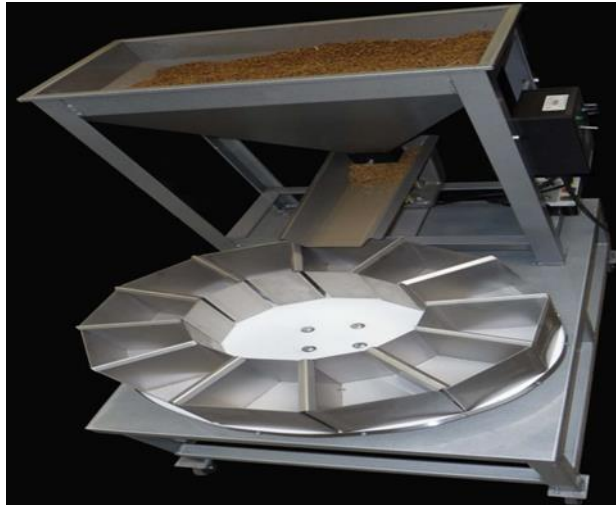


Figura 2.15: divisor rotatorio mediante movimiento de rotación.

EL CONO CUARTEO:

La técnica del cuarteo consiste en recolectar muestra de distintos puntos del recurso natural, esta cantidad tiene que ser mayor a la necesaria, ya que estas muestras se distribuyen en cuatro cuadrantes, previamente homogenizados, para lograr una muestra representativa.

Las porciones a recolectar corresponden a dos cuadrantes opuestos, los cuales son desechados, y los dos cuadrantes opuestos que quedan, nuevamente son mezclados y homogenizados, para distribuir el material el cuarto cuadrante nuevamente, y seleccionar dos cuadrantes opuesto y así sucesivamente, hasta lograr la cantidad necesaria de muestra representativa del recurso material.(Ver figura 2.16).

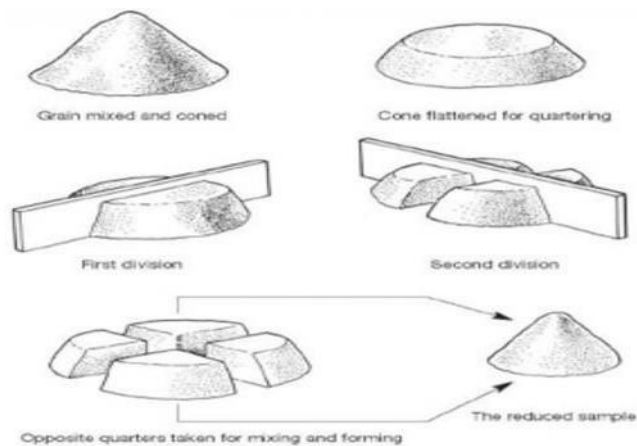


Figura 2.16 Método de cono cuarteo.

2.2.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Se realiza con el fin de controlar el tamaño de partículas que van a ciertos procesos y etapas de tratamiento de minerales. En estos análisis se obtiene la información de cómo se están distribuyendo los tamaños, cuanto porcentaje del lote está en los tamaños.

Para realizar este procedimiento ya sea manualmente o automáticamente se necesitan los siguientes materiales:

- Balanza analítica.
- Lona de plástico para homogenizar la muestra.
- Bandejas de acero inoxidable.
- Pala jís.
- Ro tap.
- Tamiz de diferentes mallas.(4-8-20-35-100 –100)
- Brochas para sacar cuidadosamente los restos de mineral del tamiz.
- Tapa y fondo de tamiz.
- 1 espátula para determinar el cuarteo.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Guantes de látex o nitrilo.
- Mascarilla.
- Lentes de protección.
- Zapatos cerrados o bototos.
- Polera manga larga.
- Pantalón largo.
- Delantal de laboratorio.

Obtenidos ya los materiales requeridos se empieza a realizar el análisis granulométrico. Primeramente se saca una muestra del laboratorio, con una granulometría óptima ni tan gruesa ni tan fina y luego se procede hacer el análisis con los materiales ya nombrados.

- a) Se pesa toda la muestra en una balanza semi – analítica
- b) En una lona vertimos la muestra para luego rolearla 20x4 veces por lado.
- c) Luego se cuarteo la muestra con la (espátula) para sacar dos lados de interés y el resto se conserva en caso de volver a usar.
- d) Se juntan los tamices de mayor a menor (grueso a fino) para así empezar agitar los tamices manualmente o mecánicamente.
- e) Se pasa el material de los tamices con ayuda de una brocha para luego ser pesado en gramos.
- f) Se pesan las muestras que fueron retenidas en cada uno de los tamices.
- g) Se obtiene todos los resultados para luego hacer cálculos granulométricos, ya que estos son llevados a una curva granulométrica, así se observa si se perdió mineral durante el proceso.

2.2.7. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

Es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas e sus diferentes tamaños. Se lleva a cabo usan tamices de mayor a menor.

La cantidad de solido retenido en un tamiz indica cuanto porciento de muestra está en un tamaño que señala el tamiz es así como un tamiz separa una porción en dos tamaños.

El análisis granulométrico por tamizado se realiza a las partículas con diámetros superiores a 0,075 mm, este ensayo se hace con una serie de mallas normalizadas (a cada número de malla le corresponde una abertura estándar, puestos en orden de mayor a menor.

Una forma para realizar un análisis granulométrico por tamizado son de forma manual, en donde manualmente una persona realiza un movimiento el cual provoca una sacudida, lo que permite que las partículas se acomoden y así, las partículas que son de menor tamaño en las que están, van bajando hasta ser retenidas en la malla donde sus aberturas sean de un tamaño inferior al tamaño de la partícula.

Otra forma de realizar el tamizado es automáticamente, en donde se utiliza un equipo llamado ro-tap, el cual automáticamente simula el movimiento manual, que se realiza en un tamizado en forma manual.

Y por último el tamizado en seco, en donde se realiza un tamizado, ya sea manual o automático, con una muestra seca, libre de humedad, que evita que este se aglomere en los tamices. Por esta razón se trabaja con el tamizado en seco, en el ro-tap ya que si se trabajase con mineral húmedo se demoraría mucho más en hacer los análisis granulométricos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.

La idea y el diseño de un ro-tap y atril a escala de laboratorio, nace por la necesidad de implementarlo en la Sede Vallenar de la Universidad de Atacama ya que en los laboratorios los y las estudiantes hacían pruebas granulométricas manuales. Este equipo ayuda a facilitar el tamizado para un tiempo determinado y disminuye el error humano.

3.1 DISEÑAR Y CONSTRUIR UN RO-TAP A ESCALA DE LABORATORIO.

Para lograr alcanzar el primer objetivo específico se propusieron las siguientes actividades:

Evaluar los posibles diseños en base a los equipos Ro-Tap que actualmente se utilizan en laboratorios de metalurgia, en comparación con algunos que se anuncian en páginas WEB de ventas de equipos.

Luego de definir el prototipo a seguir, se realizó el contacto con un soldador experto, el Sr. Cristian Ossandón, quien trabaja como soldador en la ciudad de Copiapó, pero tiene su residencia en Vallenar, se le entregó el diseño escogido al cual además, el sugirió ciertas mejoras las cuales tienen que ver principalmente con la estabilidad y seguridad al momento de utilizar.

Antes de la construcción, se entregó al grupo de proyecto una lista de materiales que se iban a necesitar y la valorización de la mano de obra. Luego de esto se procede a cotizar y a adquirir los materiales necesarios y estos se entregaron al soldador experto.

Una vez terminada la construcción, se hizo entrega del equipo al grupo de proyecto y se solicitó un espacio en los laboratorios de la Sede para ser instalado.

3.2 REALIZAR PRUEBAS

ANALÍTICAS EN EL RO-TAP PARA DETERMINAR TIEMPOS ÓPTIMOS Y COMPARAR MÉTODOS MANUAL Y MECÁNICO.

Para lograr realizar el segundo objetivo específico se ejecutan diversas pruebas granulométricas, con distintas muestras, con un determinado tiempo. En este caso usamos 5 muestras de mineral, que facilitaron compañeros de la carrera de geología. Se partirá haciendo pruebas analíticas en el rotap, para luego ser realizado con el método manual, el procedimiento que se dará a conocer se repetirá para las 5 muestras tanto en el rotap como manualmente. Estas actividades se proceden de la siguiente manera:

MÉTODO MECÁNICO (RO-TAP).

1. Primeramente para hacer análisis en el ro-tap se deben utilizar los implementos de seguridad que serían, (zapatos de seguridad, delantal, lentes de seguridad, guantes acrílicos, pelo tomado), también instrumentos a utilizar durante todo el procedimiento, que serían, (tamices, pala jis, espátula, bandejas, lona de plástico, granataria, digital), y se procede a pesar 800 gramos en una balanza digital granataria previamente tarada, para evitar exceso de muestra sobre los tamices y lograr un mejor manejo del proceso. (Ver figura 3.1).



Figura 3.1: Mineral pesado en una balanza granataria digital.

2. Se homogeniza la muestra total en una lona, luego se toman los extremo opuestos y se rolea 20 veces por cada lado. (Ver figura 3.2).



Figura 3.2: Homogenización de muestras.

3. Después del roleo de la muestra, se le aplica el método cono cuarteo nos ayudamos con la tapa de los tamices y luego se procede a dividir la torta en 4 partes, en donde dos partes serán rechazadas y las otras dos se utilizaran para el tamizado por el ro-tap. (Ver figura 3.3).



Figura 3.4: Torta dividida en 4 partes y dos partes se utilizaran para tamizar en el rotap.

4. Después de escoger las dos partes de utilidad se pesa en una granataria digital que este dio 632 gramos para luego trasladarlo a los tamices ya instalados de forma descendente en el ro-tap, para este procedimiento se utilizaran los tamices malla (4, 8, 20, 35, 100, -100 fondo), luego de instalar los tamices en el rotap se le da 5 minutos de operación para tamizar. (Ver figura 3.5).



Figura 3.5: Figura derecha 632 gramos que se utilizaran para tamizar en el ro-tap y figura izquierda tamices de forma descendente en el ro-tap

5. Finalmente después de pasar los 5 minutos se procede a sacar los tamices y a anotar el retenido para proceder hacer los cálculos granulométricos. (Ver figura 3.6).



Figura 3.6: Figura derecha mineral retenida en el tamiz 4 y la figura izquierda mineral retenida en el fondo -100.

MÉTODO MANUAL.

El procedimiento manual se ejecutara con las mismas 5 muestras que se utilizaron en el ro-tap y también los implementos de seguridad e instrumentación ya mencionados anteriormente, la única diferencia que abra es el movimiento ya que lo realizara una personas por los mismos 5 minutos que se realizaron anteriormente y su procedimiento es de la siguiente manera:

1. Primeramente se pesa toda la muestra en una granataria digital que esto se aproximaba a 2 a 3 kilogramos. (Ver figura 3.7).



Figura 3.7: 2 kilogramos de muestra.

2. Luego de pesar el mineral se vierte en una lona de plástico para empezar a rolear 20 veces por las 4 esquinas. (ver figura 3.8).



Figura 3.8: Roleo de muestra 20 veces por las 4 esquinas.

3. Continuamos con el método de cuarteo de la muestra ya homogenizada, se cuarteo la muestra hasta obtener el peso adecuado para hacer el tamizado. (Ver figura 3.9).



Figura 3.9: Figura derecha cuarteo de muestra y figura izquierda muestra escogida para tamizar.

4. Se procede a ordenar los tamices de forma descendente para depositar la muestra y ser tamizado durante 5 minutos por un integrante del grupo sin detenerse. (Ver figura 3.10).



Figura 3.10: Muestra vertida en los Tamices ordenados de forma descendente.

5. Finalmente de terminar de tamizar por 5 minutos, se procede a anotar cada peso de cada malla.



Figura 3.11: Retenido de las mallas y fondo.

Después de haber realizado las pruebas aplicando los métodos mecánico y manual, se pudo indagar que los dos métodos son útiles, pero el método manual es más lento y laborioso de realizar y puede haber más margen de error, en cambio en el rotap con un tiempo adecuado es más rápido, eficiente y preciso.

3.3. DIFERENCIAR LOS RESULTADOS A TRAVÉS DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

Para lograr el tercer objetivo se necesitaran los retenidos de cada tamiz para tener una granulometría apta para llevar las muestras a un laboratorio y ser analizado correctamente, ya que esto se puede analizar por humedad, densidad y por análisis químico, se puede analizar hierro, fosforo, sílice, aluminio, vanadio, titanio al igual se puede analizar por hierro magnético, teniendo una granulometría apta para el procedimiento adquirido. Esta granulometría sirve para poder obtener un análisis confiable para nuestros empleados metalurgista.

3.4. ELABORAR UN INSTRUCTIVO DE USO Y MANTENCIÓN DEL RO-TAP.

Esto será elaborado principalmente para el uso educativo del ro-tap y las mantenciones y seguridad del equipo para los estudiantes de las carreras geominería de la Universidad de Atacama, Sede Vallenar.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

A continuación, en este capítulo presentaremos los resultados obtenidos de las diferentes actividades realizadas para el logro del objetivo planteado al inicio del proyecto.

4.1 DISEÑAR Y CONSTRUIR UN RO-TAP A ESCALA DE LABORATORIO.

Dentro de los diseños evaluados para ser el prototipo a seguir se tienen los siguientes:

- a. El primer diseño que nos llama la atención por su forma y por la posibilidad de acceder a las medidas para la construcción es el que se ocupa actualmente en los laboratorios de Soquimich (SQM), cabe mencionar que la planta de yodo de SQM en Nueva Victoria de donde obtuvimos el diseño, se encuentra uno de nuestros compañeros trabajando por lo cual se dispuso de acceso a la información de sus dimensiones desde un principio. (Ver Fig.4.1).

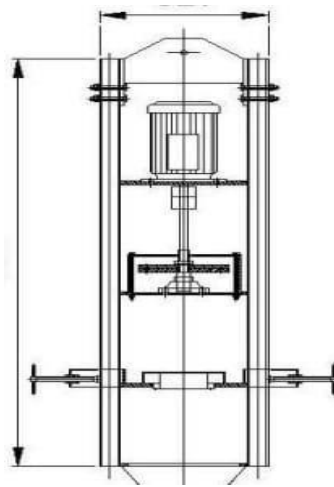


Figura 4.1 Esquema de Ro-Tap utilizado por SQM en su planta de Yodo de Nueva Victoria.

- b. Otro diseño que se evaluó fue el que oferta la empresa CROMTEK SEPOR, sin embargo el soporte que utiliza es muy difícil de recrear con materiales simples, como el que podemos llegar a construir, este soporte lo hace además poco funcional para el laboratorio donde se va a alojar el equipo. Este equipo lo

revisamos porque también era accesible en cuanto a determinar sus medidas ya que una compañera del grupo de proyecto trabaja en el Laboratorio Químico San Lorenzo de Vallenar, quienes lo utilizan. Ver Figura 4.2.



Figura 4.2: Diseño ro-tap utilizado en laboratorio química san Lorenzo de Vallenar.

- c. También otro diseño que se evaluó que lo oferta la empresa SALASING, sin embargo, la estructura que posee es muy difícil de diseñar y recrear, además el soporte que tiene lo hace poco funcional para el laboratorio donde va alojar el equipo. (Ver figura 4.3).



Figura 4.3: diseño ro-tap de la empresa SALASING.

Finalmente se decidió optar por el diseño utilizado en los laboratorios de Soquimich

Una vez seleccionado el diseño de los laboratorios de Soquimich y tras recibir el listado de materiales a utilizar se cotizaron y compraron los materiales como se indicó en la metodología, a continuación se presenta una tabla (tabla 4.1) con la cotización de materiales

Tabla 4.1 Cotización de materiales para la construcción del Ro-tap

Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Perfil cuadrado de hierro 40x40x2 mm	5	\$18.490.-	\$92.450.-
Electrodo 6011	3	\$6.290.-	\$18.870.-
Disco de corte inoxidable 115x1 mm	5	\$990.-	\$4.950.-
Condensador	1	\$15.800.-	\$15.800.-
Pintura anticorrosiva lata	1	\$16.990.-	\$16.990
Motor marca Siemens trifásico (donación)	1	\$498.809.-	\$498.809.-
Mano de obra ro-tap más Atril	1	\$160.000.-	\$160.000.-
Total			\$807.869.-

Por lo tanto, se hace una donación de un equipo Ro-tap valorizado en \$807.869, que en circunstancias el mismo equipo ofrecido por la empresa interquímica Tiene un costo de \$4.990.000.

A continuación en la figura 4.4, podemos apreciar el atril donde se emplazará el Ro-tap de manera tal de dar firmeza al equipo.



Figura 4.4 Atril para soporte de Ro-Tap.

Por último, como resultado del diseño y construcción del equipo Ro-Tap, veremos en la Figura 4.5 el equipo terminado y en la Figura 4.6 el equipo instalado en el laboratorio de la Universidad de Atacama Sede Vallenar.

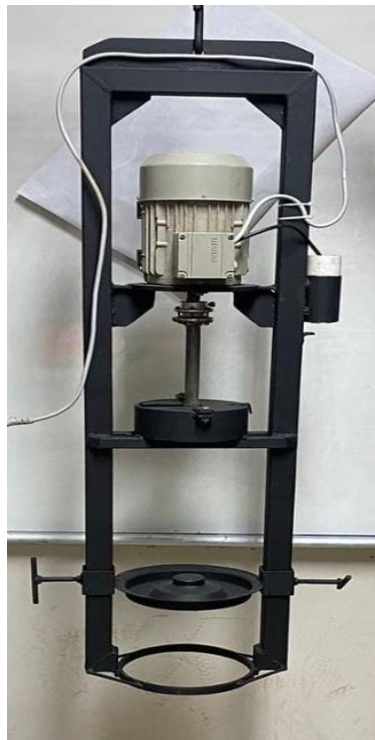


Figura 4.5: Equipo ro-tap terminado.



Figura 4.6: Equipo ro-tap instalado en el laboratorio de la Universidad de Atacama, Sede Vallenar.

4.2. REALIZAR PRUEBAS ANALÍTICAS EN EL RO-TAP PARA DETERMINAR TIEMPOS ÓPTIMOS Y COMPARAR MÉTODOS MANUAL Y MECÁNICO.

Los tiempos que se realizaron las pruebas analíticas tanto en el rotap como manualmente fueron de 10 y 5 minutos de cada prueba, pero se optó por los 5 minutos ya que el equipo realiza el tamizado de manera eficiente, y manualmente se determinó que es un buen tiempo de tamizado ya que se distribuye correctamente la muestra por los tamices.

4.3. DIFERENCIAR LOS RESULTADOS A TRAVÉS DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS.

Se ingresan los datos obtenidos mediante el procedimiento de pruebas granulométricas, donde se ingresan en formato Excel los datos de las 5 muestras realizadas en el ro-tap y manualmente. Se hace una comparación de las curvas de las muestras para ver los tipos de suelos de esto se diferencia que se distribuye la muestra con poca diferencia de tiempo.

CONDICIONES DE LA MUESTRA 1 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.

- Tiempo de agitación, 5 minutos.
- Frecuencia 1
- Masa inicial 426 gramos.

Tabla 4.2 Cálculos granulométricos de muestra 1 método mecánico ro-tap.

Muestra 1	Um	Malla	g	% Parcial	% Acumulado
Peso inicial	4750	4	88	21,15	78,85
426	2360	8	50	12,02	66,83
	850	20	76	18,27	48,56
	500	35	36	8,65	39,90
	150	100	86	20,67	19,23
		-100	80	19,23	0,00
			416	100,0	

CONDICIONES DE LA MUESTRA 1 CON EL MÉTODO MANUAL.

- Tiempo de agitación 5 minutos.
- Frecuencia 1
- Masa inicial 482 gramos.

Tabla 4.3 cálculos granulométricos de muestra 1 método manual.

Muestra 1	Um	Malla	g	% Parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	184	38,49	61,51
482	2360	8	40	8,37	53,14
	850	20	62	12,97	40,17
	500	35	34	7,11	33,05
	150	100	134	28,03	5,02
		-100	24	5,02	0,00
			478	100,00	

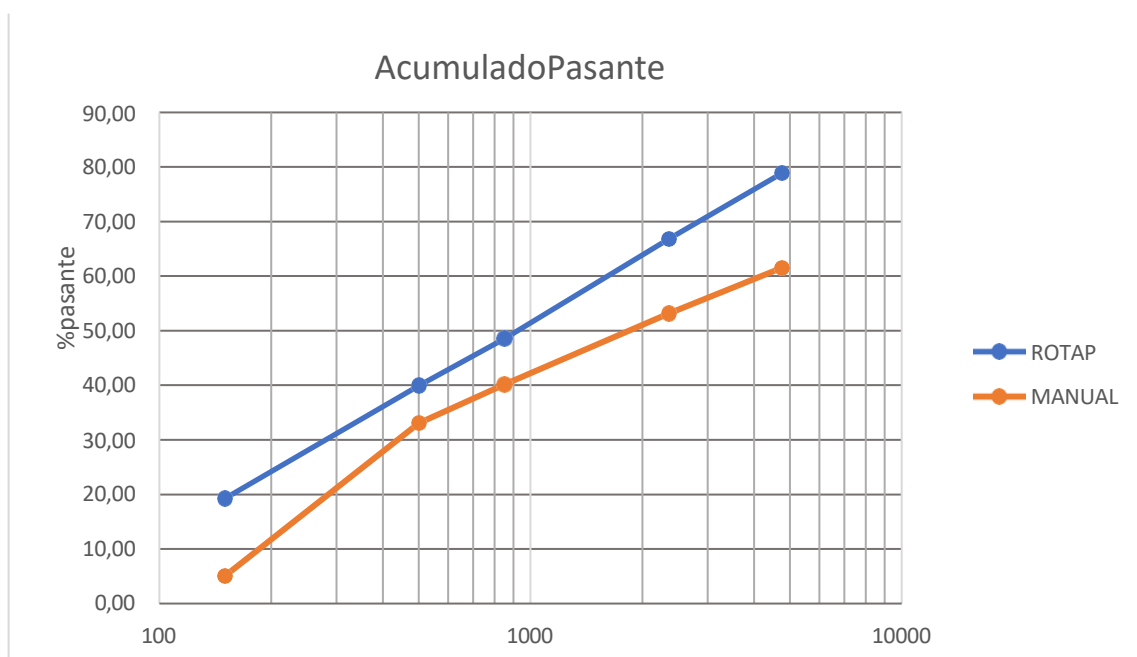


Figura 4.7: Curva de muestra 1 rotap y manualmente.

CONDICIONES DE LA MUESTRA 2 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.

- Tiempo de agitación 5 minutos.
- Frecuencia 1.
- Masa inicial 378 gramos.

Tabla 4.4 Cálculos granulométricos de muestra 2 método ro-tap.

Muestra 2	Um	Malla	g	% Parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	132	35,29	64,71
378	2360	8	32	8,56	56,15
	850	20	70	18,72	37,43
	500	35	34	9,09	28,34
	150	100	60	16,04	12,30
		-100	46	12,30	0,00
			374	100,0	

CONDICIONES DE LA MUESTRA 2 CON EL MÉTODO MANUAL.

- Tiempo de agitación 5 minutos.
- Frecuencia 1.
- Masa inicial 492 gramos.

Tabla 4.5 Cálculos granulométricos de muestra 2 método manual.

Muestra 2	Um	Malla	g	% Parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	164	33,47	66,53
492	2360	8	54	11,02	55,51
	850	20	80	16,33	39,18
	500	35	40	8,16	31,02
	150	100	122	24,90	6,12
		-100	30	6,12	0,00
			490	100,00	

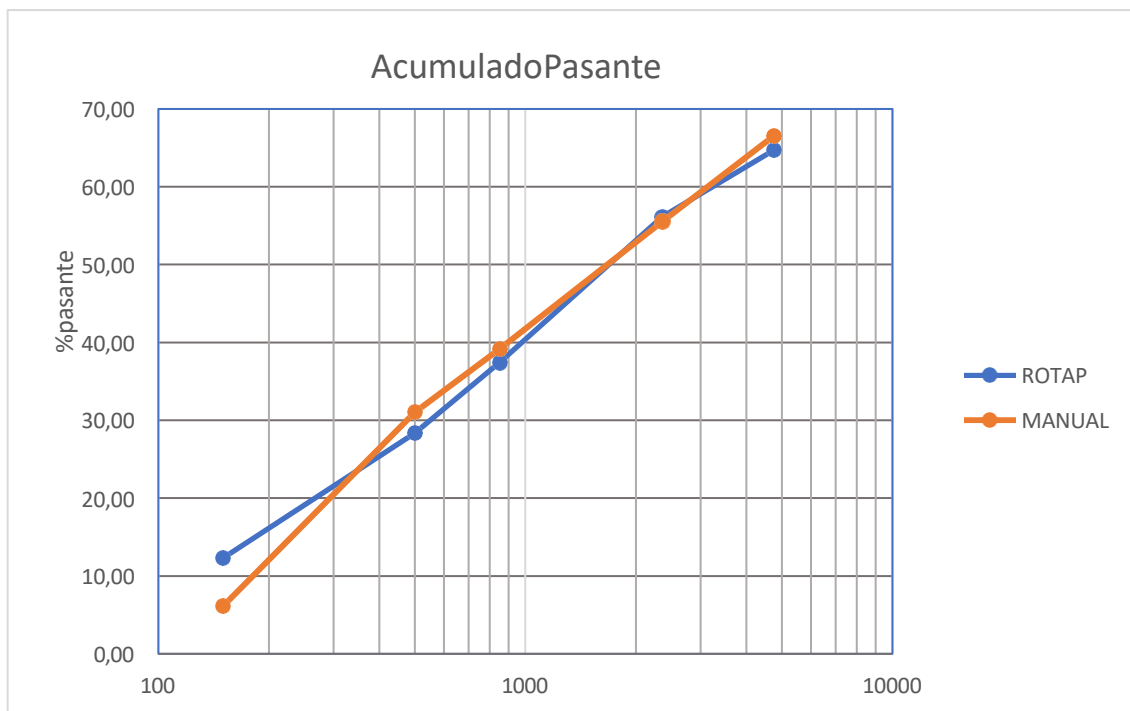


Figura 4.8: curva de muestra 2 ro-tap y manualmente.

CONDICIONES DE LA MUESTRA 3 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.

- Tiempo de agitación 5 minutos.
- Frecuencia 1.
- Masa inicial 392 gramos.

Tabla 4.6 Cálculos granulométricos de muestra 3 método mecánico ro-tap.

Muestra 3	Um	Malla	g	% Parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	260	67,01	32,99
392	2360	8	52	13,40	19,59
	850	20	38	9,79	9,79
	500	35	10	2,58	7,22
	150	100	16	4,12	3,09
		-100	12	3,09	0,00
			388	100,0	

CONDICIONES DE LA MUESTRA 3 CON EL MÉTODO MANUAL.

- Tiempo de agitación 5 minutos.
- Frecuencia 1.
- Masa inicial 668 gramos.

Tabla 4.7 cálculos granulométricos de muestra 3 método manual.

Muestra 3	Um	Malla	g	% Parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	308	46,25	53,75
668	2360	8	92	13,81	39,94
	850	20	92	13,81	26,13
	500	35	46	6,91	19,22
	150	100	86	12,91	6,31
		-100	42	6,31	0,00
			666	100,00	

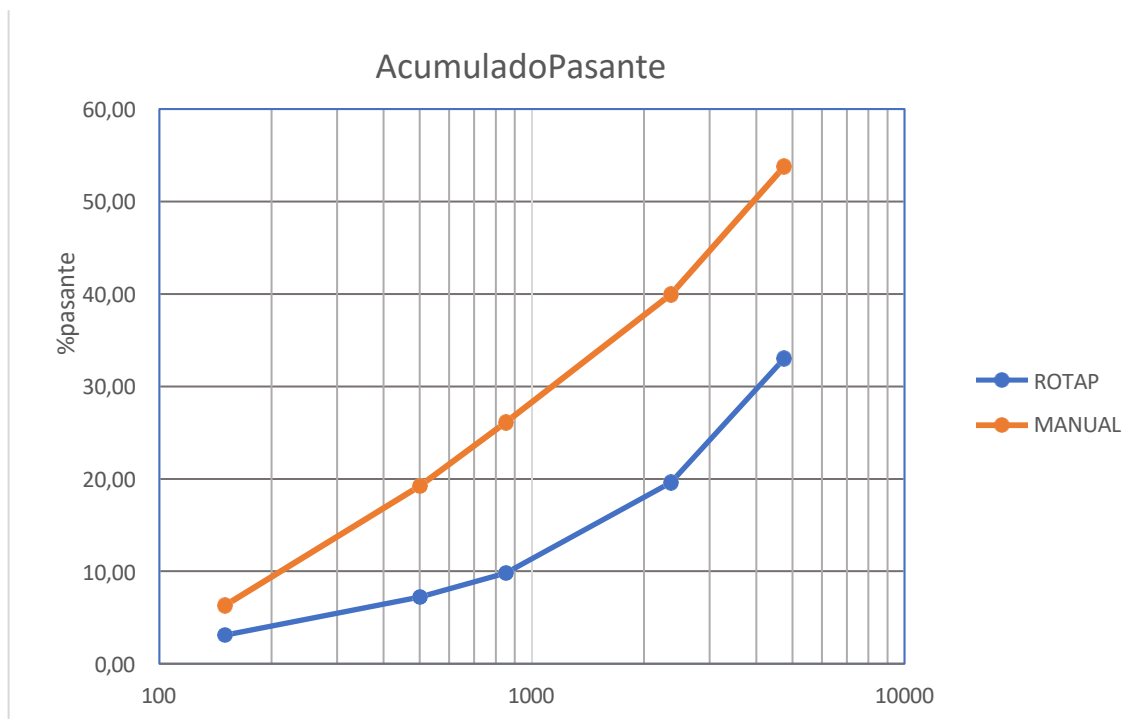


Figura 4.9: Curva de muestra 3 ro-tap y manualmente.

CONDICIONES DE LA MUESTRA 4 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.

- Tiempo de agitación 5 minutos
- Frecuencia 1.
- Masa inicial 400 gramos.

Tabla 4.8: Cálculos granulométricos muestra 4 método mecánico ro-tap.

Muestra 4	Um	Malla	g	% Parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	36	9,14	90,86
400	2360	8	98	24,87	65,99
	850	20	116	29,44	36,55
	500	35	66	16,75	19,80
	150	100	68	17,26	2,54
		-100	10	2,54	0,00
			394	100,00	

CONDICIONES DE LA MUESTRA 4 CON EL MÉTODO MANUAL.

- Tiempo de agitación 5 minutos.
- Frecuencia 1.
- Masa inicial 606.

Tabla 4.9 Cálculos granulométricos muestra 4 método manual.

Muestra 4	Um	Malla	g	% Parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	60	10,00	90,00
606	2360	8	156	26,00	64,00
	850	20	172	28,67	35,33
	500	35	104	17,33	18,00
	150	100	98	16,33	1,67
		-100	10	1,67	0,00
			600	100,00	

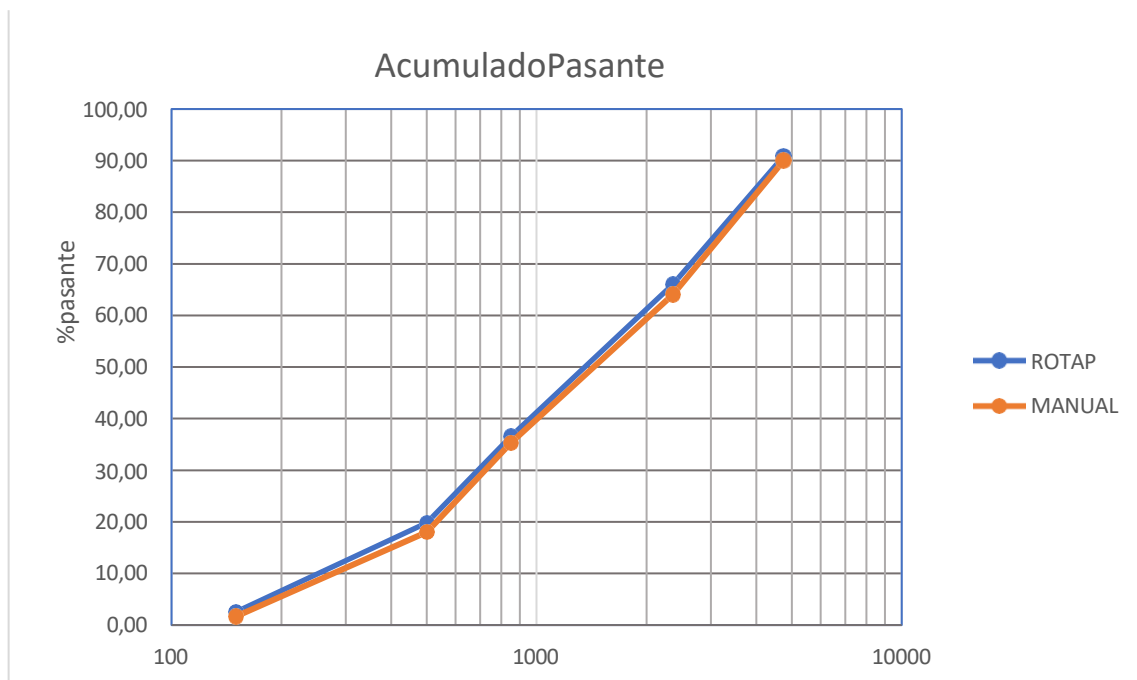


Figura 4.10: Curva de muestra 4 ro-tap y manualmente.

CONDICIONES DE LA MUESTRA 5 CON EL MÉTODO MECÁNICO RO-TAP.

- Tiempo de agitación 5 minutos
- Frecuencia 1.
- Masa inicial 378 gramos.

Tabla 4.10 Cálculos granulométricos muestra 5 método mecánico ro-tap.

Muestra 5	Um	Malla	g	% parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	98	26,34	73,66
378	2360	8	66	17,74	55,91
	850	20	104	27,96	27,96
	500	35	36	9,68	18,28
	150	100	44	11,83	6,45
		-100	24	6,45	0,00
			372	100,00	

CONDICIONES DE LA MUESTRA 5 CON EL MÉTODO MANUAL.

- Tiempo de agitación 5 minutos.
- Frecuencia 1.
- Masa inicial 628 gramos.

Tabla 4.11 Cálculos granulométricos muestra 5 método manual.

Muestra 5	Um	Malla	g	% parcial	% Acumulado
peso inicial	4750	4	152	24,44	75,56
628	2360	8	106	17,04	58,52
	850	20	162	26,05	32,48
	500	35	70	11,25	21,22
	150	100	90	14,47	6,75
		-100	42	6,75	0,00
			622	100,00	

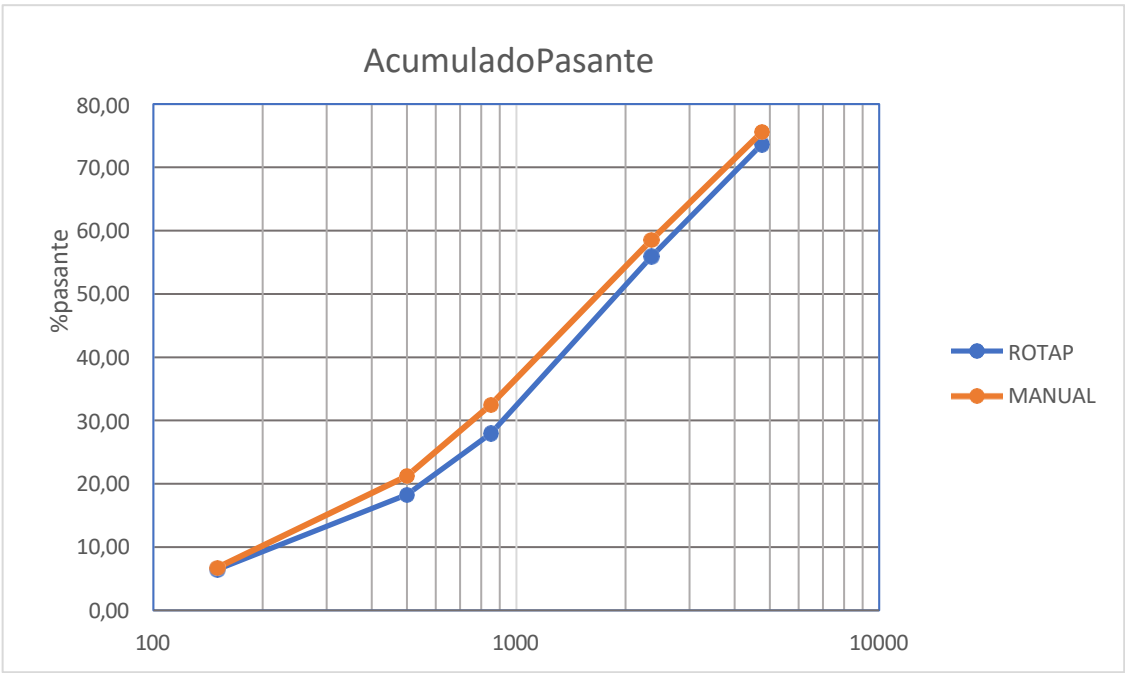


Figura 4.11: Curva de muestra 5 de ro-tap y manualmente.

4.4. ELABORAR UN INSTRUCTIVO DE USO Y MANTENCIÓN DEL RO-TAP



DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO RO-TAP

1- ANTECEDENTES GENERALES

Proceso	Actividad	Tarea
Laboratorio químico – metalúrgico	Análisis físico	Determinación de análisis granulométrico

Cant. Personal requerido	1	Especialidad	Estudiantes área de geominería
Duración de la tarea	20 min	Frecuencia	Según lo acorde a malla curricular

2- HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

N°	Herramientas y equipos	Cantidad	Unidad
1	Ro-tap	1	c/u
2	Balanza	1	c/u
3	Lona	1	c/u
4	Poruña	1	c/u
5	Brocha	1	c/u
6	Tamices (según granulometría a analizar)	5	c/u
7	Pala jis	1	c/u

3- ELEMENTO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

N°	EPP
1	Lentes
2	Guantes
3	Protector auditivo
4	Respirador o mascarilla
5	Delantal
6	Zapatos de seguridad

4- RIESGOS ASOCIADOS A LA TAREA

Como en toda tarea podemos encontrar diferentes tipos de riesgos asociados a esta, es por ello que presentamos una tabla con los riesgos y medidas que hay que considerar para que esto no ocurra.

RIESGOS	CONTROL DE RIESGO
Electrocución	No encender ni apagar equipo con las manos húmedas
Atrapado por	Uso adecuado de EPP (guantes de seguridad)
Golpeado por	No acercarse al equipo cuando se encuentre en movimiento

5- DESCRIPCIÓN DE LA TAREA

Pasos de la tarea (fotos)	Descripción de la tarea
	Con la balanza previamente tarada se pesa muestra total (P1) a analizar, asegurarse que el peso de la muestra no supere los 2k.
	Sobre la lona, añadir muestra total y rolear hasta cumplir con una cantidad de roleos de 20 por lado hasta integrar bien la cantidad de muestra P1, luego se forma una torta y se aplica el método cono cuarteo.
	Escoger los dos cuartos opuestos de la muestra total a analizar asegurarse que la suma de la muestra 2 (P2) a analizar no supere los 800 g para evitar exceso de muestra sobre el tamiz y lograr un mejor desarrollo del proceso.



Añadir P2 a tamices previamente ya ordenados de manera descendente para después llevar los tamices al Ro-tap cuidadosamente sin mucho movimiento. Los tamices a utilizar dependen de la granulometría máxima de la muestra.



Asegurar Ro-tap con la prensa para evitar que los tamices se suelten y no tener perdida de P2. Luego se procede a encender equipo y dejar muestra analizándose por 5/10 minutos. Cumplido el tiempo apagar el equipo y limpiar la zona.



Anotar cada peso correspondiente a cada malla.



Limpiar y dejar ordenada área de trabajo.

6- MANTENCIÓN DEL EQUIPO

1. Revisión en general de motor eléctrico.
2. Lubricar contrapeso / Mensualmente.
3. Cambiar mariposas de apriete según deterioro.



CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

En base a los resultados esperados se logró la creación del ro-tap para la realización de análisis granulométricos.

- ✓ Para la implementación del equipo Ro-tap en el laboratorio químico- metalúrgico de la Sede, fue necesario además la construcción de un atril metálico que permitiese la estabilidad del equipo durante su funcionamiento, este se basó en un croquis diseñado en Soquimich, también se realizó la construcción del ro-tap, el diseño definido por este grupo fue el utilizado en el laboratorio metalúrgico de la Empresa Soquimich, la construcción del equipo requirió de los conocimientos de un soldador experto.
- ✓ Los materiales que se utilizaron en la construcción del ro-tap y el atril se cotizaron y compraron en la ciudad de Vallenar.
- ✓ Las muestras utilizadas fueron preparadas artesanalmente por los estudiantes de la carrera Técnico Universitario en Asistente de Geología de la Sede Vallenar, además las muestras fueron homogeneizadas por roleo y la masa necesaria se logra a través del método cono cuarteo para lograr que las muestras fueran representativas del material inicial.
- ✓ Se realizaron ensayos granulométricos de las diferentes muestras, utilizando el método manual y el método mecánico, ambos descritos en el marco teórico. Se utilizaron en lo posible las mismas condiciones para cada muestra, fijando el tiempo de agitación en 5 minutos.
- ✓ Sin embargo, como las masas variaron y no se realizó un estudio cinético previo para escoger un tiempo en el que realmente la muestra se encontrara completamente repartida entre los diferentes tamices. Las pruebas no fueron concluyentes como para indicar que método obtiene mejores resultados.
- ✓ Sin embargo, es posible afirmar que el método mecánico elimina el cansancio y posibles riesgos por realizar un mal movimiento al aplicar la fuerza necesaria para agitar el set de tamices, además la fuerza depende mucho de cada persona, así

como la fuerza con la cual se agita. En cambio, el método mecánico es constante en su agitación, no provoca daño a las personas y es seguro al trabajar con él.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar pruebas en el agitador mecánico con la misma muestra y cantidad de esta, a diferentes tiempos para determinar el tiempo óptimo, es decir, una cinética.
- ✓ Definido el tiempo ideal comparar con el método manual.
- ✓ Utilizar un peso de 600 gramos como máximo para no tener exceso de muestra en los tamices.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 911 Metallurgist. (2012). *911 Metallurgist*. Recuperado el 26 de diciembre de 2024, de Molino autogeno: <https://metalurgia.911metallurgist.com/>
- Academia Edu. (2024). *Academia Edu*. Recuperado el noviembre de 2024, de Conminución: <https://www.academia.edu/40523843/CONMINUCI%C3%93N>
- ADEMAQ MAQUINARIAS. (s.f.). *ADEMAQ MAQUINARIAS*. Recuperado el 26 de Diciembre de 2024, de Harneros vibratorios: <https://ademaq.cl/product/harnero-vibratorio/>
- BAIONI. (2021). *BAIONI*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2024, de Molinos de barras: <https://www.baioni.it/es/molino-de-barras-operacion-y-uso/#:~:text=El%20funcionamiento%20del%20molino%20de,iniciando%20el%20proceso%20de%20rectificado.>
- CROMTEK. (s.f.). *CROMTEK*. Recuperado el 12 de septiembre de 2024, de Así funciona un Ro-tap: <https://www.cromtek.cl/2020/12/23/asi-funciona-un-tamiz-ro-tap/>
- Empirica. (s.f.). *Empirica*. Recuperado el 26 de Diciembre de 2024, de Harneros trommel: <https://empiricaconsultores.cl/topico-2-clasificacion-por-tamanos-harneros/>
- McLanahan. (s.f.). *McLanahan*. Recuperado el 18 de octubre de 2024, de harneros de barras grizzly: <https://www.mclanahan.com/es/productos/alimentadores-vibratorios-grizzly>
- McLanahan. (s.f.). *McLanahan*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2024, de Chancadores de rodillos: <https://www.mclanahan.com/es/biblioteca-de-recursos/folleto-de-chancadores-de-rodillos-de-accionamiento-directo>
- Metso. (2024). *Metso*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2024, de Chancador de cono: <https://www.metso.com/es/agregados/productos/chancadores/chancadores-de-cono/>
- Sepor. (s.f.). *Sepor*. Recuperado el 26 de Diciembre de 2024, de Harnero curva sieve bend: <https://sepor.com/product/sieve-bend/>
- universidad de atacama . (2024). *universidad de atacama*. Recuperado el 16 de Octubre de 2024, de vision: <https://vallenar.uda.cl/index.php/organizacion/>

Universidad de Atacama. (2024). *Universidad de Atacama*. Recuperado el 16 de octubre de 2024, de Misión: <https://vallenar.uda.cl/index.php/organizacion/>

Universidad de Atacama. (2024). *Universidad de Atacama*. Recuperado el 16 de Octubre de 2024, de vision: <https://vallenar.uda.cl/index.php/organizacion/>

Universidad de Atacama. (2024). *Universidad de Atacama* . Recuperado el 09 de Octubre de 2024, de Historia: <https://uda.cl/historia/>

Yomineria.jimdrofree.com. (s.f.). *Yomineria.jimdrofree.com*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2024, de Chancadores de mandibula: <https://yomineria.jimdrofree.com/metalurgia-extractiva/conminucion/>

GLOSARIO

Compuestos químicos: Son sustancias formadas por la combinación de dos o más elementos químicos en proporciones definidas y que tienen propiedades diferentes a las de los elementos que los forman.

Estequiométrico: Es un término utilizado en química para describir una reacción química en la cual la cantidad de los reactivos y productos esta en porciones directa a sus coeficientes estequiometrico.

Equilibrio químico: Es un concepto fundamental en la química, que se refiere al estado en el que las velocidades de reacción de los reactantes y productos en una reacción química son iguales.

Fundamentos de la metalurgia: Estos son los conceptos básicos y principios científicos que rigen la extracción, el procesamiento y la transformación de los metales a partir de minerales y otros materiales.

Masa: La masa de una muestra es la medida de la cantidad de materia que contiene un objeto o partícula, la masa se mide en unidades de gramo o kilogramo.

Mecánica: Parte de la física que estudia los movimientos y el equilibrio de los cuerpos.

Propiedades mecánicas: Describen el comportamiento de un material ante las fuerzas aplicadas sobre él.

Tonelaje: Se refiere a una unidad de medida utilizada para expresar la cantidad de masa o peso de un objeto, sustancia o mercancía.

Heterogenia: Se refiere a sistemas o mezclas que están compuestas por dos o más sustancias o fases que no están uniformemente distribuidas. Esto significa que las

propiedades de la mezcla puede variar dependiendo de la ubicación o del punto de observación.

Física: Ciencia que estudia las propiedades de la materia, radiación y energía en todas sus formas, con base en el método científico, utilizando un lenguaje matemático.