

Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica

***PROPUESTA PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE
MINERALES NO METÁLICOS:
CASO CHARNOCKITA, CERRO LA DANTA
SECTOR CAMBALACHE, ESTADO BOLÍVAR***

**Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Bachiller Nobregas R. Bermudez A.
para optar al Título de Ingeniero en Minas**

Caracas, Junio de 2016

*Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica*

*PROPUESTA PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE
MINERALES NO METÁLICOS:
CASO CHARNOCKITA, CERRO LA DANTA
SECTOR CAMBALACHE, ESTADO BOLÍVAR*

**Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Bachiller Ricardo A. Nobregas Bermudez
para optar al Título: Ingeniero en Minas**

Caracas, Junio de 2016

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A LA VIDA

A LA UCV

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

Ricardo A. Nobregas Bermúdez

PROPUESTA PARA REDUCCIÓN DE TAMAÑO DE MINERALES NO METÁLICOS:

**CASO CHARNOCKITA, CERRO LA DANTA
SECTOR CAMBALACHE, ESTADO BOLÍVAR**

Tutor académico: Prof. Silva Katherine

Cotutor académico: Prof: Castillejo Miguel

Tutor industrial: Ing. De Abreu José Luis

**Tesis. Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería,
Escuela de Geología, Minas y Geofísica
Departamento de Minas Año 2016, 192p**

Palabras clave: Charnockita, preparación mecánica, simulación circuitos de reducción de tamaño, propiedades geomecánicas.

RESUMEN

Buscándose generar un óptimo aprovechamiento de minerales que permitan el aumento de los agregados gruesos en el país, para satisfacer la demanda del sector de la construcción; se estudió el comportamiento mineralógico, granulométrico y mecánico del mineral Charnockita (variedades de granulitas, caracterizadas por la presencia piroxenos) proveniente del Cerro La Danta, Estado Bolívar, mediante simulación en laboratorio y ensayos geomecánicos, arrojando características particulares las cuales sirvieron de herramienta, junto con fórmulas teóricas, tablas, gráficos y ábacos; para la selección de los distintos equipos a utilizar en el mejor sistema de reducción de tamaño. Debido a los elevados parámetros de resistencia a la compresión simple, resistencia al desgaste, cohesión, módulo de elasticidad del mineral estudiado y los requerimientos del producto en el mercado nacional; se diseñó un circuito constituido inicialmente por un pre-cribador, el cual alimentará una primera etapa compuesta por un triturador de mandíbula, éste generará una pila pulmón con el fin de homogeneizar la mezcla antes de ser transportada hacia una criba vibrante la cual separará las partículas más finas, previendo la sobretrituración de la segunda etapa formado por un triturador de cono tipo Simon's. Finalizada esta etapa, el producto transitará nuevamente por una criba vibrante con el fin de repetir el ciclo anterior y a su vez, alimenta la última etapa compuesta por un triturador de cono tipo Simon's de menor capacidad que el anterior, generando tamaño de partículas más regulares y cúbicas, ideales para el mercado consumidor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.2. BASES TEÓRICAS	8
2.2.1 Ubicación Geográfica	8
2.2.2 Clima	8
2.2.3 Temperatura	9
2.2.4 Humedad relativa	9
2.2.5 Presión media	10
2.3 Geología Regional	10
2.3.1 Formación Mesa	12
2.3.2 Sedimentos recientes	14
2.4 Charnockita	14
2.4.1 Parámetros mineralógicos, físicos y mecánicos	14
2.4.2 Charnockita ubicada en cerro La Danta	15
2.4.3 Descripción petrográfica	16
2.4.4 Resistencia a la compresión simple	17
2.4.5 Uso	17
2.4.6 Forma de explotación	17
2.4.7 Beneficio mineral	18
2.4.8 Costo	18
2.4.9 Producción estimada	18
2.5 Operaciones de fragmentación	19
2.5.1 Mecanismos de fractura	20
2.5.2 Caracterización Geomecánica	21
2.6 Circuitos de reducción	28
2.6.1 Trituración Primaria	29
2.6.2 Trituración Secundaria	42
2.6.3 Revestimientos	38
2.6.4 Trituración Terciaria	¡Error! Marcador no definido.

2.6.5	Cribas	42
2.6.6	Cintas transportadoras	46
MARCO METODOLÓGICO.....		48
3.1	Tipo de investigación	48
3.2	Diseño de investigación	48
3.3	Población y muestra.....	48
3.4	Medios, Técnicas e Instrumentos	50
3.5	Metodología	49
3.5.1	Etapa I: Recopilación y análisis de la Información	50
3.5.2	Etapa II: Recolección de muestras y datos; Error! Marcador no definido.	
3.5.3	Etapa III: Trabajo de laboratorio y oficina; Error! Marcador no definido.	
RESULTADOS Y ANALISIS.....		57
4.1	Estudio Mineralógico.....	57
4.2	Ensayo Granulométrico	59
4.2.1	Análisis Granulométrico.....	65
4.3	Ensayos Geomecánicos.....	66
4.3.1	Ensayo de Tracción Indirecta- Brasileiro	66
4.3.2	Ensayo de Compresión Uniaxial	69
4.3.3	Ensayo de Corte Directo Estático	74
4.3.4	Ensayo de Abrasividad Método Cerchar.....	76
4.3.5	Ensayo de Resistencia al desgaste método Los Ángeles.....	77
4.4	Diseño del circuito de reducción de tamaño.....	80
4.4.1	Precribadores de barras móviles (Parámetros teóricos mínimas)	82
4.4.2	Trituración primaria: trituradora de mandíbula tipo “Blake” (Parámetros técnicas mínimas)	82
4.4.3	Criba vibrante (Parámetros técnicas mínimas).....	84
4.4.4	Trituración secundaria: Triturador de cono tipo Simons. (Parámetros técnicas mínimas)	85
4.4.5	Criba vibrante II (Parámetros técnicas mínimas).....	86
4.4.6	Trituración terciaria: triturador de cono tipo Simons (Parámetros técnicas mínimas)	86
4.4.7	Cintas transportadoras (Parámetros técnicas mínimos).....	87
CONCLUSIONES.....		88
RECOMENDACIONES.....		90
BIBLIOGRAFÍA		91
ANEXOS		94

INTRODUCCIÓN

La minería ejercida de manera responsable y planificada juega un rol fundamental en la economía de un país y en el desarrollo del mismo, es por ello que desde hace muchos años el ser humano ejecuta esta actividad buscando su mejor aprovechamiento, para satisfacer las demandas y el mercado interno de manera segura.

Venezuela se encuentra en vía de su desarrollo económico y social, la actividad minera concerniente a los agregados, juega un papel significativo debido a que se han hecho cambios y reformas legislativas, para disminuir los impactos generados por dicha actividad, tanto en la sociedad como al entorno que la rodea.

Introduciendo al objetivo de este trabajo que se basa en una de las líneas de investigación de beneficio de minerales, ejecutada por el Departamento de Minas de la Universidad Central de Venezuela, con base en la preparación mecánica en función de las propiedades mineralógicas y geomecánicas. En términos generales y desde distintos puntos de vista, es fácil comprender que una de las etapas fundamentales de la actividad minera es la de generar un circuito de reducción de tamaño óptimo, adecuado al material que se está tratando y con el consumo energético apropiado; para así, obtener la mejor recuperación del material de interés, con las especificaciones adecuadas y de manera sustentable.

Los circuitos de reducción de tamaño son objeto de mucho interés investigativo, con el transcurrir del tiempo han florecido nuevas tecnologías, así como una gran cantidad de fabricantes de maquinarias, piezas y partes. Es por ello que se vuelve importante el estudio y la escogencia de dichos equipos, debido a la gran variedad existente. Este es el inconveniente que actualmente enfrentan muchas canteras en Venezuela. Estas canteras cuentan con un grupo de trituradoras y equipos de clasificación de tamaños para procesar material, pero sin haber realizados los estudios respectivos para escoger dichas maquinarias, generando grandes pérdidas a largo plazo. Es por ello que el propósito de este trabajo es relacionar las características mineralógicas y mecánicas del material a explotar, con la selección de los equipos de trituración más apropiados y el diseño del mejor circuito de reducción, con el fin de aumentar el rendimiento y eficiencia de dichos circuitos, creando buenas condiciones para el aprovechamiento del mineral.

A continuación, se presenta en el capítulo I la formulación de la investigación, posteriormente se exponen las bases teóricas que permiten el desarrollo de reducción

de tamaño de minerales no metálicos en el capítulo II, mientras que en el capítulo III se describe la metodología de trabajo con la descripción de las técnicas y ensayos realizados, y finalmente se presenta los resultados y su discusión, al igual que las conclusiones y las recomendaciones.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el municipio Caroní estado Bolívar, donde se encuentran importantes reservas de minerales no metálicos utilizados para agregados en el ramo de la construcción; la mayoría de los circuitos de reducción de tamaño utilizados en dichas operaciones presentan problemas en la generación de productos de tamaños específicos. Esos problemas generan retrasos en la obtención de materia prima, aumentando costos de producción, además de afectar los requerimientos actuales en el rubro de la construcción que demanda la región.

En este trabajo se plantea relacionar las características mineralógicas y mecánicas del material a explotar con la selección de los equipos de trituración y la propuesta para el diseño del circuito de reducción, con el fin de aumentar el rendimiento de dichos circuitos, creando buenas condiciones para el aprovechamiento del mineral.

Esta evaluación se realiza con rocas charnockitas de la formación Imataca, que se encuentran en el sector Cambalache, municipio Caroní, estado Bolívar, las cuales son es uno de los componentes utilizados como agregados para el concreto. El estudio permitirá la generación de un diagrama del sistema de reducción de tamaño y establecer las especificaciones de los equipos en función de la distribución granulométrica requerida.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo General

Proponer el mejor circuito de reducción de tamaño de minerales no metálicos: caso para mineral de Charnockita del cerro La Danta- sector Cambalache, estado Bolívar, con el fin de generar condiciones óptimas de aprovechamiento mineral.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características mineralógicas, físicas y mecánicas de la Charnockita proveniente del sector Cambalache del Cerro La Danta, cantera Con-piedra.
- Establecer las condiciones de operación para la preparación mecánica de la Charnockita a nivel de laboratorio.
- Establecer la distribución granulométrica del material antes y después de la trituración en los equipos de laboratorio.

- Evaluar la efectividad de las operaciones de reducción de tamaño y clasificación de la Charnockita a nivel de laboratorio.
- Diseñar el mejor circuito mecánico de reducción de tamaño del mineral de Charnockita en el cerro La Danta.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Debido al auge que está teniendo el sector de la construcción en nuestro país, es necesario buscar nuevas fuentes de minerales no metálicos en las zonas cercanas a la demanda del mismo. Actualmente se encuentran realizando actividad minera en el sector de estudio, pero debido a la falta de información sobre las características del material a procesar se generan fallas en el sistema de reducción del mineral.

También se obtendrá como resultado las especificaciones de la maquinaria a utilizar, para la propuesta del circuito de preparación mecánica, así como, el adecuado mantenimiento preventivo del mismo garantizando en el tiempo la optimización del proceso y evitando alguna falla que genere pérdidas, como, los niveles de desgastes en las placas, el sobre tamaño de partículas, entre otros.

Los resultados de este trabajo también permitirán reforzar la línea de investigación de beneficio de minerales, Departamento de Minas de la Universidad Central de Venezuela, generar las bases para poder relacionar adecuadamente las propiedades mineralógicas y geomecánicas. También permitirán seguir realizando estudios de este tipo con otro tipo de agregados.

1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación está dirigido principalmente a la industria minera de los agregados del estado Bolívar, municipio Caroni. Específicamente al afloramiento del cuerpo de Charnockita, como una propuesta. Para esto se plantean una serie de objetivos y tareas, las cuales permiten llevar a cabo los estudios y posterior análisis del elemento, mediante una simulación en laboratorio a fin de proporcionar una base de datos geomecánicos, granulométrico y teóricos que contribuyan a la hora de tomar decisiones en el área de diseño y posteriormente adquisición de equipos de reducción de tamaño. Vale destacar que, a partir de los datos arrojados en los ensayos, podrán servir de apoyo para el futuro diseño específico de los elementos de desgaste correspondiente a los equipos pertenecientes al sistema de reducción de tamaño, el cual, para los efectos de esta investigación, se toman consideraciones básicas.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

NIEVES M. (2013) en su trabajo de grado “Elaboración de una propuesta para la explotación a cielo abierto de Charnockita, en la etapa de ingeniería conceptual, cerro La Danta sector Cambalache estado Bolívar”, planteó: Objetivo: Elaborar una propuesta para la explotación a cielo abierto de Charnockita, en la etapa de ingeniería conceptual, cerro La Danta-sector Cambalache estado Bolívar. Conclusiones: Se laborará aproximadamente 288 días/años, con la finalidad de alcanzar una producción de 108,70 m³/h, es decir 16953,30 m³/mes, este valor depende de los requerimientos de la planta de beneficio mineral; Se escogió el siguiente sistema, en principio un alimentador vibratorio luego una trituradora de mandíbula, posteriormente una trituradora de cono y por último una criba vibrante, para así obtener los productos finales los cuales son: 0-1/2”, 1/2”-3/4” y 3/4”- 1”

LORAN, O. (2012) en su trabajo especial de grado “Caracterización geológica y geotécnica de los depósitos de arenas y macizos rocosos presentes en el parcelamiento Rocaura, Sector Cambalache, estado Bolívar” llegó a las siguientes conclusiones: Se realizaron análisis petrográficos a distintas muestras de roca determinando tres tipos de litologías ígneas y metamórficas con altos porcentajes de cuarzo y feldespatos como lo son las charnockita y granulitas intrusionadas por varios diques plutónicos pegmatíticos, el volumen del yacimiento obtenido cercano a los 5.100.000 m³. Se realizaron estudios morfológicos de los sedimentos arenosos extraído en campo, así como de los agregados pétreos obtenido por trituración. Los resultados arrojaron arenas con un porcentaje cercano a 50% de partículas redondas y agregados gruesos con un porcentaje de 80 % de partículas angulosas, el 20% restante está conformado por partículas lajosas y largas no aptas para mezclas de concreto. Solo un ensayo arrojó resultados no deseables en cuanto al análisis de partículas finas en las arenas, sin embargo, su empleo puede ser viable al someterlas al lavado previo para eliminar el contenido excesivo de finos.

Instituto Nacional de Geología y Minería. Informe: “Levantamiento sísmico de Cambalache – Rocaura. Puerto Ordaz - estado Bolívar” (2011). El estudio geofísico determinó dos capas, cuya profundidad de la segunda varía entre cero (0) y cinco (5) metros de profundidad, con espesor que en promedio se pudo establecer de 30 metros.

Las velocidades de propagación mostraron un promedio de velocidad del sonido de 500 metros sobre segundos para la primera capa y de 2.000 metros sobre segundos para la segunda capa. Con estos resultados se estimó un cuerpo de charnockita de aproximadamente 4.989.600 m³.

Instituto Nacional de Geología y Minería. (2008). “Caracterización petrográfico de las rocas del complejo de Imataca aflorantes en la hoja Marhuanta N° 7540 a escala 1:100.000, estados Bolívar y Anzoátegui. Venezuela”. Conclusiones: La investigación determinó microscópicamente, rocas félsicas (granitos, gneises, migmatitas y blastomilonitas) efectos cataclásticos, lo que hace suponer que han sido sometidas a procesos de presión y esfuerzos como ocurre en el metamórfico dinámico. Se observaron rocas charnockitas y las granulitas muestran minerales sódicos y potásicos y alto porcentaje de cuarzo por tal razón se infiere que pudieron ser derivadas de granitos potásicos y sódicos. Se hallaron cuatro unidades estratigráficas, las cuales son el basamento ígneo-metamórfico del complejo de Imataca representando el 45%, el intrusivo joven de Granito de La Encrucijada 5%, sedimentos de la Formación Mesa 35% y sedimentos recientes aluvionales 15% para la clasificación de la litología del complejo de Imataca aflorante en la hoja Marhuanta.

MAIOLINO. R; NAVAS, H. (2004) en su trabajo especial de grado. “Reducción de tamaño en circuito abierto de la laterita ferruginosa, sector El Menito, Estado Zulia”. concluyó: La laterita ferruginosa perteneciente al sector El Menito se considera una mena de mediano tenor de hierro (45%) en promedio de óxido de hierro, la principal ganga es el cuarzo (40%) con dureza en la escala de Mohs de “5”. Luego del estudio de liberación se concluyó que la mena se encuentra liberada en el pasante de la malla 70, por lo tanto, se debe garantizar que una porción mayor al 80% de la mena cumpla con el tamaño si se pretende realizar un proceso posterior de concentración. La relación de reducción de tamaño alcanzada para dicha mena en la etapa de trituración primaria es de 10:1 realizada en una trituradora de mandíbula y en la trituración secundaria de los gruesos obtenidos luego del cribado en seco por una criba vibrante con una malla de abertura 2,38mm es de 3:1 realizada en una trituradora de cilindros lisos con abertura 4mm.

ORTIZ E. y TIRADO R. (2005) en su trabajo especial de grado: “Diseño y construcción de una mandíbula de excéntrica elevada”, diseñaron y construyeron una trituradora de mandíbula de excéntrica elevada. Las pruebas de capacidad y operación arrojaron como resultado datos que dan constancia del buen funcionamiento de los mecanismos de la máquina. En cuanto a la capacidad se pudo observar que la

trituradora procesó un 24 % más de la cantidad en peso para la cual fue diseñada y construida. Según lo observado durante las pruebas, se concluye que el comportamiento de la maquina construida siguiendo el diseño con un bastidor desarmable es positivo, teniendo en cuenta que las vibraciones ocasionales por su funcionamiento normal no exceden los valores que presentan las trituradoras ensambladas sobre un bastidor monobloque. Esto se debe a que en el diseño final no se sacrificó la rigidez que la maquina solicita durante su operación.

ALVAREZ L. y TATA T. (2003) en su trabajo especial de grado: “Diseño de una planta y selección de equipos para trituración de material natural para obtener agregados para la construcción civil y otros usos industriales.” Concluyeron: El diseño de canteras por terrazas se seleccionó por su innovación y porque tiene la ventaja de aprovechar la topografía de la zona, disminuyendo considerablemente los gastos del transporte interno del material. Los equipos seleccionados como triturador primario y secundario es el de mandíbula con movimiento pendular, modelos 11080C y 12040 respectivamente, que cumplen con la capacidad volumétrica establecida por la empresa. Las cribas de clasificación se seleccionaron de acuerdo con el flujo de material transportado y la granulometría del material cumpliendo con los parámetros requeridos por la empresa. El ángulo máximo de inclinación de la cinta es de 15° porque evita que el material se devuelva y contribuye a una adecuada distribución uniforme de la roca triturada a lo largo de la cinta.

PEÑA A. (2013). En su trabajo especial de grado, titulado: “Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 TN/H” concluyó: Se han seleccionado los equipos adecuados para nuestra aplicación de trituración de piedra caliza según: el tamaño de grano de entrada de cada equipo, tamaño grano de salida de cada equipo, capacidad de cada equipo, eficiencia de cada equipo, aplicación, costo y disponibilidad en el Perú. Se demostró que no era necesaria la utilización de una zaranda vibratoria de clasificación debido a que los tamaños de entrada y salida de las trituradoras coinciden perfectamente. A demás se ubicaron eficientemente los equipos en la estructura de la planta móvil respetando las limitaciones de espacio dados por el ministerio de transporte y comunicaciones para el transporte de vehículos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 Geología

Ubicación Geográfica.

El cerro La Danta se encuentra ubicado en la zona norte de Ciudad Guayana, municipio Caroní, parroquia Unare, estado Bolívar. Zona industrial Cambalache. Entre la zona industrial de Matanzas y Puerto Ordaz. Enclavado a la margen derecha del Río Orinoco aproximadamente a 10 kilómetros aguas arriba de la confluencia del Río Caroní con el Río Orinoco. Como se puede apreciar en la figura 1.

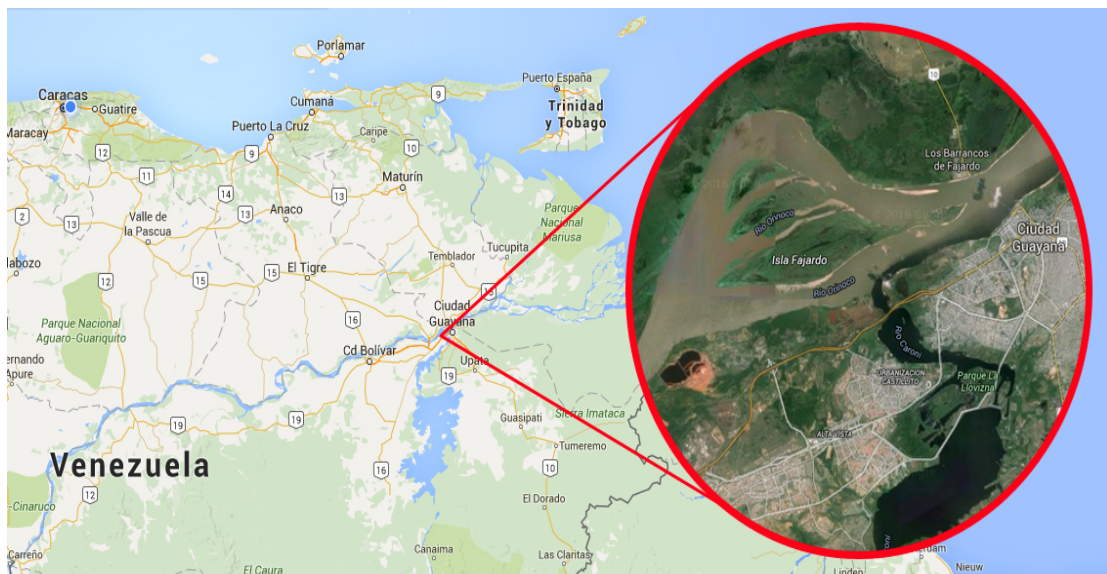


Figura 1: Representación gráfica de la ubicación relativa del cerro la Danta. Tomado de [Google Maps](#)

Clima

La zona de estudio se encuentra enmarcada en un clima tropical con elevada humedad y altas temperaturas, debido a las cercanías del Río Orinoco; el cual controla mediante el régimen de ciclos de inundación el descenso y ascenso de las aguas a lo largo de toda su extensión. Dos estaciones, una lluviosa de abril a noviembre, siendo los meses más lluviosos con 122 mm. Junio, julio y agosto y una seca de diciembre a marzo, en los meses de febrero y marzo los más secos del año con 7,50 mm. Las precipitaciones de regulares a abundantes dan lugar a la creación de zonas de inundación en las áreas adyacentes como caños y ríos, creando algunas veces lagunas o pequeños depósitos de agua dulce, que también son favorecidos por la morfología del terreno. (C.V.G Técnica Minera, C.A., op. cit).

En el siguiente cuadro se presentan las estaciones climatológicas más cercanas al Cerro La Danta, así como su ubicación geográfica y el tipo de estación, aportando valiosa información del lugar en estudio.

Tabla 1: Estaciones Climatológicas.

<i>Estación</i>	<i>Tipo</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
<i>Club Náutico</i>	Pluviométrica	8.333.333	-62.683.337.9
<i>Caroní Macagua</i>	Pluviométrica	8.291.389	-62.655.833
<i>Puerto Ordaz</i>	Climatológica	8.288.690	-62.755.890
<i>Caruachi II</i>	Pluviométrica	8.150.000	-62.789.444
<i>Musinacio</i>	Climatológica	-	-
<i>Mapire</i>	Pluviométrica	-	-

Temperatura

Registros suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrológica (INAMEH), recolectados de la estación Musinacio correspondientes al período 1970-2005, se observa que la temperatura media anual es de 27,6 °C. Siendo los meses de abril y mayo los más calurosos, alcanzando 30,0 °C. Los valores de temperatura media más bajos que se registran son en los meses de enero con 25,6 °C, febrero con 25,5 °C y diciembre con 25,3 °C.

Humedad relativa

La humedad relativa media anual para el período 1994-2007 se registró en 70,85 %, siendo la máxima de 84,71 % para el mes de julio y la mínima en el mes de Febrero con 69,64%.

Tabla 2: Datos climatológicos (humedad relativa) del área de Ciudad Bolívar período 1994-2007. *Presión al nivel medio del mar, sumar 1000 hPa. (Estación Meteorológica - Ciudad Bolívar).

	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Media</i>
Hum. Relat. Media (%)	72,14	69,64	71,64	71,64	76,86	83,36	84,71	80,93	80,08	79	74,77	74,54	70,85

Presión media

La presión media anual registrada para el período 1994-2007 es de 12,05 hPa, la máxima registrada es de 17,03 hPa para el mes de junio y la mínima de 6,92 hPa para el mes de noviembre.

Tabla 3: Datos climatológicos (presión) del área de Ciudad Bolívar período 1994-2007 *Presión al nivel medio del mar, sumar 1000 hPa. (Estación Meteorológica –Ciudad Bolívar).

	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Media</i>
Presión Media (h Pa)	9,44	9,63	9,78	14,84	9,94	17,03	12,82	16,74	9,32	8,56	6,92	8,77	12,05

2.2.2 Geología Regional.

El Escudo de Guayana, ubicado al sur del río Orinoco, ocupa alrededor del 50% de la superficie de Venezuela, con rocas antiguas de hasta 3,41 Ga (granulitas y charnockitas del Complejo de Imataca) y tan jóvenes como 0,711 Ga (kimberlitas eclogíticas de Guaniamo), mostrando en buena parte una evolución geotectónica similar a la de otros escudos precámbricos en el mundo. El escudo está constituido, en orden cronológico, por las provincias geológicas de Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (Figura 2) y el mismo forma parte del Cratón Amazónico del Precámbrico de Sur-América, que se extiende por el norte de Brasil, las Guayanas, restos precámbricos de Colombia y de Bolivia; el cual se encontraba unido a África Occidental hasta la ruptura de Pangea, hace unos 200 Ma. (Mendoza, 2000).

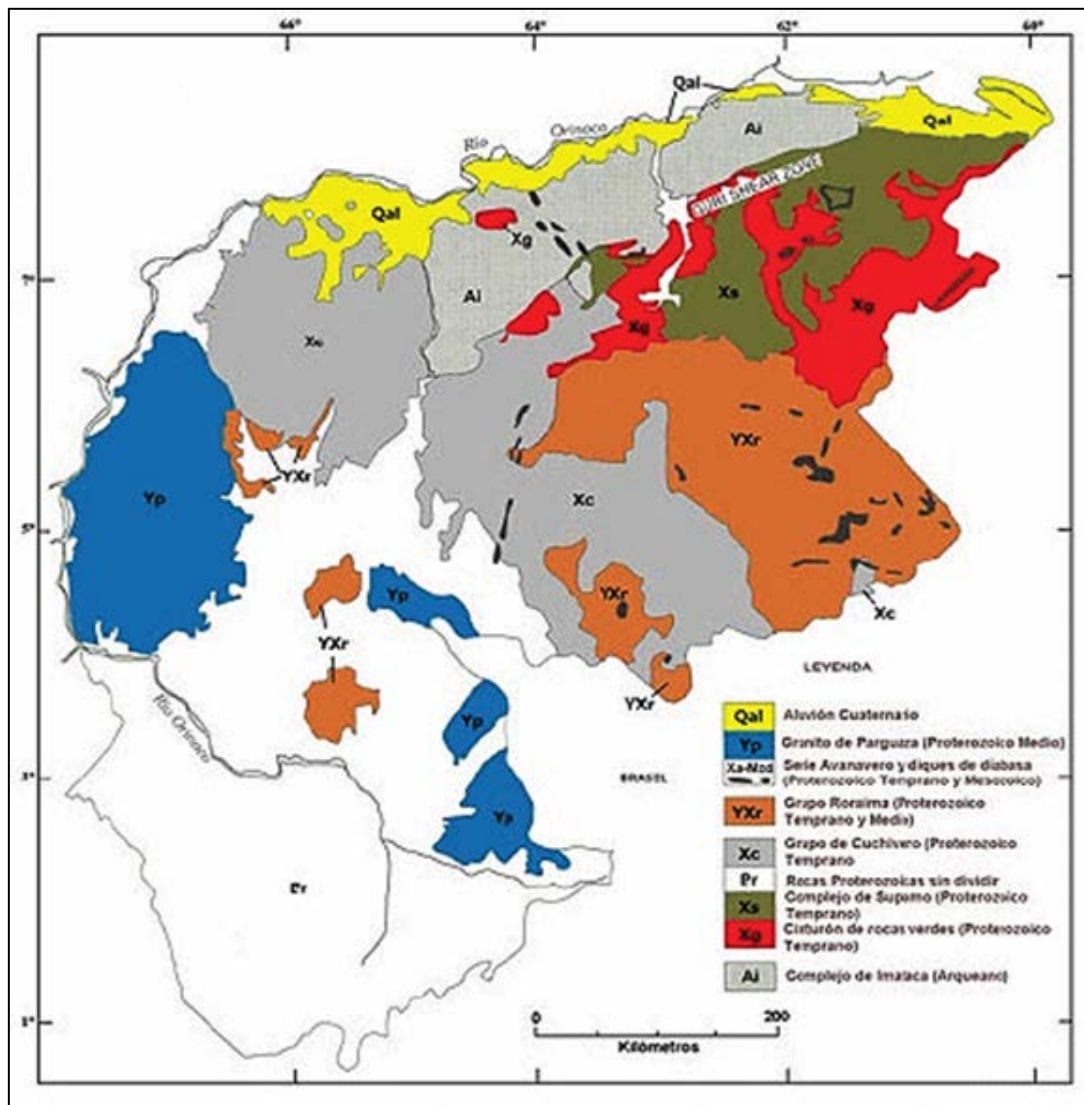


Figura 2. Provincias geológicas del Escudo de Guayana Venezolano. Tomado de Sidder y Mendoza (1995), editada por Jiménez (2009)

La Provincia de Imacata se extiende en dirección SO-NE desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco por unos 550 km y en dirección NO-SE aflora desde el curso del río Orinoco hasta la Falla de Guri con una extensión de unos 80 km (Mendoza, 2000).

Litológicamente, la Provincia de Imataca está formada por gneises graníticos, granulitas félsicas, anfibolitas, granulitas máficas y ultramáficas, también con cantidades menores de formaciones bandeadas de hierro (BIF, por sus siglas en inglés) tipo Algoma, dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes (El Torno-Real Corona).

Según Mendoza (2000), la Provincia de Imataca registra más de seis (6) dominios tectónicos, separados entre sí por grandes fallas tipo corrimientos. Internamente el plegamiento es isoclinal con repliegamiento más abierto. En la parte norte, los pliegues tienen rumbo NO mientras que en la parte sur la tendencia dominante de los pliegues es N 60-70 E que es la que predomina regionalmente; es decir, aproximadamente paralelas a la Falla de Guri, siendo ésta el rasgo tectónico más relevante del Escudo de Guayana, que separa las provincias de Imataca al norte de Guri y Pastora al sur.

Litológicamente la Provincia de Imataca está formada por gneises graníticos y granulitas félsicas (60 – 75%), anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultramáficas (15 – 20%), y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro, dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales, menos metamorfizados y más jóvenes CRV – TTG gnéisicos (Mendoza V, 2.000).

Formación Mesa

Se extiende por los Llanos Centro-Orientales y Orientales (estados Guárico, Anzoátegui, Monagas), sin embargo, se encuentran algunos afloramientos en los estados Sucre y Bolívar (inmediatamente al Sur del río Orinoco) (PDVSA - Intevep, 1997- 2005).

El Complejo de Imataca se observan remanentes erosionales de Cinturón de Rocas Verdes (CRV) similares y correlacionados con los de la región de El Callao. El CRV de la Esperanza lo representa el Grupo Real Corona con basandesitas tipo El Callao y por anfibolitas similares a las del Grupo Carichapo bajo el nombre de Anfibolita de Danta. La Anfibolita de Danta, con tendencia NE, paralela a la Falla de Guri, se extiende hasta río Claro en el río Caroní, donde se le da el nombre de Anfibolita de río Claro. (Mendoza, V. 2000).

Kalliokoski, en Léxico Estratigráfico de Venezuela (1997-2005); introdujo el nombre de Anfibolita de Danta para designar la sección anfibolítica basal de su Serie Real Corona (hoy Grupo), expuesta en el Cerro Danta. La roca es una anfibolita de grano fino a medio y color verde, con andesina y cuarzo, sin epidoto ni clorita; con estructuras locales que pueden presentar almohadillas o brechas con estructuras deformadas de flujo, la unidad exhibe buena lineación mineral, el anfíbol es hornablenda con excelente lineación. Las anfibolitas tienen mineralización dispersa de sulfuros de hierro y escasa mineralización aurífera. Según el mismo autor su

edades Precámbrico, se correlaciona con la Anfibolita de río Claro y con la Formación El Torno. (PDVSA - Intevep, 1997-2005).

Kalliokoski, (1997) en el Léxico Estratigráfico de Venezuela, (PDVSA - Intevep 1997) emplea originalmente el término de Anfibolita de río Claro para designar la unidad constituida por anfibolita de grano fino que se intercala con algunas capas manganesíferas que forma parte del núcleo del sinclinal expuesto en el río claro, en el paso de la carretera Encrucijada-Ciudad Piar y la incluyó en su Asociación Carichapo-Pastora.

Menéndez, (1994; 1995) en el Léxico Estratigráfico de Venezuela sugiere que representa un remanente erosional de un cinturón de rocas verdes y concuerda con la observación hecha por Kalliokoski, quien la correlaciona con su Serie Real Corona - El Torno y con la Anfibolita de Carichapo. El término Formación Carichapo fue propuesto formalmente por Kalliokoski,

Chase (1965) en Léxico Estratigráfico de Venezuela (PDVSA - Intevep 1997), para designar una unidad compuesta esencialmente de anfibolita de grano fino derivada de rocas volcánicas básicas intercaladas con cantidades menores de metajaspes, expuesta desde el Norte de La Paragua al Oeste, hasta los alrededores de Santa María, Miamo y Tumeremo, al Este el nombre es tomado del río Carichapo, donde afloran secciones de la unidad, particularmente su parte anfibolítica, en contacto con el Complejo de Supamo, que se encuentra en el sector del río que corta la serranía de Tomasote.

Chase (1965), en el Léxico Estratigráfico de Venezuela (PDVSA - Intevep 1997), usó el término de Anfibolita de Panamo para designar una secuencia de rocas anfibolíticas que afloran conformando el cerro Panamo, situado 35 kilómetros al Norte del pueblo de El Manteco, el cual lo corta la carretera que une a la Ciudad de Upata con dicho pueblo. El mismo autor señaló su probable sinonimia con la Formación Carichapo, descrita en publicación por Kalliokoski, (1965-a), que fue confirmada por éste.

Menéndez, (1994) en Léxico Estratigráfico de Venezuela (1997-2005), revivió el uso del término litodémico de Anfibolita de Carichapo de Kalliokoski (1965-b) para ser aplicado a la unidad constituida de anfibolitas considerada como equivalente lateral del Grupo Carichapo, en aquellas localidades donde sea evidente que el grupo ha sufrido un metamorfismo superior al de los esquistos verdes.

Sedimentos recientes

Estos sedimentos se conforman de materiales provenientes de la disgregación de la Formación Mesa y descomposición de las rocas del Complejo de Imataca, los cuales son transportados y depositados por las aguas de escorrentía y el viento hacia los diferentes ríos de la región. Los materiales comprenden cantos, peñones, gravas, arenas, limos, arcillas, coloides y otras partículas en suspensión que se han depositado desde el Holoceno hasta el presente en el fondo de los cauces de los ríos, formando depósitos de cauce, y en épocas de crecida, originando las barras de meandro y depósitos de inundación. (Abreu y Orta, 2010)

2.3 Charnockita

Son rocas granoblásticas que contienen antipertita, plagioclasa sódica, hiperstena, diópsido, granate y minerales metálicos. Las charnockitas son, por tanto, variedades de granulitas en el sentido más amplio, caracterizados por la presencia de uno o varios piroxenos. La mayoría de las rocas llamadas granitos piroxénicos son similares a las charnockitas y las charnockitas félsicas (ácidas) son granulitas en sentido estricto (Nieves O. (2012), p. 21)

Parámetros mineralógicos, físicos y mecánicos.

Según Mayo (2010), las tres variedades principales de charnockitas se diferencian esencialmente por la relación existente entre los constituyentes de color claro y de color oscuro. Las charnockitas félsicas (ácidas) contienen mayor cantidad de silicio (Si) que las variedades intermedias y máficas, así como más ortosa y algo más plagioclasa sódica. En las charnockitas máficas, la plagioclasa es el feldespato predominante, de andesita sódica a oligoclasa cálcica, por lo común aunque en rocas de algunas localidades llega a ser tan cálcica como An55-70; gran parte de antipertítica, con laminillas y burbujas de ortosa. La plagioclasa rara vez está maclada, rasgo característico de la mayoría de las charnockitas, el diópsido puede ser más abundante que la hiperstena, que es débil o fuertemente pleocroica y algunos cristales de diópsido contienen laminillas de ilmenita. Puede estar presente hasta el 20% de granate de color lila (piropo-almandino), los accesorios son la hornblenda (que puede ser esencial en algunas variedades), biotita, apatito, ilmenita, hematitas y magnetita. En las charnockitas intermedias la ortosa se presenta en granos individuales y como inclusiones e oligoclasa antipertítica, existiendo gradaciones entre la oligoclasa antipertítica y la ortosa pertítica. Por lo general, el diópsido es más abundante que la hiperstena, que es más rica en hierro que en las charnockitas máficas, en algunas variedades la hornblenda es de color pardo verdoso oscuro pobre

en OH, es más abundante que los piroxenos, los minerales accesorios son el apatito, circón, biotita, minerales metálicos y con menos frecuencia la epidota y la esfena; los secundarios son: cuarzo, calcita y serpentina, según hiperstena. La textura es granoblástica, uniforme, de grano fino a medio, aunque en algunas variedades aparezcan grandes cristales de diópsido. Normalmente todos los constituyentes son alotrifomorfos, con parte del diópsido y esqueletos de cristales de granate. El bandeado o rayado finos son característicos de algunas charnockitas, con capas de minerales máficos (hiperstena más granate; diópsido; hornblenda) alternando con otras feldespáticas. Algunas charnockitas máficas han sido llamadas gneis piroxénicos. La hiperstena forma aureolas o crecimiento continuos sobre el diópsido, siendo raro que los núcleos de hiperstena aureolas formados por cristales aislados de diópsido. La presencia de abundante antipertita y la ausencia de maclado en las plagioclasas, son rasgos texturales característicos.

2.3.2 Charnockita ubicada en cerro La Danta

Mendoza (1974): Según el análisis microscópico presentan minerales potásicos (tipo mesopertita, antipertita, pertita, y microclino), con alto porcentaje de cuarzo, cantidades menores de piroxeno, mica biotita, óxidos e hidróxidos de hierro y como accesorios circón, epidoto y apatito y algunas con trazas de hornblenda; (como se muestra en la figura 4), esto hace concluir que pudo ser derivada de granitos potásicos primitivos. También se observaron que estos minerales se encuentran fracturados, en partes alargados, recristalizados, algunos con bordes suturados y en el caso de la plagioclasa presenta maclas difusas, deformada, combada y ligeramente alterada a sericita, como se puede apreciar en la figura N° 3, esto evidencia el metamorfismo dinamothermal sufrido en las rocas, por las altas presiones y temperaturas se metamorfizó hasta alcanzar la facies de las granulitas. Seguidamente se describe el análisis petrográfico de una (1) muestra de charnockita representadas en las figuras 3 y 4.

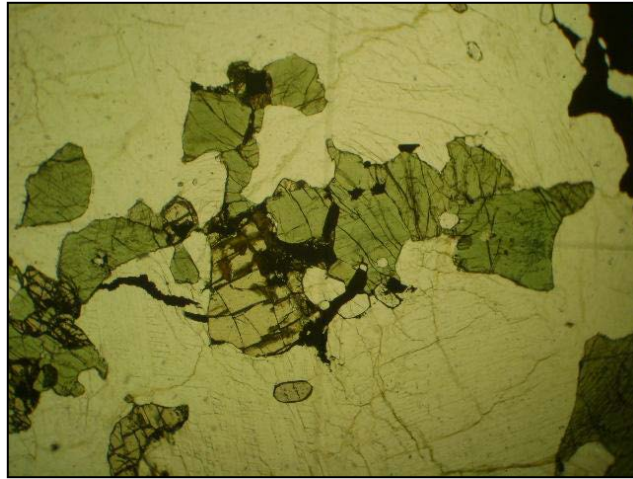


Figura 3: Fotomicrografía de la muestra LD - CTC - 02, empleando nicoles paralelos para observar minerales como: biotita (Bi), apatito (Ap). V. Tomado de: Loran, (2012).

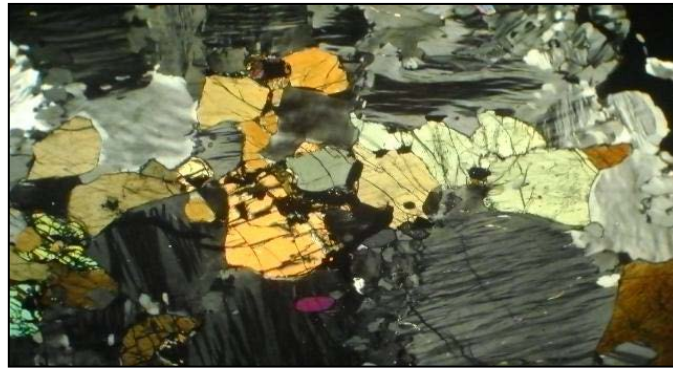


Figura 4: Fotomicrografía de la muestra LD - CTC - 02, empleando nicoles cruzados. Se observan cristales de feldespato (Fk), cuarzo (Q). Tomado de: Loran, (2012).

Descripción petrográfica

En muestras de mano, son rocas duras, frescas, homogéneas, de grano fino a medio, de color gris verdoso. Microscópicamente se observa una textura granoblástica inequigranular ligeramente cataclástica, definida por minerales de tamaño grueso, medios y finos, la mayoría son xenoblásticos, de bordes corroídos, donde los fenocristales por disgregación mecánica han producido agregados suturados y recrystalizados. Presenta estructura masiva y una composición mineralógica con predominancia del feldespato potásico, seguida del cuarzo, anfíbol y piroxenos. Una pequeña cantidad de minerales opacos (3% aprox.) como apatito, hidróxido de hierro y mica biotita también se encuentran presentes en la muestra analizada. (Loran, 2012, p. 119). Como se observa en la tabla 4.

Tabla 4: Composición mineralógica de la Muestra LD - CTC - 02: Charnockitas. Tomado de: Loran, (2012).

<i>Muestra</i>	<i>Minerales Principales</i>	<i>Aproximado %</i>	<i>Minerales accesorios</i>	<i>Alteración</i>
<i>LD-CTC</i>	Feldespato potásico	65-70	Minerales opacos, apatito, óxido e hidróxido de hierro y mica biotita, todos en menos de 3%	Sericita
	Cuarzo	15		
	Anfibol	8		
	Piroxeno	7		

Resistencia a la compresión simple

El empleo de estos resultados permite complementar el criterio de aceptación o rechazo de los agregados pétreos para su uso industrial en la construcción o como balastos ferroviarios, siendo en el último caso donde cobran mayor relevancia. Los resultados para las dos muestras ensayadas arrojan un valor promedio de 879,46 Kg/cm² de resistencia a la compresión, siendo este un valor relativamente alto y aceptable, como se observa en la tabla N° 6. (Loran (2012), p. 154)

Tabla 5: Ensayo de resistencia a la compresión de rocas. Tomado de: (Loran, 2012)

<i>Ensayo de resistencia a la compresión de rocas (5*5*5cm)</i>						
<i>Zona de origen</i>	<i>Muestra</i>		<i>Fuerza axial (Kg/cm²)</i>	<i>Area (cm²)</i>	<i>Resistencia (Kg/cm²)</i>	<i>Promedio (Kg/cm²)</i>
<i>Cambalache</i>	<i>LD-CTC-01 y 02</i>	<i>A</i>	28728	26,82	1071,14	879,461
		<i>B</i>	18240	26,52	687,782	

Uso

La charnockita ubicada en cerro La Danta ha arrojado valores “relativamente altos y aceptables” de resistencia a la compresión, así como lo demuestra Loran, (2012). Si se le agrega la necesidad existente de materia prima demandada por el sector de la construcción, tenemos que de este material actualmente se genera agregados gruesos para la construcción, y en segundo lugar agregados finos para la mezcla de asfalto obteniendo los productos finales de 0-1/2”, 1/2”-3/4” y 3/4 -1in.

Forma de explotación

“En el sector Cambalache se encuentran varias canteras operativas, una de ellas, “Con-Piedra”, ha sido objeto de estudios conceptuales de explotación. La geometría de la explotación son bancos con una altura de 10m, ángulo de corte de talud de 73°, ancho operativo inferior y máximo de 11m y 13m, máxima pendiente de rampa de 10

%, zanjias de 0,70m y berma de seguridad con un ancho de 1,00m y 1,10m de altura, también la mínima cota que puede alcanzar la explotación será la cota -10m". (Nieves, 2013, p. 113)

Beneficio mineral

Nieves O. (2013), propuso en su diseño conceptual que la planta de beneficio mineral, en función de los productos: piedra de 0-1/2", 1/2"-3/4" y 3/4-1, el siguiente sistema de equipos y cintas transportadoras; en principio el material debe ser recibido por un alimentador vibratorio, cuyo máximo tamaño de entrada será de 600mm; luego se requiere una trituradora de mandíbula cuyo tamaño de salida de material estará comprendido entre 80mm-140mm, para posteriormente colocar la trituradora secundaria o de cono, con un tamaño mínimo de salida de 19mm y por último una criba vibrante para la clasificación del material. Se considera un circuito cerrado entre la trituradora de cono y la criba vibrante con la finalidad de obtener el tamaño ideal requerido, todo este sistema conectado a través de seis (6) cintas transportadoras.

Los parámetros de los productos finales, del tamaño máximo de entrada y de los equipos a utilizar en el diseño de la planta de beneficio mineral; Son tomados en cuenta como base para el desarrollo de la propuesta de reducción de tamaño de la charnockita en este trabajo de investigación.

Costo

Nieves, (p.102. 2013), estima que "el orden de magnitud de costos, para el cerro La Danta se encuentra en el intervalo de US\$ 7.432.811,10 - 8.672.060,517, en el anexo N° 4 se describen los costos de los equipos de operaciones, beneficio mineral y perforación y voladura."

Los costos en minería son muy variados y complejos, ya que los procesos productivos se complican por la diversidad de operaciones. Actualmente los costos de arena cernida y lavada varían entre 850 y 1500 mt³ los de piedra picada varían entre 1500 y 3000bs el m³

Producción estimada

La producción estimada de charnockita ubicada en el cerro La Danta, tomando en cuenta condiciones laborales y partiendo de los requerimientos propuestos del Grupo Rocaura, los cuales está comprendido entre 90,91 m³/hora -121,21m³/hora, se realizó la estimación para una alimentación de ±108,70 m³/hora, con la finalidad de alcanzar

la capacidad óptima en los equipos de la planta de beneficio mineral. (Nieves O., 2013, p. 104)

2.4 Operaciones de fragmentación

La fragmentación del material tiene como objetivo reducir, por acción mecánica externa y, a veces, interna, un sólido de volumen dado, en elementos de volumen más pequeño. Con ello se liberan los componentes con valor económico del estéril o, simplemente, se reduce una materia mineral determinada a unas dimensiones dictadas por la utilización, reduciendo el material a unas dimensiones que permitan su comercialización en el sector de los agregados.

Según Gross “la escala de fragmentación de un material varía de uno a otro, por ello se presenta de la siguiente forma; tomando en cuenta la comparación con la escala de dureza de Mohs”, se tiene la tabla 6:

Tabla 6: Comparación entre la resistencia a la fragmentación y la dureza mineralógica. Tomado de: Peláez, (1976).

<i>Material</i>	<i>Resistencia a la fragmentación (kg/cm²)</i>	<i>Dureza Mineralógica</i>
Cuarzo	1000	7
Pirita	0.785	6.0-6.5
Horblenda	0.311	3.5-4
Galena	0.192	2.5

Las fuerzas aplicadas por el equipo de fragmentación a las partículas con que se les alimenta, crean esfuerzos dentro del género, produciéndose la fractura cuando excede el límite elástico de la partícula. La fragmentación puede conseguirse por compresión y por fricción. Para romper los trozos de mayor tamaño se requiere de fuerzas considerables y la fuerza aplicada para lograrlo puede ser progresivamente, o casi instantáneamente, como en el caso de los equipos de trituración por percusión. Si el único factor que interviene es la fricción, se obtiene un producto con componentes mayoritariamente finos, debido al desgaste de la roca contra la superficie de trabajo.

Los métodos de reducción de tamaño pueden agruparse según razón de reducción entre el tamaño de entrada y salida como:

- Extracción: cuando el yacimiento es de tipo masivo, generalmente se realiza con explosivo o arranque mecánico.
- Trituración: primaria, secundaria, terciaria y reducciones subsecuentes de tamaño alrededor de 25mm.
- Molienda: reducciones a tamaños más finos que los obtenidos en la trituración.

2.4.1 Mecanismos de fractura

Según Kelly E. G y Spottiswood D. J. (1990), para que se fracture una partícula se requiere un esfuerzo de suficiente magnitud para superar la resistencia a la fragmentación de ésta. La manera en la cual se fractura la partícula depende de la naturaleza de la misma y, de la manera en la que se aplica la fuerza a la partícula. La fuerza que actúa sobre la partícula puede ser de compresión, (ver figura 5) que ocasione la fractura por tensión. Esta fuerza puede aplicarse con más o menos rapidez, la cual afecta la naturaleza de la fractura. Además, en vez de una fuerza de compresión, la partícula podría someterse a una fuerza cortante, tal como la que se ejerce cuando dos partículas se rozan una con la otra.

La fractura por abrasión ocurre cuando se aplica insuficiente energía para causar la fractura generalizada de la partícula. Más bien ocurren esfuerzos localizados y se fractura un área pequeña para dar una distribución de partículas muy finas.

La fractura de compresión se da cuando la energía aplicada es precisamente la suficiente para cargar comparativamente pocas regiones de la partícula hasta el punto de fractura y solo resultan unas cuantas partículas. Su tamaño es relativamente cercano al tamaño de la partícula original, esta situación ocurre bajo condiciones de compresión lenta en donde la fractura alivia inmediatamente la carga que obra sobre la partícula.

La fractura de estallido (vea imagen 5c) ocurre cuando la energía aplicada es mucho mayor que la necesaria para efectuar la fractura; muchas áreas de la partícula están sobre cargadas y el resultado es un número relativamente grande de partículas con un amplio espectro de tamaño. Esto ocurre bajo condiciones de carga rápida como sucede en un impacto a alta velocidad. Es particularmente significativa la situación ilustrada en la figura 6 (esta ocurre comúnmente en las trituradoras) en la cual se desarrolla una fragmentación parcial en los puntos de cargas. La fractura debida a un impacto de alta velocidad en el que la energía es insuficiente para ocasionar la fragmentación total, puede todavía causar la fragmentación parcial de la superficie de la partícula; la fractura resultante es esencialmente producto de la abrasión.

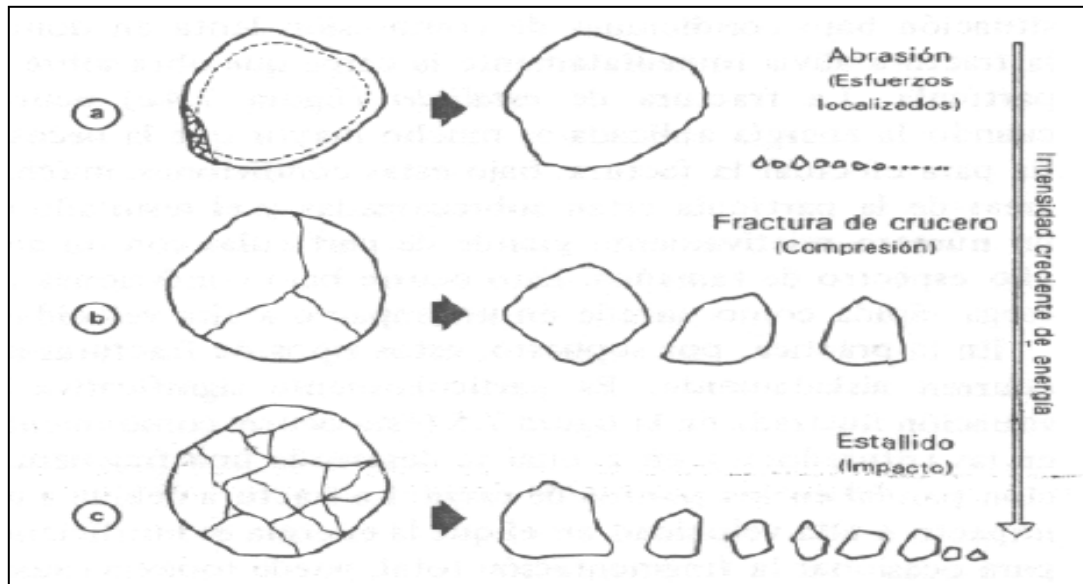


Figura 5: Mecanismos de fracturas. Tomado del Kelly E. y Spottiswood D. (1990)

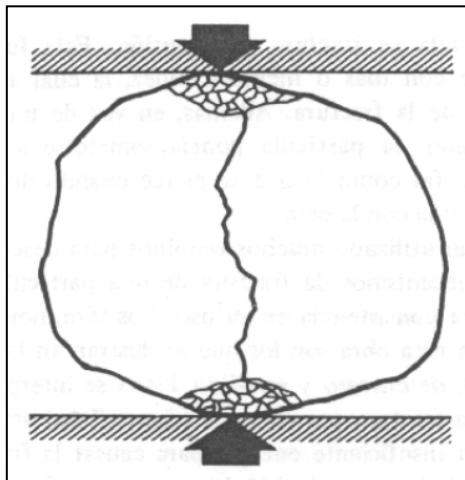


Figura 6: Combinación de los mecanismos de fractura, tal como ocurre en la práctica. Tomado del Kelly E. y Spottiswood D. (1990)

Aquí radica el conocer los parámetros mecánicos de la roca que va a interactuar con el sistema de reducción de tamaño. Por eso es de vital importancia el conocer los parámetros reales de la roca para el cual se va a diseñar el sistema de reducción de tamaño

2.4.2 Caracterización Geomecánica

Para Fueyo (1999). Los ensayos geomecánicos representan una etapa imprescindible en el proceso de caracterización del macizo rocoso, los valores obtenidos a partir de estos permiten cuantificar de una manera aproximada los estados de esfuerzos máximos que puede soportar dicho cuerpo rocoso.

La problemática de la ingeniería mecánica en todos los diseños estructurales es la predicción del comportamiento de la estructura bajo las cargas actuantes o durante su vida útil. Esta práctica aplicada a la ingeniería de minas, busca parámetros cualitativos y cuantitativos de los fenómenos naturales y su relación con el comportamiento de los materiales.

Con el fin de obtener los estados de esfuerzos máximos de la roca en estudio y con ello realizar el diseño teórico-práctico, de los elementos que componen el circuito de reducción mecánica, los ensayos a profundizar son:

- Ensayo de abrasividad Cerchar
- Compresión Uniaxial
- Ensayo de los Ángeles Resistencia al desgaste
- Ensayo de corte directo
- Ensayo tracción indirecta (brasilero)

Ensayo de abrasividad Cerchar

Los ensayos de abrasión determinan la resistencia al desgaste de la roca. Dichos ensayos incluyen el desgaste cuando la roca está sometida a un material abrasivo, cuando está sometida al desgaste en contacto con metales o cuando está sometida al desgaste producido por el contacto entre rocas.

Según la *American Society for Testing Materials* (ASTM) en su norma ASTM D7625, se obtiene el *índice Cerchar* para estimar el valor de la abrasividad. El ensayo consiste en medir el diámetro de la superficie circular producida por el paso de una aguja en una muestra, dicha huella es dejada por un cono de acero en la superficie fresca de la roca. En la tabla 7 se muestra la clasificación cualitativa y cuantitativa del índice Cerchar para algunos tipos de roca

La forma de obtener este índice es a partir de la siguiente expresión:

$$CAI = 0,00254 \sum_{i=1}^{10} di \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde d_i = diámetro de huella.

Tabla 7: Clasificación cuantitativa, cualitativa y tipos de rocas según el índice Cerchar. Tomado de: Ensayos geotécnicos de suelos y rocas Universidades de Alicante y de La Laguna. Tomás, R., Santamarta, J.C., Cano, M. Hernández-Gutiérrez, L.E., García-Barba, J.(2013).

<i>Tipo de roca</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Índice Cerchar</i>
Gneis, pegmatita, granito	Extremadamente abrasiva	>4.5
Anfibolita, granito	Altamente abrasiva	4.25 - 4.5
Granito, gneis, esquistos, piroxenos, arenisca	Abrasiva	4.0 - 4.25
Granito, gneis, dolerita	Moderadamente abrasiva	3.5 - 4.0
Arenisca	Poco abrasiva	1.2 - 2.5
Caliza	Muy poco abrasiva	<1.2

La abrasividad también se puede medir a partir del *índice Schimazek*, este índice se expresa como:

$$F = Q \cdot d_{50} \cdot S \cdot t \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

F = coeficiente de abrasividad (N/m)

Q = contenido en cuarzo equivalente en minerales abrasivos (%)

d_{50} = diámetro medio (mm)

St = resistencia a tracción (N/mm²)

Según este índice de abrasividad la roca es la siguiente:

Tabla 8: Calificación cuantitativa y cualitativa de índice Schimazek. Tomado de Kelly E. y Spottiswood D. (1999).

<i>Abrasividad F (Kg/cm)</i>	<i>Rozabilidad</i>
0.2-0.3	Muy Buena
0.3-0.4	Buena
0.4-0.5	Moderada
0.5-0.6	Regular
0.6-0.8	Mala
0.8-1.0	Muy mala

Compresión Uniaxial

“La resistencia a la compresión uniaxial está definida como la sollicitación $\sigma_1=C_0$ máxima que una muestra cilíndrica de roca es capaz de soportar. El valor

determinante para C_o depende de la rugosidad de la superficie, del no paralelismo y la perpendicularidad entre las caras” Castillejo, (1993). Debe tomarse en cuenta además las dimensiones de la muestra, tal es el caso del diámetro “D”. En este ensayo la muestra cilíndrica de roca es colocada entre dos piezas cilíndricas de metal y por medio de una prensa se somete a una sollicitación creciente de σ_1 , tal como se muestra en la figura 7.

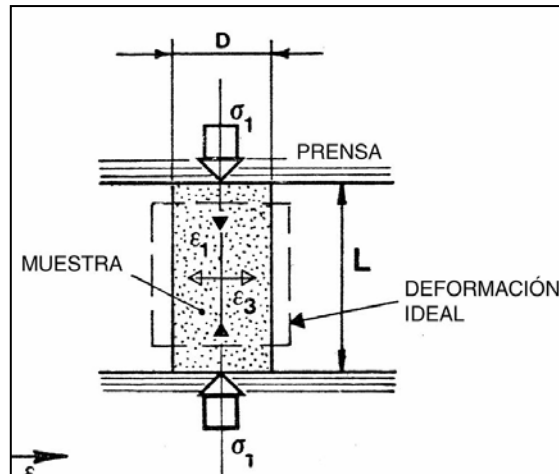


Figura 7: Ensayo de compresión uniaxial (Castillejo, 1993)

Castillejo (1993), indica “determinar el máximo diámetro “d” de un grano sencillo componente de la roca y seleccionar el diámetro de la muestra “D” de manera que se cumpla la relación “D/d> 10”. La altura de la muestra “L” deberá ser múltiplo del diámetro”. Diversos ensayos de laboratorio, realizados en distintos tipos de rocas confirman que “ C_o ” disminuye al aumentar la relación “L/D”, según una ley del tipo:

$$C_o = (C_o)_1 \left(0.778 + \frac{0.222}{L/D} \right)$$

Ecuación 3

Donde $(C_o)_1$ representa la resistencia a la compresión de una muestra de roca cuyo $L/D < 2$. En el gráfico 1. Se refleja el diagrama correspondiente a dicha ecuación, comparada con resultados experimentales. Se puede constatar que, para $L/D \geq 2,5$, la variación de $C_o/(C_o)_1$ es despreciable, siendo esta relación la sugerida por muchos investigadores, y considerando la relación mínima de $L/D=2$ como aceptable (Castillejo, 1993).

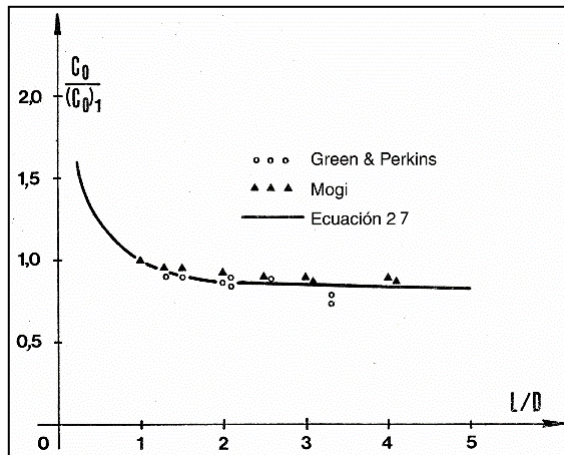


Figura 8: Variación de la resistencia a la compresión uniaxial en función de la relación L/D (Castillejo, 1993)

Ensayo de los Ángeles Resistencia al Desgaste

Este ensayo trata de medir la pérdida de masa que sufre un árido al someterlo a un proceso continuo de desgaste. Se fundamenta en someter una determinada cantidad de muestra (previamente lavada y convenientemente separada) a la acción de la máquina de Los Ángeles, compuesta por un cilindro hueco de acero (tambor) atravesado longitudinalmente por un eje en su parte central que posibilita su giro. En ella se introduce tanto la muestra de árido como una carga abrasiva, compuesta por un número variable de esferas de acero macizo en función de la granulometría ensayada. Una vez dentro, se hace girar el tambor con una velocidad angular constante, dando entre 500 y 1000 vueltas, según la granulometría del árido. Una vez acabado este proceso, se separa la fracción retenida por el tamiz. 12° para lavarla y descargarla en estufa antes de efectuar su pesada. El coeficiente de desgaste de los ángeles vendrá dado por la relación entre la masa perdida (diferencia entre la masa inicial y final) y el peso inicial de la muestra de árido, expresada en tanto por cien:

$$L. A. = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Un índice superior a 50 indica la mala calidad y escasa resistencia al desgaste de un árido, lo hace inservible para su uso en carreteras. En cambio, un valor inferior a 20 da idea de la excelente calidad y bajo desgaste del árido, pudiendo emplearse en firmes, especialmente en la capa de rodadura.

Ensayo de corte directo

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de roca, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga (Espinace, 1979).

Para conocer una de estas resistencias en laboratorio se usa el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (P_v) y luego una carga horizontal (P_h) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra (Espinace, 1979).

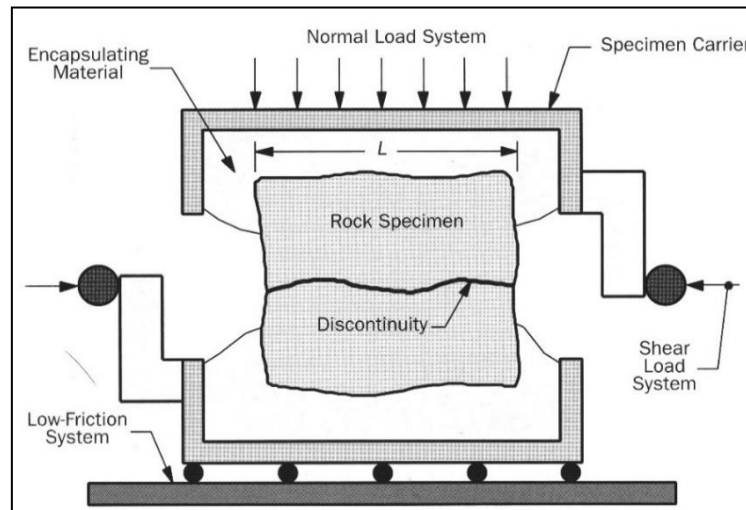


Figura 9: Esquema del aparato de Corte Directo (Kliche, 1999)

El ensayo induce la falla a través de un plano determinado. Sobre este plano de falla actúan dos esfuerzos (ver figura 9)

- Esfuerzo normal (σ_n), aplicado externamente debido a la carga vertical (P_v).
- Esfuerzo cortante (τ), debido a la aplicación de la carga horizontal.

Estos esfuerzos se calculan dividiendo las respectivas fuerzas por el área (A) de la muestra o de la caja de corte y deberían satisfacer la ecuación de Coulomb:

$$\tau = C + \sigma_n * \tan \varphi \quad \text{Ecuación 5}$$

Según esta ecuación la resistencia al corte depende de la cohesión (C) y la fricción interna del suelo φ . Al aplicar la fuerza horizontal, se van midiendo las

deformaciones y con estos valores es posible graficar la tensión de corte τ , en función de la deformación ε en el plano de esta tensión de corte. De la gráfica es posible tomar el punto máximo de tensión de corte como la resistencia al corte de la roca (Espinace, 1979).

(Espinace, 1979) Los valores que se llevan a un gráfico en función del esfuerzo normal, obteniendo la recta intrínseca, donde τ va como ordenada y σ_n como abscisa. El ángulo que forma esta recta con el eje horizontal es el ángulo ϕ y el intercepto con el eje (τ), la cohesión (C). (Ver figura 10)

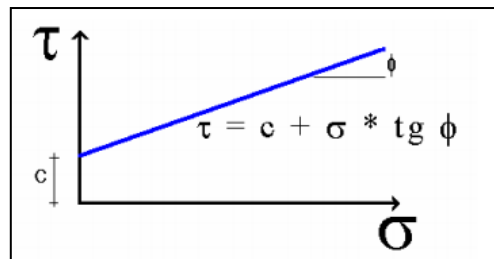


Figura 10: Gráfico en función del esfuerzo normal (Espinace, 1979)

Ensayo tracción indirecta (brasileiro)

Este ensayo, consiste en medir la resistencia a la tracción uniaxial de una probeta de roca indirectamente, asumiendo que la rotura se produce por tracción cuando la roca se somete a un estado de esfuerzos biaxial, con un esfuerzo principal fraccional y otro compresivo de magnitud no superior a 3 veces el esfuerzo traccional. Se aplica una carga vertical compresiva sobre un disco o cilindro de roca, que se coloca en horizontal entre dos placas a través de las cuales se transmite la fuerza para conseguir su ruptura. Se pueden emplear placas planas o esféricas cóncavas para transmitir las cargas.

Para calcular la resistencia a la tracción, de especímenes de roca intacta (σ_t) se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\sigma_t = 2P/\pi LD \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

P= Es la máxima carga aplicada (Kg).

L= Es el espesor de la muestra.

D= Es el diámetro de la muestra.

2.5 Circuitos de reducción

En las operaciones mineras, el diseño de plantas de trituración y los equipos auxiliares son un factor crucial en el cumplimiento de los requisitos de producción, manteniendo el capital y los costos operativos al mínimo de acuerdo con Ken Boyd *et al.* Los parámetros críticos de diseño, así como la consideración de las características del mineral, la ubicación geográfica, condiciones climáticas, la vida operativa esperada, potenciales de expansión, seguridad, medio ambiente, la operabilidad y mantenimiento, son fundamentales al momento de diseñar un circuito de reducción de tamaño.

El objetivo fundamental del diseño de una planta de trituración es una instalación que cumpla con los requisitos de producción requeridos, que opere a un costo competitivo, cumpla con las regulaciones ambientales difíciles de hoy, y se puede construir a un precio razonable a pesar de los crecientes costos de los equipos, energía y construcción trabajo.

Según Kelly E. y Spottiswood D.I (1990), los métodos de reducción de tamaño pueden agruparse de varias maneras, pero como la reducción ocurre en etapas, el tamaño de las partículas aporta el método primario de agrupamiento. Si el cuerpo de mineral es de carácter masivo, el minado o extracción es en realidad la primera etapa de reducción de tamaño, y generalmente se realiza con explosivos, aunque pueden usarse medios mecánicos en los minerales más blandos. El término trituración se aplica a las reducciones subsecuentes de tamaño hasta alrededor de 25mm, considerándose las reducciones a tamaños más finos como molienda. Tanto la trituración como la molienda pueden subdividirse aun en más etapas.

En este sistema compuesto por diversos elementos se busca romper el género, tratando que se fracture por las uniones entre los componentes de la mena, para dejar libre de ganga a los granos del mineral útil. La trituración no es únicamente un proceso mecánico, es también un proceso cinético en el cual los efectos moleculares ordinarios y químicos influyen de manera importante.

Una de las clasificaciones más usadas es la basada en los tipos de fuerzas que emplean los equipos, los cuales pueden ejercer, compresión, abrasión o atrición, impacto o cizallamiento, lo que permite clasificar los equipos en aquellos que actúan por compresión, por impacto y por abrasión.

La fragmentación se divide en dos grandes bloques en base a la tecnología utilizada, trituradoras y molinos. Para las primeras, trituradoras, se consideran habitualmente

tres escalones, 1º, 2º y 3º, y la molienda se divide en gruesa, media, fina y micronización.

Tabla 9: Clasificación de los procesos de trituración. Tomado de: Pelaez, 1976.

<i>Etapa de Trituración</i>	<i>Rango tamaño alimentación</i>	<i>Rango tamaño producto</i>
<i>Primario</i>	>1524mm (60")	152-305mm (6-12")
<i>Secundaria</i>	152-457mm (6-18")	37-127mm (1 1/4-5")
<i>Terciaria</i>	19-152mm (3/4-6")	5-25mm (3/16-1")

Los circuitos de fragmentación son combinaciones de equipos de acuerdo con Emilio Andrea Blanco, básicamente un clasificador (CL) y un fragmentador (F) a los que se introduce la alimentación (A) y se descarga el producto (P). El producto, salvo excepciones como el caso del circuito abierto tipo (F), no coincide con el fragmentado (B). Se clasifican en dos grandes grupos:

- Circuitos abiertos: Se caracterizan por una alimentación directa y una salida y están formados por un equipo de fragmentación, sólo o un fragmentador y un clasificador con un funcionamiento sin recirculación.
- Circuitos cerrados: La característica básica de los circuitos cerrados es la existencia de un flujo de material entre el clasificador y el fragmentador, que circula a través de ellos en un circuito de ida y retorno, un sistema de circulación interno cerrado, produciendo una carga circulante entre ambos equipos.

2.5.1 Trituración Primaria

Se alimenta con el mineral que la mina envía, y por este motivo las maquinas deben ser capaces de admitir el trozo más grande que venga en la zafra (Navas y Maiolino

2004). La planta de beneficio mineral, recibe al material procedente del frente de mina, en este punto. Siguiendo la corriente de esta investigación, nos referimos a Nieves O. (2013), en el aporte de los parámetros iniciales, como el tamaño máximo de entrada, etc. Para la definición del tipo de planta y su diseño.

Nieves O. (2013), propone para la Charnosckita que el material debe poseer un tamaño máximo de entrada de 600 mm, el tipo de planta debe ser fija, ya que se minimizan los costos en un aproximado 30 % y los equipos a emplear deben ser un alimentador vibratorio, una trituradora de mandíbulas, un triturador de cono y por último una criba vibrante.

Trituradora de mandíbula

Normalmente consta de una mandíbula móvil (1) y una fija (2) como se puede ver en la figura 11, que está articulada en su parte superior y que, por oscilación sobre este eje, se puede acercar y alejar de la mandíbula fija, comprimiendo la roca entre ambas en este movimiento. La fuerza para la compresión se comunica a la mandíbula móvil mediante el giro de un segundo eje excéntrico (5), con un gran volante de inercia, que mueve una biela (3) y esta acciona dos placas o tejas (4) entre la mandíbula móvil y un punto fijo. Este tipo de dispositivo es un eficiente multiplicador de fuerzas que permite fragmentar las rocas y minerales entre las mandíbulas del equipo cuando estas se acercan y liberar la presión cuando se separan. Para garantizar el retroceso de la mandíbula móvil y mantener unido todo el conjunto de piezas móviles existe un vástago con un muelle de presión (6) que es comprimido al cerrarse la mandíbula y fuerza la apertura en la fase de abertura. El trabajo es alternativo y por este motivo es necesario disponer de volantes de inercia para facilitar un funcionamiento más regular de los accionamientos y motores, Fueyo (1990).

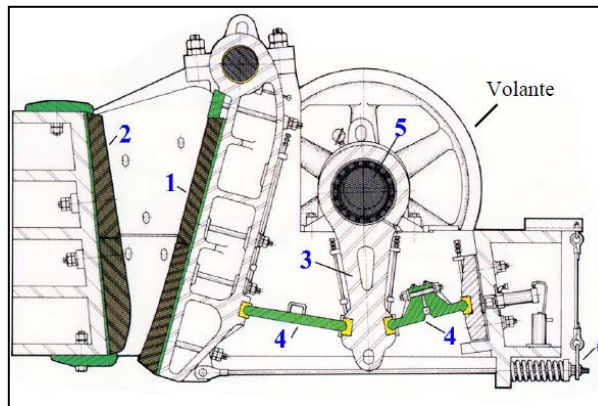


Figura 11: Corte esquemático de trituradora de doble efecto. Tomado: Fuller-Traylor.

Diámetro máximo y Boca de admisión

La boca de admisión de una trituradora de mandíbula queda definida por las dimensiones del ancho de la boca (A) y el largo de la boca (L), de acuerdo a como se muestra en la figura 12.

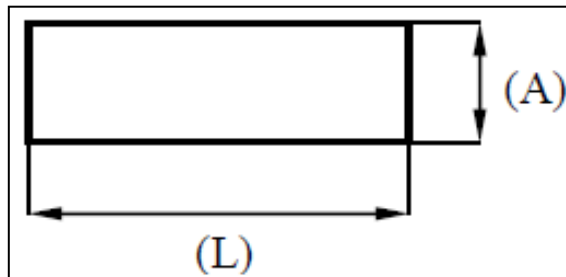


Figura 12: Dimensiones de la boca de admisión, trituradora de mandíbula.

Para no tener problemas con la entrada de fragmentos grandes a la trituradora, debe cumplir que:

$$D_{max} = 0.85 * A \quad \text{Ecuación 12}$$

El ancho y el largo de boca están relacionados por la siguiente expresión:

$$L = (1.5 - 2) * A \quad \text{Ecuación 13}$$

Ortiz y Tirado (2005), recomiendan que el ancho mínimo de la trituradora deba ser de un 15% mayor que el tamaño máximo de la alimentación. Estos datos deben compararse con los ábacos del fabricante que relacionen el Dmax con la capacidad de la trituradora.

Capacidad de trituración y reglaje (Taggart)

El reglaje es la abertura de la boca de salida en posición abierta (r) como se muestra en la figura 13. La capacidad de una trituradora de mandíbulas la podemos obtener por medio de: Ábacos, tablas (proporcionadas por los fabricantes de equipos) y fórmulas empíricas.

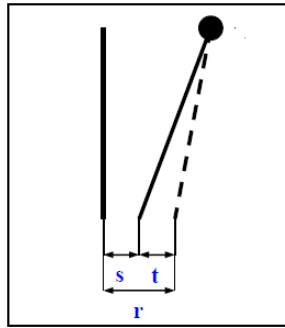


Figura 13: Esquema de una vista transversal de una Trituradora de mandíbula, donde se muestra el reglaje.

El reglaje se puede determinar como la siguiente sumatoria:

$$r = s + t \quad \text{Ecuación 14}$$

donde:

s (m)= Boca de salida en posición cerrada.

t (m)= Recorrido de la mandíbula.

r = Reglaje.

Utilizando la formula empírica según Taggart:

$$T = 0,6 * L * r \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

T = capacidad de la máquina.

L (m)=longitud de la máquina.

r (m)= Desplazamiento horizontal entre mandíbulas.

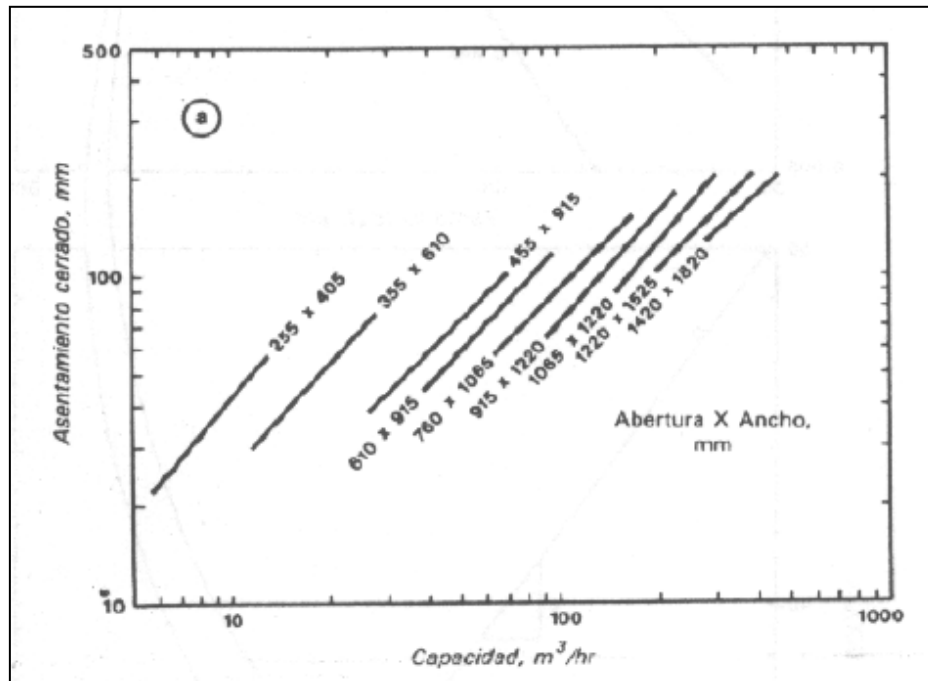


Figura 14: Capacidad trituradora de mandíbula. Tomado del Kelly E. y Spottiswood D. (1990).

Transmisión de la potencia aplicada al eje excéntrico

Cuando se aplica una potencia W al eje de la excéntrica, se produce un trabajo que es igual al producto de la fuerza por el camino recorrido, y así el trabajo en un giro completo, con una excentricidad ρ será:

$$P = (9,55 * W) / (\rho * n) \quad \text{Ecuación 16}$$

Siendo:

P : Fuerza de tracción sobre la biela en N.

W : Potencia sobre el eje de la trituradora en W.

ρ : Excentricidad en m.

n : r.p.m.

La fuerza de tracción ejercida sobre la biela debe ser superior a la resistencia a la tracción del material que se está triturando, este parámetro será suministrado por el ensayo de tracción indirecta método brasilero.

Revoluciones por minutos (RPM)

Blanco, Emilio 2014 Tecnología mineralurgia, capítulo Trituración “La carga dentro de la trituradora se desplaza, en la dirección vertical, por el efecto de la gravedad. Existe un desplazamiento forzado por el movimiento de las mandíbulas, más acusado

en las de simple efecto con accionamiento giratorio en la propia mandíbula móvil, que describen en su movimiento una elipse con componente horizontal y componente vertical.”

$$n = 664,4 \sqrt{\frac{\tan \alpha}{t}} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

n= Número de oscilaciones por minuto. Igual al número de r.p.m. del volante

α = ángulo formado por la mandíbula en movimiento

t= recorrido de la mandíbula

Normalizada para ángulos entre 20°-22°. Expresión que relaciona la velocidad de rotación de la excéntrica (r.p.m.) con el desplazamiento de las mandíbulas (cm) y el ángulo (°) entre mandíbulas en la posición más cercana.

Trituradora giratoria

2.5.2 Trituración Secundaria

Según Peláez, 1976. “Esta etapa comprende el procesamiento de la distribución granulométrica obtenida de la trituración primaria (152-457mm) dando productos 37-127mm (1 1/4-5”)”. Se recibe el material procedente de la trituración primaria, normalmente clasificado y proveniente de una pila pulmón, con el fin de eliminar los tamaños de grano más finos, evitando sobre trituración e ineficiencias en la capacidad de la trituradora. Los tamaños productos son considerados gruesos por las denominaciones más habituales de productos de canteras y haciendo referencia a (Nieves, 2013, p. 107) “El diseño de la planta de beneficio mineral, se determinó a partir de las dimensiones de los requerimientos de los productos finales estos son: piedra de 0-1/2”; 1/2-3/4” y 3/4-1” el producto de esta etapa, será el alimento de la trituración terciaria. Se utilizan equipos más ligeros que las máquinas primarias, pues reciben un material ya fragmentado por la etapa anterior.

Trituradora de cono

Según (*Minerals Processing Technology Center* en su publicación *One source, Giratory Crushers* 2015) “En estas máquinas los materiales a triturar se reducen por compresión entre una pared cónica fija, denominada cóncavo, y un tronco de cono móvil, denominado nuez o cabeza, que está dotado de un movimiento excéntrico en el interior del espacio limitado por ambas superficies. El cono móvil, en su desplazamiento de giro excéntrico en uno de los extremos, se acerca a cada una de las

generatrices de la pared cónica fija y después se aleja, sometiendo al material a sucesivas compresiones y liberaciones de presión. La nuez puede girar solidaria con el eje o libre para disminuir el rozamiento y el movimiento excéntrico se puede producir por el giro excéntrico de la base del eje o por el giro centrado y ser la nuez la que está montada de forma excéntrica y solidaria. El material en el interior circula por gravedad a una zona inferior donde será sometido a una nueva compresión.”

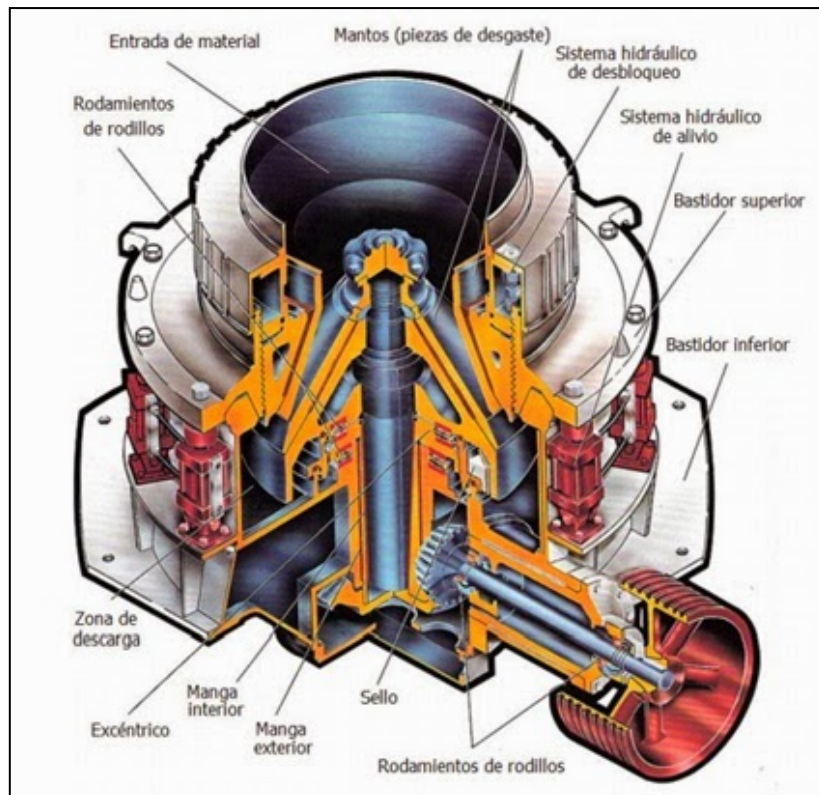


Figura 15: Partes de una trituradora de cono. Tomado de: <http://tritucionesamerica.com/equipo-trituracion.php>.

A pesar de que su movimiento es giratorio, la fuerza dominante es la compresión existiendo en menor grado acciones de flexión y de abrasión por el efecto de giro relativo de la nuez y el cóncavo y las acanaladuras de las protecciones. Según Fueyo (1990) “La trituración es discontinua en cada generatriz, pero el efecto práctico durante un giro completo, en la cámara de quebrantado (volumen entre los dos conos, el móvil y el fijo), es de continuidad en el proceso. La descarga es continua en tanto se mantenga la alimentación y la regulación se efectúa modificando la altura relativa de cóncavo y nuez y esto se puede conseguir regulando la tuerca superior que soporta la nuez o bien mediante un sistema hidráulico que eleva el eje y que, normalmente, sirve de sistema anti-intriturable”.

Como característica relevante se puede indicar después de apreciar en repetidos textos que este tipo de equipos produce menos atascamientos que los de mandíbulas y que para similar boca de entrada tiene una mayor producción. Se designa, normalmente, por la apertura de la boca que es la distancia radial desde el borde del cóncavo hasta la nuez, valor que es algo inferior a la mitad del diámetro del cóncavo. La relación de reducción de los conos es de 8:1, alcanzándose en algunos equipos la relación de 10:1.

D_{max} y boca de admisión

La boca de admisión de una giratoria queda definida por la anchura de boca (A). es el tamaño nominal máximo de la abertura medido perpendicularmente a un cono bisector formado por la mandíbula cónica móvil y la parte fija cóncava. Esta medida se tomaría a partir del labio superior del anillo. En caso de superficies dentadas se tomará a partir de la base de los dientes de la mandíbula cónica móvil hasta la cima de los dientes del cóncavo. Para no tener problemas con la entrada de fragmentos grandes a la giratoria, se debe cumplir que:

$$D_{max} = 0,8 * (A) \quad \text{Ecuación 18}$$

La longitud de la boca de entrada (B) y la boca de admisión están relacionadas por la siguiente expresión:

$$B = 2,7 * A \quad \text{Ecuación 19}$$

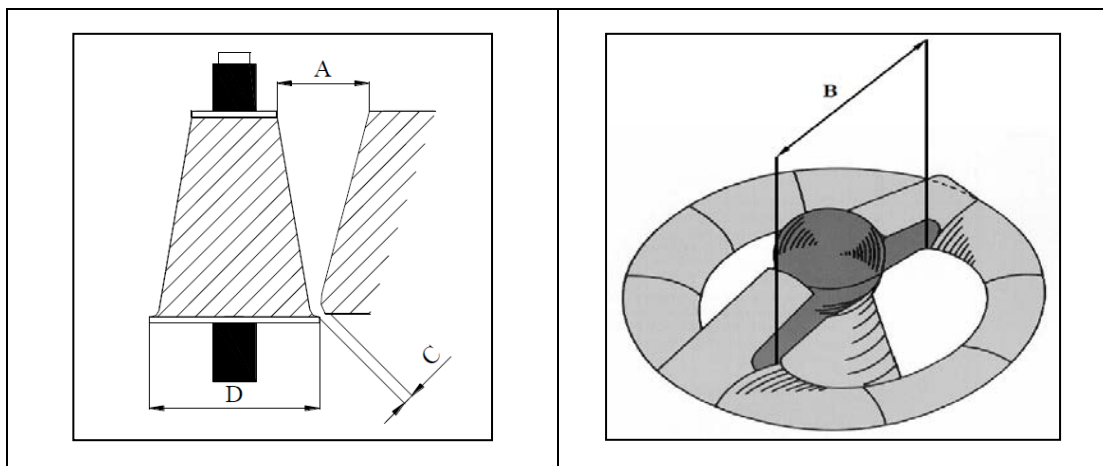


Figura 16: a) Diseño boca de admisión trituradora de cono. b): vista de una boca de entrada de una trituradora de cono. Tomado del Kelly E. y Spottiswood D. (1990)

Capacidad y reglaje

La capacidad es el flujo óptimo de material a tratar admitido por una trituradora giratoria, está la podemos obtener por medio de: ábacos, tablas (proporcionadas por los fabricantes de equipos) y fórmulas empíricas. Como ya vimos en trituradoras de mandíbulas.

La capacidad de una giratoria se puede obtener a través de las siguientes expresiones matemáticas de Taggart:

$$T = 0.75r * (p - \pi * l)$$

Ecuación 20

Donde:

-T (t/h)= Capacidad de la máquina.

-p (m)= Longitud periférica de la boca de admisión.

-r (m)= Reglaje de la maquina o carrera máxima.

-l (m)= Longitud de la boca de admisión (Magnitud de B en la figura anterior)

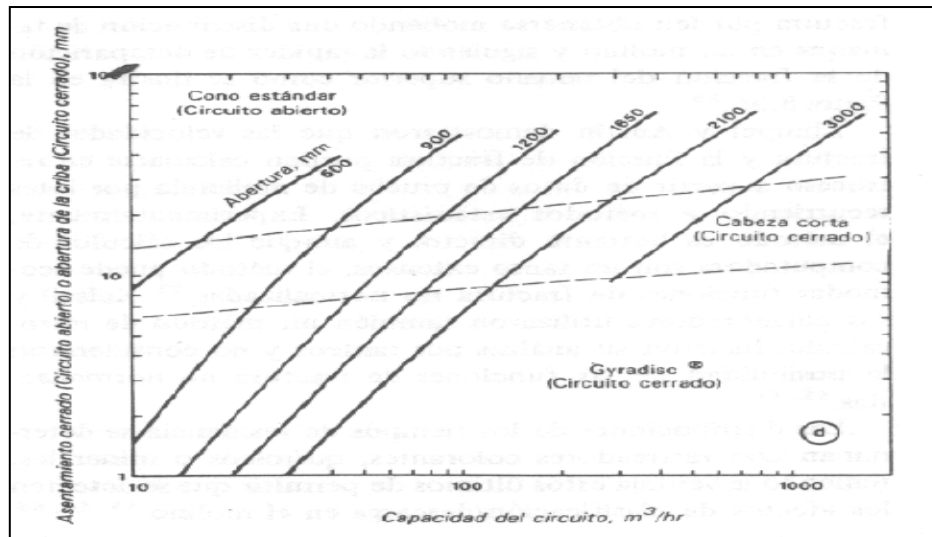


Figura 18: Capacidad trituradora de cono. Tomado de Kelly E. y Spottiswood D.. (1990)

Velocidad de giro

Según Kelly E. y Spottiswood D. (1997). El avance medio del producto en el curso de un ciclo completo será función, por una parte, del tiempo concedido por la caída libre y de la longitud de la trayectoria normal a la sección de paso resultante y, por otro lado, de la duración del periodo de deslizamiento, del ángulo de inclinación del cono y del coeficiente de deslizamiento de los materiales sobre el cono, que deben permitir calcular la amplitud del movimiento de deslizamiento.

$$V = \sqrt{K * \left(\frac{450gtg\theta}{T}\right)}$$

Ecuación 21

Donde:

V= velocidad angular media.

T (m)= carrera máxima o reglaje.

K= Coeficiente generalmente fijado en 0,75

El ángulo puede variar de 22° a 24° para las trituradoras secundarias.

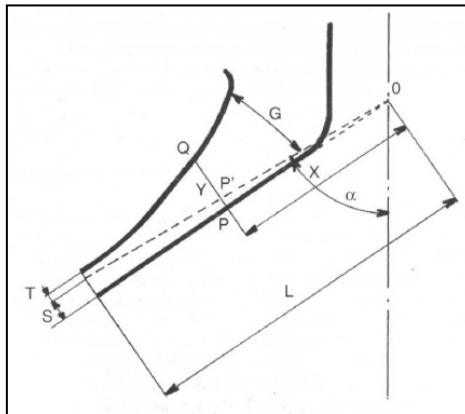


Figura 19: Cámara de trabajo de un triturador de cono. Tomado de Fueyo 1990.

2.5.3 Revestimientos o forros

Kelly E. y Spottiswood D. (1990), indica que los revestimientos de trituradores de mandíbula y los trituradores de cono están fabricados generalmente en acero al manganeso Hadfiel, una proporción de manganeso del 12 % al 14 %, denominado austenítico, se caracteriza por su gran resistencia al desgaste y por su alta tenacidad. Aunque este acero es el que ha dado los resultados más satisfactorios hasta hoy en día, se sigue investigando en otras aleaciones como, de cromo, molibdeno, entre otros. E incluso con manganeso, pero con otras proporciones. Estas aleaciones son 12-14 % Mn+Cr, 12-14 % Mn+Cr+Mo y 16-18 % Mn+Cr. Las investigaciones han demostrado que si la proporción de manganeso disminuye por debajo de 12 % la aleación se vuelve muy blanda y aguanta poco el desgaste, mientras que si se aumenta la proporción por encima del 14 % incrementa considerablemente su resistencia al desgaste, pero se vuelve poco tenaz rompiéndose con facilidad. Por encima de 14% el acero se debe utilizar en masa para evitar su rotura, como en el caso del eje central troncocónico y los forros de las mandíbulas, el cual está formado por una sola pieza

de acero al manganeso de 12-14 % al igual a la cámara de trituración, una sola pieza denominada aro de trituración.



Figura 20. a) revestimiento de trituradora de mandíbula, b): Manto del triturador de cono. Tomado de: <https://www.google.co.ve/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.mshchile.cl>

2.5.4 Parámetros de elegir una trituradora

Estudios han demostrado que gran parte de la energía mecánica suministrada a un proceso de conminación, se consume en vencer resistencias nocivas, donde varios autores propusieron la necesidad de establecer correlaciones confiables entre la energía específica [kWh/ton] consumida en un proceso de conminución y la correspondiente reducción de tamaño alcanzada en dicho proceso. Entre ellos se destacan los siguientes postulados:

Postulado de Rittinger (1867) (Primera Ley de la Conminución)

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

$$\hat{E}r = Kr \left[\left(\frac{1}{P_{80}} \right) - \left(\frac{1}{F_{80}} \right) \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

dónde:

$\hat{E}r$ = Energía específica de conminución (kWh/ton).

Kr = Constante de Rittinger.

P_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto.

F_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación.

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 chancado del material.

Postulado de Bond (1952) (Tercera Ley de la Conminución)

La energía consumida para reducir el tamaño 80% de un material, es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño 80%; siendo éste último igual a la abertura del tamiz (en micrones) que deja pasar el 80% en peso de las partículas.

Bond definió el parámetro E_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 hasta partículas que en un 80% sean inferiores a 100 [μm].

$$E_b = 10W_i \left(\left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \right) \cdot Q \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

\hat{E}_b (kWh/ton)= Energía específica de conminución (potencia absorbida)

W_i (kWh/ton. corta)= Índice de trabajo.

P_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en el producto.

F_{80} = Tamaño del 80% acumulado pasante en la alimentación-

Q (t/h)= Capacidad de la trituradora.

La potencia del motor o potencia útil será:

$$E_m = 2E_b \quad \text{Ecuación 9}$$

El parámetro W_i depende tanto del material (resistencia a la conminución) como del equipo de conminución utilizado, debiendo ser determinado experimentalmente para cada aplicación requerida. También representa la dureza del material y la eficiencia mecánica del equipo. Durante el desarrollo de su tercera teoría de la conminución, Fred Bond consideró que no existían rocas ideales ni iguales en forma y que la energía consumida era proporcional a la longitud de las nuevas grietas creadas.

Determinación del Índice de trabajo (Workindex)

El Workindex (W_i) se determina a través de ensayos de laboratorio, que son específicos para cada etapa (chancado, molienda de barras, molienda de bolas). Estos

ensayos entregan los parámetros experimentales, respectivos de cada material, los que se utilizan en las ecuaciones respectivas, que se indican a continuación.

$$Wi = 2,59 \left(\frac{Kc}{Ps} \right) \quad \text{Ecuación 10}$$

donde:

Wi [kWh/ton corta]= Work Index

Kc [lb-pie/pul]= Esfuerzo de impacto aplicado, necesario para fracturar el material

Ps = Gravedad específica del sólido.

Tabla 10: Valores típicos del Índice de trabajo (Wi) Tomado de: Fundamentos de la conminución, Universidad Arturo Prat, ingeniería en metalurgia extractiva, Iquique, Chile.

<i>Valores típicos de índice de trabajo (WI)</i>					
<i>Material</i>	<i>(KWh/ton corta)</i>	<i>Materiales</i>	<i>(KWh/ton corta)</i>	<i>Materiales</i>	<i>(KWh/ton corta)</i>
Vidrio	3,39	Mineral de oro	16,31	Dolomita	12,44
Basalto	22,45	Barita	6,86	Lutita petrolífera	19,91
Granito	15,83	Clinker	14,84	Esmeril	6,4
Arcilla	7,81	Mineral de hierro	16,96	Feldespatos	12,84
Mineral Plomo	12,54	Caliza	12,77	Roca fosfatada	11,14
Mineral Carbón	12,51	Mica	14,8	Cuarzo	14,05
Mineral Cobre	14,44	Galena	10,68	Feldespatos	12,84

Relación de reducción

La relación de reducción, también conocida como grado de trituración y de molienda, es una característica cuantitativa del proceso, que indica en cuantas veces ha disminuido el tamaño de partícula del material durante la trituración o molienda.

Se define como la relación existente entre el tamaño de mineral, correspondiente al tamaño al cual se halla el 80 % del material que se alimenta a un equipo de reducción de tamaño (trituradora o molino) y el de su descarga, correspondientes al tamaño al cual se halla el 80% del producto, quedando esta relación expresada en los siguientes términos:

$$R = \frac{F_{80}}{P_{80}} \quad \text{Ecuación 11}$$

donde:

R= relación de reducción

F_{80} = tamaño de partícula del 80% del material de alimentación.

P_{80} = tamaño de partícula del 80% del material del producto.

Según Hill (1997), la relación de reducción para el proceso de trituración está entre 3 y 6; y para la molienda, entre 500 y 800.

2.5.5 Cribas

“El cribado es un proceso mecánico de clasificación dimensional de materiales de forma y dimensiones variadas, mediante la presentación de estos materiales sobre unas superficies con aberturas que dejan pasar los granos de dimensiones inferiores a las dimensiones de las aberturas, mientras que los granos de medidas superiores son retenidos y evacuados separadamente.” Fueyo (1999)

Dicho elemento tiene la cualidad de evitar el sobre trabajo de las piezas en las etapas de trituración, separando elementos del todo-uno con dimensiones ya de interés comercial, evitando que estas sigan dentro del sistema de reducción de tamaño, consumiendo energía, para así aprovechar la capacidad optima de los equipos de trituración. Esta operación comienza desde el momento en que el todo-uno entra en la planta de trituración y sucede en las diversas etapas de la fragmentación. El proceso ocurre en aparatos que presentan aberturas de dimensiones determinadas y cuya finalidad es la de separar el producto en dos fracciones: el rechazo y el producto.

Eficiencia o rendimiento de cribado.

Este expresa el porcentaje de los productos finos de la alimentación que pasan a través de la criba. Para Fueyo (1999), los factores que influyen en el rendimiento de paso se pueden resumir en los siguientes:

-factores propios de la superficie de cribado: dimensión y forma de las aberturas, perfil de la sección de paso, inclinación, superficie libre de paso, etc.

-factores propios del producto a cribar: granulometría, coeficiente de forma, distribución de tamaño, humedad, plasticidad, etc.

-factores propios al movimiento de la criba: frecuencia del movimiento, amplitud, coeficiente de aceleración, ángulo de trabajo, etc.

Todos estos factores permiten determinar un coeficiente de cribado:

$$Kv = an^2 * \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{(90.000 * \text{Cos}\beta)}$$

Ecuación 22

Donde:

-a: amplitud del movimiento (cm)

-n: velocidad angular (revoluciones/minuto)

- α : ángulo de reposo del material a cribar

- β : ángulo del paño respecto a la horizontal

-Kv: puede estar comprendido entre 1,5 y 2 para un cribado fácil, entre 2 y 2,5 para un cribado normal y 3-3,5 para uno difícil.

Otros factores propios a las condiciones de trabajo de la criba: número de paños, ritmos de alimentación, coeficiente de disponibilidad, eficiencia, etc. Si “m” es la abertura de la malla de la criba, “A” la masa de alimentación, “P” la masa de material pasante, “R” la masa de rechazo y “a”, “p” y “r” los porcentajes de partículas con dimensiones inferiores a “m”, respectivamente en la alimentación, pasante y rechazo, el rendimiento o eficiencia de cribado viene dado por la fórmula: Como $A = P + R$, $Aa = Pp + Rr$

$$E(\%) = 100 * \left(\frac{100(a - r)}{a(100 - r)} \right)$$

Ecuación 23

Se establece que los granos de dimensiones críticas son los granos de dimensiones comprendidas entre “m” y “m/2”

Cálculo de la superficie de cribado

Este cálculo tiene como objeto el no perder producción por el uso de una superficie menor, tomando en cuenta factores como el tipo de apertura de la malla, posición del paño en la criba, forma del material, eficiencia de cribado, porcentaje de desclasificados en gruesos, partículas mayores que la luz de malla, partículas menores que la mitad de la luz de malla, humedad del producto (%), cribado seco o húmedo, criba horizontal o inclinada, etc.

La fórmula para el cálculo de la superficie de alimentación en función de la alimentación es la siguiente:

$\text{Superficie de cribado} = \frac{\text{Alimentacion}}{\text{Capacidad Especifica} * B * C * D * E}$	Ecuación 24
--	-------------

donde:

- .Superficie de cribado (m^2).
- Alimentación a la malla (m^3/h).
- Capacidad específica ($\frac{m^3}{m^2} * h$)
- B sobre tamaño o rechazo. Factor obtenido de tabla.
- C tamaño mitad. Factor obtenido de tabla
- D factor posición de la malla. Ver tabla.
- E Factor sistema de riego

Se deben utilizar las tablas de capacidades específicas en función de la luz de malla para cálculos por alimentación. Y la tabla de Factores de corrección del sobre tamaño o rechazo y del tamaño mitad para cálculos por alimentación. Tomado del Fueyo (1990), que se muestran en el Anexo I.

Capacidad de transporte

La producción de una criba viene determinada por su capacidad de paso, pero es conveniente también el comprobar que su capacidad de transporte sea la suficiente. Los anchos a emplear se basarán en los siguientes elementos:

- El ancho será el que alcance, por lo menos seis veces la dimensión de los fragmentos más gruesos contenidos en el todo-uno a cribar.
- Que no sobrepase los valores límites de la tabla de capacidades específicas en función de la luz de malla para cálculos por alimentación. Y se debe utilizar la tabla de Factores de corrección del sobre tamaño o rechazo y del tamaño mitad para cálculos por alimentación. Tomado del Fueyo (1990).

Esta fórmula se aplica a cada uno de los cedazos de la criba y en función de los resultados se determina la superficie cuadrada necesaria de cribado.

La longitud de las cribas vibrantes normales varía de 1,5 a 3 veces el ancho. La longitud de las cribas de resonancia puede alcanzar cuatro veces el ancho si las cribas son simples y hasta 6 y 8 veces si las cribas son dobles.

Elección del tipo de criba en función del material a cribar.

Esta elección se ha de hacer en función de la naturaleza del trabajo a realizar. Para el cribado de materiales en seco, materiales que llegan directamente del todo-uno de tamaños gruesos se utilizan parrillas fijas, parrillas mecánicas y cribas vibrantes. Cuando el material procede de una machacadora o molino, en cuyo caso los tamaños son más reducidos, se emplean cribas vibrantes, cribas de resonancia. En el caso de las cribas, se dividen en horizontales e inclinadas, utilizándose las horizontales en aquellas zonas donde por problemas de altura no se puedan acoplar las inclinadas.

Cribas vibrantes de excentricidad libre

Son las más empleadas en las explotaciones de áridos y minerales, en ellas los materiales no avanzan sobre el aparato por el efecto de la gravedad, sino gracias a una combinación de la pendiente y del movimiento cinemática impartido por el propio mecanismo vibrante. Están constituidas por una armadura rígida de inclinación variable, que puede ser entre los 14° y 24° dependiendo del material a cribar, que se apoya sobre un sistema de muelles helicoidales y está equipada con una o varias bandejas superpuestas



Figura 21: Criba Vibrante. Tomado de: <http://rollier.com/rollier/es/vibrating-equipment-rollier/vibrating-screens/vibrating-screens-series-cvc/>

Precribadores de barras móviles.

Estos precribadores están formados por dos juegos de barras longitudinales alternadas, de los que una extremidad se encuentra sobre unos soportes movidos por vibradores de amplitud variable que les proporciona un movimiento unidireccional, y el otro extremo oscila libremente. De esta manera se consigue que los fragmentos

sean transportados a lo largo del precribador mientras que los elementos más pequeños van pasando entre las barras. Estas son fabricadas en acero reforzado debido a que son empleadas para la alimentación de machacadoras primarias.

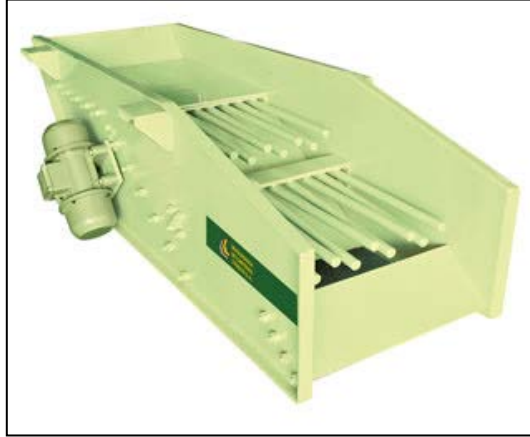


Figura 22: Precibador de barras móviles. Tomado de: <http://rollier.com/rollier/es/vibrating-equipment-rollier>

2.5.7 Cintas transportadoras

Son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto. Por otra parte, las cintas son elementos de una gran sencillez de funcionamiento, que una vez instaladas en condiciones suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento. “Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continua”. (Iranova, 2012)

Son correas sin fin que se mueven alrededor de unos tambores y su misión es la de transportar el material entre los equipos primarios, secundarios, secundarios y los silos. En general son las que tienen la misión de transportar el material entre los distintos equipos de la planta de reducción de tamaño.

Para determinar qué tipo de cinta transportadora es la idónea para una planta, se han de tener en cuenta parámetros tales como: el cálculo de tensiones para que no se produzca el deslizamiento de la banda sobre el tambor, la capacidad de absorción de los impactos de la banda, la resistencia a la fatiga por flexión y la calidad y el espesor de los recubrimientos de goma.

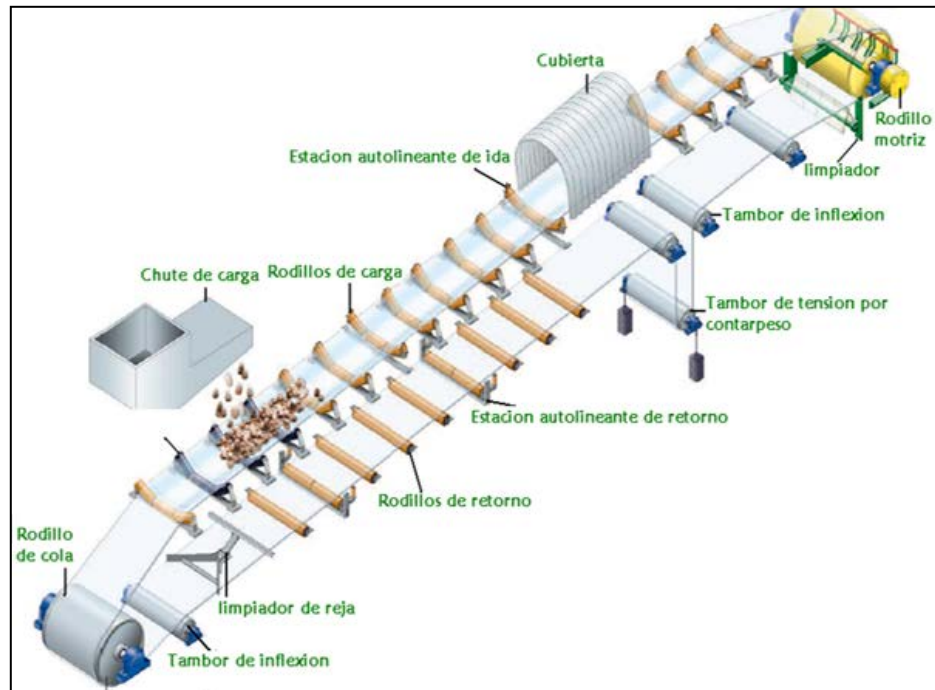


Figura 23: Partes de una cinta transportadora. Tomado de: <http://rotranssa.com/cintas-transportadoras>.

Capacidad de transporte.

La capacidad de transporte de una cinta transportadora depende del ancho de banda, la velocidad de la banda, el ángulo de la artesa, la inclinación de la instalación, la alimentación del material y de la clase de material a transportar.

Este cálculo se realiza bajo condiciones favorables como son el transporte totalmente horizontal y la uniformidad absoluta de la carga (cantidad teórica transportada $Q_m =$ para $V=1\text{m/s}$). En el caso de instalaciones con inclinación ascendente disminuye la cantidad transportada según el ángulo de inclinación.

“El cálculo de la capacidad de transporte de una cinta se realiza a partir de la formulas y datos facilitados por *Bridgestone Firestone Hispania, S.A.*” Ieranova, (2012)

$$Q = Q_m * \gamma * v * K \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

Q_m (m^3/h)= Volumen teórico transportado para $v=1\text{m/s}$.

V (m/s)= La velocidad de la banda.

K = Constante.

γ (t/m^3)= la densidad especifica aparente

Capítulo III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La investigación que se realizó es de tipo campo, debido a que la información que se recolecto, se extrajo de un ambiente natural, en este caso es la zona del sector Cambalache, Ciudad Guayana. Donde aflora la charnockita. También es de tipo correlacional, ya que se caracterizó las propiedades cuantitativas y cualitativas del material extraído en la zona, mediante la observación y el estudio, de las variables que interactúan a la hora de entrar en el proceso de reducción de tamaño

3.2 Diseño de investigación

La investigación cuenta con un diseño experimental, el cual consiste en aplicarle a un grupo de muestras, estímulos y condiciones (variables independientes), para observar los efectos que se producen (variables dependientes). Donde a través de los ensayos que serán las variables independientes se obtendrán los parámetros geomecánicos tales como la resistencia al desgaste, resistencia a la compresión simple, resistencia a la tracción indirecta, la resistencia al corte, entre otros (variables independientes), los cuales mediante herramientas podrán definir el comportamiento del material en estudio.

3.3 Ubicación de la zona de estudio

La población de esta investigación está constituida por la zona de estudio, parte norte del cerro La Danta, ubicado en el Estado Bolívar. Con coordenadas geográficas $8^{\circ}19'54.1''N$ $62^{\circ}45'53.2''W$. Cantera Con-Piedras C.A.

3.4 Tratamiento de las muestras

La muestra de estudio está compuesta de 10 especímenes: 8 bloques de rocas tomadas directamente de los frentes de explotación activos de la cantera Con piedra, debido a que las características geológicas de la zona son similares se pidió el apoyo de esta cantera y tener material para realizar los ensayos necesarios.

A partir de estos bloques se generaron 25 especímenes para la realización de los siguientes ensayos: 8 para tracción indirecta (Brasiler), 2 para ensayos cerchar, 3 muestras para corte directo estático, 8 análisis granulométrico, 4 para resistencia a la compresión simple; adicionalmente se tomaron dos (2) muestras de las pilas de la

planta para el ensayo los ángeles. Todas las muestras fueron preparadas según la norma correspondiente a cada una de los ensayos antes referidos.

3.5 Metodología

Etapas del desarrollo metodológico:

Con el fin de recaudar información suficiente de las propiedades mineralógicas, físicas y mecánicas de la charnockita, influenciando en el diseño de equipos de reducción de tamaño; se muestra en el gráfico de la figura 24 que representa la metodología utilizada de forma esquematizada en tres etapas, desde la recopilación y análisis de información, pasando por los distintos ensayos y finalizando en una propuesta óptimas de reducción de tamaño.

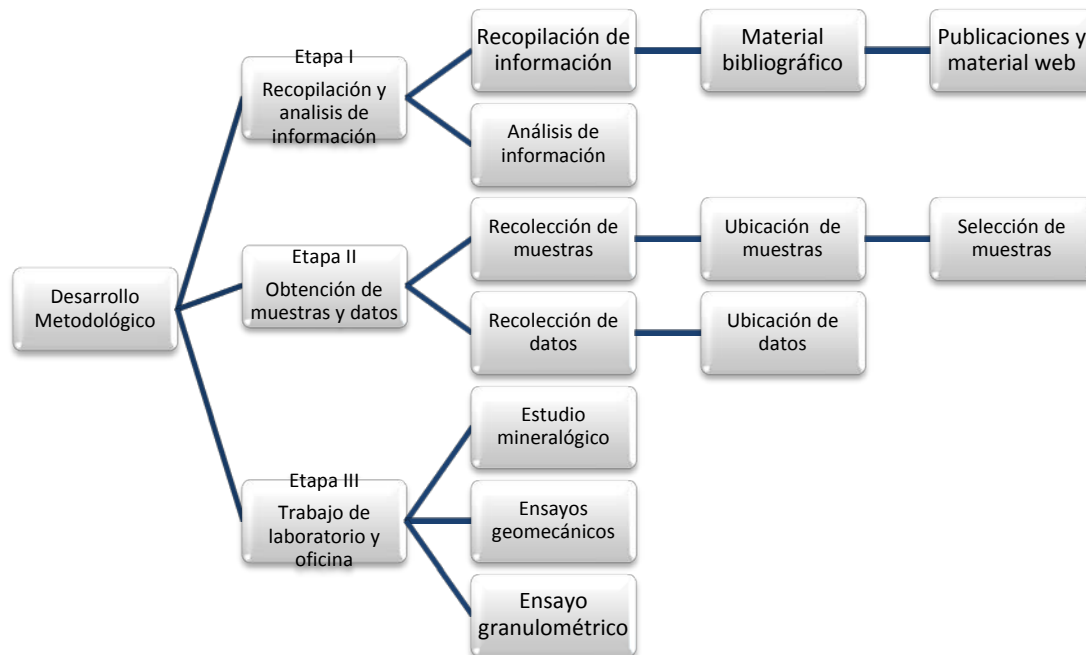


Figura 24: Esquema del desarrollo experimental.

3.5.1 Técnicas e Instrumentos

Normas

ASTM (C-131-14, D-5731-08, D-7625-10, D-5607-08, D-422, D-4318, D-7012-10)
Normas ISRM (Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials; 2016
Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the CERCHAR
Abrasivity Test; Suggested Methods For Determining Shear Strength (2014).

Suggested Methods For Determining the uniaxial Compressive Strength and
Deformability of Rock Materials (1979))

Normas AASHTO (T96-99-02)

Normas COVENIN (267-78)

3.5.1 Determinar las características mineralógicas, físicas y mecánicas de la
charnockita

Estudio Mineralógico

Mediante el departamento de Geología, por medio de los profesores encargados, Grande y González, se realizaron ensayos a 2 muestras de mano de distintas características (Charnockita máfica y félsica) provenientes de los frentes de explotación y tomando en cuenta los antecedentes que hacen referencia mineralógica en el sitio de estudio. En estos se constata los porcentajes mineralógicos, características físicas, entre otros.

Características Físicas

Determinación de la distribución de tamaños de la muestra cabeza

Se llevó a cabo siguiendo los pasos acotados para la realización del ensayo granulométrico (ASTM D422/D4318). A su vez simulando un circuito de reducción de tamaño, compuesto por la etapa de trituración primaria, trituración secundaria, y terciaria; junto con la clasificación por tamizados entre las etapas de reducción de tamaño.

Ensayos de fragmentación

- **Trituración**

Se tomaron las distintas muestras ya clasificadas y pesadas, recolectándolas en el Laboratorio de Beneficio de minerales. Para así comenzar con la etapa de trituración en los objetos dispuestos por el laboratorio.

Luego del procesamiento del material en la etapa primaria, se realizó el análisis de granulométrico. Utilizando una batería de tamices (Figura 27, a), se dispuso a presentar este conjunto en un agitador (Figura 27 b). Esta tarea se realiza entre cada etapa de reducción de tamaño, alimentando siempre la etapa subsiguiente con el material retenido en el tamiz de ½", pesando continuamente la distribución de los tamaños.

Protocolo de trituración para las muestras:

- 1.-Preparar composito de XX kg. para ser fracturado en la trituradora de mandíbulas.
- 2.-Triturar el composito completo a -1" utilizando, con el equipo de mandíbulas limpio.
- 3.-Tamizar el composito completo con unas mallas serie TAYLER, correspondientes a las siguientes mallas: #4, #6, #12, #16, #25 y #35.
- 4.- pesar cada fracción de tamaño y registrar los resultados.
- 5.- Realizar el análisis granulométrico a los datos obtenidos, para determinar P80.



Figura 26: Trituradora de mandíbula. Laboratorio de beneficio de minerales

Tabla 19: Características técnicas de la trituradora de mandíbula

<i>Marca Trituradora: Foote Bros Co</i>	<i>Marca del motor: The Louis Allis Co.</i>
<i>N° modelo: 212A-213</i>	<i>N° modelo: 2318886</i>
<i>RPM: 291</i>	<i>Hp: 3</i>
<i>Hp: 3</i>	
<i>Dimensión boca de admisión: 20*26 cm</i>	<i>Volts: 200</i>
<i>Dimensión boca salida abierta: 8*26 cm</i>	<i>RPM: 50</i>
<i>Dimensión boca salida cerrada: 6*26cm</i>	<i>Amp: 10amp</i>



Figura 27: Batería de tamices. B): Baterías de tamices dentro del agitador.

Dado que en el laboratorio se cuenta con una trituradora de mandíbula una salida de 2cm, esta hace el papel de trituradora secundaria. Se recibe el material clasificado, procesando solo el producto retenido en la malla de 1/2" y de los tamices que lo anteceden. El material menor a 1/2" es registrado como producto. Luego de esta etapa se realizó nuevamente la clasificación por tamizado, preparando la muestra para entrar a la etapa de trituración terciaria.

En la última etapa final de fragmentación se utilizó una triturado de rodillo la cual se muestra en la figura 30 y sus especificaciones se presentan en la tabla XX. Se tomó el retenido de la malla de 1/2" del material triturado, en la etapa anterior y sirvió de alimento a una trituradora de rodillo. El material resultando paso por el proceso de cribado.



Figura 30: Trituradora de Rodillo. Laboratorio de preparación y concentración de minerales

Tabla 21: Características técnicas de la trituradora de rodillo

<i>Marca del motor: Louis-Allis Co.</i>
<i>Hp: 3</i>
<i>Rpm: 1450</i>
<i>Dimensiones Rodillos: 25Cm</i>
<i>Dimensiones abertura de rodillos: 4mm</i>

Mecánicos

Conllevó la realización de muestras con diversos parámetros (preparación) para su posterior clasificación y estudio geomecánicos se basó en:

a) Preparación de muestras

Una vez tomadas las muestras se procedió a su respectiva preparación y proceder a realizar los ensayos.

Ensayo de corte directo (ASTM D5607-08) se colocó la muestra en dos anillos de acero de alta resistencia con material cementante para evitar el corrimiento de la misma durante el proceso. La resistencia al desgaste método Los Ángeles (ASTM C-131/C131-14). Y para el de abrasividad método Cerchar (ASTM D7625-10). Para todos los demás se subdividió esta etapa en:

b) Corte de muestras

Las muestras fueron llevadas al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Facultad de Ingeniería para generar núcleos, reduciendo su longitud y, tamaño hasta lo indicado en las normas de los ensayos que así lo requieran. El corte es producido con un disco de corte (Ensayo uniaxial (ASTM D2938-95), Ensayo brasilero (ASTM D5731-08))

c) Rotulado de muestras

Una vez realizada la reducción de longitud y tamaño, generando los núcleos con especificaciones acordadas por las normas descritas anteriormente, se procedió a rotular las muestras, con el fin de llevar un control del número de ensayos a realizar, estas se enumeran a partir de la última muestra que haya ingresado al Laboratorio de Mecánica de Rocas “Miguel Castillejo” de la Facultad de Ingeniería. En la tabla 18 se observa el número de la muestra y el tipo de ensayo a realizar.

Tabla 18: Enumeración de los núcleos y el tipo de ensayo a aplicar

<i>Muestra</i>	<i>Tipo de ensayo</i>	<i>Muestra</i>	<i>Tipo de ensayo</i>
1407	<i>Compresión simple</i>	1412	<i>Tracción indirecta-Brasilero</i>
1408	<i>Corte directo estático</i>	1413	<i>Compresión simple</i>
1409	<i>Tracción indirecta-Brasilero, Cerchar-abrasividad, Corte directo</i>	1414	<i>Cerchar-abrasividad</i>
1410	<i>Tracción indirecta-Brasilero</i>	1415	<i>Resistencia al desgaste</i>
1411	<i>Tracción indirecta-Brasilero</i>	1416	<i>Resistencia al desgaste</i>

d) Refrentado ó Pulitura de las caras de los cilindros de roca (muestras)

Para garantizar la perpendicularidad de las caras y una superficie totalmente libre de rugosidades e irregularidades es necesario pulir las muestras destinadas a Ensayo uniaxial (ASTM D7012-10), Ensayo brasilero (ASTM D5731-08) con el fin de garantizar una distribución de esfuerzos regular (véase sección de ensayos geomecánicos del capítulo II). Esta es realizada con una pulidora GCTS RSG-200 (ver figura 24) que cuenta con un carro móvil con libertad de movimiento en sus tres ejes que permite que las muestras pongan en contacto sus caras, paralelamente, con un disco giratorio de diamante.



Figura 24: Pulidora GCTS RSG-200 (GCTS, 2015)

e) Medición y pesado de muestras

Se midieron, las alturas y los diámetros de las muestras para todos los ensayos, (Ensayo de corte directo ASTM D5607-08), también se pesaron todas y cada una de estas. Todos estos datos se registraron en un cuaderno de anotaciones, ya que en la etapa de ensayo fueron requeridas. Con este último paso realizado las muestras estuvieron listas para ser ensayadas.

f) Ensayos Mecánicos

En el capítulo II se describieron en detalle en el punto 2.XX como se realizan los ensayos mecánicos, a continuación, mencionados:

- Tracción Indirecta- Brasilero (ASTM D5731-08)
- Utilizando el equipo GCTS RDS-500 (ver figura 25). La metodología de estos ensayos es explicada al detalle en la sección de ensayos mecánicos del capítulo II.
- Compresión Uniaxial (ASTM D7012-10)
- Corte Directo estático (ASTM D5607-08)
- Ensayo de Abrasividad método Cerchar (ASTM D7625-10)
- Resistencia al desgaste método Los Ángeles (ASTM C-131/C131-14).



Figura 25: Equipo GCTS RDS-500 (GCTS, 2015)

Procesamiento de los resultados

Para poder interpretar y analizar los resultados de los ensayos de distribución granulométrica y mecánicos se siguió la siguiente metodología:

Extraer los datos del procesador de la máquina, son importados en formato (txt) hasta una computadora personal en donde serán leídos a través de una hoja de cálculo.

Las gráficas generadas a partir de cada tipo de ensayo se realizarán con el programa Grapher V10.0, en la misma congruencia los reportes serán construidos con Office Word.

RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Caracterización Mineralógica

A continuación, se presentan los resultados y análisis obtenidos en los ensayos mineralógicos:

Muestra 1414:

Roca ligeramente bandeada, de aspecto macizo y grano medio, color algo rosado con algunas manchas oscuras. Como roca metamórfica tiene textura granoblástica y equigranular hipidioblástica. Se observan visualmente cuatro minerales: feldespato alcalino, posiblemente microclino, de hábito tabular, hipidioblástico, con clivaje bien marcado, color rosado carne y brillo vítreo en cristales de 4-5mm de diámetros; plagioclasa, posiblemente oligoclasa, de color blanquesino y brillo mate debido a su alteración, xenoblástica, en cristales de 2-3mm de diámetro; cuarzo grisáceo, con brillo craso, xenoblástico, en cristales de 3-4mm de diámetro; mineral máfico posiblemente hipersteno, xenoblástico, de color negro verdoso, localmente alterado a posible hornblenda o biotita, éstas últimas tienen color negro brillante y brillo vítreo a perlino, el piroxeno forma localmente agregados de cristales de hasta 7mm de diámetros. Los porcentajes modales de estos minerales son, aproximadamente: feldespato alcalino (46 %), plagioclasa (26 %), cuarzo (21 %), máficos (7 %). La muestra se puede clasificar como charnockita félsica o granito charnockítico. En una parte de la roca se observa un megacrystal o enclave de origen incierto, de color parduzco-castaño de posible hipersteno, con una longitud de 1,5cm y un ancho de 7cm, con clivaje marcado y brillo vítreo.



Figura 31: Charnockita félsica, muestra 1414

La descripción visual mencionada por Grande (2015). Concuerda con las investigaciones realizadas por Mayo, (2010). “Las charnockita félsicas (ácidas)

contienen mayor cantidad de silicio (Si) que las variedades intermedias”. También podemos encontrar relación con lo expuesto por, Mendoza, (1974). “Según el análisis microscópico presentan minerales potásicos (tipo mesopertita, antipertita, pertita, y microclino), con alto porcentaje de cuarzo, cantidades menores de piroxeno, mica biotita, óxidos e hidróxidos de hierro y como accesorios circón, epidoto y apatito y algunas con trazas de hornblenda”.

Muestra 1408:

Roca algo bandeada, de aspecto macizo y grano medio, de color algo negruzco con manchas parduzcas. Como roca metamórfica tiene textura granoblástica y equigranular hipidioblastica. Se observan tres minerales: plagioclasa cálcica, posiblemente andesina, de habito tabular, hipidioblastica, de color parduzco y brillo vítreo, con maclado polisintético visible a simple vista, en cristales de 4-5mm de diámetro; piroxeno, posiblemente augita y/o hipersteno, xenoblástico, negro a negro verdoso, con brillo mate, en cristales de 3-4mm de diámetro; hornblenda, negra, con brillo vítreo, con clivaje bien marcado y cristales de 4-5mm de diámetros. Los porcentajes modales de estos minerales son, aproximadamente: Plagioclasa (44 %), piroxenos (32 %), hornblenda (24 %). Se observan bandas de máficos de 4-5mm de espesor que definen localmente un leve bandeamiento gneísico. Se puede clasificar como charnockita máfica, gabro charnockítico o enderbita.



Figura 32: Charnockita Máfica, muestra 1408

Como refleja Mayo, (2010). “En las charnockitas máficas, la plagioclasa es el feldespato predominante, de andesita sódica a aligoclasa cálcica, por lo común, aunque en rocas de algunas localidades llega a ser tan cálcica como An55-70. El dióxido es más abundante que la hiperstena, que es más rica en hierro que en las charnockitas máficas, en algunas variedades la hornblenda es de color pardo verdoso

oscuro. El bandeado o rayado finos son característicos de algunas charnockitas, con capas de minerales máficos (hiperstena más granate; diópsido; hornblenda) alternando con otras feldespáticas. Algunas charnockitas máficas han sido llamadas gneis piroxénicos, pobre en OH.” En estas muestras se encuentra gran porcentaje de plagioclasas al igual que de hornblenda, precisando estas características, Loran, (2012) “Presenta estructura masiva y una composición mineralógica con predominancia del feldespato potásico, seguida del cuarzo, anfíbol y piroxenos. Una pequeña cantidad de minerales opacos (3 % aprox.) como apatito, hidróxido de hierro y mica biotita también se encuentran presentes en la muestra analizada”.

4.2 Características Físicas

Análisis Granulométrico

Se analizó la distribución granulométrica del material recolectado en campo (muestra cabeza) y fragmentado en el laboratorio, simulando un circuito de reducción de tamaño con criba vibrante para evitar el sobretriturado.

La evaluación de la fragmentación en cada equipo va a permitir conocer el estimado de producción de material a los tamaños comerciales. 1”, ½” y <3/8”, bajo las condiciones de los equipos del laboratorio, lo cual permite con las consideraciones necesarias extrapolar los mismos a condiciones piloto o industriales.

En las gráficas 2 a la 11 se presentan las distribuciones granulométricas de las diferentes muestras de material, en las cuales permiten identificar rápidamente si estos tienen exceso de fracciones gruesas o finas o la presencia de discontinuidades en la distribución por tamaños. Se compara con la gráfica teórica de la norma covenin 277:2000 concreto. agregados. requisitos.

Muestra 1407

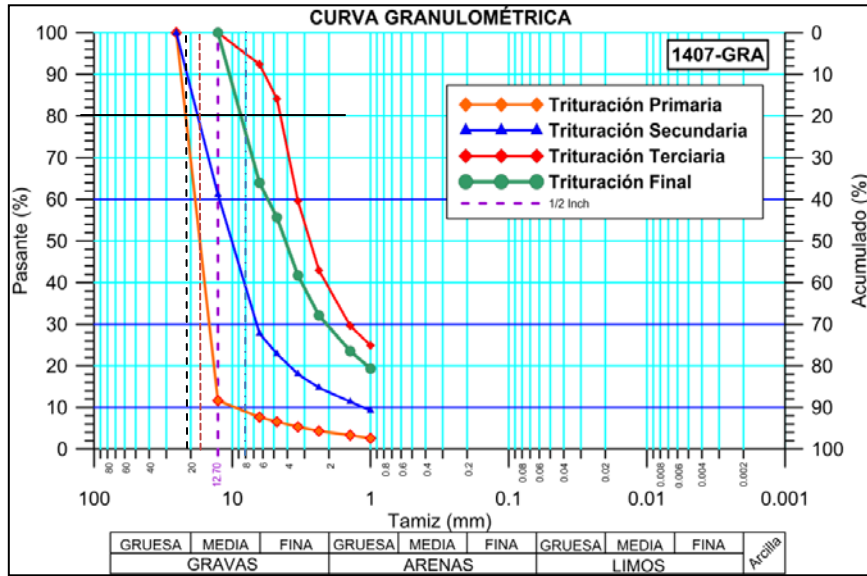


Gráfico 2, distribución granulométrica de muestra 1407

Muestra 1408

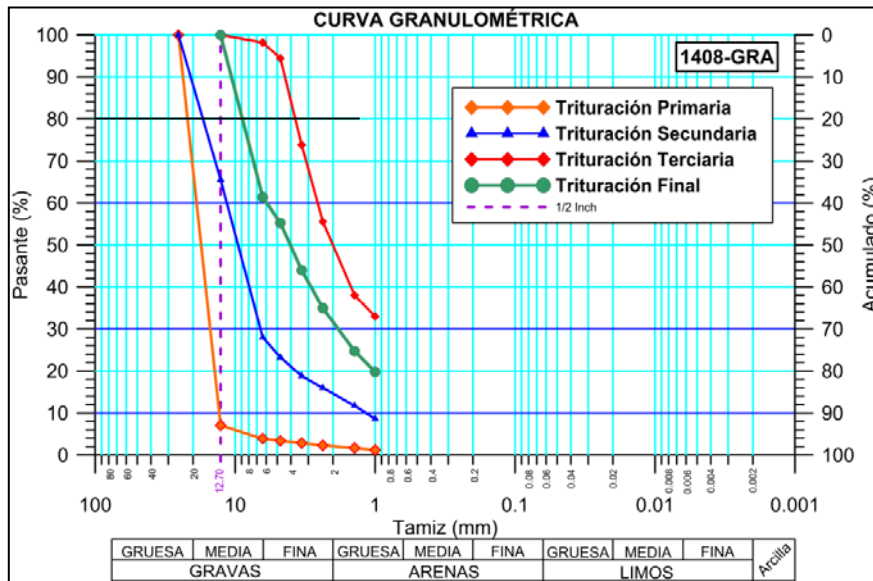


Gráfico 3: Resultante del ensayo Granulométrico, muestra 1408

Muestra 1409

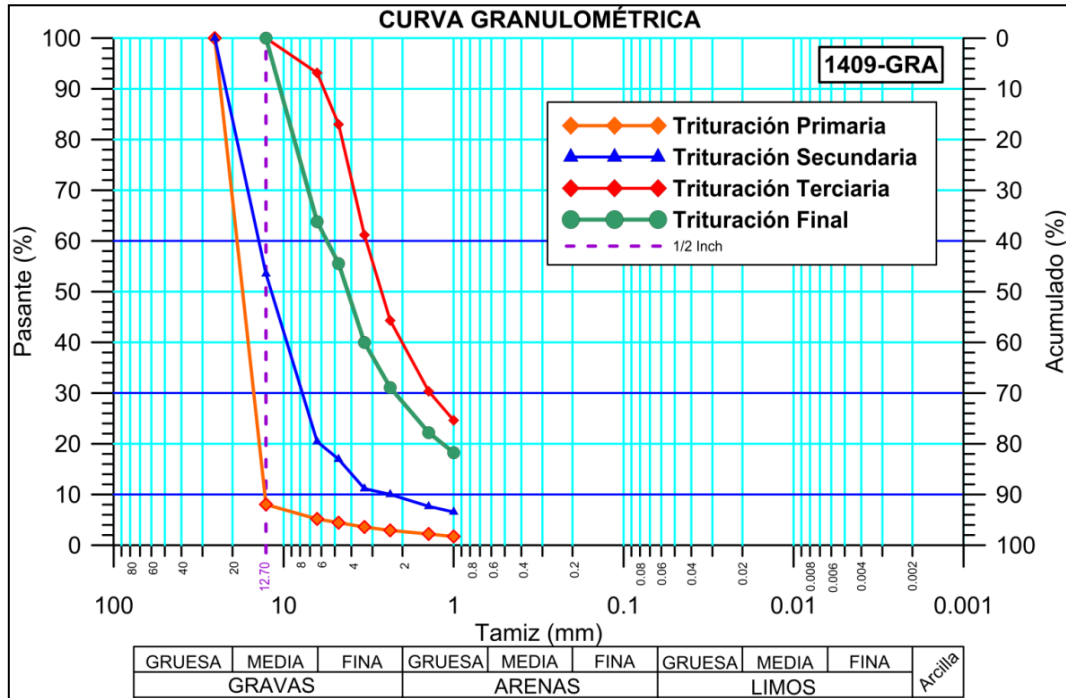


Gráfico 4: Resultante del ensayo Granulométrico, Muestra 1409

Muestra 1410

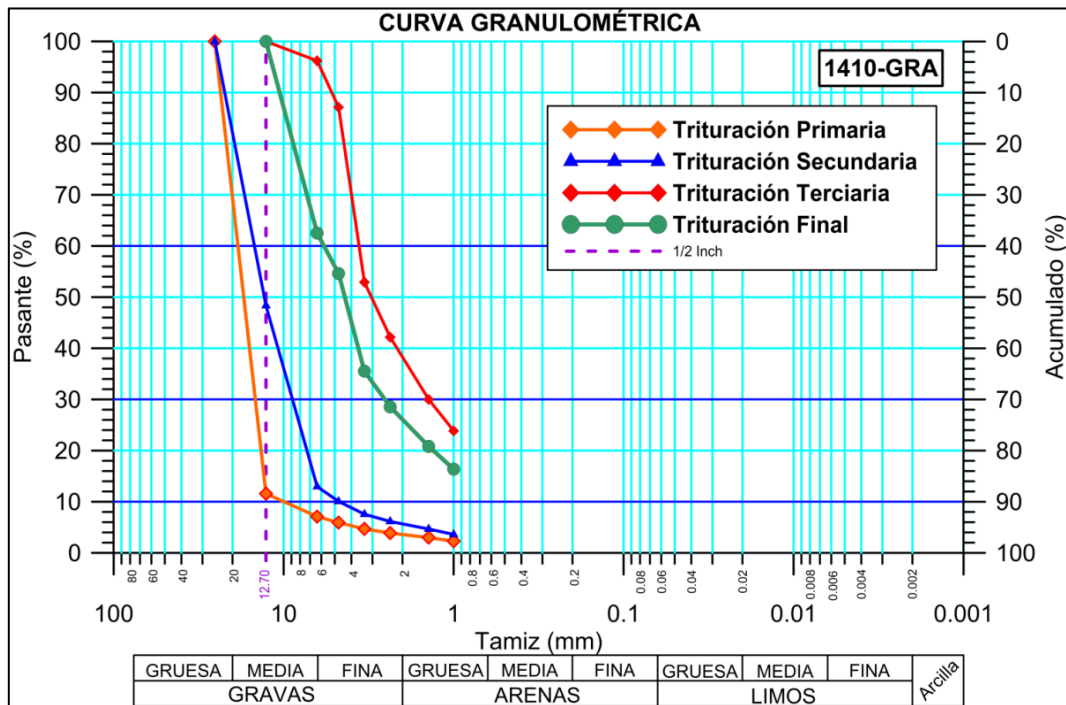


Gráfico 5: Resultante del ensayo Granulométrico, muestra 1410

Muestra 1411

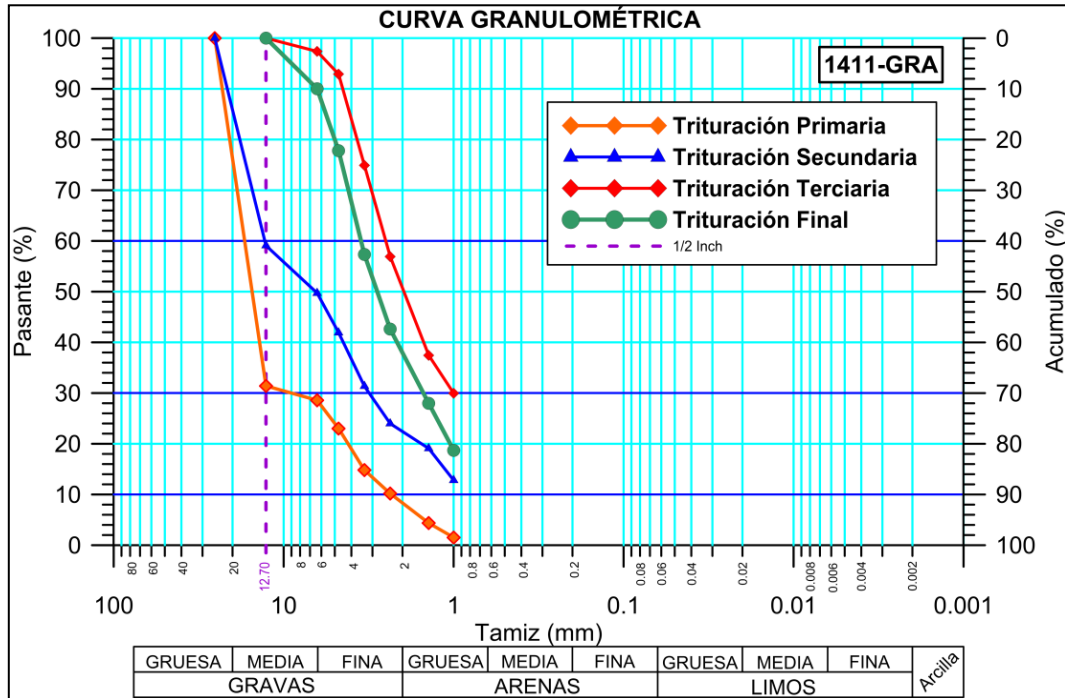


Gráfico 6: Resultante del ensayo Granulométrico, muestra 1411

Muestra 1412

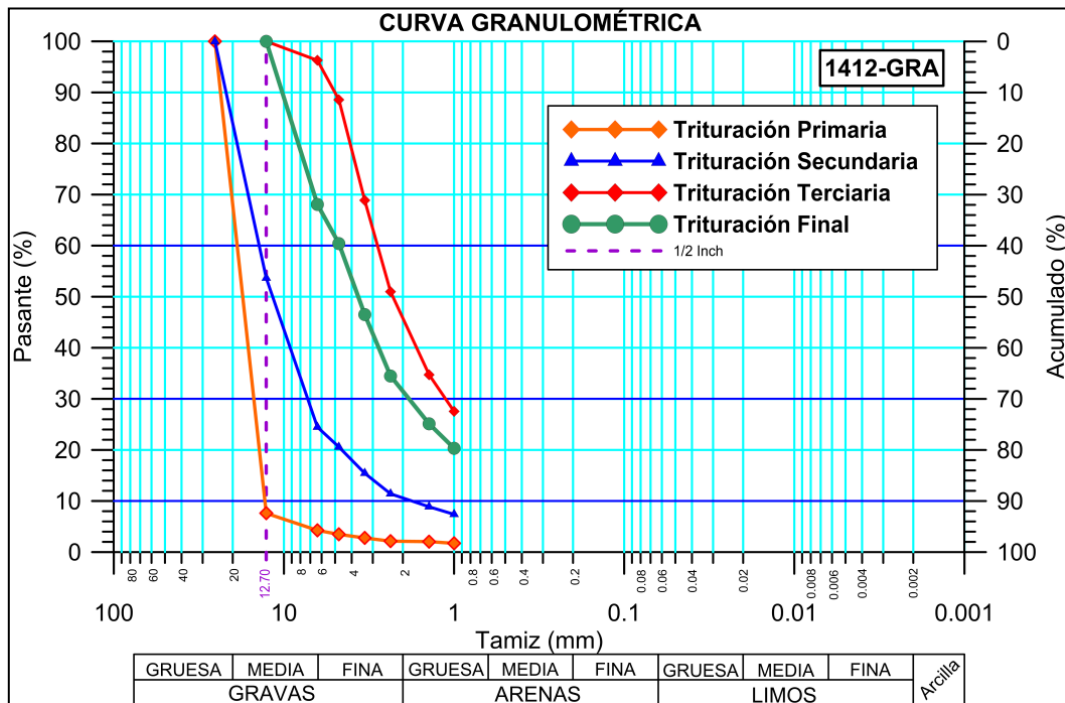


Gráfico 7: Resultante del ensayo Granulométrico, muestra 1412

Muestra 1413

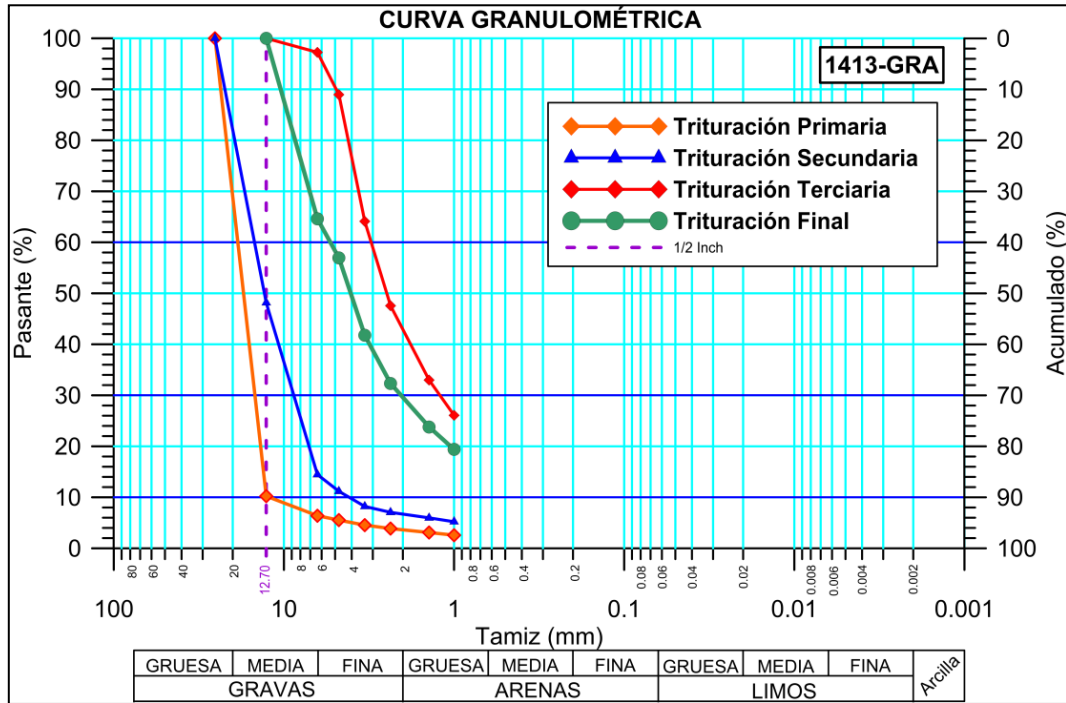


Gráfico 8: Resultante del ensayo Granulométrico, muestra 1413

Muestra 1414

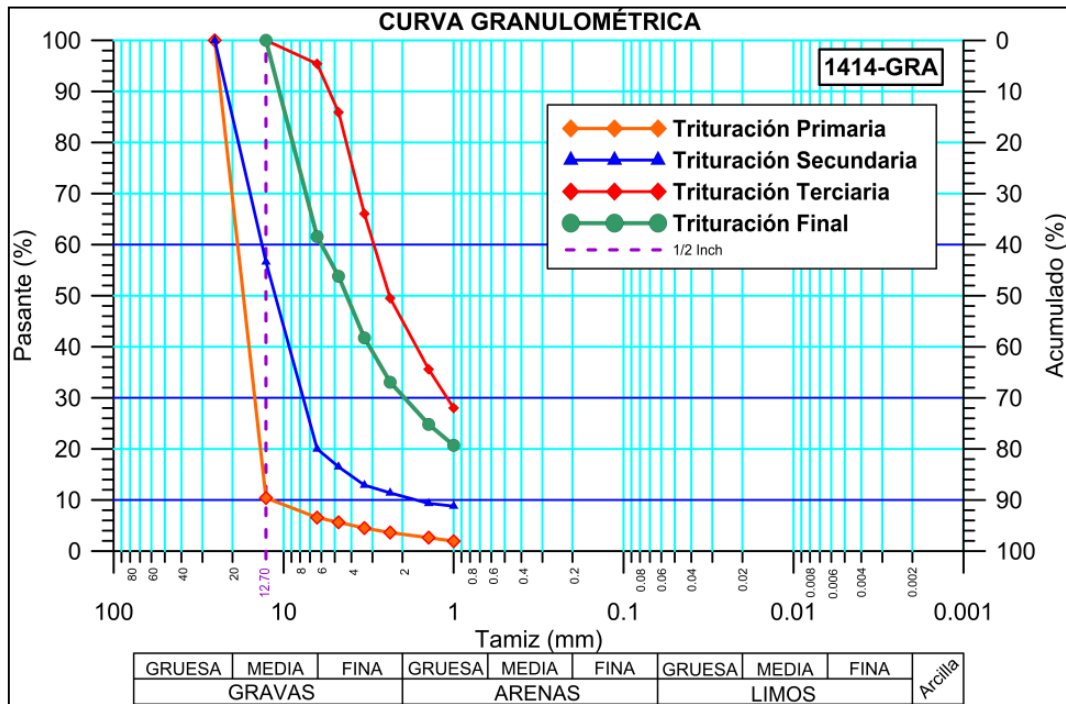
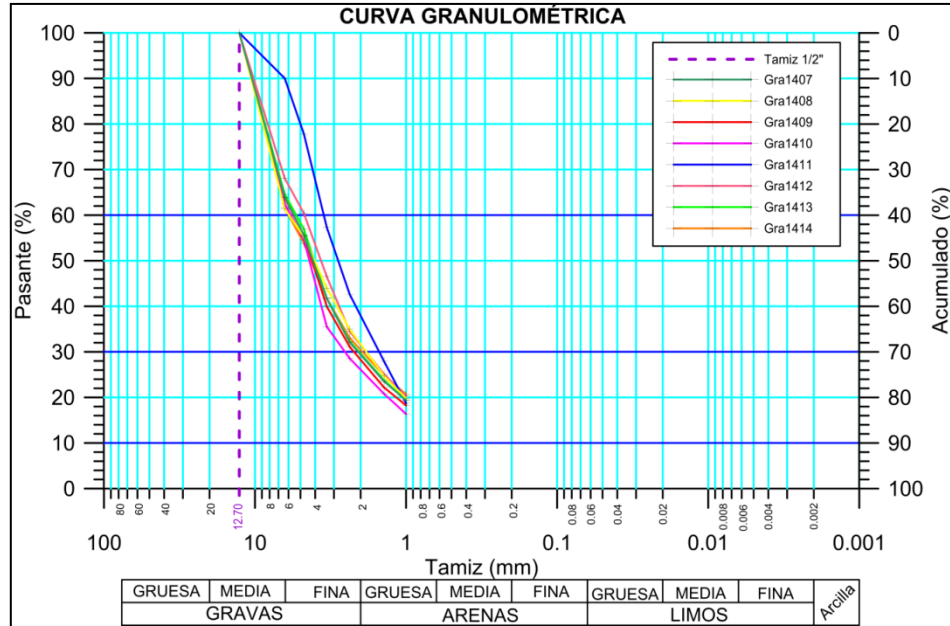


Gráfico 9: Resultante del ensayo Granulométrico, muestra 1414

A continuación, se presenta en el gráfico 10 la trituration promedio de los ensayos granulométricos, apreciando que sólo la muestra 1411 se encuentra un poco discordante en comparación con las demás muestras, sin embargo, para efectos de los cálculos en esta investigación, se tomaran en cuenta los datos reflejados en el gráfico 11, la cual representa el promedio de los ensayos granulométricos.



Análisis Granulométrico

Los ensayos granulométricos se llevaron a cabo teniendo en cuenta la mineralogía del material (muestras de charnockita máfica y félsica), como lo demuestra el gráfico 10; no existe una variación significativa en el producto de los distintos ensayos. Por lo tanto, a partir del gráfico 11 se pudo determinar que el tamaño medio del grano equivale a 4mm.

Calculo de energía necesaria para la reducción de tamaño

De acuerdo a procedimiento descrito en el capítulo III, se aplicó la ecuación (7) para establecer la energía necesaria, para producir la rotura de la charnockita promedio (vea gráfico 11), una vez que el material ha alcanzado su deformación crítica, en el caso de la trituración primaria: 2,37 Kwh/T Seguidamente para la trituración secundaria: 0,683 Kwh/T Finalmente la trituración terciaria: 11,52 Kwh/T Con un total de 14,573 Kwh/T, de energía consumida en todo el proceso de reducción de tamaño de la charnockita en laboratorio.

La relación de reducción para el mineral en la primera etapa se estimó aplicando la ecuación (11), donde $R=1,33$ es el resultado, similar a la segunda etapa la cual resulto de $R=1,8$. En la tercera etapa se alcanzó un valor de reducción de $R=7$.

El material se comportó de manera racional con respecto al diseño de las trituradoras del laboratorio y sus respectivos reglajes (definido en el capítulo 2). El 60 % del material producto de la segunda etapa (Véase gráfico 11), posee unas dimensiones de grano de 10 mm esta medida es consistente con el reglaje diseñado para la trituradora secundaria (1 cm). En la etapa terciaria, el material posee unas dimensiones de grano equivalente a 4 mm, ésta medida pertenece al reglaje de la trituradora de cilindro y representa el 55 % del retenido acumulado.

El porcentaje de eficiencia del cribado fue de 87.55 % durante el proceso de reducción de tamaño de la charnockita. El análisis se enfocó en el material resultante entre las etapas de trituración (trituración final promedio en el gráfico 11), junto con la ecuación 22 se utilizaron para hallar los rendimientos presentes en la tabla 22

Tabla 22: Resultados del análisis de la eficiencia del tamizado, a partir de la gráfica promedio

<i>Malla (mm)</i>	<i>Masa retenida(kg)</i>	<i>Masa alimentación(kg)</i>	<i>% masa alimentación</i>	<i>% Retenido</i>	<i>% eficiencia cribado</i>
6,350	32,043	100	100	39,043	98,50
4,750	5,517	67,957	82,80	6,722	71,79
3,350	12,457	62,440	76,08	15,178	93,77
2,360	7,252	49,983	60,89	8,836	93,63
1,400	6,080	42,731	52,07	7,408	92,63
1,000	2,042	36,651	44,66	2,488	96,84
0,074	16,394	34,609	42,16	19,975	65,75
Masa Total(kg)	82,072				

4.3 Ensayos Geomecánicos

4.3.1 Ensayo de Tracción Indirecta- Brasileiro

El ensayo de tracción indirecta, destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de una roca y obtener la carga máxima que aguanta antes de romper. Es un ensayo simple y práctico y los resultados de la prueba no se ven afectados por las condiciones superficiales de la probeta. Algunos autores han visto en que la rotura se produce en una zona de tensiones constante, lo que implica una baja dispersión en los resultados.

Muestra 1409-A

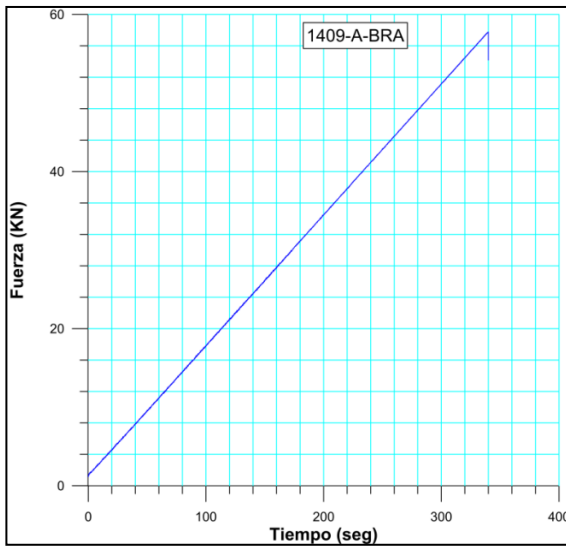


Gráfico 12 : Fuerza Vs Tiempo

Muestra 1409-B

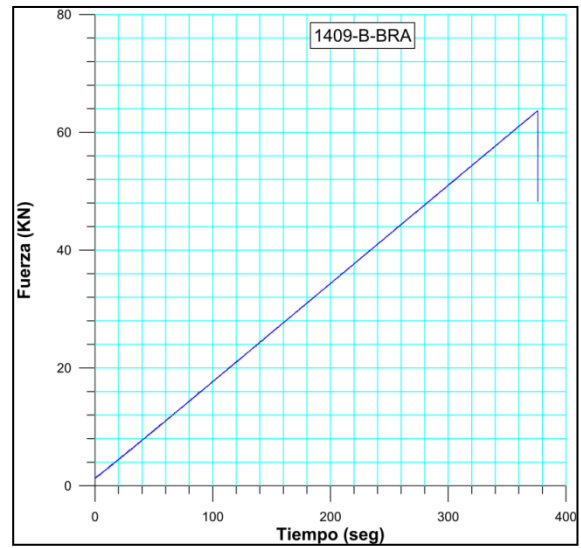


Gráfico 13: Fuerza Vs Tiempo

Muestra 1410-A

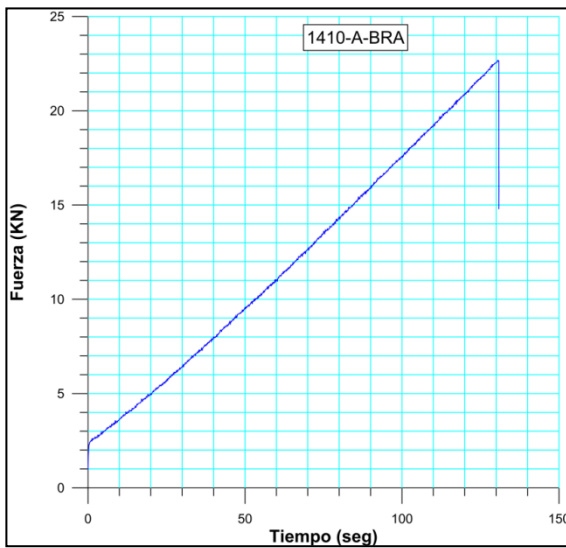


Gráfico 14 : Fuerza Vs Tiempo

Muestra 1410-B

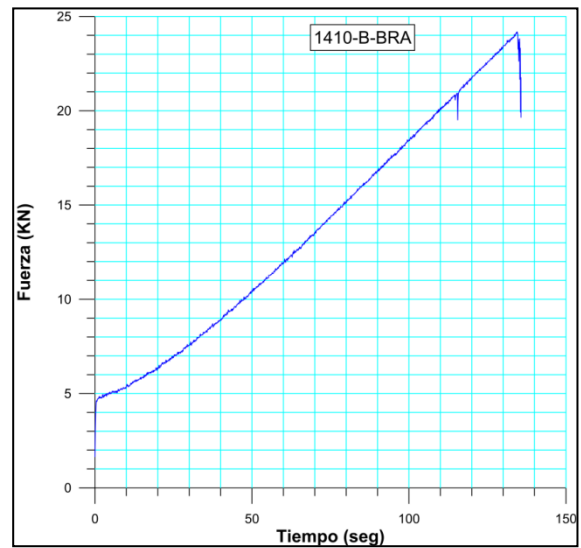


Gráfico 15: Fuerza Vs Tiempo

Muestra 1411-A

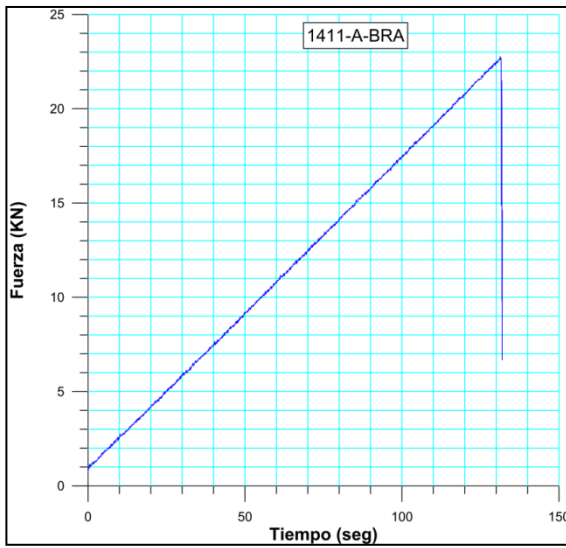


Gráfico 16: Fuerza Vs Tiempo, muestra 1411-A

Muestra 1411-B

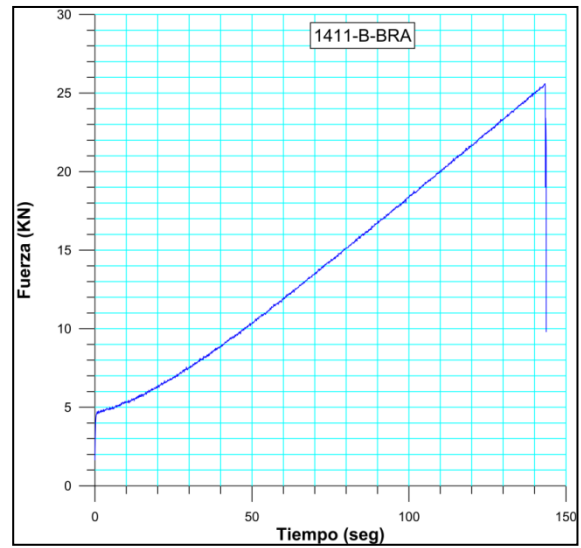


Gráfico 17: Fuerza Vs Tiempo, muestra 1411-B

Muestra 1412-A

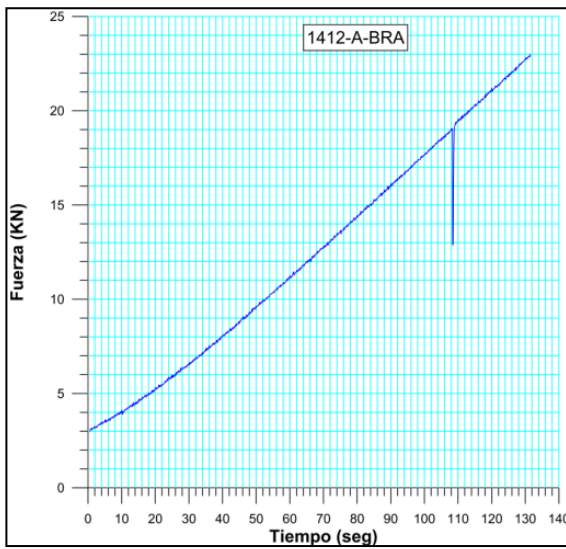


Gráfico 18: Fuerza Vs Tiempo, muestra 1412-A

Muestra 1412-B

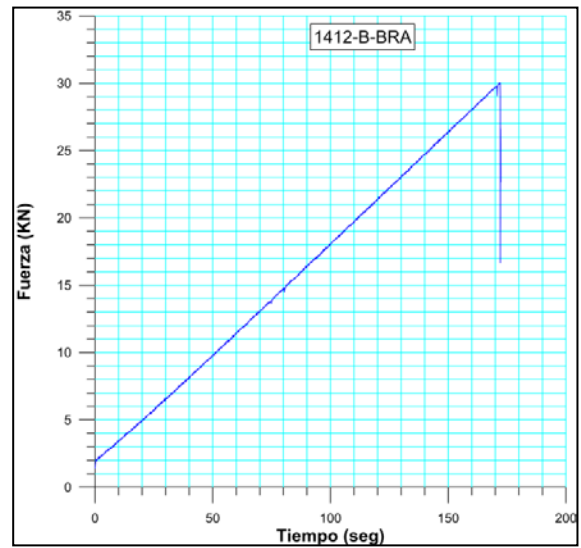


Gráfico 19: Fuerza Vs Tiempo, muestra 1412-B

Los ensayos de tracción indirecta (brasileño) arrojaron parámetros que podemos apreciar en la tabla 23, donde el promedio de carga axial que admite la roca charnockita del cerro La Danta es de 33,08 KN. La resistencia a la tracción es de 12,10 MPa y la clasificación de roca según *La Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas* (ISRM, 1981) de “R4” o de “dureza moderada”. (Ver reportes Tracción Indirecta- Brasileño en Anexos B)

Tabla 23: Resultante de los ensayos de tracción Indirecta-Brasileño

<i>Muestra</i>	<i>Carga Axial Pico (KN)</i>	<i>Resistencia a la Tracción (MPa)</i>	<i>Resistencia a la Compresión (MPa)</i>	<i>Clasificación según (ISRM)</i>
1409-A	57,76	13,08	39,23	R4
1409-B	63,9	13,94	41,82	R4
1410-A	22,81	11,88	35,65	R4
1410-B	24,6	10,65	31,95	R4
1411-A	22,7	12,22	36,65	R4
1411-B	25,61	11,39	34,18	R4
1412-A	22,99	13,95	41,84	R4
1412-B	30,04	9,7	29,09	R4
Promedios	33,80	12,10	36,30	R4

4.3.2 Ensayo de Compresión Uniaxial

Muestra 1407

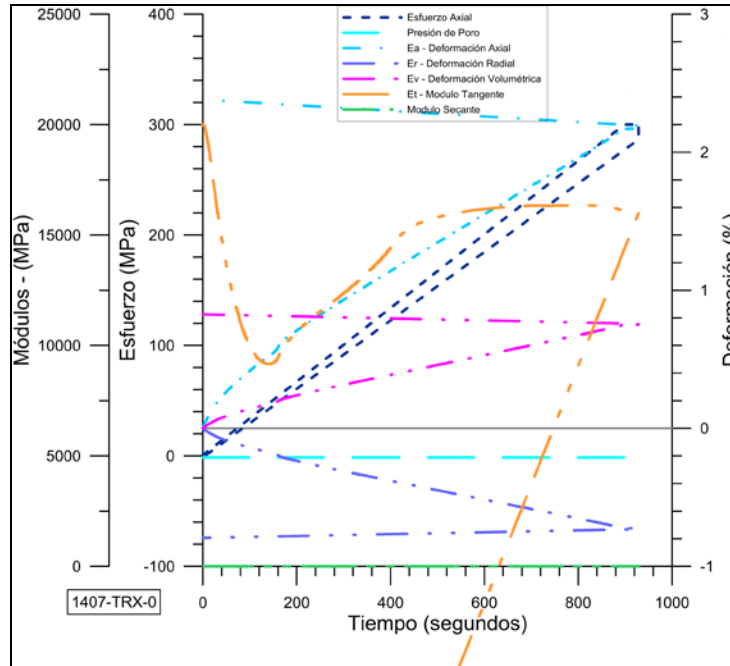


Gráfico 20: Esfuerzo Vs Tiempo Vs Deformación, muestra 1407

Muestra 1413-A

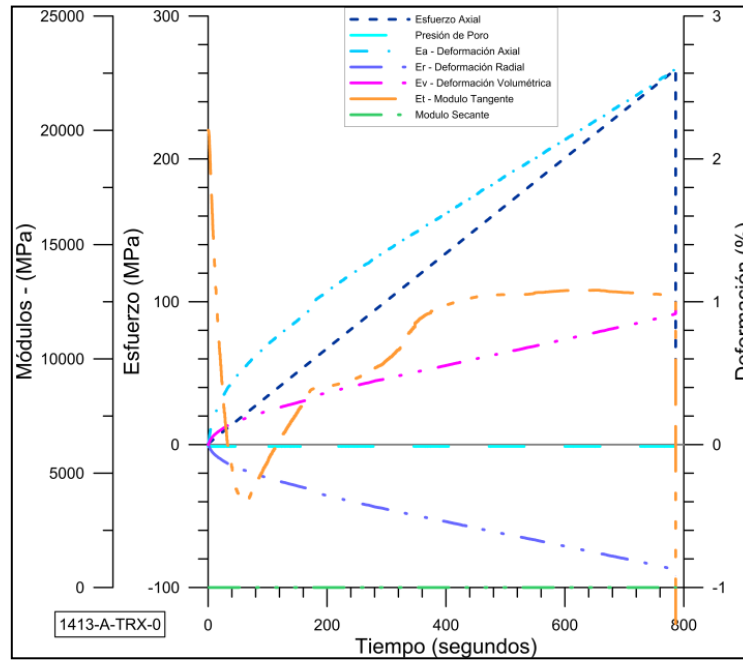


Gráfico 21: Esfuerzo Vs Tiempo Vs Deformación, muestra 1413-A

Muestra1413-B

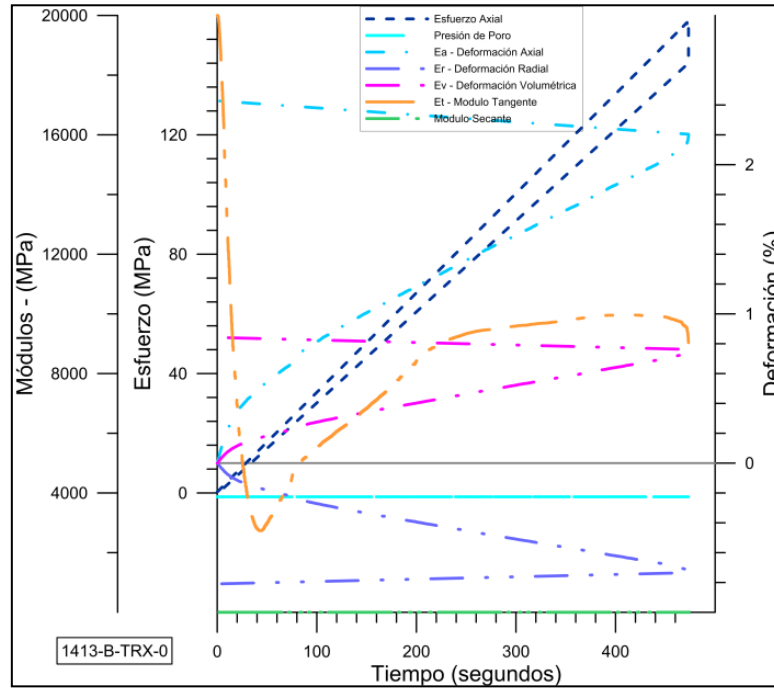


Gráfico 22: Esfuerzo Vs Tiempo Vs Deformación, muestra 1413-B

Muestra 1413-C

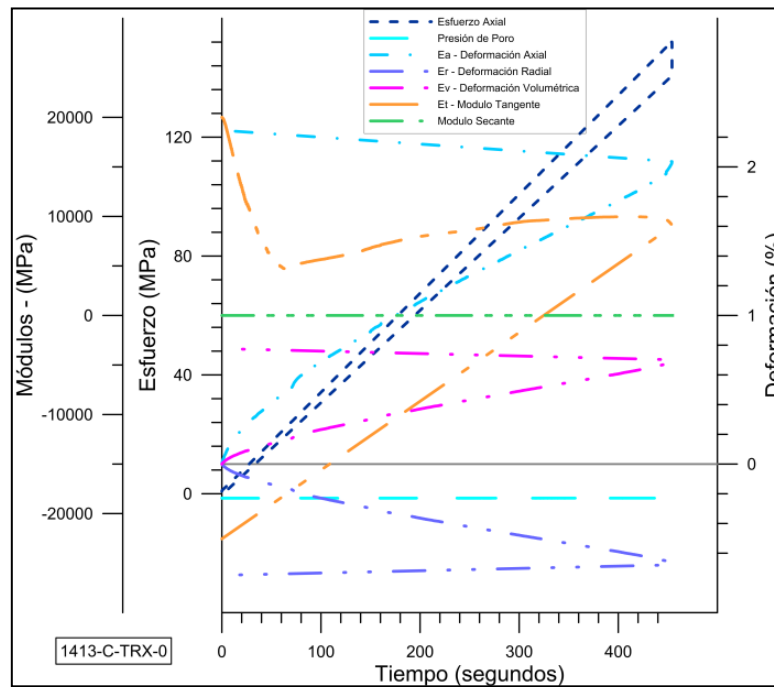


Gráfico 23: Esfuerzo Vs Tiempo Vs Deformación, muestra 1413-C

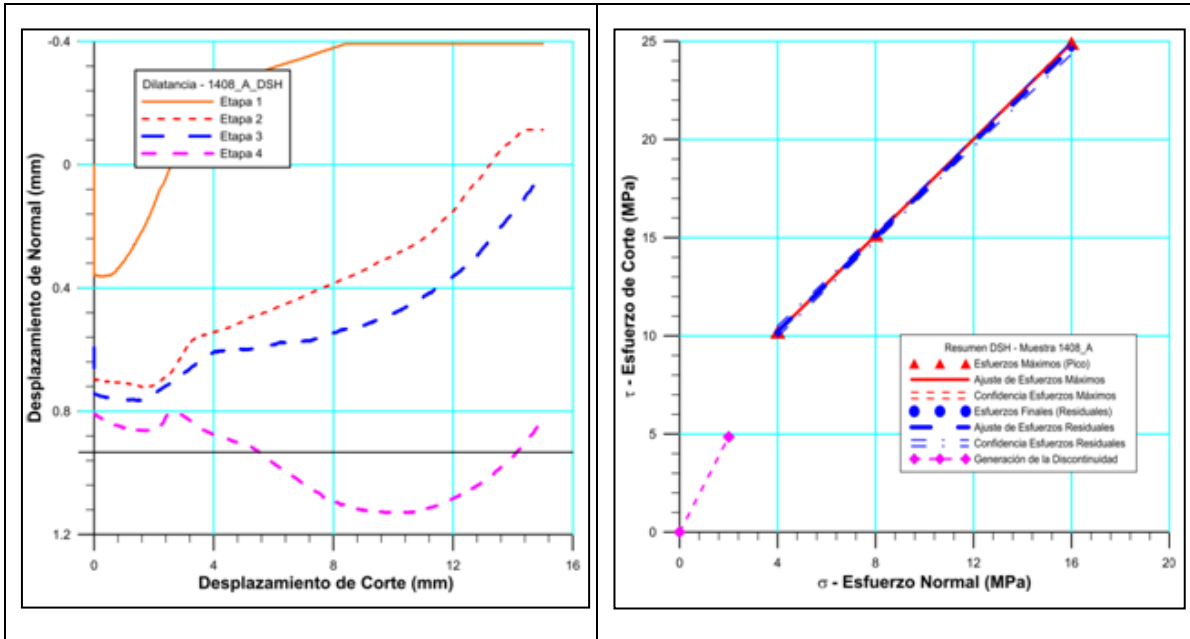
Una vez finalizado los ensayos de compresión simple, la muestra “1407”, caracterizada como charnockita máfica es más competente, presentando un valor de 300,1 MPa, a diferencia de la muestra “1413” determinada como charnockita félsica, arrojando un valor promedio de 191,5 MPa a la compresión no confinada (Ver reportes de compresión uniaxial en Anexos B)

Tabla 24: Resultante de los ensayos de Compresión Uniaxial

<i>Muestra</i>	<i>Esfuerzo Axial (MPa)</i>	<i>Deformación Axial (%)</i>	<i>Módulo de elasticidad tangente al 50% (Mpa)</i>	<i>Deformación Volumétrica (%)</i>
1407	300,1	2,169	130	0,798
1413-A	263,3	2,641	100	1,001
1413-B	158,6	2,185	55	0,755
1413-C	152,6	2,028	50	0,699
Promedio	218,6	2,255	83,75	0,813

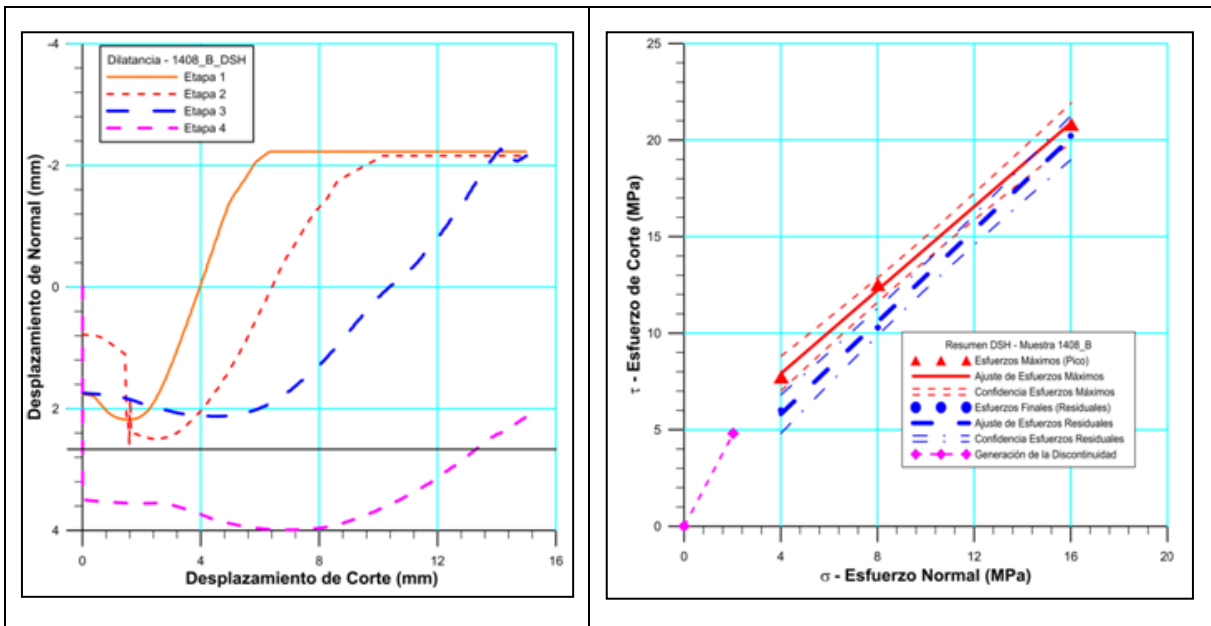
4.3.3 Ensayo de Corte Directo Estático

Muestra 1408-A



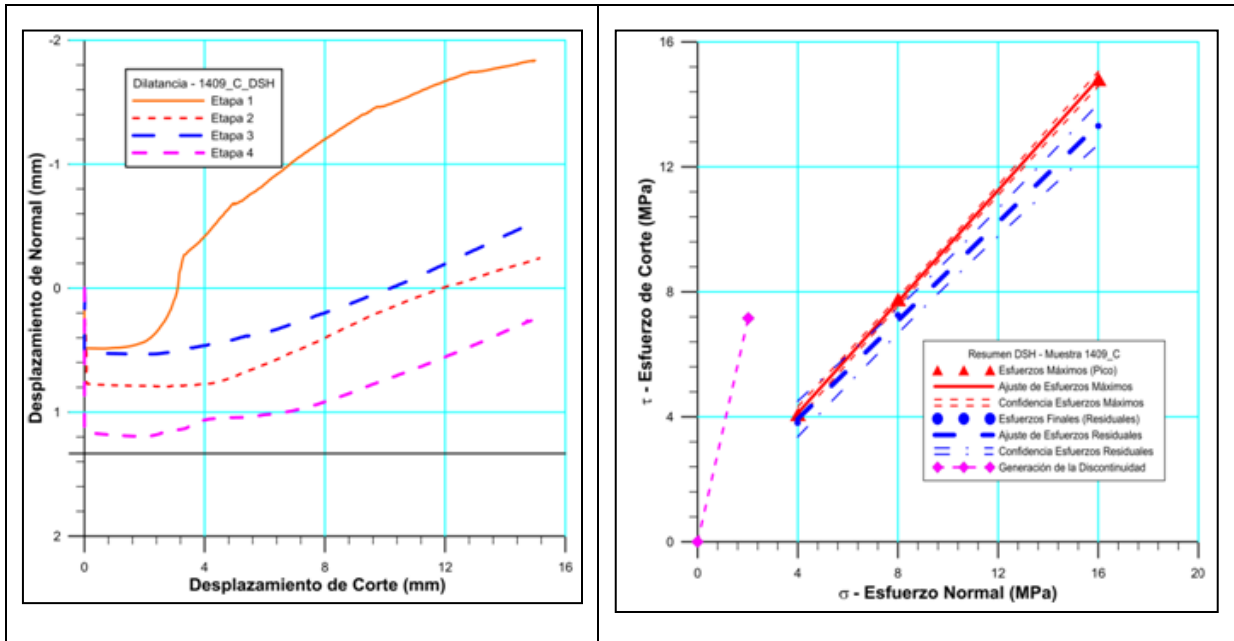
Gráfica 24: Desplazamiento normal Vs Desplazamiento corte, muestra 1408-A, b) Gráfica 25: Esfuerzo de corte Vs Esfuerzo normal, muestra 1408-A

Muestra 1408-B



Gráfica 26: Desplazamiento normal Vs Desplazamiento corte, muestra 1408-B, b) Gráfica 27: Esfuerzo de corte Vs Esfuerzo normal, muestra 1408-B

Muestra 1409-C



Gráfica 28: Desplazamiento normal Vs Desplazamiento corte, muestra 1409-C, Gráfica 29: Esfuerzo de corte Vs Esfuerzo normal, muestra 1409-C

Estudiando los ensayos de corte directo se puede apreciar (ver la tabla 25) que los esfuerzos máximos en los planos de debilidad de la roca charnockita son: $\sigma_n = 9,35$ MPa y $\tau = 13,11$ MPa. Resultando parámetros de roca muy competente, también se ve reflejado con los niveles altos de cohesión 3,14 MPa y un ángulo de fricción $46,59^\circ$ (Ver reportes de Corte Directo Estático en anexos B)

Tabla 25: Resultados ensayo de corte directo estático.

<i>Muestra</i>	<i>Cohesión (MPa)</i>	<i>Ángulo de fricción (ϕ) (grados)</i>	<i>Promedio esfuerzo Normal (MPa) (σ_n)</i>	<i>Promedio esfuerzo Corte (MPa) (τ)</i>
1408-A	5,29	50,8	9,34	16,75
1408-B	3,57	47,25	9,36	13,69
1409-C	0,55	41,71	9,34	8,88

Promedio	3,14	46,59	9,35	13,11
----------	------	-------	------	-------

4.3.4 Ensayo de Abrasividad Método Cerchar

La muestra de roca charnockita máfica 1409 estipuló un valor de abrasividad de 2,8, según lo determina la tabla 7, clasificando como “Poco Abrasiva” mientras que la tabla 8 la clasifica con un coeficiente de rozabilidad “Muy Buena”. Los parámetros obtenidos por la muestra de charnockita félsica 1414 son más elevados, obteniendo un parámetro de 4,40, la clasificación propuesta por la tabla 7 la coloca en el rango de “Altamente Abrasiva” (Ver reportes de Abrasividad Método Cerchar en anexos B).

Muestra 1409

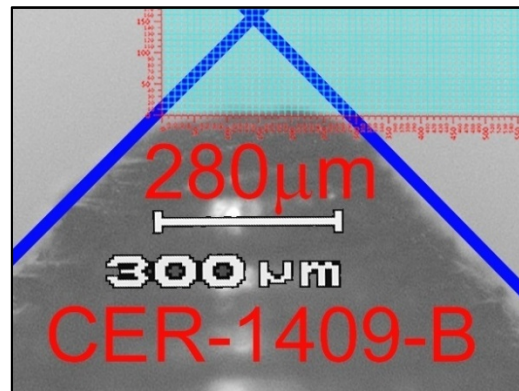


Gráfico 30: Fotomicrografía de la punta de acero, muestra 1409-B

Valor CAI= 2,8 Alta

Muestra 1414

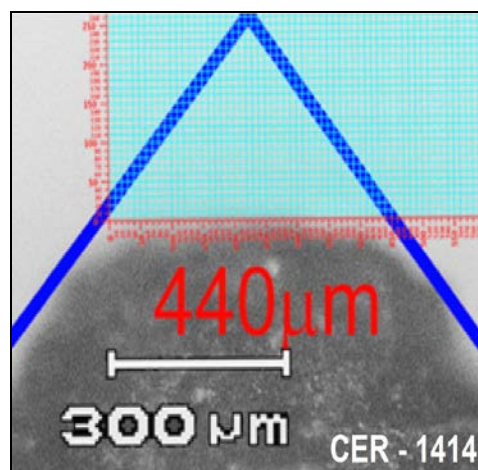


Figura XX Gráfico 31: Fotomicrografía de la punta de acero, muestra 1414

Valor CAI= 4,40 muy alta.

4.3.5 Ensayo de Resistencia al desgaste método Los Ángeles

Muestra 1415

Análisis del Ensayo						
1. DATOS DEL ENSAYO						
METODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES						
NORMA APLICADA	ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO REALIZADO				OBSERVACIONES	
(ASTM C-535)	A	B	C	G		
Aplicación de carga abrasiva con:	12	11	8	12	ESFERAS, ROTACIÓN A 32.5 RPM	
Nº de revoluciones	1000	500	500	1000		
	Tamiz Nº, pulg. (mm)		Porciones de la Muestra			
	Pasa	Retiene	Cantidad tomada en gramos			
	1 1/2"	1"	5,993.50			
	1"	3/4"	4,006.70			
	3/4"	1/2"				
	1/2"	3/8"				
	3/8"	1/4"				
	1/4"	Nº 4				
	Masa inicial de la muestra (g)		10,000.20			
	Masa final de la muestra Mat Ret #12 (1.68mm) (g)		7,929.70			
2. CALCULO						
Cálculo: $P(\%) = (mi - mf) / mi * 100$						
donde:						
	P(%):	20.70	Pérdida de masa de la muestra (%)			
	mi (g):	10,000.20	Masa inicial de la muestra (g)			
	mf(g):	7,929.70	Masa final de la muestra (g)			
3. RESULTADOS						
Pérdida de masa de la muestra = 20.70 %						
Observaciones	Tamaño máximo nominal 2,54 mm (1 ")					
	Gradación utilizada para la realización del ensayo TIPO "G"					

Tabla 26: Análisis del ensayo los ángeles, muestra 1415

Muestra 1416

Análisis del Ensayo						
1. DATOS DEL ENSAYO						
METODO PARA DETERMINAR EL DESGATE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES						
NORMA APLICADA	ESPECIFICACIONES DEL ENSAYO REALIZADO					OBSERVACIONES
(ASTM C-535)	A	B	C	G		
Aplicación de carga abrasiva con:	12	11	8	12		ESFERAS, ROTACIÓN A
Nº de revoluciones	1000	500	500	1000		32.5 RPM
	Tamiz Nº, pulg. (mm)		Porciones de la Muestra			
	Pasa	Retiene	Cantidad tomada en gramos			
	1 1/2"	1"	5,762.40			
	1"	3/4"	4,242.70			
	3/4"	1/2"				
	1/2"	3/8"				
	3/8"	1/4"				
	1/4"	Nº 4				
	Masa inicial de la muestra (g)		10,005.10			
	Masa final de la muestra Mat Ret #12 (1.68mm) (g)		7,879.20			
2. CALCULO						
	Cálculo: $P(\%) = (mi - mf) / mi * 100$					
	donde:					
	P(%):	21.25	Pérdida de masa de la muestra (%)			
	mi (g):	10,005.10	Masa inicial de la muestra (g)			
	mf(g):	7,879.20	Masa final de la muestra (g)			
3. RESULTADOS						
	Pérdida de masa de la muestra =		21.25 %			
Observaciones	Tamaño máximo nominal 2,54 mm (1 ")					
	Gradación utilizada para la realización del ensayo TIPO "G"					

Tabla 27: Análisis del ensayo los ángeles, muestra 1416

Una vez finalizado los 2 ensayos de desgaste, se refleja una pérdida de masa de la muestra en promedio de 20,97 % siendo un parámetro de resistencia al desgaste. El tamaño máximo nominal de la muestra es de 1" y la gradación utilizada para la ejecución del ensayo fue el tipo "G" debido a las condiciones iniciales de la muestra y apegado a la norma ASTM C-131-14 (Ver reportes de Resistencia al desgaste método Los Ángeles en anexos B).

Análisis Geomecánico

El resultado de los ensayos de tracción indirecta por el método “Brasilero” se aprecian en la tabla 23 arrojando parámetros de roca muy competente y clasificándola como “R4”, el promedio de carga axial admitido por los núcleos de charnockita es de 33,08 KN. Y elevados niveles de resistencia a la tracción 12,10 MPa.

Los ensayos de compresión uniaxial determinaron que la muestra “1407”, caracterizada como charnockita máfica es más competente, presentando un valor de 300,1 MPa. La muestra “1413” caracterizada como charnockita félsica arrojando un valor promedio de 191,5 MPa a la compresión no confinada. La muestra 1407 según (Bieniawski, 1989) (ver tabla 24) es clasificada como “muy alta” en resistencia a la compresión simple, al igual que (ISRM, 1981) la cual, le confiere la acotación de “R6”. La Geological Society of London la coloca en el rango de “extremadamente resistente”. Por su parte la muestra 1413 es clasificada según Geological Society of London como roca “muy resistente”, (Bieniawski, 1989) la clasifica con una resistencia alta al igual que (ISRM, 1981), ésta última refiriendo con la terminología de “R5”. Un aspecto importante y característico durante los ensayos de un material altamente competente se vio reflejado en el comportamiento con roturas violentas.

Los ensayos de corte directo estático reflejados en la tabla 25, expone que los esfuerzos máximos en los planos de debilidad de la roca charnockita son: $\sigma_n = 9,35$ MPa y $\tau = 13,11$ MPa. Dando parámetros de roca competente, al igual que los niveles altos de cohesión 3,14 MPa y un ángulo de fricción $46,59^\circ$ son tomados en cuenta para el diseño del ángulo entre mandíbulas y coeficiente de fricción con el que deben ser diseñados los elementos de desgaste de las trituradoras.

El ensayo de abrasividad por el método Cerchar muestra que la roca charnockita máfica 1409 presento un valor de abrasividad de 2,8, según lo determina la tabla 7 clasificando como “Poco Abrasiva” mientras que la tabla 8 la clasifica con un coeficiente de rozabilidad “Muy Buena”. Los parámetros obtenidos por la muestra de charnockita félsica “1414” son más elevados 4,40, la clasificación propuesta por la tabla 7 la posiciona en el rango de “Altamente Abrasiva”. Datos que hacen referencia al momento de diseñar y seleccionar los elementos de desgaste en las trituradoras.

El ensayo de resistencia al desgaste, método los ángeles. Reflejó una pérdida de masa de la muestra en promedio de 20,97 % siendo un parámetro aceptado entre los agregados gruesos. El tamaño máximo nominal de la muestra es de 1” y la gradación utilizada para la realización del ensayo fue el tipo “G”. El porcentaje de desgaste del

material está dentro de los requerimientos para agregados gruesos, también es útil como balasto para vías férreas de trenes con velocidades menores a 80 K/H

4.4 Diseño del circuito de reducción de tamaño

Tomando en cuenta las características mineralógicas de la charnockita, el análisis granulométrico de dicho material y sus propiedades mecánicas, se dispone a diseñar el circuito de reducción de tamaño, el cual a grandes rasgos, contempla un precribador de barras móviles, quien alimentara a la trituración primaria, compuesta por una trituradora de mandíbula tipo “Blake”; el producto que se genere formará un pulmón principal, a su vez por medio de una cinta transportadora es trasladado a una criba vibrante, la cual realiza una selección del material que posteriormente ingresa a la etapa de trituración secundaria, compuesta por un triturador de cono. El material será nuevamente clasificado, generando un producto comercial con requerimientos en pulgadas ½”, ¾” y 1”; el material restante será destinado a la etapa de trituración terciaria compuesta por un triturador de cono.

En la figura 33 se presenta el que se considera al mejor diseño del sistema de reducción de tamaño, clasificación, almacenaje y transporte con cintas transportadoras.

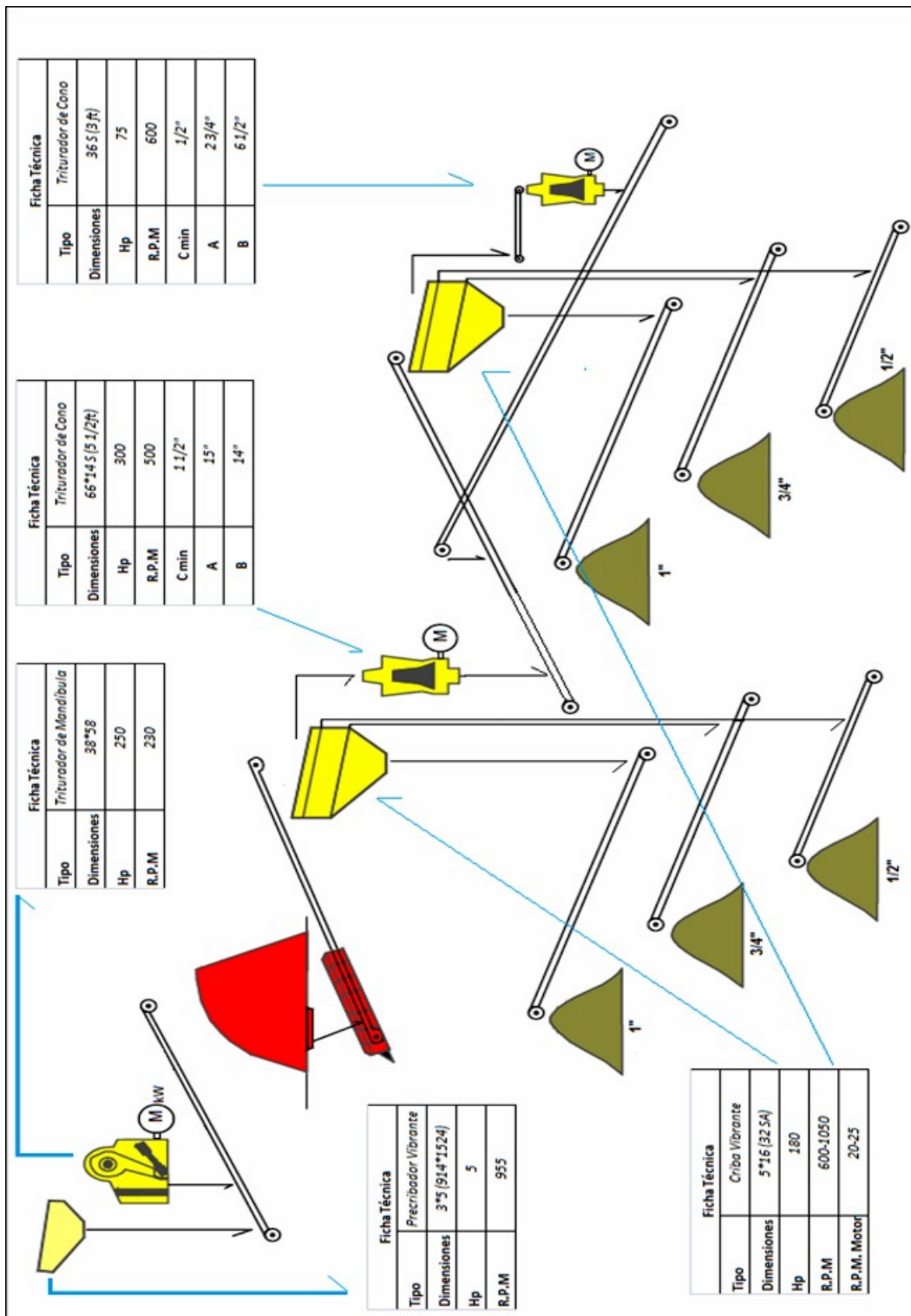


Figura 33: Circuito de reducción de tamaño, clasificación, almacenaje en pilas y transporte en cintas

4.4.1 Precribadores de barras móviles (Parámetros técnicos mínimos)

El parámetro funcional utilizado en la escogencia de este elemento es el diámetro máximo del material admitido por la planta de reducción, la cual es de 600mm. La máquina con las características más próximas (por exceso) es seleccionado del catálogo de fabricantes y expuesto en la figura 29:

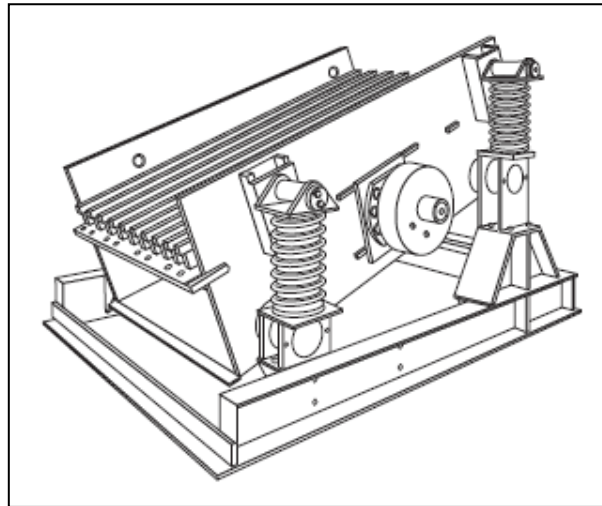


Figura 34: Precribador vibrante. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

Tabla 28: Especificaciones técnicas del precribador vibrante. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

Ficha Técnica	
<i>Tipo</i>	Precribador Vibrante
<i>Dimensiones</i>	3*5 (914*1524)
<i>Hp</i>	5
<i>R.P.M</i>	955

4.4.2 Trituración primaria:

Trituradora de mandíbula (parámetros técnicos mínimos)

Mediante la ecuación 7 se determinó que la energía de conminución es de 360,20 Kwh/T, de la ecuación 9, la potencia del motor o potencia útil es 720,40 Kwh/T, para un caudal de 100 T/H. Estudiando la relación de reducción de los ensayos granulométricos, se estableció en $R=2$, de ésta manera se pudo definir a través de la ecuación 11 los parámetros F_{80} como 480mm (si tomamos $D_{max}=600$ mm) y $P_{80}=240$ mm.

Los datos correspondientes a las dimensiones de la boca de admisión, se obtuvieron de la ecuación 12, resultando parámetros de $A=705,88$ mm y de la ecuación 13 el parámetro $L=1411,76$ mm.

El reglaje de la máquina, se encontró por la ecuación 14 y tomando en cuenta que $P80=240$ mm, será $R=300$ mm para un desplazamiento de mandíbula $t=60$ mm.

Las revoluciones por minuto en el volante de inercia se calcularon a través de la ecuación 16 dando un parámetro ± 63 rpm. Para el cálculo de éste, se consideraron los altos niveles de cohesión y del elevado ángulo de fricción del material que arrojaron los ensayos de corte directo, es por ello que la literatura recomienda que el ángulo formado entre las mandíbulas se establezca en 20° . La máquina con las características más próximas (por exceso) es seleccionado del catálogo de fabricantes y expuesto en la figura 30.

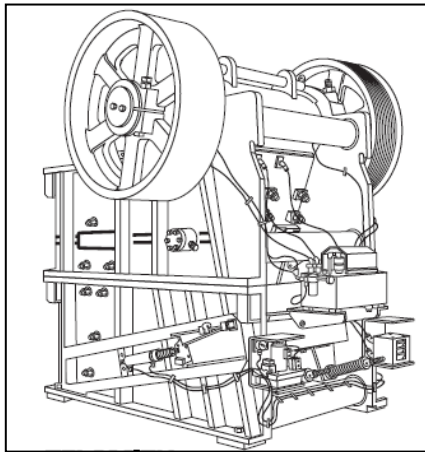


Figura 35: Triturador de mandíbula tipo “Blake”. Tomado de: Telsmich handbook 2004

Tabla 29: Especificaciones técnicas del triturador de mandíbula. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

Ficha Técnica	
Tipo	Triturador de Mandíbula
Dimensiones	38*58
Hp	250
R.P.M	230

4.4.3 Criba vibrante (Parámetros técnicos mínimos)

Observando los resultados del análisis granulométrico, se apreció que el grano medio de aceptación pertenece al 80 % del material acumulado, este dato lo tomamos como la eficiencia del cribado de la ecuación 22.

La superficie del cribado se determina mediante la ecuación 23 y las aberturas de los cedazos del material requerido, equivalen $A=1''=25,4$ mm; $B=3/4''=19,5$ mm; $C=1/2''=12,7$ mm. Las dimensiones de la criba se establecen a partir del cedazo que necesite mayor área para cumplir con los requerimientos específicos de un 80 % de eficiencia del cribado. Este fue el caso del cedazo 3 con un área total de $6,62 m^2$, el cedazo 2 con $3,76 m^2$ y el cedazo 1 con $2,53 m^2$, generando así un ancho de criba igual a 2 m y 4 m de longitud. La tabla 16 hace constar que soporta el caudal del sistema de reducción de tamaño. El caudal se estipuló en 100 T/H

La máquina con las características más próximas (por exceso) es seleccionada del catálogo de fabricantes y expuesta en la figura 31

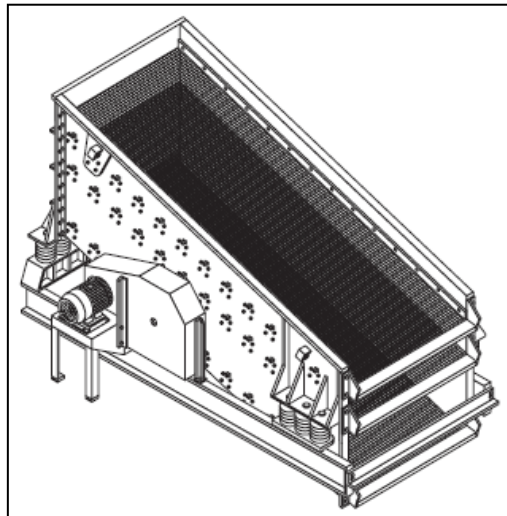


Figura 36: Criba vibrante. Tomado de: Telsmich handbook 2004

Ficha Técnica	
Tipo	Criba vibrante
Dimensiones	5*16 (32 SA)
Hp	180
R.P.M	600-1050
R.P.M motor	20-25

Tabla 30: Especificaciones técnicas de la criba vibrante. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

4.4.4 Trituración secundaria: Triturador de cono tipo Simons (Parámetros técnicos mínimos)

Mediante la ecuación 7 se determinó que la energía de conminución es de 177,12 kwh/T, de la ecuación 9, la potencia del motor o potencia útil es 3552,24 Kwh/T.

Para el diseño de la boca de admisión, la ecuación 17 resulta que $A=375\text{mm}$ y de la ecuación 18 $B=1012,5\text{mm}$. Para determinar estos parámetros, $D_{\text{max}}=P$ siendo $P=P_{100}$ tomando como referencia $P=80$ proveniente del reglaje de la trituración primaria.

La relación de reducción $R=6$ se determinó mediante la ecuación 11, teniendo en cuenta que la alimentación de este sistema proviene del producto y previo cribado de la trituración primaria. Es por ello que el P_{80} de la trituración primaria es igual a F_{80} correspondiente a la ecuación 11, cabe acotar que el P_{80} de la trituradora de cono es 40mm.

La capacidad se determina según Gieseking, ecuación 19, resultando una capacidad teórica de 120,63 Ton/h. En esta hacemos referencia al grafico 4 y con las dimensiones de la boca de admisión, las revoluciones por minutos del cono son de 350rpm

El reglaje será tomado como dato $F_{80}=40\text{mm}$ y así con la ecuación 20, la velocidad angular de giro de la trituradora de cono, es en promedio $V=173,48\text{ rad/s}$. La maquina con las características más próximas (por exceso) es seleccionado del catalogo de fabricantes y expuesto en la figura 37

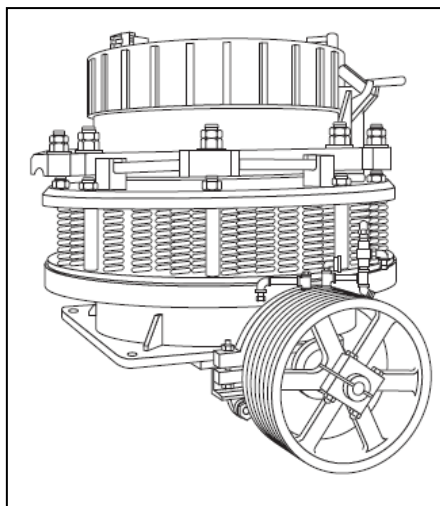


Figura 37: Triturador de cono. Tomado de: Telsmich handbook 2004

Ficha Técnica	
Tipo	Triturador de cono
Size	66*14 S (5 1/2 ft)
Hp	300
R.P.M	500
Cmin	1 1/2"
A	15"
B	14"

Tabla 31: Especificaciones técnicas del triturador de cono. Tomado de: Telsmich handbook 2004

4.4.5 Criba vibrante II (Parámetros técnicos mínimos)

Partiendo del caudal proveniente de la trituración secundaria, su reglaje y las aberturas de los cedazos del material requerido, equivalentes $A=1''=25,4\text{mm}$; $B=3/4''=19,5\text{mm}$; $C=1/2''=12,7\text{mm}$. Las dimensiones de la criba se determinaron a partir del cedazo que necesite mayor área para cumplir con los requerimientos específicos de un 80% de eficiencia del cribado. Este fue el caso del cedazo 3 con un área total de $6,62\text{m}^2$, el sedaso 2 con $3,76\text{m}^2$ y el sedaso 1 con $2,53\text{m}^2$, Generando así un ancho de criba igual a 2m y largo de 4m El caudal se estipulo en 100Ton/h. La maquina con las características más próximas (por exceso) es seleccionado del catalogo de fabricantes y en este caso es de las mismas dimensiones que la criba entre la trituración primaria y secundaria.

4.4.6 Trituración terciaria: triturador de cono tipo Simon's (Parámetros técnicos mínimos)

El $F80=40$ mm de la trituración secundaria, es nuestro grano medio de aceptación así que el $F100=50$ mm que es igual a "Dmax" y sustituyéndolo en la ecuación 17 y 18 se obtiene los parámetros $A=62,5$ mm y $B=168,75$ mm. La relación de reducción en trituradores de cono para trituración terciaria se estableció en $R=3$, utilizando la ecuación 11 se obtiene $P80=40$ mm y $F80=13,8$ mm, estando dentro del rango de la granulometría de los materiales requeridos.

El reglaje será tomado como dato $F80=13,3$ mm y así con la ecuación 20, la velocidad angular de giro de la trituradora de cono, nos da en promedio $V=29,86$ rad/s. La capacidad teórica se determina según Gieseking, ecuación 19, resultando en 36,71 T/H la cual tomando este dato y haciendo referencia al grafico 4 con las

dimensiones de la boca de admisión obtenemos las revoluciones por minuto del cono 300 rpm.

Mediante la ecuación 7 se determinó que la energía de conminución es de 674,0 9 kwh/T, de la ecuación 9 la potencia del motor o potencia útil es 1348,18 Kwh/T. La máquina con las características más próximas (por exceso) es seleccionado del catálogo de fabricantes y posee las especificaciones que se reflejan en la tabla 32

Ficha Técnica	
Tipo	Triturador de cono
Size	36 S (3 ft)
Hp	75
R.P.M	600
Cmin	1/2"
A	2 3/4"
B	6 1/2"

Tabla 32: Especificaciones técnicas del triturador de cono. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

4.4.7 Cintas transportadoras (Parámetros técnicos mínimos)

Se utiliza como dato referencial, las dimensiones del grano máximo (reflejadas en el análisis granulométrico) en todo el circuito y tomando en cuenta la salida del producto en la trituradora primaria de 240 mm, $\pm 10''$.

El ángulo de reposo del material es un dato característico de la piedra picada $\alpha=30^\circ$, con este fundamento (ver tabla 15) se evidencia que para un 90 % del material grueso y 10 % de material fino, junto con un diámetro máximo de material igual a 10'', obtenemos que el ancho de la banda es 60''. La velocidad de la cinta transportadora recomendada por los fabricantes es de 3,3 m/s, éste parámetro es dependiente del ancho de la banda y se refleja de la tabla 15.

La capacidad teórica de transporte se fija junto con el caudal del sistema de trituración (100T/H) y despejando de la ecuación 19 se obtienen $Q_m=52,73 \text{ m}^3/h$, que es el volumen teórico transportado para $v=1 \text{ m/s}$, multiplicando por la velocidad real de la cinta, se obtiene el caudal óptimo $174 \text{ m}^3/h$ lo que equivale a 244 T/H, es decir, el doble del caudal teórico.

CONCLUSIONES

Mediante la caracterización mineralógica de muestras provenientes del Cerro La Danta, se halló la diferencia modal y sus porcentajes, tanto de la charnockita máfica como de la félsica, esta última presentando el mayor contenido de silicio.

Los tipos de roca charnockita se encuentran ubicados en la misma clasificación por su comportamiento mecánico. Sin embargo, realizando el estudio individual, las muestras de charnokita máficas resultaron más competentes ya que arrojaron parámetros más elevados de resistencia a la compresión simple y del módulo de elasticidad. Conjuntamente, los núcleos de charnokita félsica, debido a su alto contenido de sílice, presentaron mayor índice de abrasividad y cohesión.

Se simuló un circuito de reducción de tamaño con criba vibrante para disminuir la sobretrituration, compuesto por una trituradora de mandíbula correspondiente a la trituración primaria, de la misma manera para la trituración secundaria pero con dimensiones menores del equipo, por último se utilizó para la trituración terciaria, una trituradora de rodillos, una batería de tamices y un agitador.

Según el sistema unificado de clasificación de suelos la roca charnockita del cerro La Danta presentó un comportamiento mecánico aceptable, reflejado en el análisis granulométrico, catalogándola como una “arena bien gradada con graba fina”.

De la simulación en laboratorio se apreció que por el efecto de forma de la descarga rectangular de la trituradora de mandíbula y por el contenido de micas en la muestra ensayada, salen trozos angulares y alargados, por ello se selecciona este tipo de trituradora para la primera etapa.

Mediante las fórmulas de porcentaje de eficiencia en la clasificación y gráficas existentes de buena degradación, se pudo determinar que la efectividad del proceso de reducción de tamaño y clasificación, se ajusta de manera óptima al proceso de simulación de reducción mecánica a nivel de laboratorio.

El diseño del circuito mecánico se elaboró a través de la información recopilada en los diversos ensayos, múltiples tablas y criterios teóricos para obtener parámetros mínimos de diseño de las maquinarias y buscando dichos productos con características excedentes en los manuales de fabricantes existentes.

El sistema de reducción mecánica se estipuló de manera equilibrada, la alimentación es igual a la descarga, la carga circulante en un punto, será el rechazo de cualquier

tritadora más la alimentación al circuito y en porcentaje con respecto a la alimentación, entre el pasante de la criba en ese punto.

Según ábacos y tablas la capacidad para igual abertura de admisión, de la trituradora de cono es de 3 a 5 veces superiora a la de mandíbula, también son más pesadas y por ende más costosas. Por ello se escogieron las trituradoras de cono para las etapas secundaria y terciaria, además que las características del producto son bastante cubicas por el efecto acumulativo dentro de la cámara de trituración.

RECOMENDACIONES

Se debe realizar el análisis petrográfico tanto de muestra félsica como de muestra máfica con el fin de recopilar más información sobre aspectos como su composición y estructuras mineralógicas.

Para la simulación del proceso de reducción mecánica se recomienda utilizar una batería de tamices más amplios, haciendo énfasis en las medidas de los productos comerciales.

Se debe tomar en cuenta la abrasividad de la charnockita félsica a la hora de la escogencia de los cedazos de la criba vibrante.

Se recomienda el diseño de los elementos de desgaste de las trituradoras en función de las características mecánicas y físicas propias de la charnockita.

La escogencia de los equipos en los catálogos de los fabricantes, deben estar por encima de los parámetros de diseño de los distintos equipos que compone un sistema de reducción mecánica.

El estudio del desgaste en las mandíbulas, forros y en el cóncavo. Permitirá un mejor diseño del acero utilizado en estos con el fin de alargar la vida útil de los mismos y disminuir los costos de producción.

Los distintos elementos de desgaste presentes en las trituradoras, deben ser aceros de manganeso austenítico, resistente al impacto, abrasión y desgaste extremo.

BIBLIOGRAFÍA

Aceros Sisa S.A. (2005) Guía de aceros SAE-AISI

Arcía J. (2011). Diseño e implementación de un sistema de planificación de mantenimiento para los equipos fijos y móviles pertenecientes en la empresa Con-Piedra C.A

Arnaudez R., O. (1977). Cálculo del rendimiento del equipo de producción, Estudio de la planta de tratamiento y Análisis económico de la cantera "Con Piedra". Trabajo especial de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Venezuela, Caracas.

ASTM C131 / C131M – 14 Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the los angeles machine

ASTM. (1995b). D5731-08, Standard test method for determination of de point load strength index of rock load application to rock strength classification. american society of testing and materials.

ASTM. (1996b). D5607-08, Standard test method for performing laboratory direct shear strength tests of rock specimens under constant normal force. american society of testing and materials

ASTM D7625 - 10 Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the cerchar method. american society of testing and materials

ASTM D422-63 (2007) e2 Standard Test method for particle-size analysis of soils

ASTM D4318 - 10e1 Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils

ASTM D7012 – 10 Standard test method for compressive strength and elastic module of intact rock core specimens under varying states of stress and temperatures

Balestrini Acuña. (2006). Como se elabora el proyecto de investigación, Venezuela, Ediciones Consultores Asociados,

Castillejo M. (1993) Ensayo de compresión uniaxial

Corporación Venezolana Guayana. Ferrominera del Orinoco C.A. (2006). Plan de explotación de la Cantera Congregua. Municipio Caroní, Estado Bolívar. Venezuela.

Díaz S. (1977). Diseño de explotación de la cantera con piedra Cerro la Danta, Distrito Caroní, Puerto Ordaz Edo. Bolívar.

Kelly E. y Spottiswood D. (1990). Introducción al Procesamiento de Minerales. Editorial Limusa S.A., México D.F., p. 23,153.

Escalante y Reyes (2010). Selección de equipos de arranque, carga y acarreo y propuesta del flujograma de la planta de preparación mecánica del mineral, para el proyecto de explotación de cuarzo en la concesión el Miamo Estado Bolívar

Fueyo L. (1999). Equipos de trituración, molienda y clasificación, tecnología, diseño y aplicación.

Garcías M. (2012). Diseño de una planta de trituración y cribado de caliza para cemento

Good Year Company (2005). Tablas de fajas transportadoras. Catálogo de selección.

Grande S. Comunicación personal. 2016.

Hosseini P (2010). Exploring energy usage in comminución and media wear using steel wheel abrasion test

Nieves O. (2013). Elaboración de una propuesta para la explotación a cielo abierto de charnockita, en la etapa de ingeniería conceptual, cerro la danta-sector cambalache estado bolívar.

Intevep (1997-2005). Léxico Estratigráfico de Venezuela.

Pérez y Estraño (2011). Caracterización geológica de parámetros geológicos, petrográficos y geomecánicos de una localidad al sur de Caicara del Orinoco, Estado Bolivar

Rodríguez C. (2012) Evaluación y propuesta para el control y desempeño del área de trituración mineral

Sandrai S. (2006) Influence of impacto velocity on fragmentation and the energy efficiency of comminution

Tata T. Oracio A. (2003). Diseño de una planta y selección de equipos para trituración de material natural para obtener agregados para la construcción civil y otros usos industriales

Urday D. (2013) Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50t/h

Villanueva A. (2002). Guía de laboreo a cielo abierto,

Zurita M. (2012). Proyecto de una planta de trituración para cantera de caliza

ANEXO I

Capacidades, ábacos y características técnicas de los elementos seleccionados.

SPECIFICATIONS – TELSMITH 25"×40" THRU 55"×66" OVERHEAD ECCENTRIC JAW CRUSHERS									
SIZE	25"×40"	30"×42"	30"×55"	36"×48"	38"×58"	40"×50"	44"×48"	50"×60"	55"×66"
Net wt. of crusher – lbs. approx.	35,500	44,600	58,000	91,500	108,000	42,000	125,900	190,000	217,000
Export packed wt. – lbs. approx.	36,500	46,000	59,150	93,100	109,500	44,000	126,900	192,000	220,000
Export packed – ft. ³ approx.	575	900	1,000	1,100	1,600	1,600	1,616	2,100	2,800
HP required	125	150	200	200	250	150	250	300	350
Drive pulley dia. × face – inches	54 × 14.75	60 × 14.75	55 × 12.6	66 × 16	66 × 16	54 × 14.75	72 × 17	78 × 23	78 × 23
RPM	260	255	280	230	260	260	225	225	225

Figura 38: Especificaciones técnicas triturador de mandíbula. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

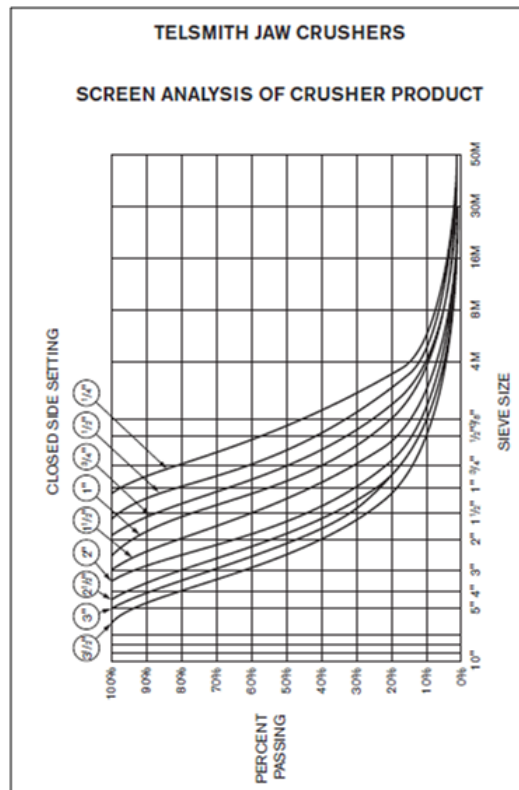


Figura 39: Granulometría triturador de mandíbula. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

CAPACITIES – SERIES "D" GYRASPHERE CRUSHERS – STYLE S														
SIZE	24 S (2 Ft.)		245 S (2 Ft.)	36 S (3 Ft.)			367 S (3 Ft.)	48 S (4 Ft.)			489 S (4 Ft.)	66 S (5 1/2 Ft.)	6614 S (5 1/2 Ft.)	
Type of Bowl	Coarse	Medium	Coarse	Ex. Coarse	Coarse	Medium	Coarse	Ex. Coarse	Coarse	Medium	Coarse	Coarse	Medium	Coarse
Feed Opening "A" Open Side	3 1/4"	2 1/2"	4 1/8"	7 1/8"	4 7/8"	4 1/2"	7 3/4"	8 1/2"	7 1/2"	5 7/8"	10"	11"	9"	15"
"B" Closed Side	2 3/4"	1 7/8"	4 1/8"	6 1/4"	4"	3 1/4"	6 1/4"	7 1/2"	6 1/2"	4 1/4"	9"	10"	8"	14"
Recommended Minimum Discharge Opening "C"	3/8"	1/4"	1/2"	3/4"	1/2"	3/8"	3/4"	3/4"	3/4"	1/2"	1"	1"	3/4"	1 1/2"
Capacities in Tons Per Hour at Indicated Discharge Opening "C". Tons of 2000 Lbs. Material Weighing 100 Lbs. Ft. ³														
1/4"	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3/8"	22	22	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-	-	-
1/2"	27	27	27	-	41	41	-	-	-	85	-	-	-	-
5/8"	32	32	32	-	56	56	-	-	-	110	-	-	-	-
3/4"	37	37	37	71	71	71	71	135	135	135	-	-	200	-
7/8"	42	42	42	77	77	77	77	155	155	155	-	-	235	-
1"	47	47	47	83	83	83	83	170	170	170	170	275	275	-
1 1/4"	53	53	53	89	89	89	89	185	185	185	185	320	320	-
1 1/2"	-	-	-	105	105	105	105	200	200	200	200	365	365	365
2"	-	-	-	110	110	110	110	215	215	215	215	410	410	410
2 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	230	455	455	455

Figura 40: Capacidad teórica triturador de cono. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

SPECIFICATIONS – SERIES "D" GYRASPHERE CRUSHERS – STYLE S												
SIZE	24 S	245 S	36 S w/Sp. Rel.	36 S w/Hyd. Rel.	367 S w/Sp. Rel.	367 S w/Hyd. Rel.	48 S w/Sp. Rel.	48 S w/Hyd. Rel.	489 S w/Sp. Rel.	489 S w/Hyd. Rel.	66 S w/Hyd. Rel.	6614 S w/Hyd. Rel.
HP Required	30	30	75	75	75	75	150	150	150	150	250	300
Crusher Flywheel RPM	725	725	600	600	600	600	525	525	525	525	500	500
Sheave P. Dia. & Number & Type of Belts	24"-4C	24"-4C	28"-6D	28"-6D	28"-6D	28"-6D	34"-8D	34"-8D	34"-8D	34"-8D	40"-8E	40"-8E
Shipping Weight Lbs.	9,800	10,000	24,250	23,350	25,000	23,935	43,500	41,225	44,000	42,290	98,000	98,000
Weight Boxed for Export	10,000	10,200	24,750	23,850	25,450	24,385	44,600	43,325	45,900	44,200	99,600	99,600
Cu. Contents Export Boxed Ft. ³	160	160	340	355	340	355	650	670	650	670	1,330	1,330

Figura 41: Especificaciones técnicas triturador de cono. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

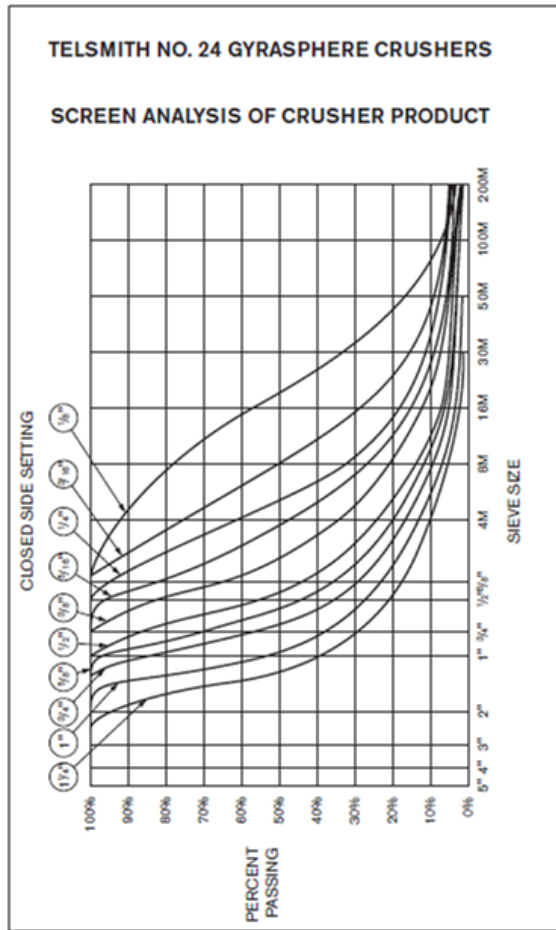


Figura 42: Granulometría triturador de cono. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

VIBRATING GRIZZLY (Floor Mounted) SPECIFICATIONS								
Screen Size Width x Length Ft. (mm)	No of Decks	Screen Pulley RPM	HP of 1750 RPM Electric Motor	Screen Net. Wt. Lbs. Approx.	Screen Export Gross Wt. Lbs. Approx.	Screen Net. Wt. Kilograms Approx.	Screen Export Gross Wt. Kilograms Approx.	Cubic Cont. Ft. ³ Approx.
3'x5' (914x1524)	S D	955	5	3,550 4,600	3,750 4,800	1,610 2,085	1,700 2,175	190 225
3'9"x7' (1143x2134)	S D	955 850	7.5 10	4,400 6,900	4,600 7,150	2,000 3,130	2,085 3,245	235 250
4'6"x8' (1372x2438)	S D	850	10	5,900 8,500	6,150 8,750	2,680 3,860	2,790 3,970	310 320
5'x10' (1524x3048)	S D	820	20	11,600 12,950	11,850 13,200	5,260 5,875	5,375 5,990	560 700
6'x16' (1829x4877)	D	828	40	23,255	24,300	10,550	11,022	5000

Figura 43: Especificaciones técnicas precribador. Tomado de: Telsmich Handbook 2004

VIBRO-KING SCREEN SPECIFICATIONS								
Screen Size Width x Length Ft. (mm)	No. of Decks	Screen Pulley RPM <small>(NOTE 1)</small>	Size of Vib. Unit <small>(NOTE 2)</small>	HP of 1800 RPM Electric Motor <small>(NOTE 3)</small>	Dry Screen Gross Wt. Lbs. Approx.	Dry Screen Exp. Wt. Lbs. Approx.	Cu. Cont. Ft. ³ Approx.	Number of Spray Nozzles
5'x16' (1524x4877)	S	600-1,050	32 SA	20	9,175	9,750	690	20
	D			20	10,725	11,375	820	35
	T			25	13,300	14,075	960	35
6'x16' (1829x4877)	S	600-1,050	32 SA	20	10,550	11,225	1,200	24
	D			20	12,340	12,990	1,300	48
	T			25	15,450	16,050	1,390	48
7'x20' (2134x6096)	S	600-1,050	2-32M	2-30	16,100	16,600	1,500	35
	D				20,600	21,100	1,600	70
	T				24,200	24,700	1,850	70
8'x20' (2439x6096)	S	600-1,050	2-32M	2-30	22,050	22,650	1,970	40
	D				26,100	26,750	2,070	80
	T				30,200	30,800	2,210	80
8'x24' (2439x7315)	S	600-1,050	2-32M	2-30	24,400	25,150	3,290	48
	D				29,650	30,400	3,390	96
	T				38,300	39,050	3,500	96

Figura 44: Especificaciones técnicas criba vibrante. Tomado de: Telsmich Handbook 2004