

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PARA EL INCREMENTO DE LA
PRODUCCIÓN DE AGREGADOS EN LA PLANTA DE TRITURACIÓN II DE
CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S.A**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Estee P. Idalys E.
Para optar al título de Ingeniero de Minas

Caracas, octubre 2022

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE AGREGADOS EN LA PLANTA DE TRITURACIÓN II DE CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S.A

Tutora Académica: Profa. Katherine Silva

Cotutor Académico: Prof. José Luis De Abreu

Tutor Industrial: Ing. Fimaoché Hernández

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Estee P. Idalys E.
Para optar al título de Ingeniero de Minas

Caracas, octubre 2022

Caracas, 28 de octubre de 2022

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la **Br. Idalys Elena Estee Pérez**, titulado:

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE AGREGADOS EN LA PLANTA DE TRITURACIÓN II DE CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S.A”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducentes al Título de Ingeniero de Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas del autor, lo declaran **APROBADO**.



Prof. Miguel Castillejo Cans

(Jurado)



Prof. Magda Acosta

(Jurado)



Prof. Katherine Silva.

(Jurado)

DEDICATORIA

A Dios...

A mis “S...” por estar conmigo en todo momento

A mis padres por su apoyo incondicional

A mis ángeles Remigia María, María Luisa y Desmundo que desde el cielo me protegen

A mi tío Jorge León, que siempre recodaré con sus palabras “Entonces, familia”

A mi novio David, por su comprensión y ayuda durante el desarrollo de mis estudios

A mis queridos hermanos Verona (neni) y Luis (niño) que estuvieron durante todo el proceso de esta larga travesía

A ustedes Gracias...

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios todo poderoso por darme fuerza cuando no creí tenerla.

A la majestuosa casa que vence las sombras, “Universidad Central de Venezuela” por abrirme sus puertas, y enseñarme que “el conocimiento es el mejor vestido de gala para bailar en la fiesta de la vida”.

A mis padres, Iraida de Estee y Luis Estee por brindarme su cariño e inculcarme buenos principios. A mis hermanos, Verona Estee (Neni), Luis Manuel Estee (Niño) y Luingy Estee (Nene) por estar conmigo en todo momento, gracias.

A todos los profesores del Departamento de Minas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela por brindarme su apoyo, especialmente a los Profesores: Katherine Silva, Miguel Castillejo, José Luis de Abreu, y Carlos Utches por su colaboración durante el desarrollo de esta investigación.

A mi tutora académica Prof. Katherine Silva, por brindarme sus conocimientos durante mi formación en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica y apoyarme en la culminación de esta investigación.

A los profesores Miguel Castillejo Cans y Diego Marchan, por el apoyo brindado durante la realización de los ensayos de laboratorio, quienes con su paciencia, sabiduría y responsabilidad supieron encaminarme en la culminación tan anhelada de este proyecto.

A mi querido novio David Puerta por sus consejos y palabras de aliento.

A mis amigos Juan Ramos, Ricardo Olejnik, Lena Zerpa, Milagro Aguilera, Gabriela Coello y Nazareth Carvajal quienes han estado junto a mí, en las buenas y malas brindándome su cariño, amistad y apoyo incondicional.

A la empresa Canteras del Distrito Capital por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación en sus instalaciones.

A todo el personal del Departamento de Planificación y Operaciones de minas de la empresa por su apoyo, en especial a: Edgardys Gonzáles, Rubén Rodríguez, Julio Rodríguez, Rengifo Stalin y Montero Tania, por brindarme su máxima colaboración durante el desarrollo de la investigación.

Un agradecimiento especial a mi tutor industrial Fimaoché Hernández, por las enseñanzas brindadas.

A todas y cada una de las personas que de alguna forma me apoyaron durante este proceso.

Estee P. Idalys E

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO PARA EL INCREMENTO DE LA
PRODUCCIÓN DE AGREGADOS EN LA PLANTA DE TRITURACIÓN II DE
CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S.A**

Tutora Académica: Profa. Katherine Silva
Cotutor Académico: Prof. José Luis De Abreu
Tutor Industrial: Ing. Fimaoché Hernández

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
Departamento de Minas. Año 2022**

Palabras Claves: Planta de Trituración, Agregados, Equipos de trituración. Balance de Masa

Resumen. El estudio tiene por objeto la optimización del proceso para el incremento de la producción de la Planta de Trituración II, la cual pertenece a la empresa Canteras del Distrito Capital S.A, que se ubica en la Hacienda Mamera, Parroquia Antímano del Municipio Libertador. La planta de estudio procesa el todo uno proveniente de los frentes de explotación hasta convertirlos en productos comerciales como Piedra $\frac{3}{4}$ ", Arrocillo y Polvillo. Actualmente no se encuentra ajustada para cumplir con la demanda de agregados solicitados, por lo que la empresa se ha visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas. Para resolver esta problemática, se propone el desarrollo de una propuesta de adecuación para los equipos de trituración y clasificación considerando parámetros operativos, análisis granulométricos y demanda comercial, los cuales fueron obtenidos a partir de la revisión de los manuales técnicos de los equipos y de los resultados arrojados por los distintos ensayos aplicados a las muestras recolectadas en el frente de mina y en los circuitos de trituración de la planta. En función del balance de masa establecido se determinó que los puntos críticos que se generan en el sistema, son causados en la trituración secundaria (Cono 09) y terciaria (Cono18) debido a la ineficiencia de estos equipos para realizar las operaciones de fragmentación, ocasionando que el material recircule en el circuito y, por ende, se originen cuellos de botella. Se propone aumentar la eficiencia de ambas etapas de trituración graduando las dimensiones de admisión y diámetro de salida ya que solo se obtiene aproximadamente el 18% de material que cumple con las características de los productos finales; que se active el Cono 4ft para evitar la saturación de la criba 15 y se obtenga así una mejor eficiencia en el proceso, además que se ejecute un plan de mantenimiento predictivo y preventivo a fin de analizar las posibles anomalías en el funcionamiento de los equipos que puedan ocasionar paradas no planificadas, haciendo que se detenga la producción de la planta. Con estas propuestas se busca que la planta tenga un buen desempeño en sus operaciones, disminuyendo los costos y aumentando los niveles de producción.

ÍNDICE GENERAL

<i>INTRODUCCIÓN</i>	1
<i>CAPÍTULO I</i>	3
1. <i>EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN</i>	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
1.3 Justificación de la investigación	4
1.4 Alcances y Limitaciones	5
<i>CAPÍTULO II</i>	6
2. <i>GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO</i>	6
2.1 Ubicación Geográfica y acceso del Área de Estudio	6
Ubicación y Extensión	6
Acceso	7
2.2 Marco geológico	7
Geología regional	8
Geología local	10
Geología estructural	12
2.3 Descripción General del Ámbito Físico- Natural de la Zona de Estudio	13
Topografía	13
Hidrología	13
Vegetación	14
Temperatura y humedad relativa media	14
Precipitaciones	15
2.4 Descripción General de la Empresa Cantera del Distrito Capital S. A.	15
Proceso Productivo de la Cantera	17
Proceso Productivo de la Planta de Trituración II	18
<i>CAPÍTULO III</i>	20

3.	<i>MARCO TEÓRICO</i>	20
3.1	Antecedentes de la investigación	20
3.2	Bases Teóricas	22
	Propiedades mecánicas de la roca	22
	Tendencia de las fracturas en rocas	30
	Forma y tamaño de las partículas en la fragmentación de las rocas	32
	Mecanismos de fragmentación de las rocas	35
	Etapas de fragmentación de las rocas	36
	Eficiencia de los equipos de trituración a través de análisis granulométrico	38
	Energía consumida durante la fragmentación de la roca	41
	Agregados	43
	Proceso de beneficio mineral para la producción de agregados	45
	Diagrama de flujo	48
	Balance de masa	48
	<i>CAPÍTULO IV</i>	50
4.	<i>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</i>	50
4.1	Tipo de investigación	50
4.2	Diseño de la investigación	50
4.3	Unidad de estudio	50
	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	51
4.4	Fases metodológicas de la Investigación	55
	Esquema metodológico	55
	Fase I. Evaluación de las condiciones de los equipos de Planta II	57
	Fase II. Análisis del material en las diferentes etapas de reducción de tamaño	59
	Fase III. Análisis del material proveniente del frente mina	63
	Fase IV. Balance de Masa del circuito de la planta II	72
	Fase V. Propuesta de adecuación de la planta	73
	<i>CAPÍTULO V.</i>	75
5.	<i>RESULTADOS Y ANÁLISIS</i>	75

5.1	Fase I. Evaluación de las condiciones de los equipos de Planta II _____	75
	Inspección técnica a la planta _____	75
	Condiciones Actuales de funcionabilidad _____	78
	Diagrama del proceso de la planta _____	82
5.2	Fase II. Análisis del material en las diferentes etapas de reducción de tamaño	87
	Puntos de tomas de muestra _____	87
	Análisis dimensional del todo uno _____	89
	Distribución granulométrica y razón de reducción de los equipos trituración	
	_____	90
5.3	Fase III. Análisis del material proveniente del frente mina _____	95
	Ensayos mecánicos: _____	96
	Estimación del comportamiento geomecánico del macizo _____	101
	Ensayos físicos: _____	105
	Fase IV. Balance de Masa del circuito de la planta II _____	111
	Estimación de la Alimentación _____	111
	Desarrollo del balance de masa _____	112
	Balance de masa _____	118
	Evaluación de los puntos críticos del sistema _____	122
	Fase V. Propuesta de adecuación de la planta _____	125
	Producción de agregados generado por la planta _____	125
	Determinación de la demanda de los agregados comerciales _____	126
	Propuesta de Adecuaciones para la Planta de Trituración II _____	127
	<i>CONCLUSIONES</i> _____	131
	<i>RECOMENDACIONES</i> _____	134
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i> _____	136
	<i>ANEXOS</i> _____	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica del Área de Estudio (Modificado de Google Earths)	6
Figura 2. Vía de acceso de Canteras del Distrito Capital C.A.	7
Figura 3. Extensión geográfica de la Fase Antímamo	8
Figura 4. Esquema general de secuencia estratigráfica de Mina II.....	12
Figura 5. Sistema paralelo de diaclasa presentes en el macizo rocoso.	13
Figura 6. Gráfico correlativo de las variaciones de humedad y temperatura en la Hacienda Mamera.....	14
Figura 7. Gráfico correlativo de las precipitaciones en la Hacienda Mamera	15
Figura 8. Organigrama de la empresa	16
Figura 9. Ubicación geográfica de los frentes de explotación.. ..	17
Figura 10. Proceso productivo de Cantera del Distrito Capital S.A	18
Figura 11. Flujograma de procesó de trituración y clasificación de Planta II	19
Figura 12. Aplicación de carga dependiendo a los planos de la muestra	23
Figura 13. Configuración de la carga y rotura del ensayo de tracción indirecta.	26
Figura 14. Máquina de los Ángeles.	28
Figura 15. Dimensión máxima y mínima del menor prisma circunscrito en los agregados gruesos.....	29
Figura 16. Los finos generados bajo diferentes mecanismos de carga. Las muestras preparadas.....	32
Figura 17. Categorías de las formas de Zingg	34
Figura 18. Redondez y esfericidad de las partículas Powers (1953)	35
Figura 19. Comportamiento de los minerales en la reducción de tamaño.	37
Figura 20. Distribución de tamaño de las partículas.....	39
Figura 21. Distribución de tamaño en una serie de tamices.	40

Figura 22. Razón de reducción de los equipos de trituración.....	41
Figura 23. Razón de reducción.....	41
Figura 24. Planta de beneficio de la Cantera Agua Viva II.....	46
Figura 25. Planta de beneficio de la Cantera Cerro La Danta.....	46
Figura 26. Planta de trituración de tres etapas.....	47
Figura 27. Planta de trituración de tres etapas.....	47
Figura 28. Balance de masa.....	49
Figura 29. Bolsa de protección de muestra con su identificación.....	53
Figura 30. Balanza ACS Scale (d=5g) y Scout Pro (d=0,1 gr).....	54
Figura 31. Batería de tamices.....	54
Figura 32. Mesa de tamizado.....	55
Figura 33. Esquema metodológico.....	56
Figura 34. modelo de curva granulométrica para la Razón de reducción.....	62
Figura 35. a) Máquina de disco de corte y b) Máquina de extracción de núcleo.....	64
Figura 36. Pulidora GCTS RSG-200 (GCTS, 2015).....	66
Figura 37. Equipo GCTS RDS-500 (GCTS, 2015).....	66
Figura 38. Cuarteo manual de la muestra.....	67
Figura 39. Máquina de los Ángeles.....	68
Figura 40. Método de ensayo para determinar la densidad de los agregados gruesos.....	70
Figura 41. Trituradora de mandíbula de la marca Denver Co. F.....	71
Figura 42. Ficha Técnica de la Trituradora de Mandíbula.....	76
Figura 43. Técnica Trituradora de Cono 09.....	77
Figura 44. Ficha Técnica de la Criba 08.....	78
Figura 45. Condiciones actuales de funcionamiento de los equipos que integran la Planta de Trituración II.....	82

Figura 46. Diagrama general del proceso productivo de la planta de trituración	83
Figura 47. Trituradora de mandíbula Loro & Parisini Modelo Margutt 1250 CR	84
Figura 48. Trituradora de cono marca Loro & Parisini modelo 18-50 Allis Chalmers	85
Figura 49. Trituradora de cono Loro & Parisini modelo 10-51 Allis Chalmers.....	86
Figura 50. Trituradora de cono Loro & Parisini modelo 10-51 Allis Chalmers.....	87
Figura 51. Punto de toma de muestra en el proceso productivo de Planta II.....	88
Figura 52. Análisis fotográfico de distribución de tamaños de todo uno	89
Figura 53. Distribución granulométrica del todo uno de alimentación	90
Figura 54. Determinación de D80 para la Trituradora de mandíbula.....	91
Figura 55. Determinación de D80 para la Trituradora de Secundaria (Cono 9).....	92
Figura 56. Determinación de D80 para la Trituradora Terciaria (Cono 18).....	92
Figura 57. Porcentajes de agregados comerciales producidos en la trituración secundaria y terciaria.....	93
Figura 58. Distribución Granulométrica de la Piedra ¾” con Limites de Piedra N°0	94
Figura 59. Distribución Granulométrica de la Piedra ¾” con Limites de Piedra N°1.	95
Figura 60. Comportamiento esfuerzo deformación en compresión simple	97
Figura 61. Comportamiento esfuerzo deformación en compresión.....	97
Figura 62. Comportamiento de la muestra 2653-1 ante el ensayo Brasilerero	100
Figura 63. Comportamiento geomecánico del macizo	102
Figura 64. Ensayo de fragmentación para determinar forma.....	109
Figura 65. Categorías de las formas de Zigg (1935).....	110
Figura 66. Resultados de la Trituración Secundaria	110
Figura 67. Puntos de entra y salida en los procesos de Planta.....	114
Figura 68. Evaluación del porcentaje de tamaño que pasa a través del clasificador de barrotes.....	115

Figura 69. Distribución Granulométrica de las Cribas	116
Figura 70. Porcentaje de tamaño que fluye a través de las cribas.....	117
Figura 71. Balance de masa del circuito con la alimentación actual	119
Figura 72. Balance de masa del circuito con la capacidad instalada	121
Figura 73. Puntos críticos en la Planta de Trituración II	123
Figura 74. Muestra la distribución porcentual de los agregados.	125
Figura 75 Comparación de la demanda vs la Producción.....	127
Figura 76. Alimentador vibratorio tipo Grizzly. Tomado de: Metso.....	128
Figura 77. Tipos de forros y cavidad: (EC, C, M, EF, F) para trituradoras de cono	130
Figura 78. Ficha técnica tolva de alimentación	147
Figura 79. Ficha técnica del alimentador de láminas.....	147
Figura 80. Ficha técnica Cono 18	148
Figura 81. Ficha técnica Cono 4ft.....	148
Figura 82. Ficha técnica Criba 20A	149
Figura 83. Ficha técnica Criba 20B	149
Figura 84. Ficha técnica Criba 15.....	150
Figura 85. Ficha técnica Banda 1.....	150
Figura 86. Ficha técnica Banda 2.....	151
Figura 87. Ficha técnica Banda 2.....	151
Figura 88. Ficha técnica Banda 11.....	152
Figura 89. Ficha técnica Banda 12.....	152
Figura 90. Ficha técnica Banda 13.....	153
Figura 91. Ficha técnica Banda 14.....	153
Figura 92. Ficha técnica Banda 19.....	154

Figura 93. Ficha técnica Banda 16.....	154
Figura 94. Análisis fotográfico 1 del todo uno de la alimentación	156
Figura 95. Análisis fotográfico 2 del todo uno de la alimentación	156
Figura 96. Análisis fotográfico 3 del todo uno de la alimentación	156
Figura 97. Análisis fotográfico trituración primaria	157
Figura 98. Análisis fotográfico trituración secundaria	157
Figura 99. Distribución granulométrica del arrocillo con límites de Piedra N°0.....	159
Figura 100. Distribución granulométrica del arrocillo límites de gradación gruesa - agregado fino	159
Figura 101. Envoltente de falla del macizo rocoso a través de resultados UCS paralelos- Basilero	161
Figura 102. Envoltente de falla del macizo rocoso a través de resultados UCS perpendiculares- Basilero	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenada UTM/ REGVEN del área de concesión actual de Canteras del Distrito Capital C.A.	7
Tabla 2. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a la compresión simple.....	25
Tabla 3. Categoría de dureza del material a base de resistencia a la compresión.....	26
Tabla 4. Coeficiente de calidad de la roca según el ensayo de Los Ángeles	29
Tabla 5. Clasificación de las formas de las partículas según Zingg.	34
Tabla 6. Mecanismo de fractura presentes en la fragmentación de las partículas	36
Tabla 7. Definición de tamaños para fragmentación	38
Tabla 8. Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (2) cedazos de aberturas cuadradas	44
Tabla 9. Clasificación de los agregados según la RCM Plantas.	44
Tabla 10. Modelo de ficha técnica equipos que componen la planta II.	58
Tabla 11. Evaluación condiciones actuales de funcionabilidad.....	58
Tabla 12. Clasificación de funcionalidad.....	59
Tabla 13. Tamaño de la muestra para tamizado según tamaños del agregado.	60
Tabla 14. Rotulado de muestra	65
Tabla 15. Requerimientos para Ensayo Los Ángeles.	69
Tabla 16. Demanda mensual de los agregados producidos en Planta II.....	74
Tabla 17. Evaluación de las condiciones actuales de los equipos que integran	79
Tabla 18. Características comerciales de los productos de la Planta de Trituración II	82
Tabla 19. Resultados ensayo Compresión Uniaxial (orientación perpendicular).....	98
Tabla 20. Resultados ensayo Compresión Uniaxial (orientación paralela)	99
Tabla 21. Resultados ensayo Brasileiro	101
Tabla 22. Energía consumida por los equipos de trituración (capacidad actual).....	104

Tabla 23. Energía consumida por los equipos de trituración (capacidad instalada)	105
Tabla 24. Resultados de ensayos de Los Ángeles.....	106
Tabla 25. % de caras largas y aplanadas.....	107
Tabla 26. Densidad de los agregados gruesos.	108
Tabla 27. Alimentación diaria de Planta 2, durante el mes de agosto	112
Tabla 28. Evaluación de los puntos de entrada y salida del material en los nodos del circuito	113
Tabla 29. Demanda mensual de los productos.....	126
Tabla 30. Selección de cavidad basada en la apertura de alimentación.....	130

INTRODUCCIÓN

Cantera del Distrito Capital S.A, es una empresa perteneciente a la Gobernación del Distrito Capital que se dedica a la explotación y procesamiento de agregados finos (arena) y agregados gruesos (piedra picada). Cuenta con dos plantas de beneficio mineral, las cuales se encargadas de disminuir, clasificar y distribuir el material extraído de los frentes de mina (todo uno).

Actualmente Canteras del Distrito Capital S. A, presenta una configuración distinta para cada planta, en donde Planta II es la encargada del procesamiento del material grueso (piedra picada) y el material que ingresa, pasa por tres procesos de trituración para lo cual el tamaño máximo que admite el triturador primario es 120cm de diámetro, posteriormente pasa al proceso de trituración secundaria, para generar un tamaño acorde a la trituración terciaria con el fin de obtener piedra picada; mientras que la Planta III presenta la misma configuración de los procesos de trituración, con la diferencia que esta busca producir material fino (arena).

Por otra parte, la empresa presenta un mercado de agregados para la construcción de obras civiles impulsados por el Gobierno Nacional. Actualmente la planta de trituración de agregados grueso llamada también Planta II está configurada para producir y clasificar agregados como piedra 3/4, arrocillo y polvillo. Estos productos presentan una demanda comercial elevada, y la empresa no dispone de una configuración ajustada a la realidad actual, por lo que se ha visto afectada su producción.

El presente trabajo tiene por objetivo, generar una propuesta de optimización del proceso para el incremento de la producción de agregado en la Planta de Trituración II, con la finalidad de adecuar los equipos de reducción de tamaño para aumentar la producción de agregados con mayor demanda comercial. Para cumplir con el propósito del estudio se pretende establecer los parámetros de operación en función de las condiciones actuales de los equipos de trituración que conforman la planta, realizar una recolección sistemática de muestras en el frente de explotación con el objeto de efectuar una serie de ensayos geomecánicos y así conocer la calidad de la roca, recolectar muestras en los circuitos de trituración de la planta, para evaluar y analizar la distribución granulométrica del material y por ultimo realizar el balance de masa de la Planta para cuantificar los productos generados de las operaciones de trituración.

La estructura del proyecto está definida de la siguiente manera: Capítulo I, corresponde a lo relacionado con la problemática de la investigación. En el Capítulo II, se encuentran las generalidades de la zona de estudio. En el Capítulo III, se presenta el marco teórico a fin de dar sustento a la investigación. El Capítulo IV, se describe el marco metodológico de la investigación. El Capítulo V muestra los resultados y análisis del estudio. Por último, las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se presenta el planteamiento del problema de la investigación, el objetivo general y los objetivos específicos que persigue la misma, se describe la justificación de la investigación, así como se exponen los alcances y las limitaciones del estudio.

1.1 Planteamiento del problema

La empresa Cantera Distrito Capital S.A cuenta con dos plantas de beneficio mineral: Planta II y Planta III, las cuales están diseñadas con diferentes configuraciones para la producción de agregados, usados con diferentes fines en la industria de la construcción de obras.

Actualmente la planta de trituración de agregados grueso llamada también Planta II está configurada para producir y clasificar agregados como piedra 3/4, arrocillo y polvillo. Siendo la piedra 3/4, el agregado generado con mayor proporción en las operaciones de fragmentación y reducción de tamaño. Sin embargo, en los últimos tiempos, no se ha realizado una evaluación para determinar la eficiencia de los equipos de clasificación y reducción de tamaño, lo que se convierte en un problema ya que la empresa presenta una fuerte demanda de estos agregados, y la planta no está generando la producción requerida.

El problema radica en que la empresa no cuenta con una configuración ajustada a la realidad actual, ocasionado que la planta II no se encuentre en su máximo rendimiento productivo, en tal sentido no se obtiene un aprovechamiento racional de sus recursos minerales para que les genere un mayor beneficio económico.

Por los motivos expuestos anteriormente la empresa se ha visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas para aumentar la producción de sus agregados con mayor demanda, por ende, el presente trabajo persigue generar una propuesta de optimización del proceso, con el fin de incrementar la producción de agregado en la Planta de Trituración II de la Cantera del Distrito Capital S.A, a través de un estudio sistemático de sus parámetros técnicos, con el cual se pueda garantizar el aumento de la producción de material y a su vez tomar decisiones para establecer las modificaciones adecuadas en el circuito de trituración.

1.2 Objetivos de la investigación

Objetivo general

- Optimizar el proceso para el incremento de la producción de agregados en la Planta de Trituración II de Cantera del Distrito Capital S.A

Objetivos específicos

- Establecer los parámetros de operación en función de las condiciones actuales de los equipos de trituración en la Planta II, de Cantera del Distrito Capital.
- Evaluar la distribución granulométrica del material con el que se alimenta la Planta II en cada etapa de reducción de tamaño.
- Caracterizar geomecánicamente el material extraído de los frentes de explotación para obtener información sobre la calidad de la roca.
- Cuantificar los productos generados de las operaciones de trituración a través del balance de masa de la Planta II.
- Proponer la adecuación de la Planta de Trituración II para el aumento de la producción de agregados con mayor demanda comercial de la Empresa Cantera del Distrito Capital

1.3 Justificación de la investigación

Cantera del Distrito Capital se proyecta satisfacer la demanda de los distintos agregados requeridos para construcción, solicitados por el mercado del área metropolitana de Caracas, para ello es imprescindible realizar una evaluación de la planta de beneficio, con el fin de conocer sus condiciones actuales, y en base a ello proporcionar alternativas técnicas que garanticen la optimización del proceso a fin de incrementar la producción de los agregados con mayor demanda comercial.

La determinación de las posibles adecuaciones que se puedan generar a los equipos que componen los diferentes circuitos de la planta son importantes, ya que la empresa tendrá diferentes escenarios para la toma de decisiones gerenciales, que le permitirán el aumento en la producción del material con mayor demanda, logrando de esta manera que la planta

alcance un máximo rendimiento en su producción y además que su stock de productos garantice las especificaciones técnicas del mercado; abasteciendo así, las distintas obras y proyectos ejecutados por el gobierno de Distrito Capital y empresas privadas dedicadas a la fabricación de asfalto y concreto premezclado.

El principal beneficiario de este estudio será directamente la Gerencia de Operaciones quien es la encargada del control, evaluación y mantenimiento de las plantas pertenecientes a la Empresa Cantera del Distrito Capital, en vista de que tendrá mecanismos de evaluación para las posibles mejoras que se pretendan realizar en los procesos productivos de la planta de beneficio, en búsqueda del aumento de los distintos productos comerciales y así satisfacer los requerimientos solicitados en el desarrollo de las diversas obras sociales, como Gran Misión Vivienda Venezuela y Caracas Bella implementadas en el Distrito Capital.

1.4 Alcances y Limitaciones

Se plantea como alcance un estudio de los equipos de clasificación y trituración, con el fin de realizar mejoras al proceso productivo de la planta a través del desarrollo de propuestas de adecuaciones que garanticen la producción de los agregados más demandados comercialmente por la empresa y que a su vez minimice la producción de finos en el sistema.

Por consiguiente, se llevó a cabo una investigación geomecánica del material proveniente del frente de explotación para conocer el comportamiento mecánico del material ante diferentes esfuerzos, que se pueden relacionar con los esfuerzos máximos que soporta el material cuando es fragmentado por los equipos de reducción de tamaño, además un estudio físico de la granulometría obtenida en los circuitos de la planta, a fin de analizar el comportamiento granulométrico del material y realizar el balance de masa del proceso. Por otra parte, de las propuestas generadas para adecuar la planta no se realizó análisis económicos de los resultados.

CAPÍTULO II

2. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se presenta las generalidades de la zona de estudio la cual comprende ubicación geográfica, marco geológico y las características físico naturales de la zona de estudio; así mismo se realiza una descripción general de la empresa con el fin de dar a conocer su proceso productivo.

2.1 Ubicación Geográfica y acceso del Área de Estudio

Ubicación y Extensión

El presente trabajo tiene como área de estudio un sector localizado en la Cordillera de La Costa, ubicada en la parte norcentral de Venezuela; Distrito Capital, específicamente en las instalaciones de la empresa Canteras del Distrito Capital S.A, localizada al suroeste de la ciudad de Caracas, en la Hacienda Mamera, Parroquia Antímamo, del Municipio Libertador (Ver Figura N°1). El área minera limita al Norte con terrenos de la empresa Jardín Principal, CEMPRI C.A.; al Sur con la quebrada Mamera; al Este con las filas de cerros pertenecientes a la Finca Mamera y al Oeste con la quebrada La Barandilla.

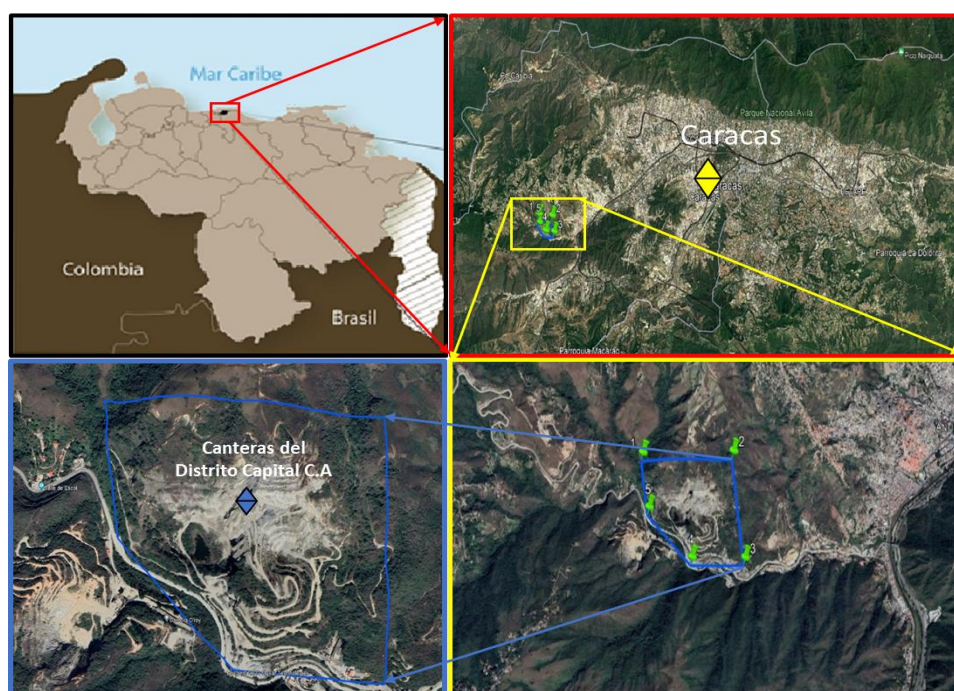


Figura 1. Ubicación Geográfica del Área de Estudio (Modificado de Google Earths)

La concesión minera de Canteras del Distrito Capital S.A. está definida por un polígono irregular el cual cuenta con un área aproximada de 85 ha. cuyos vértices están definidos por las coordenadas UTM, huso 19 P, REGVEN, presente en la Tabla N°1.

Tabla 1. Coordenada UTM / REGVEN del área de concesión actual de Canteras del Distrito Capital C.A.

Punto	Coordenadas	
	N (m)	E (m)
1	1.157.345	717.140
2	1.157.315	718.147
3	1.156.365	718.213
4	1.156.439	717.625
5	1.156.887	717.164

Acceso

El acceso al área operacional de Canteras del Distrito Capital S.A. se realiza desde el Distribuidor Mamera en la Autopista Francisco Fajardo, tomando la carretera Mamera - El Junquito, donde se debe recorrer quilómetro y medio aproximadamente de esta vía hasta encontrar en su margen derecho la entrada de la Empresa, ilustrada en la Figura N°2.



Figura 2. Vía de acceso de Canteras del Distrito Capital C.A. (Modificado de Googlee Earths)

2.2 Marco geológico

En este segmento se describe la secuencia litológica y las estructuras geológicas a través de la geología regional y local que presenta la zona de estudio.

Geología regional

El Distrito Capital cuenta con una geología compleja y heterogénea debido al emplazamiento geotectónico al cual pertenece la región; muestra estructuras: anticlinales, sinclinales y fallas, condiciones de un relieve montañoso propio de la Cordillera de la Costa. Regionalmente, el yacimiento está constituido por rocas metamórficas otorgado bajo la figura de Concesión Minera a la empresa Canteras del Distrito Capital S.A, la cual presenta afloramientos de la formación Antímamo y contactos estructuralmente concordantes con las formaciones adyacentes: Las Brisas y Las Mercedes, que constituyen la parte inferior del Grupo Caracas.

Según el Léxico Estratigráfico de Venezuela (LEV) se tiene a continuación la descripción de la Formación Antímamo, ilustrada en la Figura N°3, la cual se correlaciona con las rocas presentes en la zona de estudio.

Formación Antímamo



Figura 3. Extensión geográfica de la Fase Antímamo (Léxico Estratigráfico de Venezuela)

Localidad tipo

Dengo (1949) menciona por primera vez a la Formación Antímamo, designa y describe la localidad tipo. En 1951 Dengo, establece la localidad tipo a 0,5 km al norte de Antímamo, Distrito Federal (Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional), cuyos afloramientos hoy en día están totalmente cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas. Muy buenos afloramientos aún están visibles en las canteras de la quebrada Mamera.

Descripción Litológica

Dengo (1951), describe la Formación Antímamo como mármoles masivos de grano medio,

color gris claro, alternando con capas de esquistos cuarzo micáceos, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "boudinage". El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%)

Dengo (1950) describe con detalle las anfibolitas glaucofánicas de esta Formación, incluyendo análisis químicos, indica que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en relación a los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de "boudinage". Schurmann (1950) igualmente estudia estas rocas glaucofánicas, presentando un mapa detallado de los diversos tipos litológicos en el sector de Antímamo y Mamera.

González de Juana et al. (1980, p. 314) interpretan esta unidad e indican que probablemente "representa un horizonte tectónico y no una unidad litoestratigráfica". En 1982 Talukdar y Loureiro, en la cartografía geológica de la zona de Puerto Cruz-Mamo, reconocen su Unidad de anfibolitas y mármoles, que posteriormente Urbani y Ostos (1989), la denominan como Fase Antímamo, allí ocurre la asociación de anfibolita, mármol, esquistos calcáreo-muscovítico \pm grafitoso, esquistos cuarzomuscovítico \pm granatífero, esquistos cuarzo-muscovítico-graucofánico-granatífero. Posteriormente Urbani et al. (1997) estudian la mineralogía carbonática de los mármoles de los afloramientos de la punta oeste de la bahía de Chichiriviche, Distrito Federal, encontrando que carecen de dolomita, mientras que aquellos de Mamera lo presentan en muy pocas muestras y en muy bajas concentraciones. En los trabajos ya mencionados de Ostos, Urbani y otros, el criterio para cartografiar esta Fase es la presencia de la asociación de rocas anfibólicas con mármoles

Extensión Geográfica

En la zona de Antímamo, hacia el oeste en San Pedro y hacia el este hasta La Florida (afloramientos hoy cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas) se han descrito afloramientos aislados, continúa la zona de afloramientos en una franja en el valle de la quebrada Tacagua, y de ahí hacia el oeste como una franja entre Mamo, Carayaca y Tarma, Distrito Federal. Los últimos afloramientos se han reconocido en la zona de El Palito, estado Carabobo.

Contactos

Esta formación presenta contactos estructuralmente concordantes con las formaciones adyacentes: Las Brisas y Las Mercedes. En la zona de Antímamo y Mamera, los lentes de mármoles y rocas anfibólicas, que alcanzan a veces grandes dimensiones longitudinales, se hallan embutidos en esquistos de diversos tipos, especialmente los correspondientes a la Formación Las Brisas (Cantisano, 1989).

Geología local

Urbani y Ostos (1997), indica que la geología local se compone principalmente por una secuencia estratigráfica transicional, de intercalaciones de esquistos cuarzo-micáceos, esquistos cuarzo-calcáreos-micáceos, mármoles lenticulares piritosos grises, mármoles cuarcíticos, anfibolitas granatíferas y/o piritosas de tonos verdosos y cuarcitas de grano fino gris claro también lenticulares, conformando en conjunto un sinclinal asimétrico fallado y diaclasado hacia la parte Noroeste de la mina, cuyo eje tiene un rumbo general Noroeste-Sureste y buzando hacia el Sureste. No obstante, esta estructura sinclinal desaparece hacia la parte media de la cantera hacia el sureste donde la estratificación presenta un rumbo general NE con un buzamiento medio a moderado hacia el Sureste. Los flancos del sinclinal se presentan suavemente plegados en ambos costados del eje conformando secuencias de pequeños anticlinales y sinclinales destacados por la diferencia en los colores de las distintas litologías de la formación geológica. Hacia el sureste de la mina la estructura sinclinal desaparece y la secuencia en su conjunto adopta localmente una estructura monoclinial con inclinación general hacia el sur-este.

Secuencia litológica

La secuencia litológica consiste de tope a base (noroeste a sureste), de una intercalación de esquistos cuarzo-micáceos muy meteorizados de colores rojizos, un mármol masivo de grano medio, color gris claro con cristales de pirita, una intercalación de esquistos cuarcítico-muscovítico-grafitosos, lentes delgados de mármol gris oscuro, anfibolitas (a veces intercaladas paralela y concordantemente a la foliación de la secuencia y a veces claramente intrusionando a la misma), cuarcitas delgadas gris claro y una gruesa capa de esquistos muy cuarzosos, calcáreos, micáceos con pirita y muy compactos.

Toda la secuencia expuesta en la cantera mide litoestratigráficamente, de tope a base, unos 280 metros de espesor, es decir, desde la cota 1.300 a 1.020, la cual ha sido intensamente

fallada y diaclasada, pero debido a restricciones de orden ambiental, la explotación se hará tomando como base esta cota. (Canteras del Distrito Capital S.A, 2021).

Descripción Litológica

El mármol de grano medio y de color gris oscuro, está formado en general de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%), aunque en algunos lentes locales el mármol se observa con más del 90% de calcita el cual se observa en sectores en forma de láminas de pocos centímetros de espesor junto con los esquistos que lo envuelven y también en espesores mayores, pero de pocos metros y de poca continuidad lateral. Los esquistos presentes son esencialmente: esquistos calcáreo- muscovíticos \pm grafitosos, esquistos cuarzo-muscovíticos \pm granatíferos, esquistos cuarzo- muscovítico-graucofánico-granatíferos, predominando en la secuencia los esquistos cuarzo-muscovíticos generalmente calcáreos (Canteras del Distrito Capital S.A, 2021).

Las rocas anfibólicas se observan como pequeños cuerpos hacia el noroeste de la cantera con estructuras de "boudinage" y con cristales de pirita. Hacia el sureste, existe un gran cuerpo de anfibolita con porfiroblastos de granate que se observan especialmente en las zonas de contacto con los esquistos cuarzo-calcáreos que la envuelven. Esta roca se distingue claramente por su color verdoso y porque se presenta en forma de una roca masiva, localmente sin foliación, muy compacta y está asociada, en sus zonas de contacto, con vetas y vetillas irregulares de cuarzo, calcita y/o cuarzo y calcita con pirita, que evidencian zonas de alteración de contacto de hasta medio metro de espesor (Canteras del Distrito Capital S.A, 2021).

En la Figura N°4, se puede apreciar el esquema general de la secuencia litológica que presenta la zona de estudio.

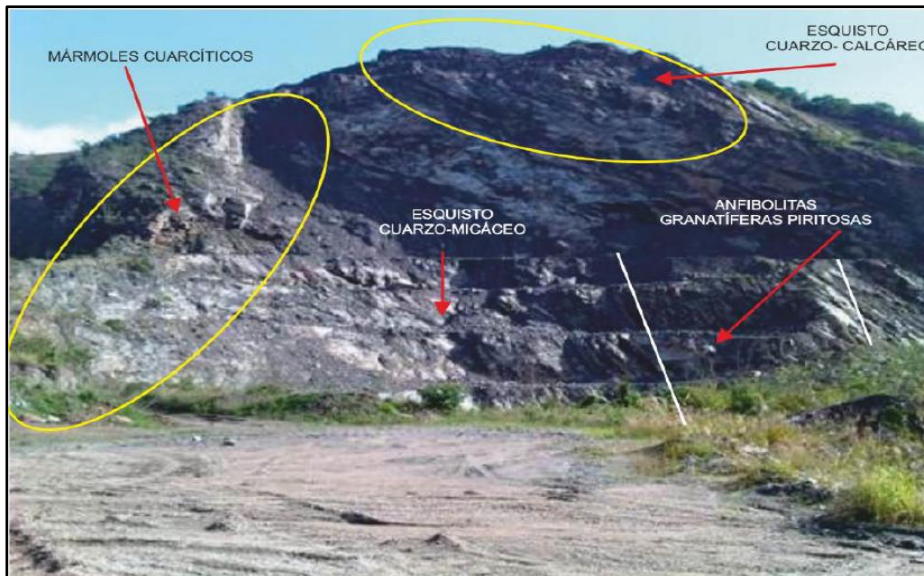


Figura 4. Esquema general de secuencia estratigráfica de Mina II. (Melo, Y. 2016)

Geología estructural

Estructuralmente el área de Mina 2 se encuentra plegada, fallada y diaclasada intensamente. Hacia la parte norte se evidencia una estructura sinclinal asimétrica cuyo eje se inclina hacia el sur y sus flancos se presentan suavemente plegados en secuencias de pequeños y sucesivos anticlinales y sinclinales que se distinguen por la diferencia de tonos grises visibles en los taludes de los frentes de arranque (Cantera del Distrito Capital S.A, 2021).

Esta estructura sinclinal desaparece gradualmente hacia el sur de la mina y se transforma en un monoclinal de rumbo general E-W con buzamiento alto a medio al sur. La estructura está fallada principalmente con fallas sinestrales y dextrales de rumbo general E-W de ángulo alto al sur, cuyos planos o espejos de falla con estrías se observan a nivel de las cotas 1.040 a 1080 msnm (Canteras del Distrito Capital S.A, 2021).

Las diaclasas son abundantes debido a los intensos efectos tectónicos que ha sufrido la región y debido también a las características físicas de las rocas, que son muy compactas por su composición mineralógica eminentemente cuarzosa y/o calcárea, propensas a quebrarse o romperse en fragmentos grandes o bloques en vez de plegarse, como sería el caso de los esquistos micáceos y/o grafitosos de las formaciones Las Brisas y Las Mercedes que envuelven transicionalmente a estas rocas de la formación Antímamo.

Las diaclasas conforman sistemas paralelos en diferentes direcciones e inclinaciones (ver Figura N°5). Las más recientes son abiertas, formando grietas y las más antiguas están generalmente rellenas de calcita cristalizada y en algunos casos forman cavernas producto

de disolución por el agua que se infiltra de la superficie, cuando se trata de las rocas calcáreas (Canteras del Distrito Capital S.A, 2021).



Figura 5. Sistema paralelo de diaclasa presentes en el macizo rocoso.

2.3 Descripción General del Ámbito Físico- Natural de la Zona de Estudio

Topografía

Según el Plan de Explotación de la cantera para el año 2021-2022, la topografía del terreno es casi en toda su extensión abrupta, predominando una zona montañosa moderadamente escarpada, de carácter masivo, determinada por la litología predominante de rocas metamórficas; el sistema montañoso presenta fuertes pendientes, que disminuyen en algunos sitios de contacto de las vertientes con las acumulaciones de los valles. Se observa un mayor relieve en las zonas donde afloran mármoles masivos y gruesos que presentan estructuras kársticas superficiales.

Hidrología

Según el Plan de Explotación de la cantera para el año 2021-2022, las redes hídricas que cubren la Cantera tienen su eje principal en la quebrada Mamera, localizada en el lindero Sur de esta, la cual posee una micro cuenca de 500 ha., con régimen hídrico intermitente. Esta micro cuenca ha sido intervenida, en diferentes tramos, debido a la construcción de obras civiles e industriales, entre ellas tenemos el Cementerio del Oeste y el área por donde se construyó la nueva vialidad que da acceso a El Junquito. Las aguas de esta quebrada se descargan por el margen izquierdo en la canalización del Río Guaire, en la zona correspondiente a Mamera. En este sector, la cuenca de recepción del Río Guaire es de aproximadamente 27.500 ha.

Vegetación

Según Dengo (1951), indica que, el paisaje predominante en la región natural donde funciona la Canteras del Distrito Capital S.A., es de montaña y se encuentra ubicada en la Cordillera de la Costa. La vegetación es típica de las regiones boscosas tropicales, donde proliferan las gramíneas, representadas en su mayoría por hierbas, la vegetación recomendada para las actividades de reforestación es del tipo saxícola. En las extensiones de la Cantera se puede distinguir cuatro unidades de vegetación: Bosque semideciduo; Matorrales mezclados con vegetación de transición; Bosque de galería y Sabanas secundaria. Esta última es el producto del proceso de eliminación de la cubierta vegetal original, mediante la tala y quema para el establecimiento de viviendas e industrias sobre las laderas montañosas, esto según la información suministrada por “Canteras del Distrito Capital”.

Temperatura y humedad relativa media

La estación meteorológica de mejor correlación con las variaciones de temperatura y humedad relativa de la Hacienda Mamera es la estación de Carayaca (código 9311) ubicada a 972 msnm, la misma registra temperaturas medias máximas de 22 °C y mínimas de 19,5 °C. Con respecto a las humedades relativas medias se registran máximas de 76% y mínimas de 73%. Estos datos están comprendidos, en líneas generales, entre 1970 y 1998, registrados y analizados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (Ver Figura N°6).

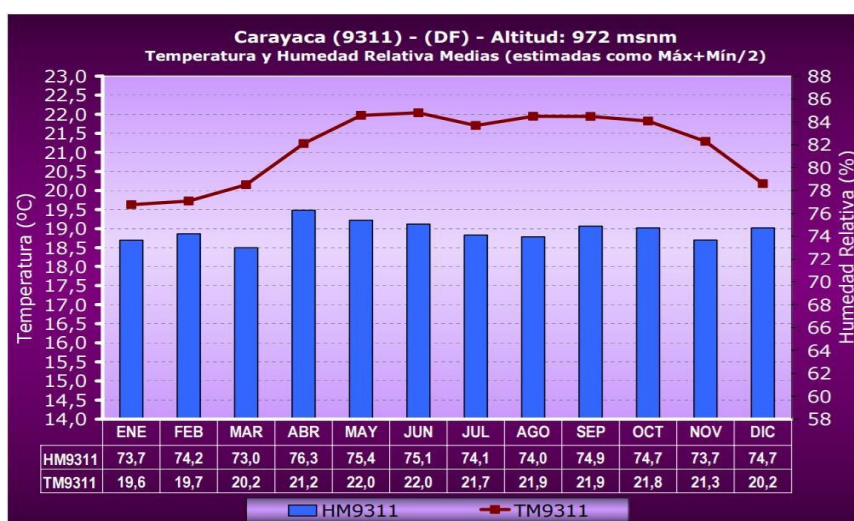


Figura 6. Gráfico correlativo de las variaciones de humedad y temperatura en la Hacienda Mamera. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrológica "INAMEH"

Precipitaciones

La estación meteorológica de mejor correlación con las variaciones de precipitación en la Hacienda Mamera es la estación de Alto de Ño León (código 1425), la misma registra precipitaciones que se pueden clasificar en tres estadios temporales:

- Años con altas precipitaciones: Las precipitaciones varían desde 275 mm/mes hasta 125 mm/mes siendo abril, junio y octubre los meses de mayor pluviosidad.
- Años con precipitaciones medias: Las precipitaciones varían desde 125 mm/mes hasta 25 mm/mes siendo mayo, junio, julio y octubre los meses de mayor pluviosidad.
- Años de extrema sequía: Las precipitaciones varían desde 25 mm/mes hasta 0 mm/mes siendo mayo, junio, septiembre y octubre los meses de mayor pluviosidad.

Estos datos están comprendidos en un período de registro de 1950–1998, fueron analizados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (Ver Figura N°7)

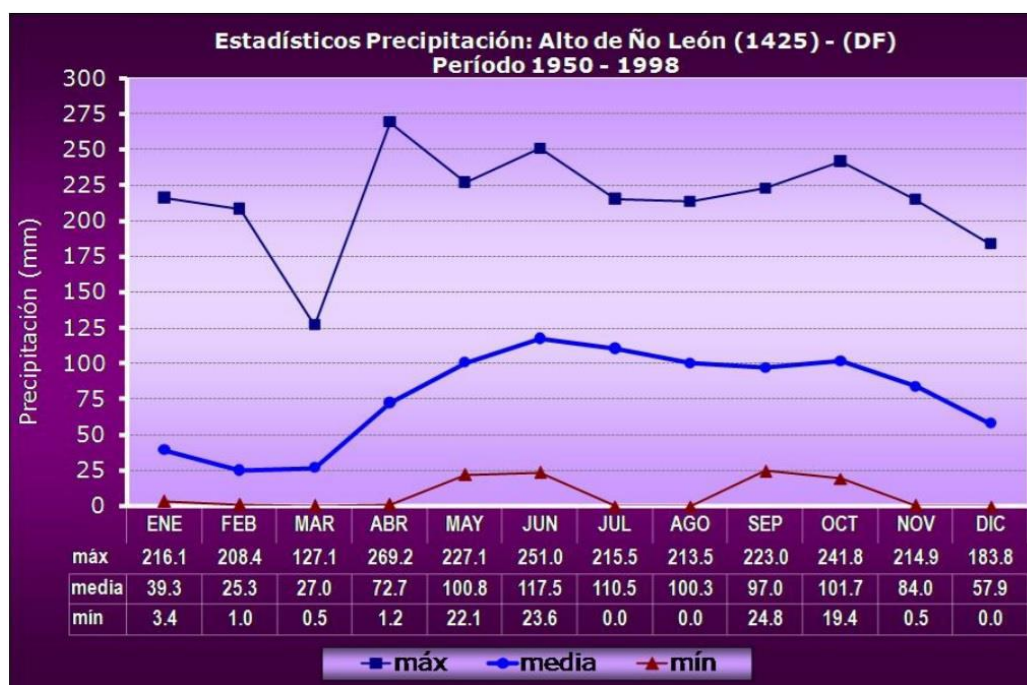


Figura 7. Gráfico correlativo de las precipitaciones en la Hacienda Mamera Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrológica "INAMEH"

2.4 Descripción General de la Empresa Cantera del Distrito Capital S. A.

La empresa Cantera del Distrito Capital, S.A, es un ente encargado de la extracción de minerales no metálicos que busca suministrar al mercado agregados de calidad, además, ser el modelo base para las distintas obras civiles en toda el área Metropolitana de Caracas.

Por su parte, el proceso interno de producción que lleva la empresa, consiste en la fragmentación de la roca por medio de perforación y voladura, pero debido a diversos inconvenientes para la adquisición de explosivos se realiza el arranque directo del material con una retroexcavadora y se vierte el material desde el nivel más alto de la mina hacia el nivel más bajo.

La empresa desarrolla sus actividades, desde hace siete (7) años, en forma ininterrumpida, amparada en las autorizaciones que le ha otorgado el Ministerio de Desarrollo Minero Ecológico a la antigua Empresa Cantera Nacional. Ubicado en la Hacienda Mamera, Parroquia Antímamo, del Municipio Autónomo Libertador, Distrito Capital, la misma cuenta con 109 empleados, que laboran bajo la figura de un solo turno: diurno en todas las áreas tanto administrativas como operativas, los 5 días de la semana. El área operativa funciona en la propia cantera de Antímamo (producción, mantenimiento y facturación) y el área administrativa y Junta Directiva funcionan en la oficina principal del Gobierno del Distrito Capital (Ver Figura N°8).

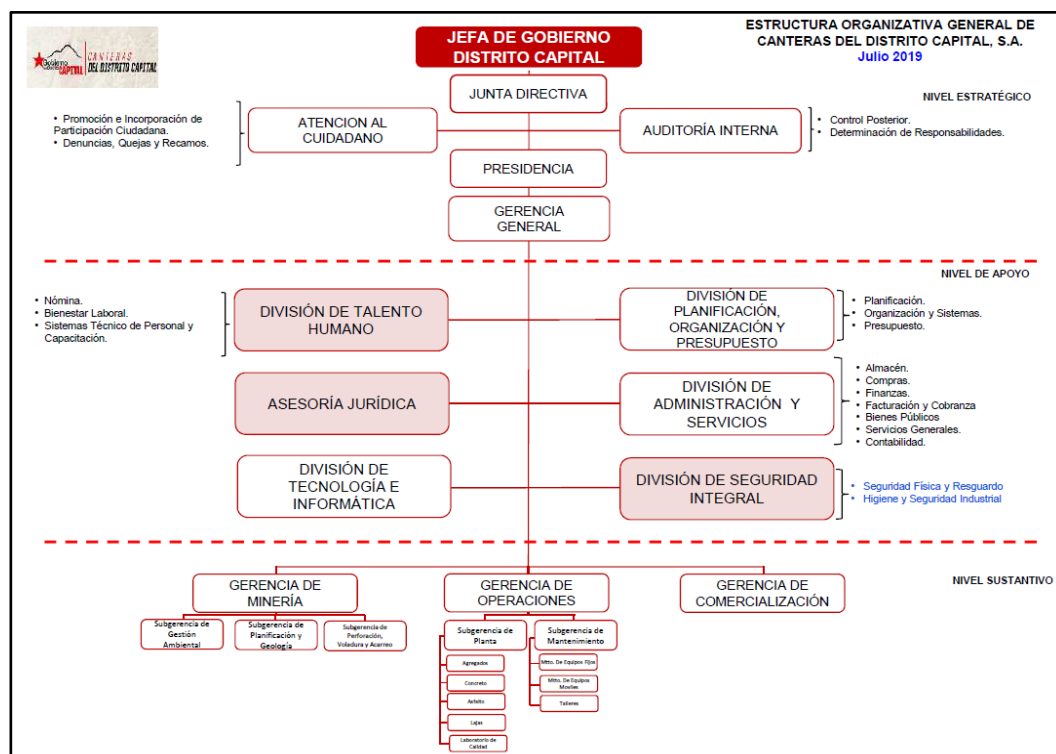


Figura 8. Organigrama de la empresa. (Canteras del Distrito Capital S.A.).

La cantera cuenta con dos áreas mineras llamadas Mina I y Mina II (Ver Figura N°9), de las cuales se encuentra activa Mina 2 y es donde se ha venido desarrollando la extracción del material, en esta, se diseñaron 7 bancos de explotación que presentan una altura entre

los 12 a 14 metros aproximadamente, con una inclinación de 70° y un ancho operativo de 6m, mientras que el área comprendida como Mina I actualmente no se encuentra operativa, debido a que la cota más baja de esta ya alcanzó el nivel freático, lo que generó la formación de una laguna artificial y por problemas ambientales no se les concedió el permiso para seguir explotando dicha área, sin embargo, la laguna es utilizada para surtir de agua las distintas labores cotidianas de la cantera (Plan de Explotación 2021-2022).

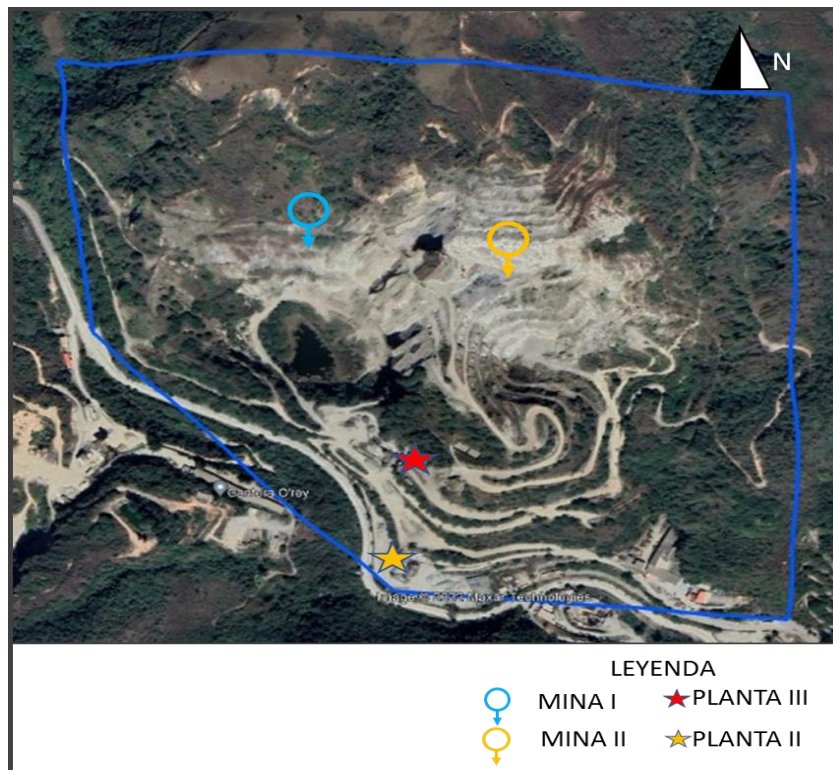


Figura 9. Ubicación geográfica de los frentes de explotación. (Modificado de Google Earth).

Proceso Productivo de la Cantera

El proceso productivo se genera a través de actividades de minería a cielo abierto. La extracción de rocas metamórficas, caracterizadas por, mármol, esquistos y rocas anfibólicas, se realiza mediante arranque directo o mecánico. El material extraído es cargado a través de dos camiones (Caterpillar 769C y Bell B40D) hasta dos plantas de trituración pertenecientes a la empresa, donde es vertido directamente en la tolva de alimentación de estas o dispuesto en los patios de almacenamiento. Por medio de dos cargadores frontales (Caterpillar 988B y Belaz 78221) se moviliza el material hasta alimentar nuevamente circuito de trituración.

El sistema de trituración y clasificación de las plantas está configurado para producir agregados finos (arena) y agregados gruesos (piedra picada). En la planta de trituración II

se procesa y se clasifica el material por vía seca hasta obtener piedra 3/4", arrocillo (3/8"), polvillo, ripio (malla 200) y Piedra N°1 y N°2 como pedidos especiales, mientras que la Planta de Trituración III trabaja bajo proceso de vía húmeda. El material es concentrado a través de un tornillo sinfín, cuya finalidad es la eliminación de finos con el empleo de agua. En esta planta únicamente se produce arena lavada. El Producto final de ambas plantas es despachado en camiones dispuestos por los clientes.

Según lo dispuesto en el Plan de Explotación (2021-2022), la producción actual con la que cuenta la empresa, está por el orden de once mil metros cúbicos (11.000 m³) mensuales de producto final entre piedra y arena. En la Figura N°10 se esquematiza de forma resumida el proceso productivo que lleva actualmente la empresa.

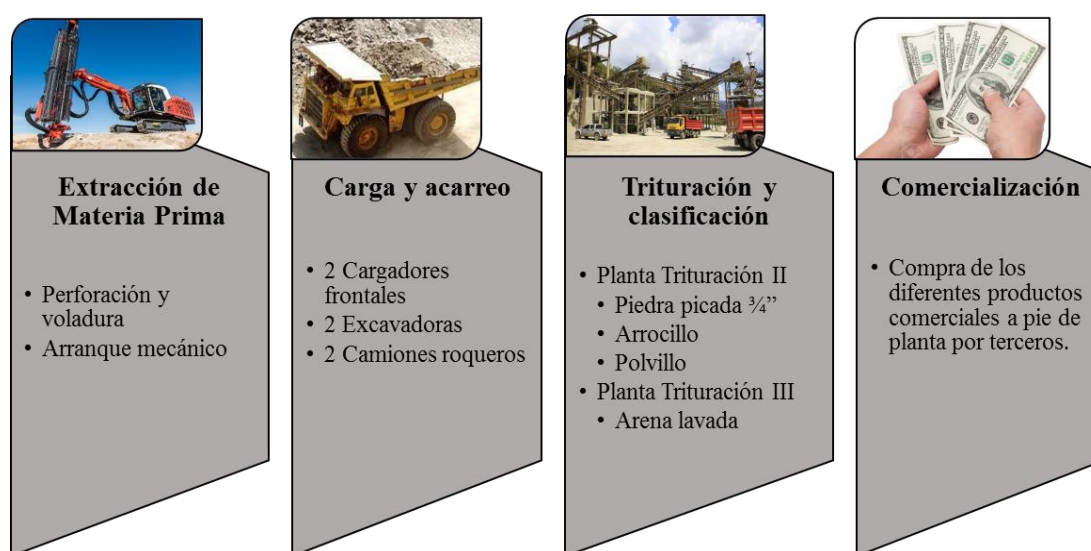


Figura 10. Proceso productivo de Cantera del Distrito Capital S.A

Proceso Productivo de la Planta de Trituración II

La planta de trituración de agregados gruesos fue diseñada para producir 1.200 m³/día, y consta de cuatro etapas de trituración y tres de clasificación, las cuales generan la disminución de tamaño y clasificación del todo uno proveniente de la explotación de los frentes de Mina 2.

La trituración primaria se realiza por medio de una trituradora de mandíbula marca Loro & Parisini Modelo 1250 CR que tiene una capacidad instalada de 280 (m³/h) y es capaz de admitir tamaños máximos de hasta 1 m³ de roca. El material que sale de este equipo pasa a una primera etapa de cribado desempeñada por una criba de dos pisos de la marca Loro & Parisini modelo Vaglio V 516, en donde el material fino (ripio) sale del circuito y se apila

directamente en patio. El material grueso ingresa a una segunda etapa de trituración, que es realizada por la trituradora de cono de la marca Loro & Parisini modelo 18-50 Allis Chalmers de capacidad: 215 (m³/h), la descarga de este equipo junto con el material retenido en el cedazo inferior pasan a una segunda etapa de cribado, efectuada por una criba Loro & Parisini modelo Vaglio V 517, el material que no logra pasar la abertura de la malla superior es enviado a una trituradora de cono Loro & Parisini modelo 10-51 Allis Chalmers que desempeña una trituración terciaria. El retenido del cedazo inferior de esta criba, pasa directamente a una trituración cuaternaria efectuada por una trituradora de cono 4 ft de la marca Nordberg tipo Symon; el producto de ambas etapas de trituración vuelve a la etapa de clasificación secundaria cumpliendo un circuito cerrado, mientras que el material pasante ingresa a una tercera fase de cribado, ejercida por dos cribas, cada una de dos pisos que presentan igual características operacionales, para ser clasificado como piedra de granulometría ¾", arrocillo y polvillo, y posteriormente ser dispuesto en tolvas de almacenamiento para su despacho (ver Figura N°10).

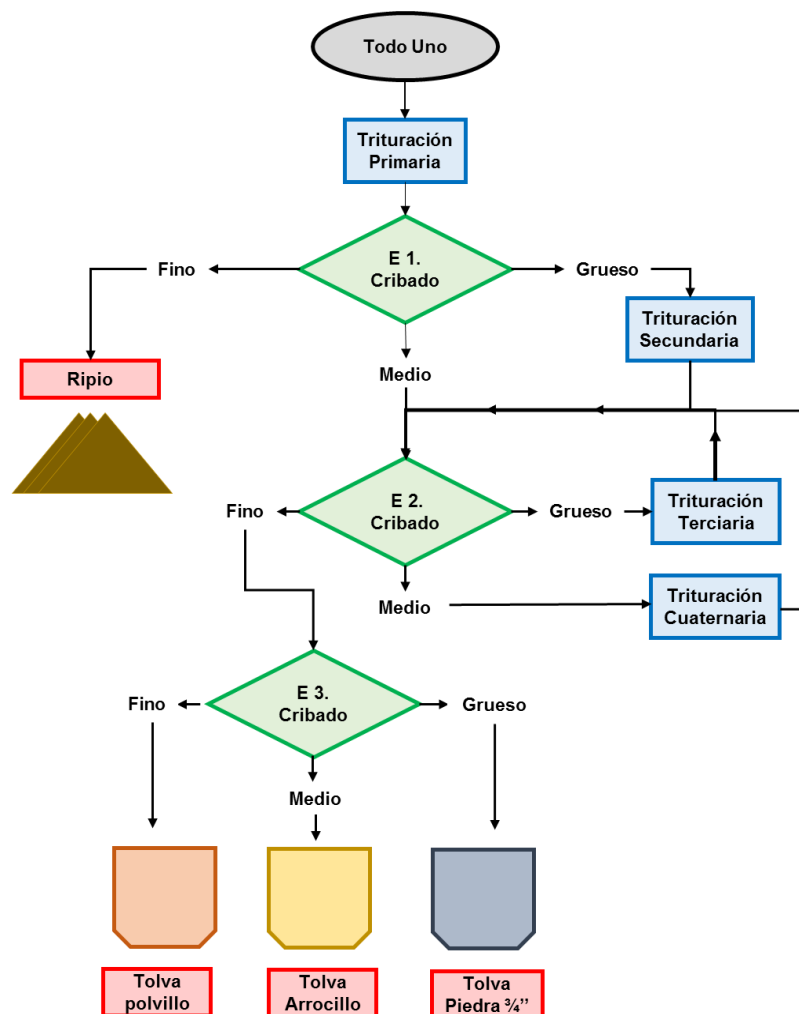


Figura 11. Flujograma de proceso de trituración y clasificación de Planta II

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los antecedentes de la investigación, así como los fundamentos teóricos que sustentan el desarrollo de la misma.

3.1 Antecedentes de la investigación

Pastor C (2022), “Optimización del proceso de conminución en la planta de beneficio PROMINE, Camilo Ponce Enríquez - Azuay”. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad del Azuay; Cuenca – Ecuador. Se efectúa la caracterización, evaluación y modelamiento de la operación actual de la planta a través del software MinProSim, con el objeto de optimizar el proceso de conminución para ello se realizan análisis granulométricos de los flujos de material de cada sistema. Se plantean tres alternativas basadas en aspectos técnicos – económicos: la primera, fue modificar las dimensiones de la zaranda #1, aumentando su longitud a 1,8 metros; en la segunda se configura la zaranda #2, eliminando la malla inferior y conservando su malla superior al igual que las dimensiones originales; y, en la tercera se propone la instalación de una trituradora de cono. Con la opción 1 se generó una eficiente clasificación y se optimizó el proceso de trituración.

Colquehuanca M (2018), “Implementación de mejora al sistema de una planta de trituración de roca, para optimizar el rendimiento en el proceso de producción de agregados”. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad privada del Norte; Lima – Perú. Estudia los factores de rendimiento que intervienen en la actividad productiva, para mejorar el sistema que compone la planta de trituración de roca; para ello realiza el análisis de las ratios de producción, la calidad de la materia prima, de los productos finales, y los resultados económicos de cada actividad en vista de que la estructura de producción establecida en la planta no es la correcta. Se establece un método práctico basado en la identificación de cuellos de botella, llamado también restricción. Se recomienda cambiar totalmente la estructura del sistema de trituración, ya que garantiza el cumplimiento de los plazos contractuales del proyecto, se mantiene las características de calidad deseada de los productos, y se ahorra tiempo y dinero.

Acosta M (2017), “Establecimiento de los parámetros mineros geomecánicos para el funcionamiento de los equipos de clasificación y trituración de la Planta III, de Canteras del Distrito Capital S.A”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de

Venezuela; Caracas. Presenta una evaluación de la planta de agregados finos tomando en cuenta las características mecánicas y petrográficas del yacimiento con el fin de mejorar el funcionamiento de los equipos de clasificación y trituración de la planta, así como un diagnóstico de los mismos, considerando las distribuciones granulométricas para definir el balance de masa de la planta, y de esta forma se pueda aumentar la producción de material.

Briceño. C (2017), “Análisis de operatividad de las plantas de producción de agregados de la empresa Cantera del Distrito Capital S. A”, Pasantía Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela; Caracas. Lleva a cabo un inventario, diagnóstico y registro de la operatividad de las plantas de beneficio mineral, con la finalidad de realizar análisis estadísticos que contribuyan a la elaboración de sugerencias que puedan ayudar a disminuir las paradas operativas más recurrentes, respecto a la eficiencia del turno efectivo de las plantas.

Labrador. M (2017), “Evaluación de la planta de trituración de tamaño de la roca caliza en la cantera Agua Viva II, San Sebastián de los Reyes, Estado Aragua” Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela; Caracas. Efectúa una evaluación de la planta de beneficio mineral, tomando en cuenta las distribuciones granulométricas de los equipos de fragmentación y clasificación, obteniendo valores de eficiencia del cribado y rendimientos de trituración.

Escudero A (2016), “Mejoras al proceso productivo de áridos en Industrial Concreto”. Tesis de Maestría, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía; Medellín-Colombia. El estudio plantea alternativas para mejorar la operatividad del proceso productivo, en vista de que la empresa cuenta con dos plantas de procesamiento de áridos, y una de las plantas se encuentra muy retirada de los frentes de explotación haciendo que los costos de transporte sean elevados. La alternativa se centró en la eliminación de la planta más antigua y la ampliación de la otra con el objetivo de lograr producir con esta, lo que producen ambas actualmente o más, haciendo con esto que se reduzcan los costos de operación.

Pimentel. D (2016), “Desarrollo una propuesta de adecuación de las plantas de agregados de la Cantera Carayaca, Distrito Capital, para disminuir la producción de finos”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela; Caracas. El objeto de la investigación fue disminuir la producción de finos generados durante el procesamiento del mármol y del esquisto extraído por la empresa, ya que durante el procesamiento de estas

rocas se genera una producción de partículas finas que supera en un 19 % la producción de agregado grueso, para lo cual se propuso la instalación de un alimentador vibratorio tipo Grizzli, y una pila pulmón con selección mecánica de fragmentos mediante un balde tipo rastrillo.

Salas D (2016), “Estudio de aumento del tonelaje en planta de chancado-minera altos de Punitaqui (map)”. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Técnica Federico Santa María; Valparaíso- Chile. Evalúa el desempeño de la planta de trituración, con el propósito de efectuar la viabilidad técnica – económica de aumentar el tonelaje desde 3000 TPD hasta un tonelaje deseado (i.e., 4200 – 4500 TPD) sin modificar la infraestructura y con el mismo rendimiento metalúrgico.

Valencia E (2013), “Proyecto para el incremento de capacidad de operación de la planta de beneficio, compañía minera la negra, Marconi Queretaro”, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México; México. El estudio tiene por finalidad mostrar consideraciones técnicas para incrementar la producción de una planta de beneficio, para ello se realiza un análisis mineralógico y geográfico del lugar, con el fin de elaborar estudios de factibilidad técnica y financiera. Se explica a detalle la descripción del proceso de beneficio a 1500 t/días trabajando con un sistema de flotación diferencial. Se establecen los balances de masa de cada una de las etapas del proceso para establecer los parámetros de operación, y finalmente se propone la adecuación de los equipos, así como aquellos que son necesarios adquirir para lograr los objetivos de producción.

Guerra F (1999), “Optimización de una planta de fabricación de agregados minerales”. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlo de Guatemala; Guatemala. Abarca un estudio técnico en las líneas de producción de la Planta “La Pedrera”, de la empresa Horcalsa, en vista de la baja productividad ocasionada por problemas de operación en la etapa de trituración secundaria. Se lleva a cabo una revisión de las instalaciones con el fin de evaluar la eficiencia de los equipos que componen la planta y así poder determinar los cuellos de botella que se generan en ambas líneas de producción.

3.2 Bases Teóricas

Propiedades mecánicas de la roca

De acuerdo a lo establecido por (Jaeger & Cook, 2007), son características únicas de la roca, de tipo cuantitativo, que permiten predecir el comportamiento mecánico de

formaciones rocosas, estas pueden ser utilizadas en el planteamiento de modelos analíticos y numéricos de predicción, estas propiedades mecánicas son el resultado de su composición mineralógica, estructura e historia geológica, deformación e impacto ambiental, incluyendo los procesos de alteración y meteorización, dichas propiedades son:

Resistencia a la compresión

Es la carga que un material rígido puede resistir bajo compresión longitudinal. Esta puede ser medida a través de ensayos destructivos y no destructivos (ultrasónico). También puede ser descrita como la medida de resistencia de la roca, la cual representa el esfuerzo de compresión axial máximo que puede soportar una muestra antes de fracturarse (Lobo et al. 2016).

En la Figura N°12, se muestra las diversas formas de aplicar una carga en muestras de forma rectangular y cilíndrica para el estudio del comportamiento del material a la compresión sin confinamiento.

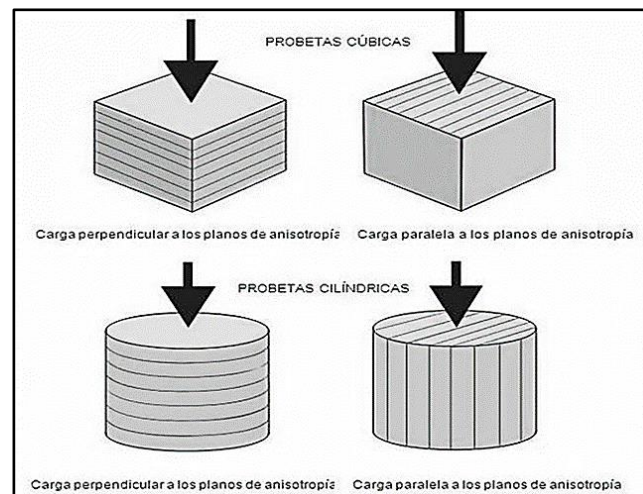


Figura 12. Aplicación de carga dependiendo a los planos de la muestra. (Lobo et al. 2016)

Thuro et al (2001), en su estudio de efectos de escala en las propiedades de resistencia de las rocas, señalan que, durante la realización de una serie de prueba para evaluar el impacto de la forma y el tamaño en las propiedades comunes de las rocas, se encontró que, el efecto de la forma tuvo el mayor impacto en las propiedades de resistencia de las rocas. Dependiendo de la técnica de medición utilizada para el desplazamiento longitudinal a lo largo de la muestra del núcleo, el módulo de elasticidad aumenta y el trabajo de destrucción de la deformación disminuye con la longitud del núcleo. El tamaño, que con mucha frecuencia se considera que tiene una influencia controladora en la resistencia, en contraste con la forma, solo tuvo un efecto marginal dentro del rango de diámetro probado de 50 a

110 mm, ya que la mayoría de las muestras de núcleo tomadas durante las investigaciones típicas del sitio fueron de este tamaño.

En este contexto, el llamado "efecto de escala" se divide en dos categorías: forma y tamaño.

- El efecto de forma describe el impacto de la variación de la relación longitud/diámetro de un espécimen cilíndrico ("núcleo") sobre las propiedades de resistencia de la roca.
- El efecto del tamaño se define por la influencia del tamaño absoluto (es decir, el diámetro) de la muestra del núcleo donde la relación longitud/diámetro se mantiene constante.

El resultado del estudio concluye que el factor más importante a considerar es el tamaño de la muestra, el cual normalmente se considera que tiene una influencia significativa en todas las propiedades de resistencia, en contraste con la forma, que solo tiene un efecto marginal en el rango de diámetro probado de la resistencia a la compresión no confinada.

Para determinar la resistencia a la compresión simple de una muestra de roca de forma cúbica se utiliza la ecuación N°1.

$$C = \frac{C_a}{0,88 + (0,24 \times D/L)} \quad (1)$$

donde,

C = Resistencia a la compresión uniaxial

C_a = Resistencia a la compresión medida del espécimen ensayado

D = Diámetro del núcleo de prueba

L = altura del núcleo de ensayo

La resistencia a la compresión no confinada de la roca, se puede clasificar según el valor arrojado en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a la compresión simple.
(González de Vallejo & Ferrer. 2002)**

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1 - 5	Muy Blanda	Blanda > 1,25	Muy Baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón
5 - 12,5	Blanda	Moderadamente blanda		
12,5 - 25		Moderadamente dura	Baja	Esquisto, pizarra
25 - 50	Moderadamente dura			
50 - 100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneis, arenisca, caliza.
100 - 200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía
> 200				
> 250	Extremadamente dura	Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto

Relación de la resistencia a la compresión del material con la selección del equipo trituración

Donovan (2003), señala que la resistencia a la compresión se usa típicamente para clasificar la dureza de un material como las rocas. A veces se usa para determinar la homogeneidad de un material y en la selección del tipo de trituradora utilizada (trituradoras de mandíbula o giratorias). La carga máxima requerida para provocar la falla en el espécimen se utiliza para determinar la resistencia a la compresión (UCS) de la muestra de roca.

Una serie de pruebas se realizan con el fin de obtener un valor promedio de UCS representativo, el cual es utilizado para clasificar el material. En este caso los fabricantes de trituradoras tienden a utilizar el valor máximo UCS para clasificar el material. En la Tabla N°3, Donovan (2003), establece las clasificaciones basadas en los valores de resistencia a la compresión.

Tabla 3. Categoría de dureza del material a base de resistencia a la compresión. (Donovan, 2003)

Fuerza compresiva	Categoría
> 69 MPa	El material es blando. Puede ser procesado por todo el equipo en el bajo consumo de energía. El equipo estará limitado volumen
69 a 138 MPa	El material posee una dureza media. Por lo general pueden ser procesados por todos los equipos. Se puede consumir toda la potencia de los equipos
138 a 276 MPa	El material es duro. Requerir equipos pesados y el consumo de energía total
> 276 MPa	El material es extremadamente duro

Resistencia a la tracción

Representa la máxima fuerza a la que puede someterse un material rocoso antes de su rotura. El máximo esfuerzo que resiste la roca sin sufrir una deformación permanente se denomina límite de elasticidad o elástico (Ramírez 2022). El mecanismo para determinar la resistencia a la tracción se conoce ensayo de tracción indirecta, este ensayo permite obtener de manera indirecta la resistencia a la tracción de una muestra. En la Figura N°13 se muestra se representa el comportamiento de una muestra cilíndrica al ser sometida ante este ensayo.

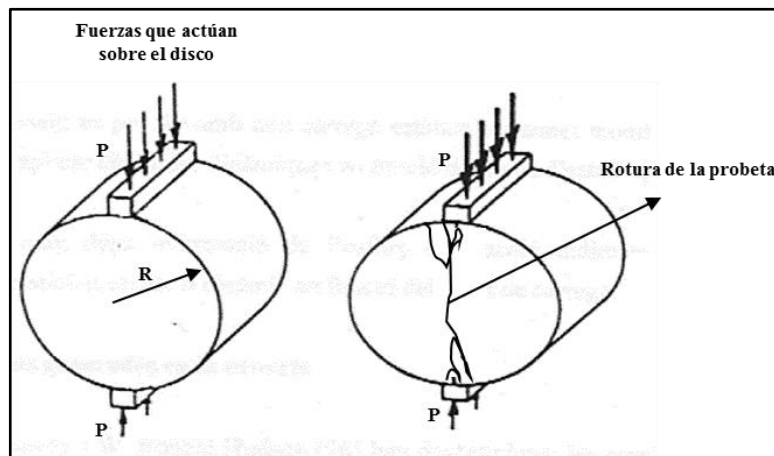


Figura 13. Configuración de la carga y rotura del ensayo de tracción indirecta. (Modificado de Gómez & Olga, 2007).

Para determinar la resistencia a la tracción de una muestra de roca, Castillejo (1993) relaciona la Ecuación N°2, las cuales dan como resultado las tensiones principales máximas y mínimas a lo largo del diámetro de la muestra, considerando que en el centro de la muestra para $(x=0, y=0)$, se tiene para la tensión:

$$\sigma_x = -\frac{P}{\pi \cdot t \cdot R} \text{ (Tracción)}$$

$$\sigma_y = \frac{3P}{\pi \cdot t \cdot R} \text{ (Compresión)}$$
(2)

donde,

T: Espesor del disco

R: Radio de la muestra

P: Carga aplicada diametralmente.

Unas veces establecida la relación la tensión σ_y de compresión mínima y la tensión σ_x de tracción máxima, y asumiendo que la fractura de la muestra es debido al efecto de la σ_x , se calcula la resistencia a la tracción mediante la Ecuación N°3:

$$(T_o)_1 = \frac{P_c}{\pi \cdot t \cdot R}$$
(3)

donde,

$(T_o)_1$: resistencia a la tracción

P_c: carga al momento de la fractura

T: Espesor del disco

R: Radio de la muestra.

Resistencia a la abrasión

Es la medida de la degradación de un agregado mineral, por el resultado de una combinación de acciones producto de la abrasión o desgaste entre partículas sólidas duras con un cuerpo sólido más suave (mineral). La resistencia a la abrasión se puede determinar a través del ensayo de desgaste de Los Ángeles en donde el choque entre el agregado y las cargas abrasivas da por resultado la abrasión (desgaste del material), y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra (seca) y la masa del material desgastado (seca) expresándolo como porcentaje inicial Jeria, R. (2017). En la Figura N°14 se describe las partes que componen la máquina de Los Ángeles.

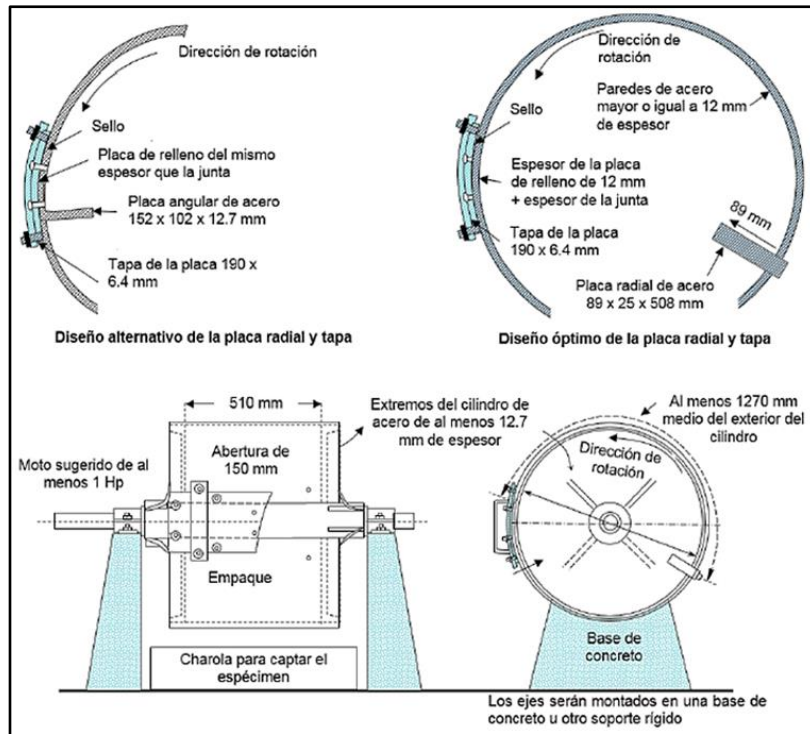


Figura 14. Máquina de los Ángeles. (Ayala et al. 2019)

El coeficiente de desgaste de los ángeles viene dado por la Ecuación N°4 donde la relación entre la masa perdida (diferencia entre la masa inicial y final) y el peso inicial de la muestra de árido, se expresa en tanto por cien.

$$\% = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (4)$$

Un índice superior a 40 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.

De acuerdo con Bustillos y López (1997) el resultado de este ensayo permite clasificar la calidad de la roca como se muestra en la Tabla N°4.

Tabla 4. Coeficiente de calidad de la roca según el ensayo de Los Ángeles. (Bustillos & López ,1997)

Categoría	Calidad
< 20	Excelente
20-30	Buena
30-40	Regular
40-50	Mala
> 50	Muy mala

- **Porcentaje de cara larga y aplanada en los agregados**

El porcentaje caras largas y aplanadas en los agregados se consigue midiendo la longitud máximas y mínimas del menor prisma circunscrito en una muestra representativa de agregados gruesos (Ver Figura N°15), lo cual se realiza con un calibrador o venir. El objetivo es conocer el porcentaje de partícula cuya relación entre dimensión máxima y mínima sea mayor a 5. El tamaño de la muestra se reduce por el método de cono y cuarteo, hasta lograr muestras representativas con un contenido aproximado de unas 50 partículas. (Norma COVENIN 264-77).

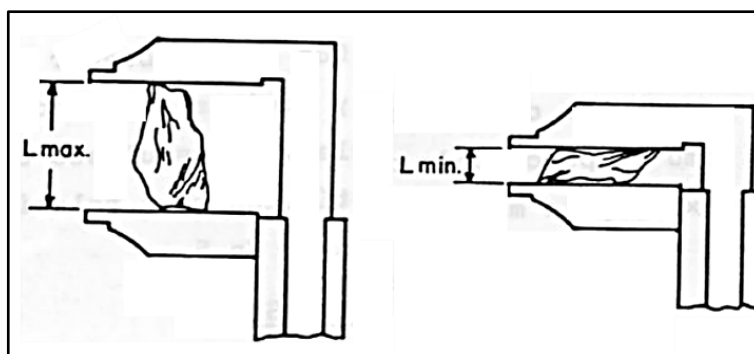


Figura 15. Dimensión máxima y mínima del menor prisma circunscrito en los agregados gruesos. Norma COVENIN 264-77

- **Densidad**

Según De Prieto (1995), la densidad de la roca es la masa por unidad de volumen. No obstante, para ser determinada en agregados gruesos se emplea la siguiente expresión:

$$Densidad = \frac{A}{E - \left(\frac{d - A}{F}\right)} \quad (5)$$

donde,

A: Peso, al aire, de la muestra seca (en gramos).

D: Peso, al aire, de la muestra seca más el recubrimiento de parafina (en gramos).

E: Peso, al agua, de la muestra seca, más el recubrimiento de parafina (en gramos).
(Diferencia entre peso de muestra sumergida en el recipiente con agua, y peso del recipiente con agua, sin la muestra).

F: Peso específico de la parafina

Tendencia de las fracturas en rocas

Van Schmus (1984) señala que, al estudiar la deformación de las rocas, se puede comenzar con la suposición de un comportamiento ideal: deformación elástica, tensión y deformación homogéneas e isotrópicas. En realidad, a escala microscópica hay granos y poros en los sedimentos y un tejido de cristales en las rocas ígneas y metamórficas. A gran escala, los cuerpos rocosos exhiben variaciones físicas y químicas y características estructurales. Además, condiciones tales como un período prolongado de tiempo, presión de confinamiento y fluidos subterráneos afectan las tasas de cambio de deformación.

La deformación de los materiales se caracteriza por relaciones tensión-deformación. Para materiales de comportamiento elástico, la deformación es proporcional a la carga (es decir, la tensión aplicada). La deformación es inmediata con la tensión y es reversible (recuperable) hasta la tensión del punto de fluencia, más allá de la cual se produce una deformación permanente. En el comportamiento plástico, el material se deforma continuamente (pero aún tiene resistencia) después de que se alcanza el límite elástico; sin embargo, más allá de este punto hay alguna deformación permanente.

El material quebradizo se comporta elásticamente casi hasta el punto de fractura, mientras que el material dúctil (plásticamente deformable) es elástico hasta el punto de fluencia, pero luego tiene un rango de deformación plástica antes de fracturarse. La capacidad de sufrir una gran deformación permanente antes de la fractura se denomina ductilidad. Para la deformación plástica, los mecanismos de flujo son intracristalinos (deslizamiento y maclado dentro de los granos de cristal), movimiento intercristalino por aplastamiento y fractura (cataclasia) y recristalización por disolución o difusión sólida.

En este sentido, el material dependiendo de sus características reológicas (comportamiento mecánico del material frente a los esfuerzos) sigue el siguiente patrón:

- Ante esfuerzos que no superan la constante de elasticidad del material a ciertas condiciones de presión, temperatura e inclusive profundidad al cual puede hallarse el material, tiende a comportarse de manera elástica (si no se sigue sometiendo al esfuerzo puede regresar a su estado no deformado) y la deformación es reversible. La constante de elasticidad varía en los materiales y en las rocas. En la naturaleza son muy pocos los casos de este tipo de comportamiento elástico.
- Cuando se supera la constante de elasticidad ya la deformación es irreversible. Si esta deformación no supera la constante de plasticidad, este estado se conoce como "comportamiento dúctil". La deformación es continua y se generan los plegamientos y las foliaciones en las rocas metamórficas foliadas.
- Cuando se supera la constante de plasticidad se entra en el campo de la deformación frágil. Al superar esta constante el material se fractura.

Mc Dowell (1999), sugiere que la propagación de la fractura está estrechamente relacionada con la estructura interna y propiedades mecánicas de los granos de la roca y minerales. Por ejemplo, rocas densas, de grano fino como la piedra caliza desarrollan fracturas en forma de aguja muy rectas que se propagan sin interactuar entre sí dando lugar a una falla explosiva (Gramberg, 1989). Sin embargo, el mármol, con la misma mineralogía de la roca caliza, pero con granos gruesos débilmente cementados, desarrolla múltiples fracturas macroscópicas que convergen en una falla principal de tipo cizalla. Además, la deformación plástica de los granos de calcita reduce la concentración de esfuerzos en la punta de la grieta, la grieta se expande lateralmente y la propagación se ve obstaculizada. En consecuencia, el tamaño y las propiedades mecánicas de la calcita generan dos mecanismos de falla muy diferentes en roca caliza y mármol. En el caso del granito, los granos de cuarzo y feldespato no se deforman plásticamente bajo esfuerzos de confinamiento, y la propagación de la grieta continua en la dirección de la carga aplicada (Gramberg, 1989). Por lo tanto, el granito y el mármol (rocas de grano grueso con grietas planares preexistentes) fallan de manera muy diferente.

En este sentido, Tarbuck & Lutgens (2005) señalan que, las rocas metamórficas foliadas se caracterizan por los granos minerales de las rocas preexistentes que desarrollan alineamientos paralelos o casi paralelos y generan rasgos estructurales del interior de la

roca. La tendencia de la fragmentación de la roca, va a depender de como incidan los esfuerzos sobre la roca; o si las rocas tienen superficies de debilidad previas. En el caso de los esquistos siendo de textura foliada, las superficies de foliación se consideran como superficies de debilidad y los resultados de su fragmentación serán fragmentos delgados y paralelos a esta superficie, pero si los esfuerzos son ortogonales o pseudo ortogonales a la foliación no funcionan como planos de debilidad a diferencia de si existen diaclasas o vetas, que crean planos de discontinuidad, haciendo que sea más factible la formación de zonas de debilidad.

De manera que la fractura de las rocas o minerales dentro de los equipos de trituración se ven afectada por este comportamiento (estructura interna de las rocas). Los equipos de trituración rompen las rocas por la propagación de la fractura inducida por la compresión aplicada y las fuerzas de corte aplicada (Ver Figura N°16).

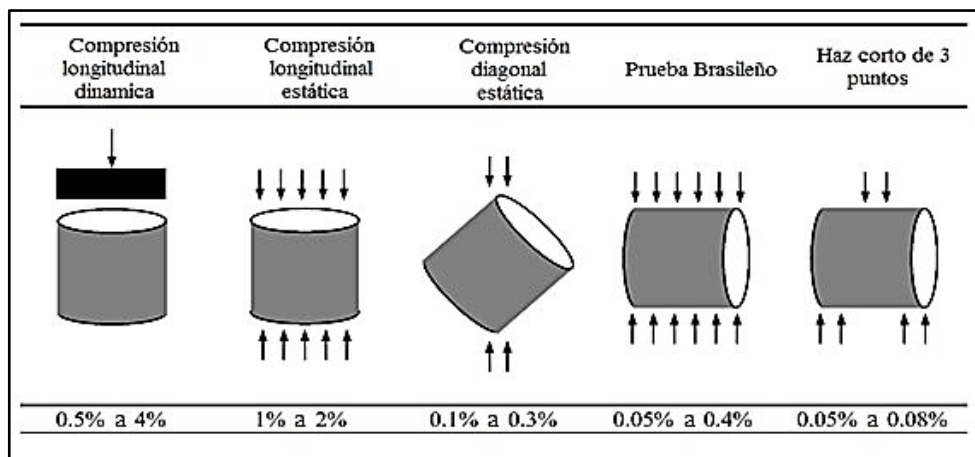


Figura 16. Los finos generados bajo diferentes mecanismos de carga. Las muestras preparadas con mezclas de yeso y arena. (Mc Dowell, 1999)

Forma y tamaño de las partículas en la fragmentación de las rocas

De acuerdo a Fueyo (1999), los productos de una operación de fragmentación forman una dispersión sólida, en donde la granulometría es el arte de medir los tamaños, formas y proporciones de sus granos, con el fin de tener un control de trabajo de las máquinas y un control de la calidad de los productos fragmentados. El tamaño de los productos de una operación de fragmentación puede ser medidos por diversos métodos. Sin embargo, la medida directa se realiza sobre los granos gruesos a través de un paralelepípedo rectangular en el cual se describe un fragmento que permite caracterizar el tamaño y la forma del mismo. La relación de dos de cualesquiera de las tres dimensiones del paralelepípedo proporciona un índice de forma.

Índice de alargamiento es la relación del ancho sobre la longitud

$$\text{Índice de alargamiento } (\beta) = \text{ancho} / \text{longitud}$$

Índice de aplanamiento es la relación del espesor sobre el ancho

$$\text{Índice de aplanamiento } (\alpha) = \text{espesor} / \text{ancho.}$$

Según Krumbein (1963), el tamaño y la forma de las partículas determinan el comportamiento del flujo de estas dentro de los procesos industriales, no obstante, su comportamiento es diferente dentro de las características estructurales y de resistencia de los materiales de los que forman parte.

La determinación de la forma de las partículas se puede realizar mediante la comparación de imágenes con las tarjetas de siluetas o a través de factores de forma que relacionan la longitud mayor (a), la intermedia (b) y el espesor (c).

El factor de forma que relaciona la elongación (b/a) y la delgadez (c/b), cuando es mayor a 2/3 (valor adimensional), representa formas alargadas, y cuando es menor representa formas aplanadas. En minería y para procesos de isodromía (comportamiento de las partículas dentro de un fluido) se utiliza el factor que compara los granos con la esfera como referencia o patrón, y se define el concepto de redondez.

Como ejemplo en la Figura N°17 se incluyen las tarjetas de las categorías de las formas de Zingg (1935) así mismo en la tabla N°4 se describe su clasificación en función a la elongación (b/a) y la delgadez (c/b).

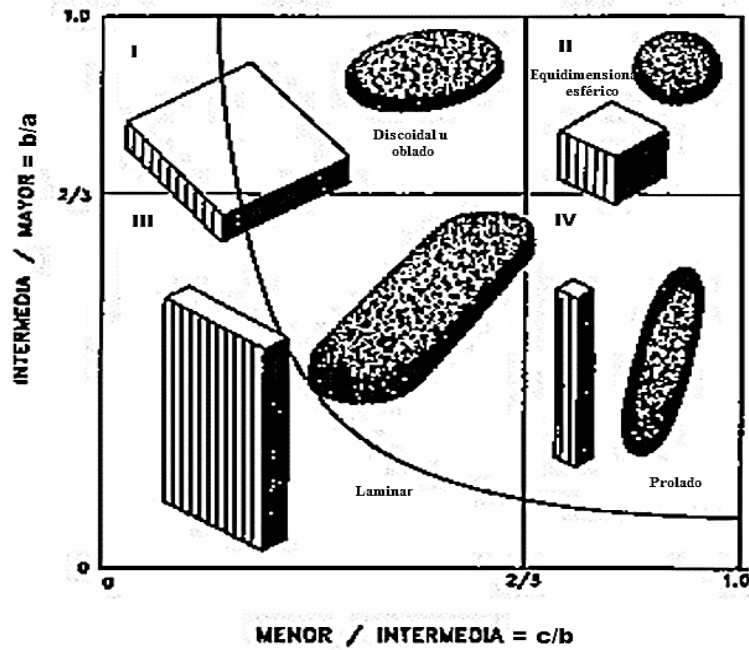


Figura 17. Categorías de las formas de Zingg. (Modificado de Krumbein, 1963)

En la Tabla N°5, se muestra la clasificación para las formas de las partículas propuesta por Zingg (1935) en donde se resume los cuatro bloques presentados en la figura anterior, a través de los índices de aplastamiento o achatamiento (c/b) y elongación (b/a) que pueden presentar las partículas sólidas.

Tabla 5. Clasificación de las formas de las partículas según Zingg.
Seminario de Sedimentología (2011)

Clase	b/a	c/b	Forma del clasto
I	$> 2/3$	$< 2/3$	Discoidal u oblado
II	$> 2/3$	$> 2/3$	Equidimensional o esférico
III	$< 2/3$	$< 2/3$	Laminar
IV	$< 2/3$	$> 2/3$	Prolado o acicular

En 1953 Powers, mejora las tablas de comparación visual de Zingg pero bajo los mismos criterios de factores de forma de las partículas. En la Figura N°18 se muestra la clasificación y redondez postuladas por Powers para las partículas.

ESFERICIDAD	ALTA ESFERICIDAD						
	BAJA ESFERICIDAD						
		MUY ANGULAR 1	ANGULAR 2	SUBANGULAR 3	SUBREDONDEADO 4	REDONDEADO 5	BIEN REDONDEADO 6
		REDONDEZ					

Figura 18. Redondez y esfericidad de las partículas Powers (1953). (Romero, 2010)

La medición de la redondez puede realizarse directamente sobre la partícula o por comparación con una carta con formas patrones. La redondez se puede clasificar en términos relativos, desde granos muy angulares hasta granos bien redondeados.

Un estudio realizado por Pimentel (2016), determinó la forma de los agregados a partir de las categorías de formas para las partículas, postuladas por Zingg (1935), así mismo estudió la redondez y esfericidad de estas, a través de las tablas de comparación visual de Powers (1953) después de haber sido sometidas al ensayo de desgaste de Los Ángeles.

Mecanismos de fragmentación de las rocas

Durante la etapa de beneficio mineral se efectúa la reducción de tamaño de las partículas, y dependiendo de la forma de aplicación de la carga y de la mecánica de la fractura se obtendrá un mecanismo de falla característico y una distribución granulométrica. Los mecanismos de fracturas que permiten la reducción de tamaño son por lo general: compresión, impacto, abrasión y desgaste.

En 1994 Wills, indicó que los mecanismos por los cuales se reduce el tamaño de las partículas en los procesos de trituración y molienda son básicamente de tres tipos: compresión, impacto, abrasión y desgaste, los cuales se originan por la forma en que los equipos característicos aplican la fuerza necesaria para fragmentar y moler el material.

En relación con el primer mecanismo, cuando un material frágil se comprime adecuadamente, se fractura por las zonas de mayor debilidad dando lugar, después de varias etapas de tratamiento, a una familia de tamaños de partículas según una distribución estadística. El segundo mecanismo se genera cuando las partículas, son golpeadas con un martillo oscilante generándose grietas en el mismo de forma que la propagación de las mismas da lugar a la correspondiente fractura la cual se produce habitualmente a través de

los límites del grano. Finalmente, para explicar la disgregación del mineral se refiere a la atrición o desgaste, los cuales son generadas cuando se produce esfuerzos tangenciales sobre las partículas, disminuyendo su tamaño por procesos de abrasión generando a menudo importantes cantidades de materiales finos o muy finos.

Guerra (1999), señala que los mecanismos por los cuales las partículas se rompen son principalmente por la abrasión, la compresión y por impacto. Las trituradoras de impacto aplican golpes a altas velocidades causando un alto grado de fracturación por impacto. Las máquinas de tipo compresión de mandíbula y giratorias aplican su energía de una manera más lenta, produciendo abrasión y compresión mientras que las de tipo cono tienen un ciclo recíprocante de aproximadamente el doble que las trituradoras de mandíbulas y giratorias acentuando la fracturación por compresión.

En la Tabla N°6, se muestra los mecanismos de fractura de acuerdo al tipo de carga aplicada y la distribución de tamaño que presentan las partículas

Tabla 6. Mecanismo de fractura presentes en la fragmentación de las partículas. Modificado de Tecsup (2015)

Tipo de carga aplicada	Mecanismo de fractura	Distribución de tamaño de partícula	Equipo	
Abrasión o desgaste	Abrasión por esfuerzo cortante superficial	Finos y gruesos	Molinos de bolas, de barras, de martillo	
Compresión	Compresión	Partículas gruesas y algunos finos	Trituradora de mandíbula, giratoria, de cono	
Impacto	Estallido por fuerzas de tracción aplicadas a alta velocidad	Homogéneo	Trituradora de impacto, de percusión y de choque	

Etapas de fragmentación de las rocas

Wills (1994) señala que, durante el tratamiento industrial de los agregados, es necesario practicar una preparación de los mismos y dentro de esa preparación normalmente se requiere efectuar una reducción de tamaño por etapas. Las operaciones mediante las que se efectúan dichas reducciones de tamaño por medios físicos se denomina trituración.

La trituración es la primera etapa mecánica de la conminución, en la cual el principal objetivo es la reducción de tamaño de las rocas. Generalmente la trituración es una operación en seco y normalmente se realiza en dos o tres etapas. El material todo uno

extraído de la mina puede ser tan grande como 1.5 m y es reducido en la etapa de trituración primaria hasta 10-20 cm en máquinas trituradoras de trabajo pesado.

La trituración secundaria incluye todas las operaciones para aprovechar el producto de la trituradora primaria, desde el almacenamiento del material hasta la disposición del producto final de la trituradora, el cual usualmente esta entre 0.5 y 2cm de diámetro. Por otra parte, pueden ser usada más de dos etapas de reducción de tamaño de la trituración secundaria si el material es de alta dureza o si se necesita minimizar la producción de finos.

Blanco (2014) indica que, la fragmentación se divide en “trituración” y “molienda” y cada una de ellas se subdivide a su vez en, trituración primaria, secundaria y terciaria, y la molienda en gruesa, media, fina y ultrafina o micronización (Ver Figura N°19).

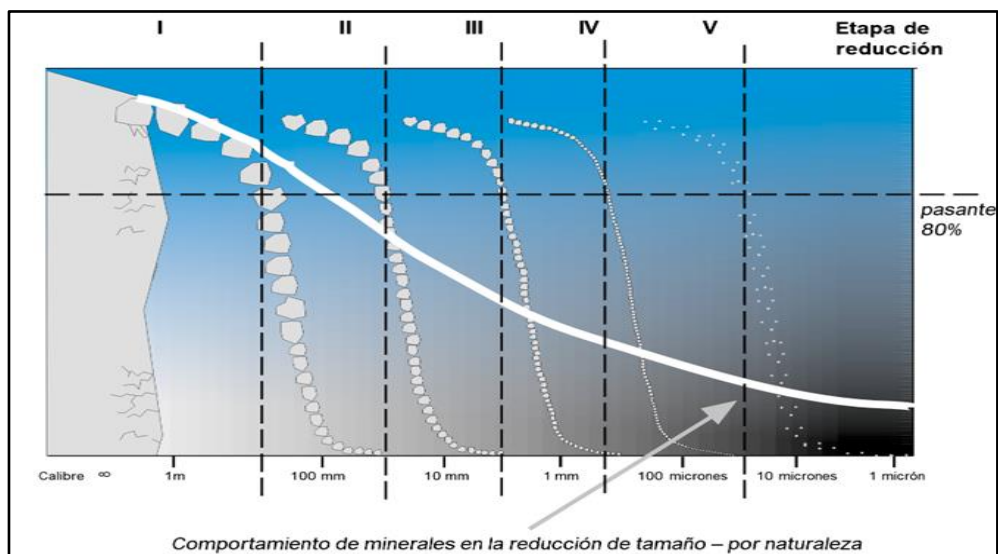


Figura 19. Comportamiento de los minerales en la reducción de tamaño.
Manual de Metso minerales. Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales (2004)

Con el fin de normalizar criterios en minería, Blanco (2014) señala los tamaños y las denominaciones de los materiales de acuerdo a lo establecido por Hükki (1935), el cual propone normalizar a un criterio decimal los tamaños con las denominaciones como se muestra en la Tabla N°7:

Tabla 7. Definición de tamaños para fragmentación. (Blanco, 2014)

Concepto	Rango de tamaño (mm)	Tamaño (orientación)	Denominación	Equipos utilizados
Arranque	∞ a 1.000	Técnicas de arranque		
Trituración primaria	1.000 a 100	150 a 100	Muy grueso	Trituradoras de mandíbulas, giratorias de choque, impacto o percusión
Trituración secundaria	100 a 10	40 a 30	grueso	Conos trituradores, trituradoras de mandíbula AF, giratorias, impacto, choque o percusión, molinos de cilindros
Trituración terciaria	-	15 a 5	Medianos	Conos de cabeza corta, hidroconos, molinos de martillos o de impacto, molinos de cilindros.
Molienda gruesa	10 a 1	5 a 2	Finos	Molinos de impacto, choque o percusión, molinos SAG
Molienda media	-	2 a 1	-	Molinos de barra, molinos SAG, molino de bolas
Molienda fina	1 a 0,1	1 a 0,1	-	Molinos de bolas
Molienda ultrafina	0,1 a 0,01	<0,1	Ultrafinos	Molinos de bolas
Micronización	0,01 a 0,001	-	-	Molinos de bolas

Eficiencia de los equipos de trituración a través de análisis granulométrico

La eficiencia de los equipos encargados de la fragmentación de la roca se puede evaluar mediante el estudio del análisis granulométrico proveniente de la reducción de tamaño del material, así mismo determinar la razón de reducción resultante de evaluar la granulometría de alimentación y la descarga de estos equipos, por ende, a continuación, se define los conceptos necesarios para dar sustento a lo antes mencionado:

- **Análisis granulométricos**

El análisis granulométrico es una operación que tiene por objeto estudiar la composición granular de las mezclas de minerales con el fin de conocer el tamaño promedio de partículas, su volumen y su superficie, además, en la medida de lo posible, debe conocerse la forma aproximada de la partícula (Linares (2010)). En la Figura N°20 se puede apreciar la distribución de tamaño de una mezcla de minerales.

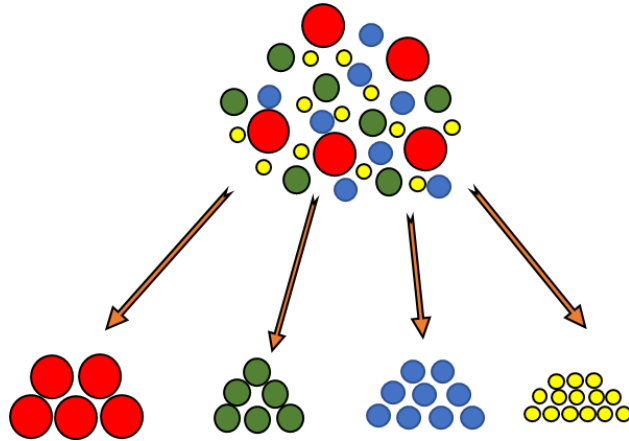


Figura 20. Distribución de tamaño de las partículas. (Modificado de Inares 2010).

Ballester et al. (2000) señalan que, en la trituración y molienda de un mineral se obtiene una distribución de tamaños que se pueden tratar de forma acumulativa o parcial. Para la obtención de esta distribución y su tratamiento posterior, es esencial usar métodos de análisis de tamaño de partícula precisos, es decir, efectuar lo que se denomina análisis granulométrico o caracterización granulométrica, puesto que se da una correcta información, en este sentido depende del posterior diseño de los circuitos de trituración y molienda, de los circuitos de concentración, así como el control de la operación durante el funcionamiento de la planta.

Cuando se efectúa una operación de análisis granulométrico, los resultados obtenidos se pueden expresar de distintas formas:

- a) Por tamaños:
 - Acotando las familias de partículas entre medidas de tamices, el superior y el inferior.
 - Indicando el tamaño nominal de apertura del tamiz que ha permitido el paso de una familia de partícula.
- b) Por distribución de tamaños:
 - En gramos, en porcentaje en peso de cada fracción (distribución parcial, en números de partículas o en volumen).
 - En porcentaje acumulado de tamaños inferiores a un valor dado
 - En porcentaje acumulado de tamaños superiores a un valor dado

En la Figura N°21, se muestra la distribución de tamaño acotando las familias de partículas entre medidas de tamices de acuerdo al porcentaje en peso acumulado de cada fracción retenida en el tamiz.

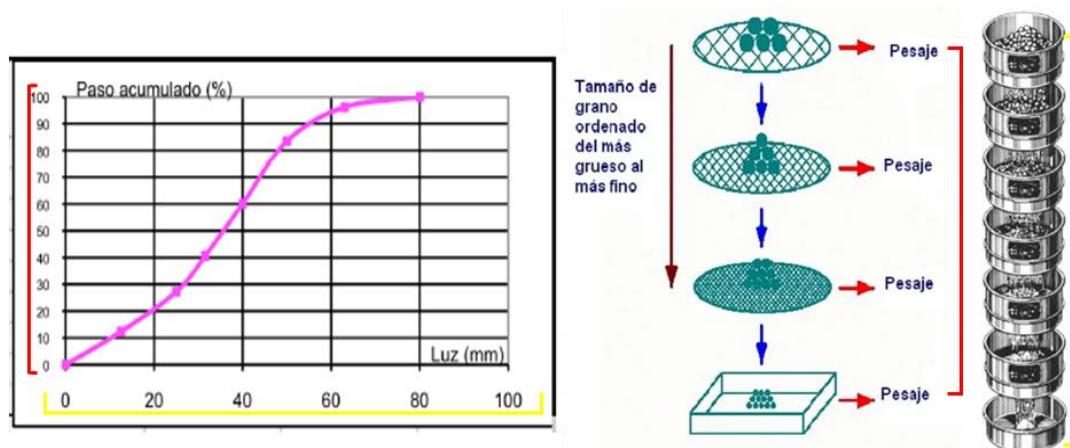


Figura 21. Distribución de tamaño en una serie de tamices. (Modificada de Linares 2010).

Para desarrollar el análisis del comportamiento granulométrico que presentan las partículas, se encuentran procedimientos que permiten efectuar de una forma más sencilla esta técnica, como es el caso de la norma COVENIN (277:200), la cual clasifica el tamaño de las partículas sometidas a este tipo de ensayo, en agregados finos y gruesos de acuerdo a las aberturas de los tamices.

- **Razón de reducción**

En 1981 Peláez indica que al describir las operaciones de fragmentación que se efectúan en un circuito de tratamiento, es necesario indicar en cada equipo el tamaño máximo de las partículas con que se le alimenta y el tamaño máximo de su descarga, por tanto, se llama relación de reducción a la razón entre la dimensión de la partícula mayor de la alimentación y la dimensión correspondiente de la partícula más grande en la descarga. Esta relación es útil para comparar entre el comportamiento de equipos diferentes.

Todas las operaciones de reducción de tamaño tanto en la trituración como en la molienda se realizan por etapas. Todos los equipos involucrados, ya sean trituradoras o molinos, tienen una relación diferente entre los tamaños de alimentación y descarga. A la relación entre el tamaño de alimentación y el tamaño de descarga de cualquier equipo de conminución se la llama "razón de reducción". (Manual general de minería y metalurgia 2006). En la Figura N°22, se muestra la razón de reducción de los equipos de trituración en cada etapa de reducción de tamaño.

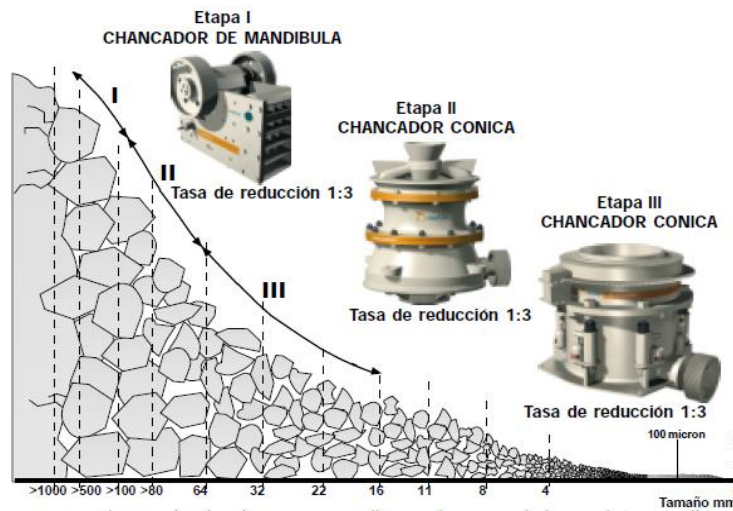


Figura 22. Razón de reducción de los equipos de trituración.
Manual de Metso minerals. Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales (2004)

Blanco (2014), describe la relación de reducción 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 y el de su descarga, correspondientes al tamaño al cual se halla el 80% del producto (Ver Figura N°23).

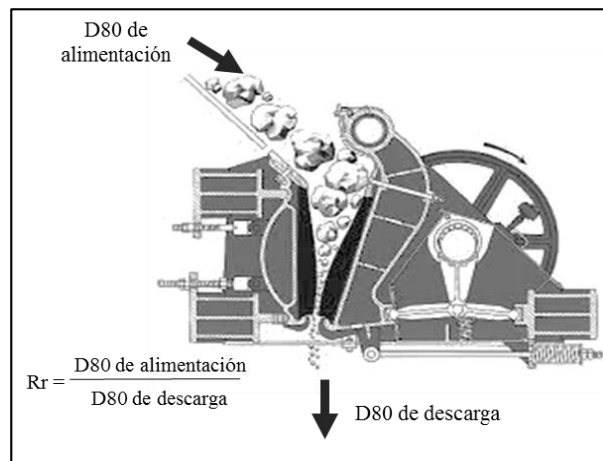


Figura 23. Razón de reducción. (Modificado de Romero 2010)

Energía consumida durante la fragmentación de la roca

Estudios han demostrado que gran parte de la energía mecánica suministrada a un proceso de conminación, se consume en vencer resistencias nocivas. Bond en el año 1982 establece correlaciones entre la energía específica [kWh/Tn] consumida en un proceso de conminación y la correspondiente reducción de tamaño alcanzada en dicho proceso:

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

Bond (1982) definió la energía consumida (E_b) en función del índice de trabajo del material, más conocido por su nombre en inglés (WorkIndex WI), que corresponde al trabajo total (expresado en [kWh/Tn. 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].

$$E_b = 10W_i \left(\left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \right) \times Q \quad (6)$$

donde,

E_b (kWh/Tn) = Energía específica de conminución (potencia absorbida)

W_i (kWh/Tn. 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.

Tn.corta = 907,18 kg

La potencia del motor o potencia útil viene dada de acuerdo a la ecuación N°9:

$$E_m = 2E_b \quad (7)$$

El parámetro WI 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 (trituración, molienda de barras, molienda de bolas). ensayos entregan los parámetros experimentales, respectivos de cada material, los que se indican en la ecuación respectivas, que se indican a continuación.

$$W_i = 2,59 \left(\frac{Kc}{Ps} \right) \quad (8)$$

Donde:

W_i [kWh/Tn corta] = Work Index

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

Ps = Gravedad específica del sólido.

Según Abdel (2011) Work index se puede calcular a través de las propiedades mecánicas de la roca. El estudio demuestra correlaciones existentes entre las variables de comprensión simple (UCS) y el Módulo de elasticidad (E), las cuales son vinculadas de forma directa para la obtención del work index. Las ecuaciones propuestas para el cálculo utilizan el UCS en Mpa y el Módulo de elasticidad en GPA respectivamente y están basadas en las expresiones siguientes:

$$W_i = 5,7 \ln(UCS) - 9,5 \quad (9)$$

$$W_i = 6,3 \ln(E) - 10,6 \quad (10)$$

Agregados

Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.011. Se les llama también áridos.

Según Norma COVENIN 277 clasifica el agregado como fino y grueso. El agregado fino es aquel constituido por arena de río, de mina o proveniente de piedras trituradas. El agregado grueso debe estar constituido por piedra triturada, canto rodado, escoria siderúrgica enfriada por aire o una combinación de ellos, o de otras fuentes, siempre que cumplan con los requisitos especificados en la presente Norma Venezolana (Ver Tabla N°8).

La granulometría para el agregado grueso debe estar comprendida entre los límites que se indican en la Tabla N°8. Así mismo el agregado no deberá presentar más del 25% en peso de granos, con formas tales que el cociente entre la dimensión máxima y la dimensión

mínima sea mayor a 5 contemplado en la Norma COVENIN 264, y deberá presentar un desgaste menor o igual al 40% según lo establecido en la Norma COVENIN 266 Y 267.

Tabla 8. Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (2) cedazos de aberturas cuadradas. Normas COVENIN (277:200) (2000).

Piedra picada ó grava COVENIN	75 mm (3")	64,0 mm (2½")	50,8 mm (2")	38,1 mm (1½")	25,4 mm (1")	19,0 mm (¾")	12,7 mm (½")	9,51 mm (3/8")	6,35 mm (¼")	4,76 mm (N° 4)	2,38 mm (N° 8)	1,19 mm (N° 16)	595 µm (N° 30)	297 µm (N° 50)
N° 0	-	-	-	-	-	100	100	85	60	40	20	10	5	-
							a	a	a	a	a	a	a	
							80	50	25	15	5	0	0	
N° 1	-	-	-	100	100	90	45	20	7	-	-	-	-	-
					a	a	a	a	a					
					90	50	15	0	0					
N° 2			100	90	70	30	10	5	-	-	-	-	-	-
			a	a	a	a	a	a						
			95	75	35	5	0	0						
N° 3	100	100	95	60	10	5	-	-	-	-	-	-	-	-
		a	a	a	a	a								
		90	65	20	0	0								

Según la RCM Plantas clasifica los agregados de acuerdo a lo especificado en la Tabla N°9:

Tabla 9. Clasificación de los agregados según la RCM Plantas. RCM Plantas (2022)

Producto	Tamaño de grano	Origen	Clasificación
Arena lavada	0 - 7/16"	Yacimiento aluvional	Agregado fino
Arena Cernida			
Arena Amarilla			
Polvillo	0 - 1/4"	Cantera a cielo abierto	
Arrocillo	¼ - 7/16"	Cantera a cielo abierto	Agregado grueso
Piedra Picada 1"	¾ - 1"		
Canto rodado Fracturado/Triturado 1"			
Piedra Picada 2"	2"		
Piedra Sobre Medida	½ - 3"	Cantera aluvional	

Proceso de beneficio mineral para la producción de agregados

Según González (2018) El proceso de tratamiento de los agregados permite obtener productos terminados aptos para la puesta en obra. En cuanto a su principio básico, puede decirse que es sencillo, pues consiste en triturar el crudo procedente de los frentes de explotación llamados canteras, para obtener tamaños menores y clasificarlos con el fin de almacenar por separado cada granulometría con partículas limpias, duras, resistentes y durables. En algunos casos, para fabricar agregados para las mezclas de concreto y asfalto, es necesario lavar el material para mejorar sus características; por lo contrario de la fabricación triturada, los afirmados para los paquetes estructurales de pavimentos, se producen en seco y no necesita mayor tratamiento que su clasificación.

Para Aguilera (2017) la producción de agregados consiste básicamente en triturar, clasificar y/o lavar piedras según su tamaño. Sin embargo, en la práctica, el proceso es mucho más complejo y no se debe subestimar su calidad, pues se deben obtener agregados homogéneos y de tamaño que cumplan con la normativa vigente para que su uso en ingeniería se optimice.

Durante la producción de agregados pétreos, generalmente una maquina no puede realizar el proceso de trituración en una sola etapa, en consecuencia, el proceso se lleva a cabo a través de varias etapas sucesivas (trituración primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria), de manera de ir paulatinamente reduciendo de tamaño grandes rocas hasta lograr el tamaño optimo deseado, por ende el proceso de beneficio para la producción de agregados sigue la configuración mostradas en los siguientes diagramas de flujo en los cuales se muestra las etapas de reducción y clasificación de tamaño a las que pueden estar sometidos.

Circuito de procesamiento mineral, Cantera Agua Viva II. Venezuela (Ver Figura N°24).

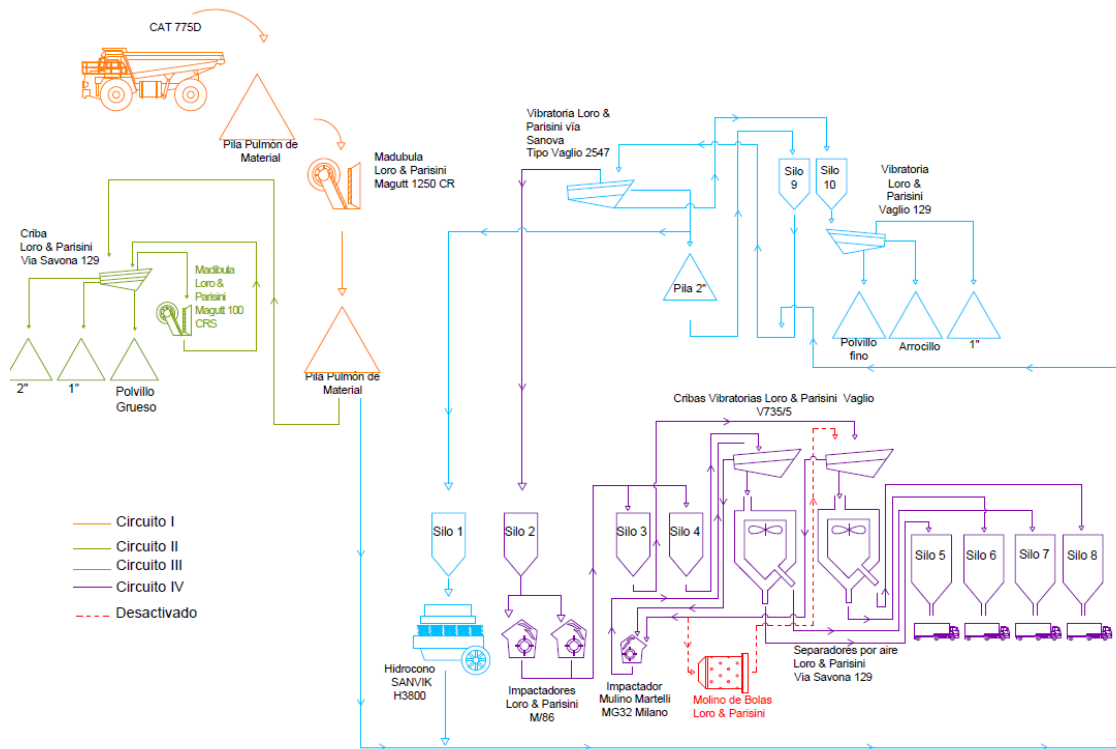


Figura 24. Planta de beneficio de la Cantera Agua Viva II. (Labrador, 2017)

Circuito de procesamiento mineral, Cantera Carayaca VARCAM C.A. Venezuela (Ver Figura N°25).

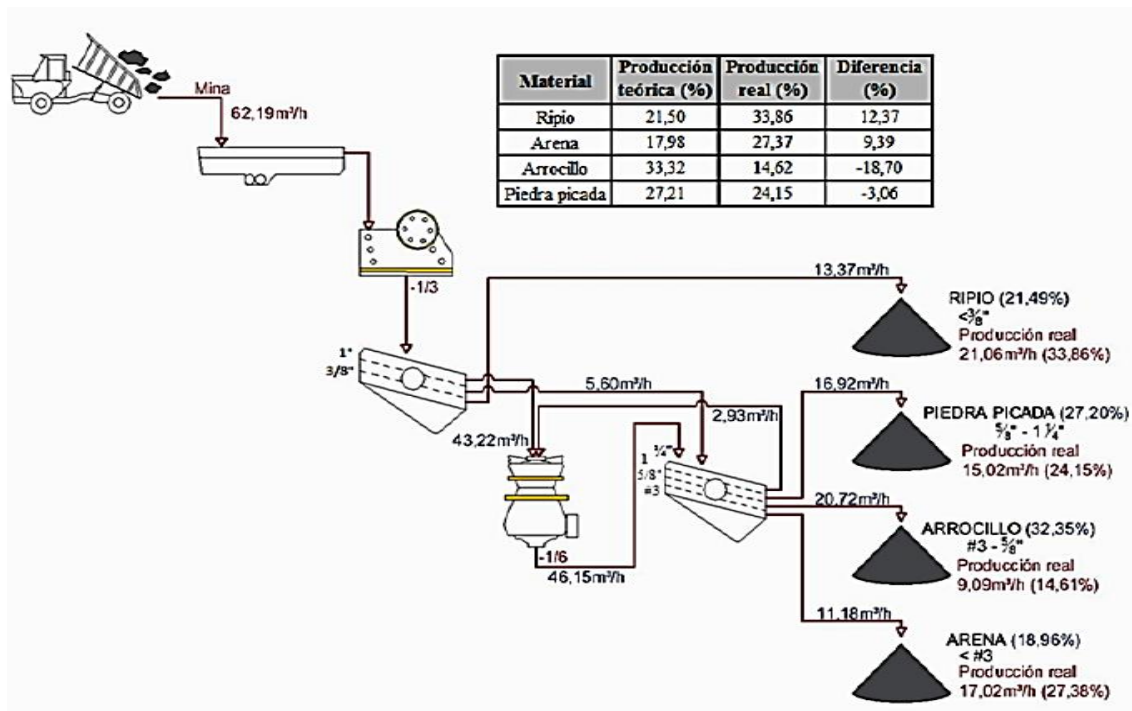


Figura 25. Planta de beneficio de la Cantera Cerro La Danta. (Pimentel, 2016)

Circuito de procesamiento mineral, Metso Minerals, producción de áridos. Finlandia (Ver Figura N°26).

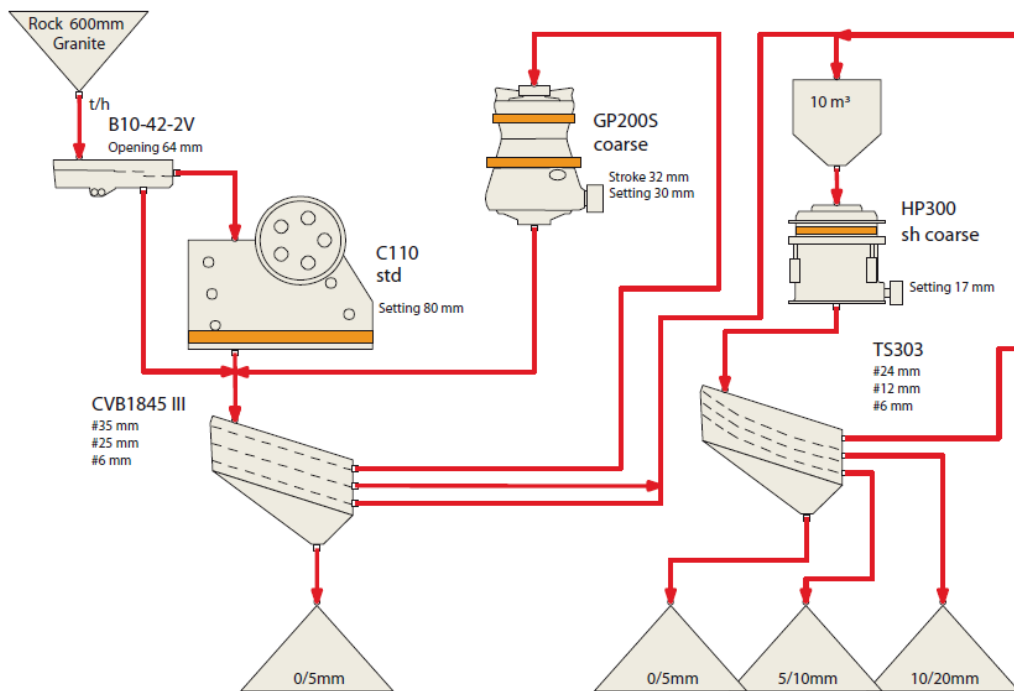
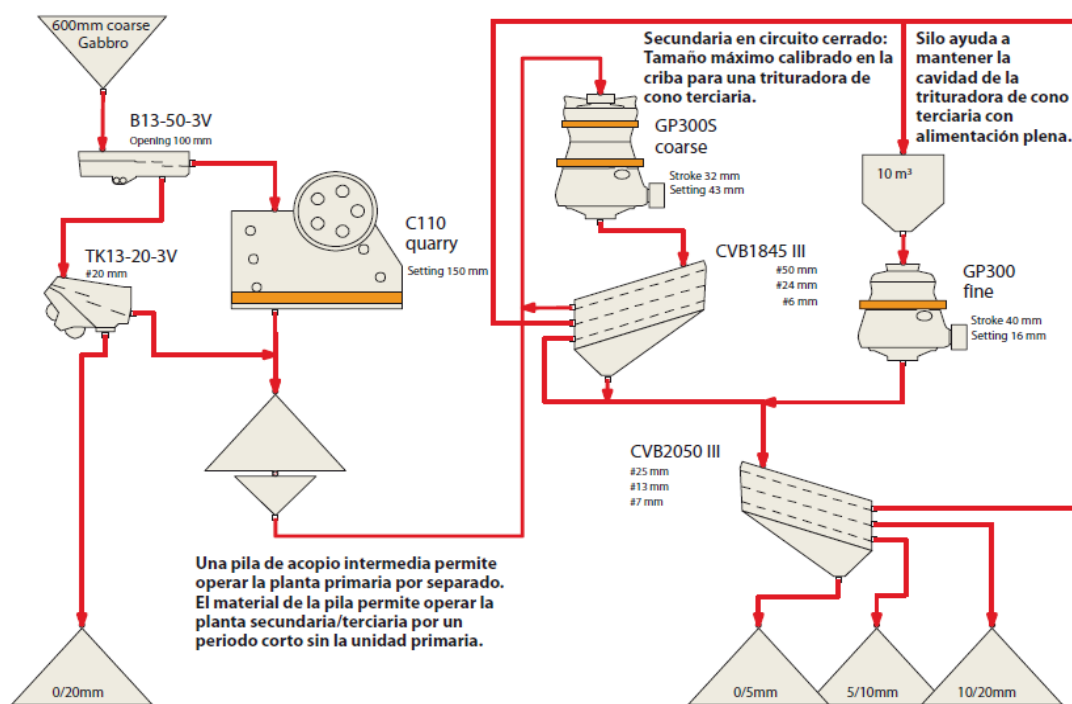


Figura 26. Planta de trituración de tres etapas. (Metson Minerals, 2008)

Circuito de procesamiento mineral, Metso Minerals, producción de áridos para asfalto. Finlandia (Ver Figura N°27).



330 tph de fracciones de 0-20 mm

Figura 27. Planta de trituración de tres etapas. (Metson Minerals, 2008)

Diagrama de flujo

El diagrama de flujo representa la secuencia de las operaciones en la planta. En su forma más simple, se presenta como un diagrama de bloques en el cual se agrupan todas las operaciones de un solo carácter. El diagrama de flujo simple es suficiente para mayor parte de los propósitos e incluye los detalles de las maquinarias, colocación, clases, velocidades etc, Wills (1994).

Ballester et al. (2000) explican que, para establecer un análisis simplificado del proceso de una planta, se debe tener información detallada de las características del proceso. Estas se pueden dividir en dos grupos: las correspondientes a los equipos, donde se requieren datos como el número de corrientes de entrada y salida de materiales al sistema, el diseño de los propios equipos, la velocidad del procesado, rendimiento y variables que influyen en el proceso; y las correspondientes a los materiales que incluyen estado físico, composición química y finalmente sus propiedades físicas. Estas características pueden ser representadas en forma de diagrama a través de los conocidos diagramas de flujo de proceso, los cuales se reducen a una combinación de operaciones unitarias elementales en donde estas unidades se caracterizan por el número de corrientes de materia de entradas y salidas a las mismas y por los cambios físicos y químicos que ocurren en el material al estar sometidos a las operaciones consideradas.

Balance de masa

Valencia (2013) indica que un balance de materia o de energía, nos permite definir los flujos en los puntos de entrada y salida en cada una de las etapas de un proceso, con ello se identifica los parámetros de alimentación y descarga, además se establecen las capacidades adecuadas de los equipos. Considera que detallar el diagrama que contendrá los equipos y sus dimensiones, es el primer paso, ya que este permitirá identificar la dirección de los flujos y la relación que existe entre cada uno de ellos. Como segundo se debe identificar las cantidades e indicar los puntos del proceso en los que se van a realizar las mediciones.

Con el fin de evaluar el rendimiento de la planta y controlar la operación, es necesario contabilizar los flujos de material en cada proceso. El balance de masa es particularmente importante en la contabilización de las distribuciones de minerales o metales. Cualquier diagrama de flujo de una planta se puede reducir a una serie de nodos, donde los flujos de proceso se unen o se separan. Los nodos simples tienen una entrada y dos salidas (un separador) o dos entradas y una salida (un cruce) Wills (2006).

Canahuirí (2014) señala que un aspecto importante de todo estudio de procesamiento de minerales es un análisis de la forma en que está distribuido el material en los puntos en que se dividen o se combinan los flujos dentro del circuito. Es por consiguiente necesario conocer este aspecto para diseñar adecuadamente un diagrama de proceso y es también esencial para hacer estudios de evaluación y optimización de plantas en operación. Esta serie de cálculos que se realizan se conocen como “balance de materiales”, el cual se basa en el principio de la conservación de la materia.

Para realizar un balance de masa Kelly (1998) indica que se debe considerar las tres operaciones básicas: reducción de tamaño, separación y el manejo de materiales, con el fin de visualizar el flujo del material y poder establecer el diagrama del proceso. Kelly señala que un balance de masa se basa en “los puntos en los que se dividen y se combina las corrientes”, el cual está fundamentado por el principio de la conservación del material:

$$\text{ENTRADA} = \text{SALIDA}$$

A partir de la expresión anterior, el autor establece que debe existir una base que fundamenta el resto de los cálculos pudiendo ser una masa, un régimen de flujo, un gasto o un volumen, así mismo tiene como ejemplo un caso hipotético en el que un molino representa la separación de una alimentación dada, lo que da como resultado varios productos que a su vez representan la masa total de la operación. También indica que, para la realización de un balance de masa, es importante una elaboración “clara y limpia del diagrama del proceso en donde se indican todos los datos conocidos” (Ver Figura N°28), asimismo expresa que existen errores básicos para que estos balances de masa arrojen valores anormales, estos pueden ser una mala toma de muestra, errores de ensayo en las muestras.

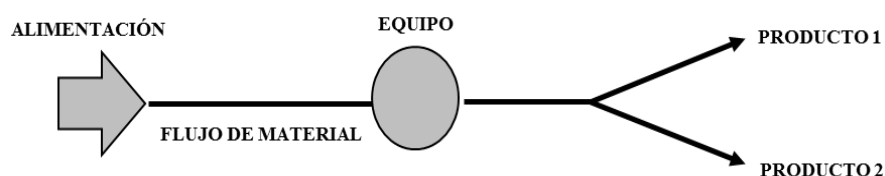


Figura 28. Balance de masa. (Modificada de Kelly 1998).

$$\text{Toneladas de Alimentación} = \text{Producto 1} + \text{Producto 2}$$

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se presentan los aspectos relativos a la metodología seguida durante el desarrollo de la investigación, así mismo el tipo y diseño de la misma, la unidad de estudio, las técnicas e instrumentos para la recolección de los datos y finalmente se muestran las fases de la investigación a través de un esquema de trabajo en donde se especifican las tareas realizadas para el logro de los objetivos planteados.

4.1 Tipo de investigación

Es una investigación de campo del tipo descriptiva. Es de campo ya que se realiza la recolección de datos del fenómeno tal y como se da en su contexto natural y es descriptiva ya que comprende el análisis e interpretación del objeto de estudio, con el fin de describir sus componentes, lo cual se puede relacionar a través de la observación y descripción de los equipos de reducción y clasificación de tamaño que componen la planta de trituración II de la empresa, a fin de establecer parámetros operativos, además de la toma de muestra en determinados puntos que integran el proceso de beneficio. Para Mousalli (2015) las investigaciones descriptivas incorporan acciones que permiten recolectar información sustentada en una revisión teórica inicial, en la que el investigador profundiza sobre el objeto de estudio. Gracias a los datos que han sido registrados es posible responder las preguntas formuladas al inicio del estudio y alcanzar los objetivos planteados.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se clasifica bajo la modalidad experimental-transversal; ya que se manipulan intencionalmente las variables operacionales de los equipos de fragmentación, de tal manera que se pueda describir y analizar los efectos que tienen estos, mediante técnicas de simulación del proceso de beneficio; es transversal porque se recolectan datos a partir de un momento único, con el fin de evaluar las variables presentes y analizar su incidencia en un momento dado.

4.3 Unidad de estudio

La unidad de estudio está representada por la empresa Canteras del Distrito Capital S.A., específicamente en la planta de agregados grueso también llamada Planta II, con el fin de

evaluar los parámetros operativos de los equipos de fragmentación para realizar la optimización de proceso.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos utilizados para el levantamiento de datos brindan las distintas formas o maneras de proporcionar la información con el fin de generar un registro sistemático, válido y confiable de una situación manifestada. Para el desarrollo de esta investigación se empleó como técnica, la observación y descripción directa en campo del objeto de estudio, puesto que permite recopilar, plasmar y obtener un registro de forma clara y precisa de la información para facilitar su posterior análisis. En cuanto a los instrumentos, se utilizaron diferentes herramientas con el propósito de extraer datos directos del fenómeno y así poder reunir la información necesaria para dar validez al estudio. A continuación, se describen los métodos y herramientas empleados para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados.

- **Métodos**

Los métodos utilizados para realizar la toma de muestra en campo y efectuar los ensayos geomecánicos y granulométricos se describen mediante las siguientes normas:

Normas técnicas para la toma de muestras durante el proceso de producción de agregados:

- NTC 129. Toma de muestras de agregados.
- NTE 695. Muestreo de agregados.
- NTC 3674. Reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos.
- UNE 22-175. Granitos Ornamentales
- UNE 22-185. Mármoles y calizas ornamentales.

Norma COVENIN:

- 27-1998. Agregados. Extracción de muestras para morteros y concreto.
- 277-2000. Concretos. Agregados, requisitos
- 255-1998. Agregados. Determinación de la composición granulométrica.
- 2232-85. Ensayo de tamizado
- 264-77. Método de ensayo para determinar el cociente entre la dimensión máxima y dimensión mínima en agregados gruesos para el concreto.

- 266-77. Método para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos por medio de la máquina de Los Ángeles
- 1465-79. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de la piedra natural para la construcción
- 269-1998. Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción

Normas ASTM por sus siglas en inglés: American Society for Testing Materials:

- C 136 - 01, Método estándar para análisis por tamizado
- D-422, Análisis granulométrico por tamizado
- D-4791 Comprobación de partículas planas y alargadas en agregados para hormigones y mezclas asfálticas
- D7012-10, para el ensayo de Compresión Uniaxial.
- D7531-08, para el ensayo de Tracción Indirecta (Brasilero).
- C-127 Densidad y absorción del agregado grueso.

- **Herramientas**

Las herramientas utilizadas para recabar la información necesaria con el fin de caracterizar el material, generar las curvas granulométricas y realizar el balance de masa del circuito, son los siguientes:

Programas computacionales:

- Software en versión demo Grapher 11®.
- Software Rock Data en versión demo.
- Software de modelación y simulación de procesos metalúrgicos METSIM en versión demo.
- Software libre, Imagen J.
- Photoshop de escritorio en su versión de prueba.
- Hoja de cálculo

Para el registro de observación en campo se realizó una serie de fichas técnicas donde se muestran las especificaciones más relevantes de los equipos que componen la plata de trituración II, además se efectuaron anotaciones en la libreta de campo sobre la descripción del proceso de beneficio.

Equipos GCTS (RDS 500), para la realización de los ensayos de compresión uniaxial y tracción indirecta del Laboratorio de Mecánica de Rocas “Prof. Miguel Castillejo” de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

Para los ensayos granulométricos y de desgaste de los agregados se utilizaron las siguientes herramientas:

- Pala de muestreo, utilizada para verter el material en las bandejas de pesado
- Bolsa de protección de muestra con su identificación (Ver Figura N°29), fueron utilizadas para respetar la integridad del material.

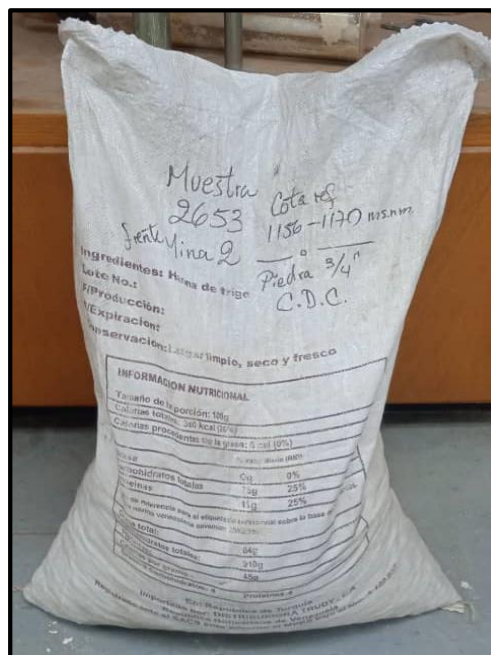
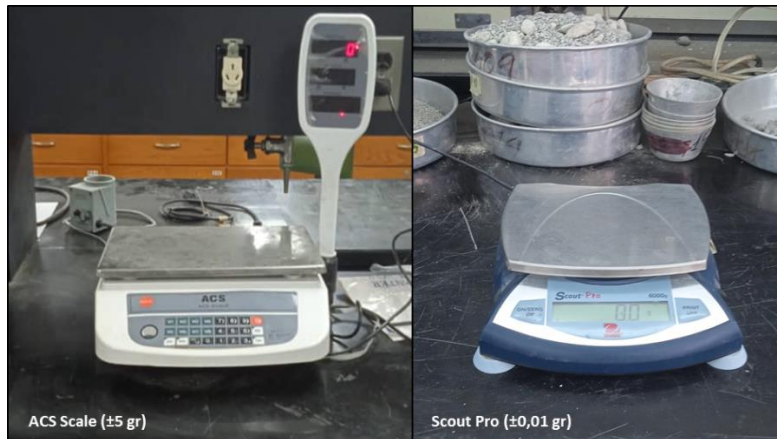


Figura 29. Bolsa de protección de muestra con su identificación.

- Cuarteador mecánico de Jone, utilizado para reducir un lote de muestra a un lote representativo del total.
- Balanza electrónica ACS Scale de 30 Kg de capacidad (± 5 gr) y Scout Pro SP6001 de 6kg con ($\pm 0,1$ gr), las cuales fueron utilizadas para determinar el peso de las distintas muestras, antes y después de llevarse a cabo la distribución granulométrica y el desgaste de Los Ángeles (Ver Figura N°30).



**Figura 30. Balanza ACS Scale (d=5g) y Scout Pro (d=0,1 gr).
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Rocas “Miguel Castillejo”**

- Batería de tamices, empleadas para generar la distribución granulométrica del material y la realización de sus respectivas curvas, según lo dispuesto en la norma COVENIN 277-2000 (3”, 2 1/2”, 2”, 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, 1/4”, N°4, N°8, N°12, N°16, N°30, N°50 N°100 y N°200) (Ver Figura N°31).



**Figura 31. Batería de tamices.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Rocas “Miguel Castillejo”**

- Mesa de tamizado, utilizada para colocar la batería de tamices con el propósito de agitar el material por un período de tiempo determinado y así ocurra el asentamiento de las partículas de distintas granulometrías en las mallas correspondientes (Ver Figura N°32).



Figura 32. Mesa de tamizado
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Rocas “Miguel Castillejo”

- Máquina de los ángeles, utilizada para conocer la resistencia al desgaste que tienen los agregados.

4.4 Fases metodológicas de la Investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se elaboró un esquema de trabajo (Ver Figura N°33), el cual contiene cinco fases en donde se describen las actividades que se siguieron durante el proceso de investigación.

Esquema metodológico

El esquema metodológico de la investigación presenta las tareas realizadas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados. Es por esto, que cada objetivo es tratado durante el desarrollo de la investigación como una fase, las cuales se denominan de la siguiente manera:

Fase I: Evaluación de las condiciones actuales de los equipos de Planta II.

Fase II: Análisis del material en las diferentes etapas de reducción de tamaño.

Fase III: Análisis del material proveniente del frente mina.

Fase IV: Balance de masa de la Planta II.

Fase V: Propuesta de adecuación de la Planta II.

Con la finalidad de comprender las tareas principales de cada fase de investigación se presenta en la Figura N°33, el esquema metodológico empleado durante el desarrollo del estudio, en donde la investigación y recopilación bibliográfica se realiza durante la ejecución de cada fase.

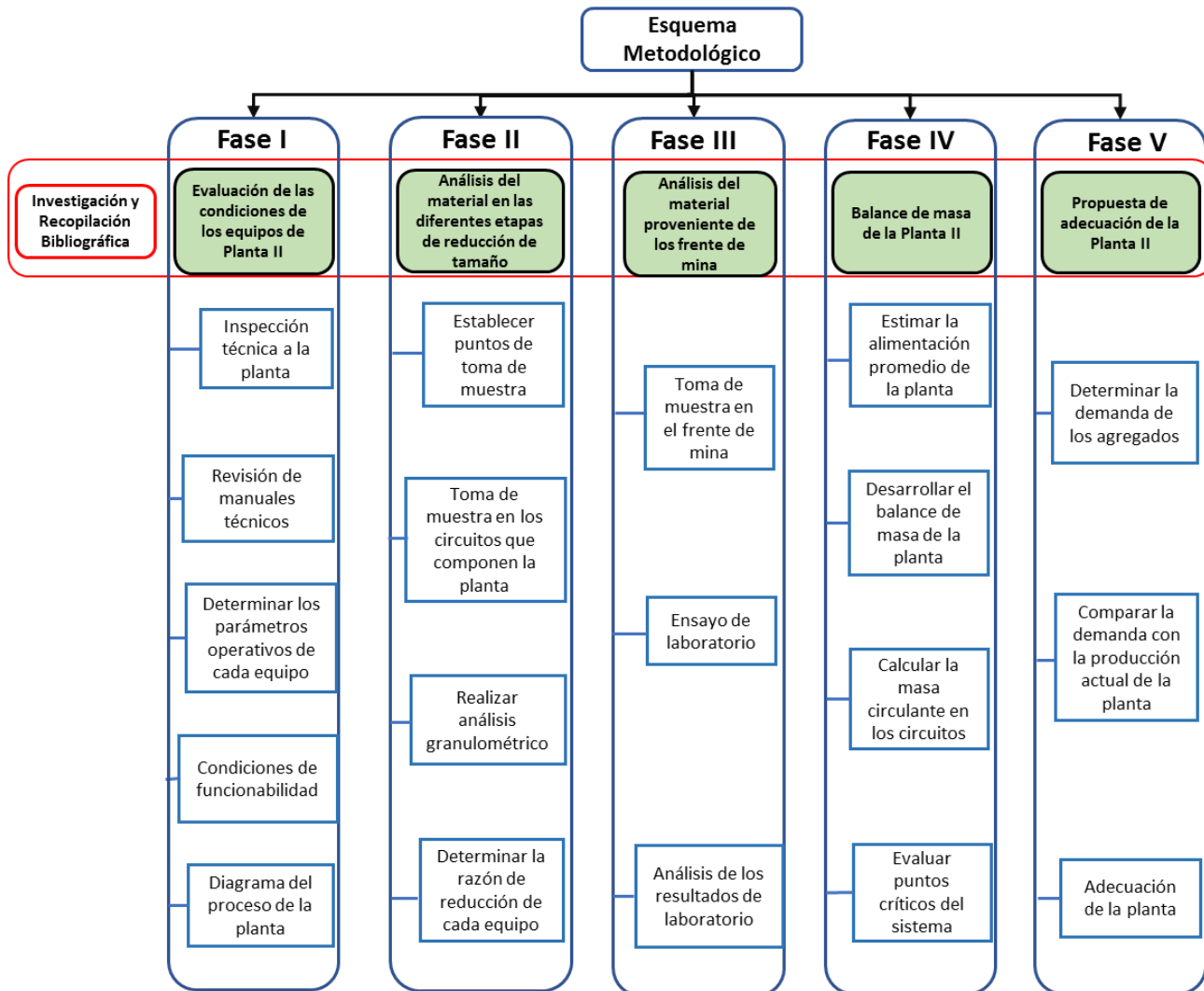


Figura 33. Esquema metodológico.

- **Investigación y recopilación bibliográfica**

La investigación y recopilación bibliográfica se realizó en cada fase del proceso investigativo, con el fin de sustentar el estudio y dar cumplimiento a cada uno de los objetivos planteados. En este sentido, la búsqueda de información se basó en consultar los manuales técnicos de los equipos que integran la planta de beneficio, los planes de explotación de la cantera, portales de revistas técnicas y científicas, Trabajos Especiales de Grado e informes de pasantías relacionados con la investigación.

Fase I. Evaluación de las condiciones de los equipos de Planta II

Inspección técnica a la planta

Se realizaron inspecciones periódicas durante 20 días, con el fin de recopilar información sobre los parámetros y configuración de los equipos presentes en Planta II, de igual manera para conocer el proceso productivo de la misma.

Para identificar la situación actual de la planta, se conversó con los operadores de la planta de beneficio mineral para saber las condiciones en la que se encontraban los equipos, aunado a esto, se tomó nota de las características técnicas, además de las irregularidades que presentaban algunos equipos. Se tomaron fotografías para tener una referencia gráfica de cuál era la situación de estos en ese momento.

Los datos adquiridos fueron anotados en la libreta de campo, resaltando la marca y modelo para su revisión posterior en los manuales correspondientes suministrados por la empresa. La toma de dato durante cada inspección, permitió crear una base de datos, donde se observa el estado actual de los equipos.

Revisión de manuales técnicos

Con el fin de conocer los parámetros teóricos de los equipos que conforman la planta se procedió a investigar en los manuales técnicos suministrados por el Departamento de Operaciones de la empresa, sus principales características entre los cuales se destacan: aperturas alimentación y descarga, capacidad y descripción general de sus componentes.

Determinar los parámetros operativos de cada equipo

Para determinar el estado actual y de esta forma conocer los parámetros operativos de cada equipo, se diseñaron fichas técnicas de estos, las cuales contienen información de la marca, modelo, dimensiones, componentes principales, y observaciones (de acuerdo a lo visualizado en campo), además de fotografías digitales para tener una referencia gráfica del equipo que se esté describiendo, como se muestra en la Tabla N°10, donde se representa la información básica referente a cada equipo. Cabe destacar que las fichas técnicas varían de acuerdo a las características propias de estos.

Tabla 10. Modelo de ficha técnica equipos que componen la planta II.

Ficha Técnica del Equipo		
Foto del equipo	Especificaciones	
	Marca	
	Modelo	
	Serial	
	Motor	
	RPM	
	Capacidad instalada (m ³ /h)	
	Razón de Reducción	
	Dimensión de la boca en Sa (m)	
	Dimensión de la boca de Sc (m)	
Observaciones:		
Sa	Salida abierta	
Sc	Salida cerrada	

Condiciones Actuales de Funcionabilidad

Para determinar el estado de operatividad de los equipos que componen la planta se realizó la Tabla N°11, donde se evalúa 5 (cinco) parámetros: la mecánica general, desgaste en piezas, botes de lubricante, piezas faltantes y estado físico. Cada parámetro tiene una puntuación individual máxima de 40, 20, 10, 20 y 10 respectivamente, y un mínimo de 0 (cero), la máxima puntuación se otorga cuando el parámetro evaluado es excelente, y la mínima cuando el parámetro evaluado es deficiente.

Tabla 11. Evaluación condiciones actuales de funcionabilidad

Funcionamiento	Puntuación	
	Deficiente (Ptos)	Excelente (Ptos)
Mecánica General	0	40
Desgaste en piezas	0	20
Botes de Lubricante	0	10
Piezas Faltantes	0	20
Estado Físico	0	10
Total		100

Posteriormente la puntuación obtenida en los parámetros individuales se suma, el valor obtenido de esta suma serán los puntos de funcionalidad, que se evaluarán en la Tabla N°12, la cual clasifica a los equipos como Excelente (E) si el resultado de la suma da un valor comprendido entre 100 (cien) a 75 (setenta y cinco), Funcional (F) si la suma está comprendida entre 75 (setenta y cinco) y 50 (cincuenta), Mal funcionamiento (Mf) si la

suma está comprendida entre 50 (cincuenta) y 25 (veinticinco), y No funcional (NF) cuando el valor de la suma es menor a 25 (veinticinco).

Tabla 12. Clasificación de funcionalidad

Funcionalidad (Ptos)			
No Funcional	Mal funcionamiento	Funcional	Excelente
$0 \leq NF \leq 25$	$25 < MF \leq 50$	$50 < F \leq 75$	$75 < E \leq 100$

Diagrama del proceso de la planta

Partiendo de la información obtenida en los ítems anteriores, se diseñó un diagrama de flujo a través del Software de modelación y simulación de procesamiento de planta Metsim, con el propósito de mostrar la configuración de los circuitos presente en la planta, los parámetros operativos y las especificaciones técnicas de cada equipo, como lo son: marca, modelo y capacidades, así mismo los nodos de carga y descarga de estos.

Fase II. Análisis del material en las diferentes etapas de reducción de tamaño

Establecer puntos de toma de muestra.

La descripción del proceso de beneficio mineral de la planta II y la observación de los puntos de fácil acceso en el diseño del circuito, permitió la ubicación de los puntos de toma de muestras en la alimentación y descarga de los equipos de fragmentación y clasificación que componen la planta.

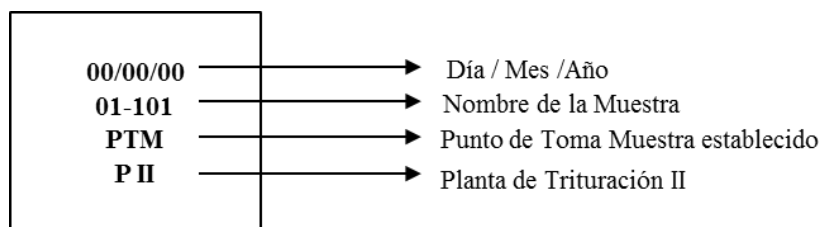
Toma de muestra en los circuitos que componen la planta.

Una vez que se establecieron los puntos de toma de muestra en los circuitos que integran la planta, se hizo un muestreo de forma aleatoria en cada punto. Se homogenizó la muestra y se dividió por la técnica de cono y cuarteo descrita en la norma COVENIN 270, hasta obtener muestras representativas por cada punto. Para el caso del material con grandes dimensiones (material con en que es alimentada la planta y el proveniente de la trituración primaria) se tomaron fotografías digitales utilizando un objeto como escala referencial para su posterior análisis. Para los puntos donde el material presentaba un tamaño en forma de agregado comercial, se siguió el procedimiento establecido en la Norma Técnica Colombiana 129 y 3674. La cantidad de las mismas se definió según lo establecido en la norma COVENIN 255: 1998 como se observa en la Tabla N°13.

**Tabla 13. Tamaño de la muestra para tamizado según tamaños del agregado.
Norma COVENIN 255: 1998**

Tamaños máximo nominal de los agregados, mm (Pul)	Peso mínimo aproximado de las muestras de campo, (Kg)
Agregado Grueso	
9,50 (3/8)	1
12,50 (1/2)	2
19,00 (3/4)	5
25,00 (1)	10
38 (1 ^{1/2})	15
50,08 (2)	20
64,00 (2 ^{1/2})	35
76,00 (3)	60
90,50 (3 ^{1/2})	100
101,60 (4)	150
107,60 (4 ^{1/4})	200
127,00 (5)	300
150,00 (5,9)	500

Las muestras fueron recolectadas con una pala de (20 x 25) cm² y depositadas en bolsas plásticas resistentes de 20 – 25 kg. Éstas se identificaron de la siguiente manera:



El nombre de la muestra corresponde al código o serial de la última muestra ensayada en el laboratorio, en cuanto al punto de toma muestra se identificó de acuerdo al equipo de trituración o clasificación donde fue tomada la misma, para ello se le asignó a cada equipo un código de referencia. La nomenclatura de codificación contempló cinco caracteres alfanuméricos que corresponden a tres letras y dos números; la primera letra indica donde ha sido tomada la muestra (en la entrada o en la salida del equipo) y las dos últimas corresponden a la abreviatura del nombre del equipo. Por último, los dos caracteres numéricos representan la numeración establecida por la empresa para cada equipo. Para aquellos que no presentan códigos, se le asignó los dígitos 00. En resumen, La codificación de las muestras en los puntos de entrada y salida de los equipos La codificación de las muestras en los puntos de entrada y salida de los equipos se identificó de la siguiente manera:

ETC09 = entrada de la trituradora de cono 09

Las muestras se enviaron al laboratorio de materiales ubicado en las instalaciones de la Empresa de Asfalto del Distrito Capital, donde fueron objeto de ensayos y análisis.

Realizar análisis granulométrico

Para cada una de las muestras recolectadas en campo (circuitos de trituración) se llevó a cabo un análisis granulométrico, con la finalidad de estudiar la distribución de tamaños de cada lote de muestra fragmentada y clasificada por los equipos que componen la planta, y posteriormente hacer el análisis del comportamiento actual de los mismos. Se realizó la homogenización de las muestras utilizando la técnica de cono y cuarteo hasta obtener muestras de aproximadamente de 1 a 2 kg. A cada lote de muestra se les efectuó el método de tamizado según la Norma COVENIN 2232-85. Esta técnica consistió en colocar de mayor a menor abertura, una serie de tamices de la serie Tyler para clasificar los agregados gruesos. Se colocó la muestra en el tamiz superior de mayor luz de malla y mediante agitación mecánica se separó la muestra en los diferentes tamices.

Posteriormente, se pesaron las fracciones retenidas en cada tamiz mediante una balanza electrónica calibrada marca ACS Scale, y se obtuvieron las fracciones máscas para cada rango de tamaños. Se digitalizaron los datos obtenidos por medio de una hoja de cálculo y se efectuaron las gráficas mediante el Software libre Grapher 11®; para ello se utilizó el formato de gráfica “log-normal” por tener en su eje vertical la escala que representa el porcentaje en peso de retenido o pasante de los tamices usados y en su eje horizontal, la escala logarítmica que representa la abertura de los tamices.

En cuanto, al análisis de distribución de tamaño del material con grandes dimensiones como es el caso del material que alimenta la planta, se tomaron fotografías de la pila, sobre la cual se eligió aleatoriamente unas zonas equivalentes al 15% de la superficie total (Contreras et al (2010)). Para el caso del material proveniente de la descarga de la trituración primaria se tomaron fotografías a diferentes segmentos de la banda transportadora. En ambos casos se colocó un objeto esférico (balón) como escala referencial, a fin de medir los tamaños de los diferentes bloques. Una vez que se han tomados las fotografías referenciadas desde diferentes perspectivas en un mismo punto de la voladura o cinta transportadora (esto con la finalidad de obtener diferentes visuales de la misma distribución y posteriormente en oficina seleccionar la que mejor representara la

distribución en la zona), se usan tres programas computacionales: el primero en su versión de prueba Photoshop de escritorio, para una edición fotográfica previa al uso del segundo programa llamado Imagen J, que se utilizó como herramienta en la medición de tamaño de los bloques. Se introduce la fotografía con la escala y arroja una distribución de la imagen. De allí obtenemos los datos en formato “de hoja de cálculo” para efectuar la curva de distribución de tamaño deseada. Estos datos son cargados en un tercer programa llamado Grapher 11®, que mediante la base de datos obtenida del análisis fotográfico permite diseñar la gráfica que representa el comportamiento granulométrico del material.

Determinar la razón de reducción de cada equipo

Para determinar la razón de reducción de cada equipo de fragmentación que integra a la planta, es necesario conocer la distribución de granulométrica del material de alimentación y descarga, por ende, una vez determinada la distribución de tamaño de cada equipo, se analizó su F_{80} (tamaño de partícula del 80% del material de alimentación) y su P_{80} (tamaño de partícula del 80% del material del producto) en la curva granulométrica que será presentada de acuerdo a la Figura N°34. Posteriormente con el resultado obtenido se comparó utilizando la tabla tal de reducciones teóricas para los equipos de trituración mostrado en el punto tal del capítulo anterior, a través de esto se evaluó la eficiencia del proceso de reducción de tamaño de los equipos.

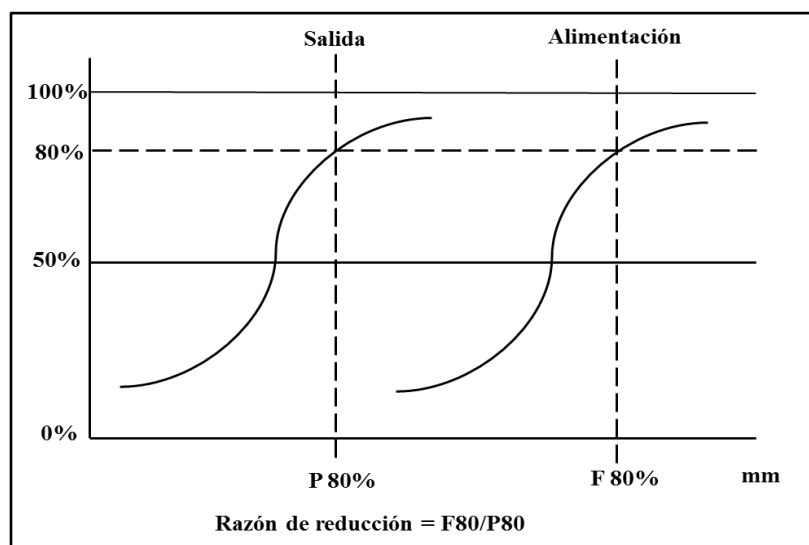


Figura 34. modelo de curva granulométrica para la Razón de reducción

En lo que respecta a la eficiencia del cribado, es necesario el desarrollo de las curvas granulométricas de la alimentación y de la descarga de los equipos de clasificación

considerando los parámetros de la Ecuación N°5 de la sección 3.7, la cual permite determinar la eficiencia de las cribas.

Fase III. Análisis del material proveniente del frente mina

Toma de muestra en el frente de mina

La recolección de muestras se llevó a cabo a través de lo estipulado en la Norma COVENIN 270-1998, La cual establece: “las muestras se extraen de modo que representen los diferentes materiales que a simple vista aparecen como utilizables”. En este sentido, la toma de muestra en el frente de mina, contempló varias visitas en el área de explotación, con la finalidad de obtener muestras representativas del material extraído por medio de voladura y que a su vez presentaran el tamaño adecuado para extraer muestras cúbicas para el análisis de laboratorio.

Ensayos de laboratorio.

Con el propósito de realizar la caracterización mecánica del material proveniente del frente de mina, se realizaron ensayos de laboratorio (ensayo de compresión uniaxial para calcular la resistencia a la compresión simple y ensayo de tracción indirecta para calcular la resistencia a la tracción del material), así mismo se efectuó el análisis de resistencia máxima a la degradación que pueden presentar los agregados gruesos por abrasión e impacto en la Máquina de Los ángeles, se determinó el cociente entre la dimensión máxima y mínima de estos (porcentaje de partículas planas y alargadas), y la densidad que presenta el material. Los ensayos de laboratorio fueron divididos en dos grupos: los ensayos mecánicos que abarcan el estudio de la resistencia a la compresión simple y la tracción de las muestras recolectadas en campo, y los ensayos físicos que comprenden el estudio de la resistencia a la degradación del agregado grueso obtenido en las sitios de acopio de la planta, el porcentaje de caras largas y planas que presentan estos y el estudio de la densidad, por lo que en cada grupo se realizó la preparación de las muestras de acuerdo a lo establecido en las normas correspondientes para la realización de cada ensayo.

Ensayos mecánicos.

Una vez tomado los segmentos de roca con las dimensiones necesarias para efectuar los ensayos mecánicos, fueron trasladadas al Laboratorio de Mecánica de Rocas “Miguel Castillejo”, con el fin de efectuar su preparación para su posterior clasificación y estudio

geomecánico. Las etapas que se siguieron para la preparación de las muestras son las siguientes:

La preparación de las muestras consistió en un conjunto de operaciones que se realizaron para llevar la muestra de su forma original a una forma o estado apropiado para los estudios y/o análisis, a los cuales fueron sometidas. Para los ensayos de compresión simple se realizó el corte a 7 muestras extraídas del frente de mina, las cuales se cortaron de forma cúbica con dimensiones de 7x7x7 cm a través de la máquina de disco de corte (Ver Figura N°35.a), según lo establecido en la norma UNE 22-185 y la norma COVENIN 1465-79. Para las muestras sometidas al ensayo de tracción indirecta se procedió según lo señalado en la norma ASTM D5731-08, en donde se indica que el espesor deberá ser la mitad del diámetro de la misma para las tres muestras ensayadas. La muestra fue extraída mediante la máquina de extracción de núcleo como la mostrada en la Figura N°35. b.





**Figura 35. a) Máquina de disco de corte y b) Máquina de extracción de núcleo.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Rocas, U.C.V.**

Después de efectuada la reducción de longitud y tamaño de las muestras, se procedió a rotular las caras de las mismas, con el fin de llevar un control del número de ensayos a realizar, estas se comenzaron a numerar a partir de la última muestra que haya entrado al

Laboratorio de Mecánica de Rocas “Miguel Castillejo” de la Facultad de Ingeniería, como se muestra en la Tabla N°14.

Tabla 14. Rotulado de muestra

Muestra	Nombre de Ensayo	Ejemplo
2653-1 BRA	Tracción indirecta- Brasilero	
2653-2 BRA		
2653-3 BRA		
2653-1 UCS	Compresión simple	
2653-2 UCS		
2653-3 UCS		
2653-4 UCS		
2653-5 UCS		
2653-6 UCS		
2653-7 UCS		

Posteriormente, se efectuó la reparación de las muestras para aquellas que pudieran fragmentarse en los extremos de las caras por causa de la meteorización, a través de una mezcla de acero al frío (Epoxy) para rellenar cualquier grieta producida. Si la muestra es reparada hay que esperar mínimo un día para volver a manipularla.

Una vez identificadas las muestras que serían sometidas al ensayo uniaxial, se procedió a separarlas en dos grupos, uno donde la estratificación fuera paralela a la dirección de la carga (muestras 2653-1, 2653-2, 2653-3, 2653-4) y otro donde sea perpendicular a esta (muestras 2653-5, 2653-6, 2653-7), para luego pulir las caras que estarían en contacto con el pistón de la máquina, garantizando de esta forma la perpendicularidad de las caras y una superficie totalmente libre de rugosidades e irregularidades de tal manera que se garantice una distribución de esfuerzos uniforme. Esta pulitura es realizada con una pulidora GCTS RSG-200 (Ver Figura N°36) 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.

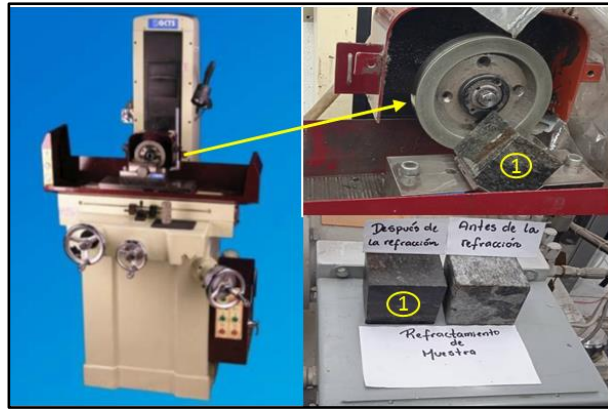


Figura 36. Pulidora GCTS RSG-200 (GCTS, 2015). (Modificado de Rico 2015)

Finalmente, se pesaron y se midieron las alturas y los diámetros de todas las muestras para ejecutar cada ensayo. Todos estos datos se registraron en la libreta de campo, ya que en la etapa de ensayo fueron requeridos para ser introducidos en la máquina GCTS RDS-500 (Ver Figura N°37). Una vez extraídos los datos del procesador de esta, fueron importados en formato “txt” para ser convertidos y leídos en formato “libro de Excel” a través del programa Office Excel. Las gráficas generadas en cada tipo de ensayo se realizaron por medio del programa Grapher 11®, mientras que los reportes se construyeron con Office Word.



Figura 37. Equipo GCTS RDS-500 (GCTS, 2015). (Rico. 2015)

Ensayos físicos

Las muestras utilizadas para ser ensayada por el método de Los Ángeles, y para determinar la dimensión máxima y mínima de los agregados, se recolectó en los lugares de acopio del material procesado por la planta. Se tomaron dos sacos de 30kg aproximadamente de acuerdo al procedimiento señalado en la norma COVENIN 270-1998 en su apartado 4.2.3 para montones y pilas, y posteriormente fueron trasladados al Laboratorio de Mecánica de Rocas “Miguel Castillejo”, para su análisis.

- Resistencia a la degradación (ensayo de los ángeles).

Para preparar la muestra se realizó lo siguiente: se efectuó el pesado de la muestra en una balanza de medida máxima de 30 kg y apreciación de 5g, para obtener su peso total. Se realizó el roleo con el propósito de “mezclar” las partículas. Luego se aplicó el método manual, cono y cuarteo, indicado en la norma COVENIN 270, el cual consiste en formar una pila o cono del agregado, con el propósito de extenderlo y darle base circular hasta lograr un espesor uniforme. Una vez logrado este espesor, se dividió diametralmente la muestra en cuatro partes iguales. Se tomaron dos fracciones opuestas para ser mezcladas y repetir la operación hasta obtener el volumen de muestra deseado para el ensayo (5000 ± 10 g), las dos partes restantes se descartaron y se colocaron en el saco nuevamente. A manera de mostrar el procedimiento para realizar el cuarteo manual se presenta la Figura N°38.

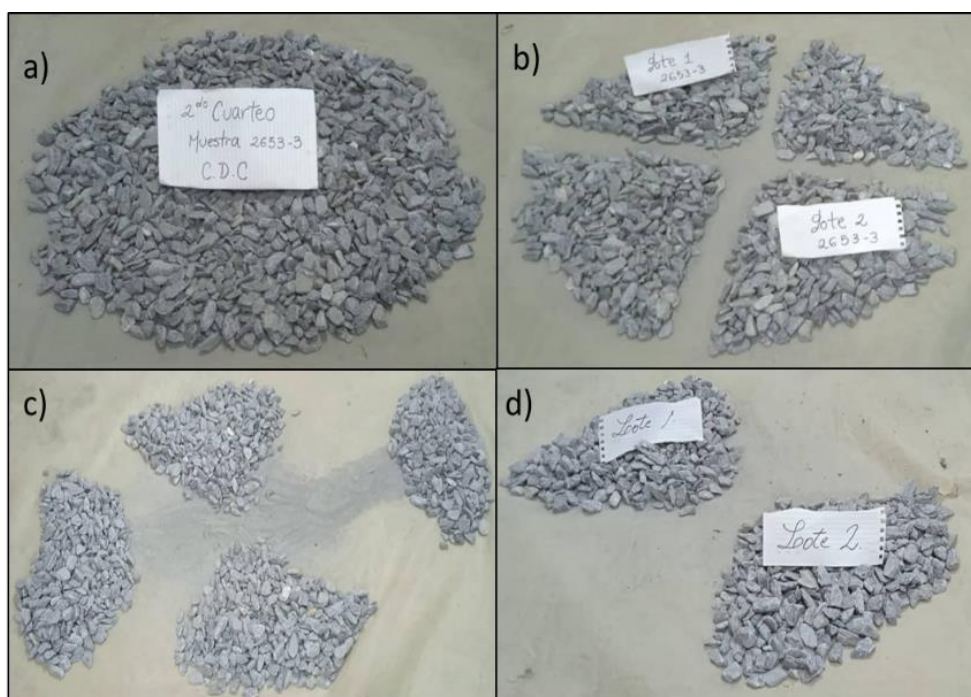


Figura 38. Cuarteo manual de la muestra.

Una vez realizado lo anterior, se efectuó el ensayo de Los Ángeles siguiendo las especificaciones que se encuentran en la norma COVENIN 266-1977, para lo cual se hizo el tamizado del material con la finalidad de obtener la curva granulométrica general del agregado y así conocer la gradación de la muestra. Luego se procedió al secado de las mismas, distribuyéndolas en bandejas de aluminio (evitando pérdidas de material) y se colocaron dentro de un horno a una temperatura aproximada de 105° o 110° , en el cual

permanecieron por un período de 24 horas. Se retiraron las muestras del horno y se colocaron sobre una mesa de concreto en un área ventilada para que se enfriaran y poder ser manipuladas posteriormente.

El procedimiento se realizó para 5000 ± 10 g (*Peso Inicial*) de la muestra, y se colocó dentro de un tambor cilíndrico de acero “Maquina de los Ángeles” (Ver Figura N°39) en conjunto con 11 cargas abrasivas (esferas), que se hicieron girar a 500 rpm para generar el efecto de impacto y abrasión que produce la trituration de los agregados.



Figura 39. Máquina de los Ángeles. Fuente: Laboratorio de Mecánica de Rocas, U.C.V.

El número de esferas es proporcionado por la gradación mostrada en la Tabla N°15 que, de acuerdo al tamaño de los agregados fue del tipo “B” para el desarrollo de este ensayo el cual representó las condiciones expuestas en la normativa mencionada. Después del número prescrito de revoluciones, el contenido es vaciado en una bandeja posicionada en la parte inferior de la máquina, con el fin de remover la porción de material desgastado o fino y ser pasada por un tamiz N°12, para reportar la masa del retenido como “*Peso Final*”. La resistencia a la degradación viene dada por la pérdida en porcentaje de material, la cuál es calculada de acuerdo a la Ecuación N°4 presentada en el apartado 3.2.1 del Capítulo III.

**Tabla 15. Requerimientos para Ensayo Los Ángeles.
Norma COVENIN 266-1977**

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

- Método de ensayo determinar el porcentaje de caras largas y planas en los agregados gruesos

Para determinar el porcentaje de caras largas y planas de las partículas de agregados, se siguió la metodología descrita en la norma COVENIN 264-77. Las mediciones se realizaron a un lote de muestra extraído de la pila de almacenamiento de material de la planta II, las dimensiones máximas y mínimas de los agregados se determinaron a través de un calibrador o pie de rey ($d=\pm 0,05$). El objetivo fue conocer el porcentaje de partícula cuya relación entre dimensión máxima y mínima sea mayor a 5. El tamaño de la muestra a ensayar, fue reducida por el método de cono y cuarteo, hasta lograr muestras representativas con un contenido aproximado de unas 50 partículas como lo indica la norma.

- Método de ensayo para determinar la densidad de los agregados gruesos.

Para la realización de este ensayo se tomaron tres muestras de agregado grueso, las cuales fueron pesadas en condiciones ambientales a través de la balanza Scout Pro SP6001 de capacidad 6 kg con ($\pm 0,1$ g) de precisión para obtener su masa en húmedo, seguidamente se secaron en un horno a una temperatura de 110°C durante al menos 24 horas, con la finalidad de eliminar la humedad que pudieran presentar, una vez sacadas del horno se pesaron nuevamente con el objetivo de estimar su masa en condiciones secas. Se sumergieron en agua durante 24 h aproximadamente en un vaso de precipitado de 1000 ml para saturar los poros. Luego se removió el agua y se secó las superficies de cada partícula con el fin de determinar la masa saturada. Después se hizo el recubrimiento de las muestras con una capa de material aislante (Parafina) de densidad 0,88 g/cm³ y se dejaron secar al aire libre por treinta (30) minutos. Se determinó su peso con este recubrimiento y se sumergieron dentro del vaso de precipitado con agua dejándolas suspendidas a temperatura

ambiente y de esta manera se obtuvo la masa con agua y parafina de cada muestra (Ver Figura N°40).

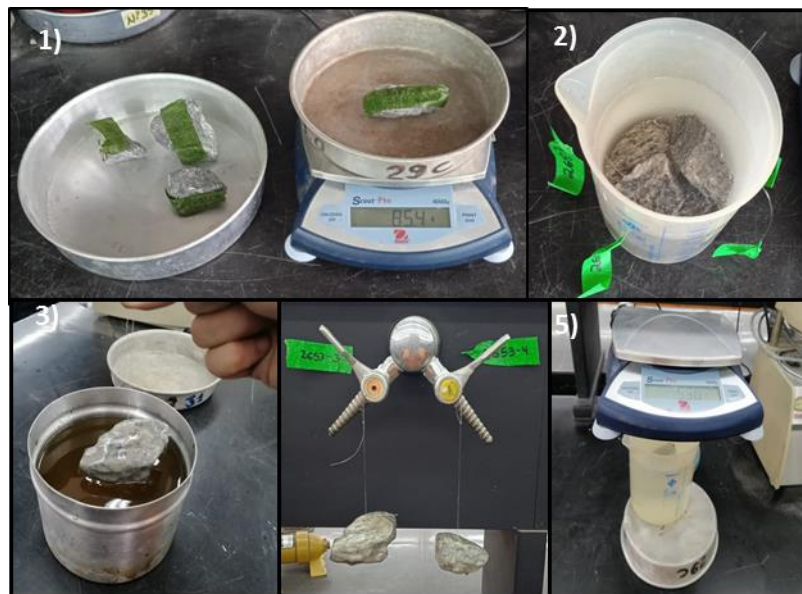


Figura 40. Método de ensayo para determinar la densidad de los agregados gruesos

Finalmente se calcula el Peso específico (Densidad) de la muestra de ensayo, utilizando la Expresión N°5. Este procedimiento fue sustentado a través de lo descrito en la norma COVENIN 269:1998, ASTM C-127 y según el Trabajo de Ascenso del Ing. Pietro De Marco.

- Ensayo de fragmentación

Con la finalidad de realizar un análisis morfológico al material proveniente del frente de mina, se efectuó la trituration a tres muestras de roca en el Laboratorio de Beneficio de Mineral ubicado en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales. Cada muestra fue pesada y colocada en la boca de admisión de la trituradora de mandíbula de la marca Denver Co que tiene una boca de admisión de 26 x 19 cm y un setting cerrado de 8 cm para ser fragmentadas (Ver Figura N°41). Luego del procesamiento de las rocas en la etapa primaria, se dividieron en grupos los fragmentos generados para tomar las dimensiones de su ancho y largo, con el fin de ser clasificadas morfológicamente en las tablas de categoría de forma de Zigg y Powers. Posteriormente estos fragmentos se introdujeron en una segunda trituradora de mandíbula con boca de admisión de 12 x 9 cm la cual tiene un setting cerrado de 1,5 cm, para simular una segunda etapa de reducción de

tamaño del material con el objeto de visualizar y evaluar si existía una variación con respecto a su comportamiento morfológico descrito en la primera etapa de trituración.



**Figura 41. Trituradora de mandíbula de la marca Denver Co. F.
Laboratorio de Beneficio de Mineral**

Análisis de los resultados de laboratorio.

En esta etapa se llevó a cabo la interpretación y procesamiento de los resultados arrojados por los distintos ensayos, los cuales fueron analizados para caracterizar geomecánicamente el material con el que se alimenta la planta II, de tal forma que se brinde información sobre su calidad. Para los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos (ensayo de compresión uniaxial y tracción indirecta) se utilizó el criterio de clasificación de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM (1981)), el cual clasifica la roca desde muy blanda a extremadamente dura. Posteriormente se utilizó el criterio de falla de Hoek - Brown, haciendo uso de los resultados de Resistencia a la compresión y a la tracción obtenidos y se construyó la envolvente de falla a través del software Rock Data con el propósito de estimar los parámetros de resistencia del macizo rocoso. Para el ensayo de los Ángeles se utilizó el coeficiente de calidad de la roca propuesto por Bustillos & López (1997). La forma en que son presentados los resultados, es mediante tablas descriptivas y gráficos.

Fase IV. Balance de Masa del circuito de la planta II

Estimar la alimentación promedio de la planta

Para conocer la alimentación promedio de la planta, se evaluó durante un periodo de tiempo determinado el flujo de material que ingresa a esta, tomando como referencia la capacidad volumétrica de los camiones encargados del acarreo interno, es decir, conociendo el volumen aproximado que pueden transportar los camiones y la cantidad de viajes que realizan, se puede estimar el volumen de material procesado en una jornada de trabajo. Los datos recopilados se presentan en tablas descriptivas; cuya finalidad es mostrar los elementos principales los cuales son: días considerados para este estudio, el volumen de alimentación y el promedio estimado.

Desarrollar el balance de masa de la planta

Para desarrollar el balance de masa de la planta se consideró la metodología descrita en el estudio realizado por Valencia en el año 2013, el cual indica que se debe conocer la alimentación promedio de la planta a fin de determinar la cantidad de material que será procesado. Considera que detallar el diagrama que contendrá los equipos y sus dimensiones, es el primer paso, ya que este permitirá identificar la dirección de los flujos y la relación que existe entre cada uno de ellos. Como segundo paso, se debe diseñar un diagrama donde se indique los puntos del proceso en los que se van a realizar las mediciones. Señala que se deben tomar muestras en cada una de las etapas del proceso con el propósito de determinar la granulometría del circuito de trituración y por último, estimar la carga circulante del sistema mediante el flujo de material que retorna a los equipos de fragmentación y clasificación formando un circuito cerrado.

Tomando en cuenta lo anterior, y de acuerdo a los parámetros operativos establecidos para los equipos que componen la planta, se elaboró el balance de masa a través del software de modelación y simulación de procesamiento de planta (METSIM).

Calcular la masa circulante en los circuitos

Establecido el diagrama de flujo de la planta con todos los datos técnicos de los equipos, el sentido y la dirección del material en cada una de las etapas del proceso, se determinó la cantidad de material en la entrada y salida de los equipos de fragmentación y clasificación, para así conocer la cantidad de material circulante dentro del sistema, para ello se tomó en cuenta la configuración de los cedazos que componen a los equipos de clasificación, ya

que permiten clasificar el material formando un pasante y un retenido. El material cuyo tamaño es menor a las aberturas de las mallas se le conoce como pasante, en caso contrario se le considera como material retenido. Este último, por no cumplir con los tamaños requeridos realiza un circuito de ida y de retorno entre el clasificador y el fragmentador, generando un circuito cerrado en donde se produce una carga circulante entre ambos equipos.

Evaluar puntos críticos del sistema

La forma en la que fueron evaluados los puntos críticos en la planta de trituración, fue a través de las definiciones expuestas por Yong et al (2015), los cuales identifican los puntos críticos como cuellos de botella y lo clasifican según su origen:

- ✓ Aquellos puntos de congestión que ocurren en el proceso del producto
- ✓ Aquel recurso cuya capacidad es menor que las demandas exigidas
- ✓ Aquel proceso que limita el rendimiento del sistema
- ✓ Aquella instalación, maquina, operador o conjunto de procesos que limita la operación.

Considerando las definiciones anteriores, el balance de masa de la planta, las características obtenidas en las distribuciones granulométricas, y la eficiencia de los equipos de fragmentación y clasificación, se obtuvieron los puntos críticos que afectan la producción de la misma, los cuales se presentan en forma de círculos en el diagrama de flujo de la planta, con el fin de mostrar de forma resumida y esquemática la información.

Fase V. Propuesta de adecuación de la planta

Determinar la demanda de los agregados

A partir de los datos suministrado por la empresa relacionados con las salidas de material durante los meses enero-agosto del presente año, se procedió a evaluar los agregados con mayor y menor demanda.

Considerando los registros de la empresa, se tiene el siguiente formato para estructurar la salida del material, teniendo en cuenta los meses, el tipo de agregado, cantidad en metros cúbicos y respectivos totales, para finalmente identificar el tipo de agregado con mayor demanda. (Ver Tabla N°16).

Tabla 16. Demanda mensual de los agregados producidos en Planta II

Meses	Piedra 3/4" (m ³)	Arrocillo (m ³)	Polvillo (m ³)
Enero-2022			
Febrero-2022			
Marzo-2022			
Abril-2022			
Mayo-2022			
Junio-2022			
Julio-2022			
Agosto-2022			
Total	0	0	0

Comparar la demanda con la producción actual de la planta

Una vez analizado los datos de la demanda, se prosiguió a estudiar la producción en el mismo periodo para realizar su respectiva comparación (Producción Vs Demanda), y así conocer el agregado con mayor demanda comercial en relación a la producción, de esta manera identificar y evaluar los parámetros necesarios para proponer las adecuaciones de la planta y aumentar la producción de dicho agregado.

Para analizar la comparación entre producción y demanda, se realizará un gráfico de barras donde se pueda evidenciar los porcentajes de material producidos y demandado durante un periodo de tiempo.

Adecuación de la planta

Teniendo en cuenta lo expuesto en las fases descritas, y considerando la caracterización del material de alimentación, equipos de la planta, comparación de la producción e identificación de agregado con mayor demanda, se inició a evaluar los parámetros necesarios para adecuar Planta II y así lograr un aumento de producción del agregado más demandado, entre los parámetros a considerar resaltan: apertura óptima tanto de salida como entrada de los equipos de trituración, análisis granulométrico de cada equipo, eficiencia del proceso, configuración de los equipos que componen la planta, entre otros. De esta manera optimizar el proceso productivo de Planta II, en función del agregado más demandado.

CAPÍTULO V.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos y el análisis de los mismos, donde se muestran las bases teóricas y prácticas que fueron necesarias para dar cumplimiento a cada una de las actividades planteadas por objetivo.

5.1 Fase I. Evaluación de las condiciones de los equipos de Planta II

Inspección técnica a la planta

Durante las inspecciones realizadas se constató la cantidad de equipos con los que cuenta la Planta de Trituración II de Cantera del Distrito Capital S.A para efectuar sus operaciones de reducción de tamaño, clasificación y transporte del material, de los cuales 1 (uno) cumple con la función de alimentar el circuito, 4 (cuatro) permiten la trituración, 4 (cuatro) la clasificación por tamaño, y 9 (nueve) son de transporte.

De la revisión de los manuales técnicos de cada equipo y de las inspecciones efectuadas se obtuvieron las características industriales y los parámetros operativos que estos presentan. La información arrojada es necesaria para desarrollar el diagrama de flujo de la planta, ya que se destaca el nombre del equipo, la marca y el modelo, el equipo que alimenta y las dimensiones de entrada y salida. A continuación, se muestran las fichas técnicas de 3 (tres) equipos seleccionados, en donde se aprecia las principales observaciones obtenidas durante el estudio. La totalidad de la información recabada de esta actividad se presentan en el apartado de anexos. Es importante mencionar que la elaboración de estas fichas permite tener un inventario detallado de las piezas deterioradas de los equipos, y si estas piezas se pueden cambiar a reparar, a su vez describen la condición de cada elemento principal, se detalla la existencia de partes desgastada y/o si los componentes poseen fugas de aceites.

- Triturador Primario:

En Figura N°42, se muestran los parámetros operativos del triturador primario, el cual es una trituradora de mandíbula de la marca Loro & Paresini, modelo Maggut 1250CR, que tiene una potencia de 200 Hp y presenta una capacidad instalada según el fabricante de 185 a 200 m³/h. La dimensión de la boca de admisión es de 1,27 x 1,07 m² y cuenta con calibre de salida de 1,07 x 0,19 m² y abierto 1,07 x 1,21 m². El equipo contempla dos tipos de forros, en la mandíbula fija se encuentra un forro del tipo liso que esta fracturado en la zona

inferior mientras que en la mandíbula móvil posee un forro del tipo ondulado. Ambos forros presentan desgaste que se hacen evidentes desde la zona central hasta la parte inferior de las superficies.

Ficha Técnica Trituradora de Mandíbula		
	Especificaciones	
	Marca	Loro&Parisini
	Modelo	Maggut 1250CR
	Serial	8425
	Potencia	250 Hp
	RPM	885
	Capacidad instalada (m ³ /h)	185-280
	Tipo de Forro	Ondulado-Liso
	Dimensión de la boca de entrada (m)	1,27x1,07
	Dimensión de la boca en Sc (m)	1,07 x 0,19
Dimensión de la boca de Sa (m)	1,07 x 0,21	
Observaciones: -La trituradora presenta dos tipos de forros, en la mandíbula fija se encuentra un forro del tipo liso y en la mandíbula móvil uno de forma ondulado. -El forro de la mandíbula fija, se encuentra fracturado en la zona inferior, y presenta desgaste en toda la superficie, mientras que el forro de la mandíbula móvil, presenta desgastes en la zona central e inferior, sin embargo, ambos se mantienen en funcionamiento. -El sistema hidráulico, está en buen estado, no presenta fugas de aceites. -El sistema eléctrico está operativo, no le falta protección. -El Clasificador de barrote que se encuentra antes de la trituradora de mandibula, se encuentra cubierto por completo de material fino, lo que genera que el ripio continúe en el circuito de trituracion. En la parte inferior presenta huecos. -En la parte suprayacente a la mandíbula, se encuentra un puente grúa, que está operativo, sin embargo, el motor no se encuentra techado por lo que está expuesto a lluvias, lo cual ocasiona desgaste, fallas futuras en el funcionamiento debido a la corrosión		

Figura 42. Ficha Técnica de la Trituradora de Mandíbula

- Triturador Secundario:

En la Figura N°43, se aprecia las características técnicas de la trituradora de cono 09, la cual realiza la segunda etapa de trituración en las operaciones de reducción de tamaño de la planta. Cuenta con una capacidad instalada de 175 a 215 m³/h, es de la marca Loro & Prisini, modelo 18-50 Allis Chalmers y tiene una potencia de 257 Hp. La dimensión de la boca de admisión es de 25,4 cm y la separación de los forros en salida cerrada es de 4,7 cm (2"). Los mantos se encuentran desgastados afectando la eficiencia de trituración y el sistema de aceite presenta fugas. La estructura de la trituradora se encuentra en buen estado

Ficha Técnica Trituradora de Cono 09		
	Especificaciones	
	Marca	Loro&Parisini
	Modelo	18-50 Allis Chalmers
	Potencia	257 Hp
	RPM	800
	Capacidad instalada (m ³ /h)	175-215
	Dimesion de la boca de alimentación (cm)	25,4
	Separación de los forros en Sc (cm)	4,7
Observaciones: -La bomba de aceite presenta fugas -Los mantos se encuentran desgastados afectando la eficiencia de trituración -La zona de alimentación presenta poco desgaste -Se le hizo cambio de la bocina excéntrica, del socket de cobre y del protector de polvo -El sistema de enfriamiento funciona correctamente -El sistema eléctrico se encuentra protegido -La estructura del cono se encuentra en buen estado -El plato de distribución del material se encuentra en buen estado. No presenta ondulaciones -El sistema del eje principal está en buen estado		

Figura 43. Técnica Trituradora de Cono 09.

- Equipo de Clasificación:

El equipo mostrado en la Figura N°42, es una criba de la marca Loro & Parisini modelo Vanglio V516 de dos pisos de clasificación, con movimiento del tipo circular donde el manto superior tiene una abertura de malla 1 ¾” y el inferior de ½”. Dispone de una capacidad instalada de 60-300 m³/h. Sus dimensiones son, 5 metros de lardo por 1,8 metros de ancho. Los mantos de las mallas se mantienen en buen estado. Sin embargo, el cedazo superior presenta un panel solido de hierro de 1,8 x 1,8 m², que reduce la zona de clasificación. La criba presenta mucha corrosión en su estructura.

Ficha Técnica Criba 08		
	Especificaciones	
	Marca	Loro&Parisini
	Modelo	Vaglio V 516
	Serial	92156242
	Potencia	20 Hp
	Capacidad instalada (m ³ /h)	60-300
	Inclinación	20,5°
	Diámetro polea de la criba (cm)	45
	Diámetro polea del motor (cm)	25
	Tipo de movimiento	Circular
	Dimensiones de la mallas	
	Ancho (m)	1,8
	Largo (m)	5
	Nº de mallas	2
	Forma de la abertura de malla	Cuadrada
	Apertura de las mallas	
	Superior	1 ¾"
	Inferior	1/2"
	Tipo de alambre	Doble ondulación
	Observaciones:	
	-Presenta un alto porcentaje de corrosión en toda su estructura	
	-Radamientos y engrase en buen estado	
-Motor se encuentra operativo		
-Protección del sistema eléctrico en mal estado		
-Presenta polea de tres pistas donde todas las correas se encuentra operativas		
-Los mantos de mallas se mantienen en buen estado. Sin embargo, el cedazo superior presenta un panel sólido de hierro de 1,8 x 1,8 m ² , que reduce la zona de clasificación.		
-La polea de la criba mide 47cm y la del motor 23 cm		

Figura 44. Ficha Técnica de la Criba 08

Condiciones Actuales de funcionamiento

Con la finalidad de mostrar las condiciones actuales de todos los equipos que componen la planta de trituración, se presenta en la Tabla N°17 los principales parámetros de operatividad de los equipos, las observaciones realizadas respecto a los datos tomados en campo y el resultado obtenido del índice de funcionamiento, luego de sumar los valores arrojados por la evaluación de los parámetros: mecánica general, desgaste en piezas, botes de lubricante, piezas faltantes y estado físico de estos.

Tabla 17. Evaluación de las condiciones actuales de los equipos que integran la plata de trituración II

Equipo	Parámetros de Operación	Observaciones más importante	Índice de Funcionalidad
Tolva de Alimentación	Capacidad de tolva (m ³): 97,11	*Degaste en la zona inferior de todas las caras.	75
	Capacidad Eficiente (m ³): 48,55		
Alimentador de lamina	Velocidad máxima (m/h): 7,6	*Degaste y corrosión en múltiple parte que compone el equipo. *Perdida de Lubricante. *Falta tensión a la cadena motriz.	74
	Capacidad máxima (m ³ /h): 275		
Trituradora de Mandíbula	Capacidad (m ³ /h): 200	*Degaste en los forros de las mandíbulas fijas y móviles.	67
	Potencia (250 Hp)		
	Admisión (m): 1,27*1,07		
Cono 18	Capacidad (m ³ /h): 200	*Desgaste en los mantos. *Fuga de aceite.	69
	Potencia (257 Hp)		
	Dimensión de la boca de alimentación (cm) 12,7		
Cono 9	Capacidad (m ³ /h): 215	*La bomba de aceite presenta fugas. *Los mantos se encuentran desgastados y la zona de alimentación presenta poco desgaste.	71
	Potencia (257 Hp)		
	Dimensión de la boca de alimentación (cm) 25,4		
Cono 4 pies	Capacidad (m ³ /h): 200	*La bomba de aceite presenta fugas. *No está operativo por falla en la corona, piñón y contra eje. *El plato de distribución del material presenta desgaste y ondulaciones. *Zona de alimentación esta desgastada y con huecos visibles producto del roce del material y la corrosión.	24
	Potencia (150 Hp)		
	Dimensión de la boca de alimentación (cm) 7,62		
Criba 20B	Capacidad Max. (m ³ /h): 300	*Mallas presentan poco desgaste. *Presenta desgaste en el rodamiento.	93
	Potencia (15 hp)		
	Nº de Mallas 2; 1/2 " y 5/16"		
Criba 20A	Capacidad Max. (m ³ /h): 300	*Mallas presentan desgaste prominente, La malla superior presenta reparaciones. *Lamina inferior de la criba posee orificios por la corrosión.	73
	Potencia (18 hp)		
	Nº de Mallas 2; 1/2 " y 5/16"		

Tabla 17. Evaluación de las condiciones actuales de los equipos que integran la plata de trituración II

Equipo	Parámetros de Operación	Observaciones más importante	Índice de Funcionalidad
Criba 15	Capacidad Max. (m ³ /h): 300	*Descargas está muy erosionadas y corroídas. *Presenta reparaciones y remiendos en la malla superior (parches y 5/16") *Desgaste en el rodamiento.	74
	Potencia (30 hp)		
	Nº de Mallas 2: 1 ½" empate de 2; 1/2" y 5/16"		
Criba 8	Capacidad Max. (m ³ /h): 300	*Presenta mucha corrosión en toda su estructura. *Protección del sistema eléctrico en mal estado. *Cedazo superior presenta un panel sólido de hierro.	71
	Potencia (20 hp)		
	Nº de Mallas 2: 1 ¾" y 1/2"		
Banda 19	Velocidad de trabajo: 10,26 km/h	*En general los rodillos están desgastados. *La banda se encuentra desgastado en los bordes, posee reparaciones, y algunas uniones le falta grapas.	65
	Inclinación: 20,8 °		
	Largo (m): 34,2		
Banda 16	Velocidad de trabajo: 5,1 km/h	*Le faltan algunos rodillos *La banda se encuentra desgastado en los bordes, a la unión le falta grapas.	84
	Inclinación: 6,2 °		
	Largo (m): 53,8		
Banda 14	Velocidad de trabajo: 5,82 km/h	*Rodillos de carga de diferentes dimensiones, algunas estaciones le faltan rodillos, no tiene protección al sistema de eléctrico.	84
	Inclinación: 18 °		
	Largo (m): 58,2		
Banda 13	Velocidad de trabajo: 6,85 km/h	*Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones.	98
	Inclinación: 19 °		
	Largo (m): 51,34		
Banda 12	Velocidad de trabajo: 6,83 km/h	*Faltan cuatro (4) rodillos de carga. *Rodillos de impactos colocados en zona de cargar	90
	Inclinación: 19 °		
	Largo (m): 68,32		
Banda 11	Velocidad de trabajo: 5,79 km/h	*Rodillos de carga de diferentes dimensiones, rodillos faltantes. *La cinta transportadora muy desgastada.	66
	inclinación: 16 °		
	Largo (m): 43,4		
Banda 10	Velocidad de trabajo: 5,12 km/h	*Rodillos de carga de diferentes dimensiones, rodillos faltantes. *Desgaste en las piezas. *Chumaceras en mal estado. *Bordes de la cinta desgastados	49
	inclinación: 16 °		
	Largo (m): 58,3		

Tabla 17. Evaluación de las condiciones actuales de los equipos que integran la plata de trituración II

Equipo	Parámetros de Operación	Observaciones más importante	Índice de Funcionalidad
Banda 2	Velocidad de trabajo: 5,2 km/h	*Rodillos de carga de diferentes dimensiones, rodillos faltantes. *Chumaceras en mal estado. *Bordes de la cinta desgastados. *No dispone de la protección de los componentes eléctricos.	71
	inclinación: 7 °		
	Largo (m): 39,2		
Banda 1	Velocidad de trabajo: 5,29 km/h	*Rodillos de carga de diferentes dimensiones, rodillos faltantes. *No dispone de la protección de los componentes eléctricos.	73
	inclinación: 16 °		
	Largo (m): 42,6		

En base a la evaluación del índice de funcionalidad arrojado para cada equipo se obtuvo la gráfica mostrada en la Figura N°45, en la cual se puede apreciar que el 32 % corresponde a la cantidad de equipo que se encuentra en una excelente funcionalidad, el 58 % están en un estado operativo funcional, lo que nos indica que los equipos requieren de un mantenimiento correctivo, mientras que el 5 % está en mal funcionamiento debido a averías, piezas faltantes y desgaste en su estructura, el otro 5 % obtenido representa a los equipos que se encuentran inoperativo. Este último corresponde al cono 4ft que presenta falla en la corona, piñón y contra eje y es el encargado de la trituración cuaternaria del circuito. Cabe destacar que la inoperatividad de este equipo ocasiona la parada de las bandas 1 y 2 del sistema, trayendo como consecuencia que una parte de las operaciones de reducción de tamaño se encuentren inhabilitada del circuito y que además ocurra la saturación de la criba 15.

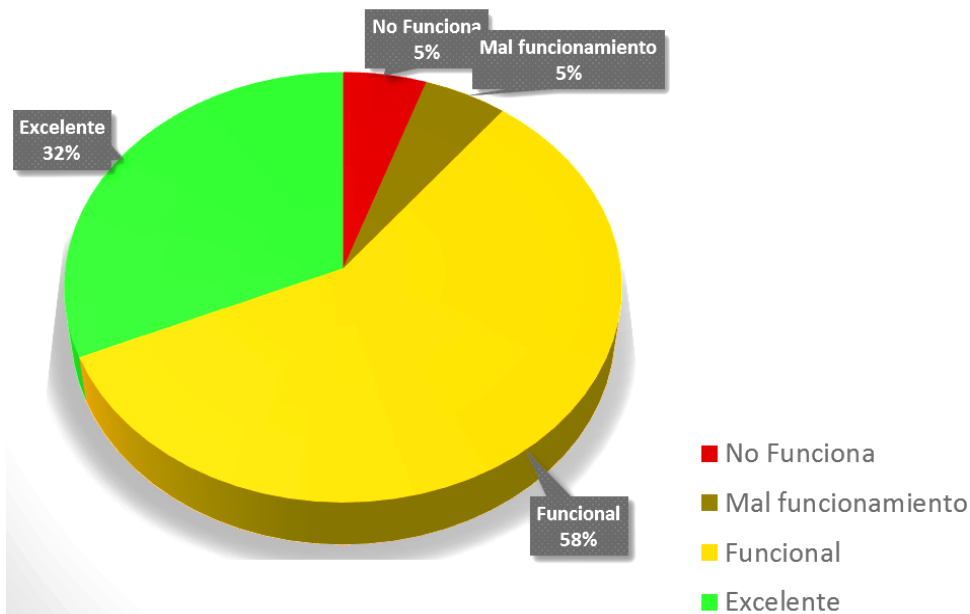


Figura 45. Condiciones actuales de funcionamiento de los equipos que integran la Planta de Trituración II

Diagrama del proceso de la planta

Partiendo de la información obtenida en los ítems anteriores, se realizó el diagrama de flujo a través del Software de modelación y simulación de procesamiento de planta Metsim en versión demo (Ver Figura N°46), donde se destacan cuatro etapas de trituración y tres de clasificación, las cuales generan la disminución de tamaño y clasificación del todo uno proveniente de la explotación de los frentes de Mina 2, y dan como resultado la producción de los productos comerciales, que se dividen de acuerdo a sus características granulométricas descritas en la Tabla N°18.

Tabla 18. Características comerciales de los productos de la Planta de Trituración II

Producto comercial	Tamaño
Piedra ¾" (Pi)	$1\frac{3}{8}'' < Pi > \frac{1}{2}''$
Arrocillo (A)	$\frac{1}{2}'' < A > \frac{5}{16}''$
Polvillo (Po)	$(Po) < \frac{5}{16}''$

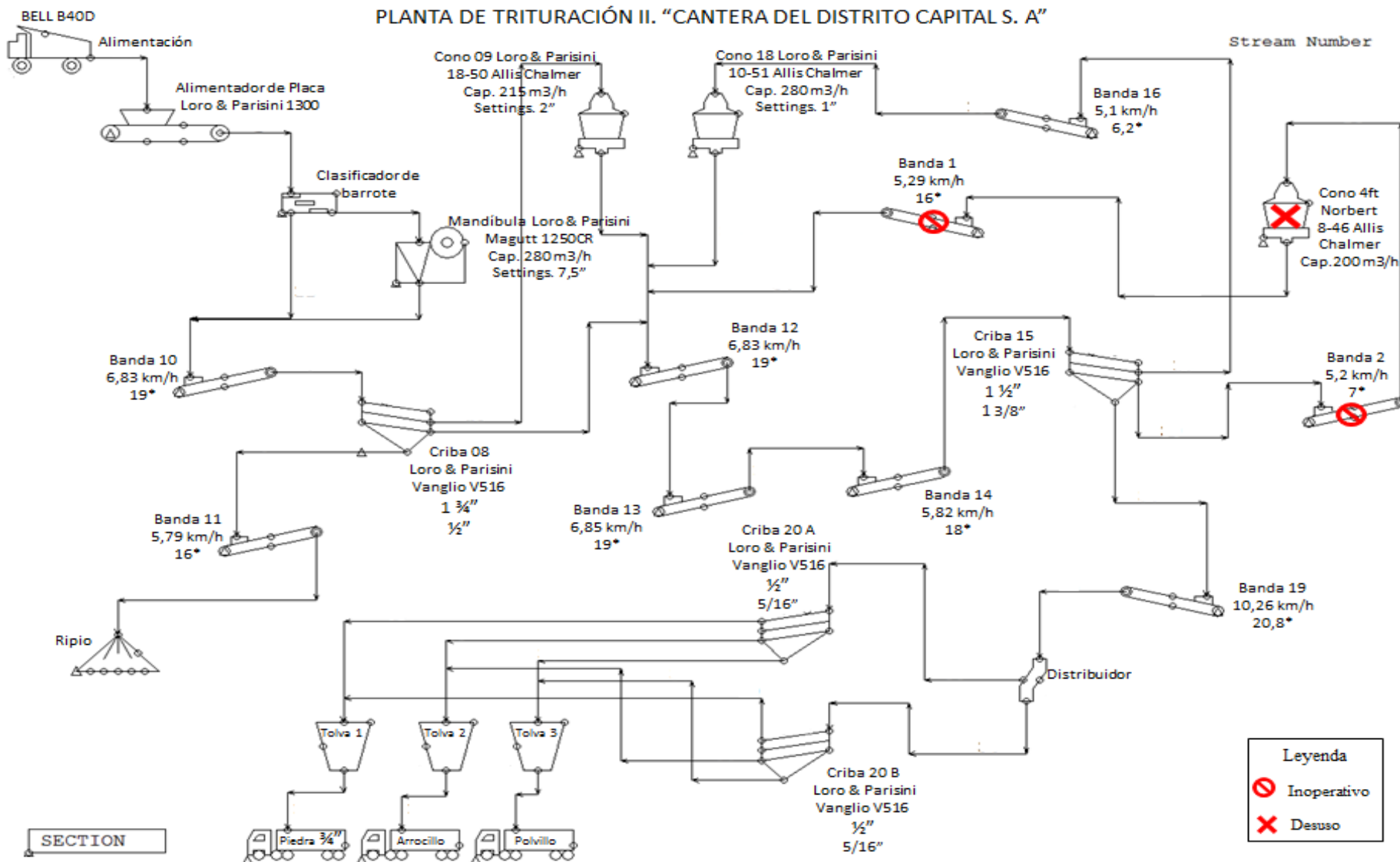


Figura 46. Diagrama general del proceso productivo de la planta de trituración

A continuación, se describen las etapas de reducción y clasificación de tamaño del diagrama de flujo de la Figura N°46:

- *Trituración Primaria*

El inicio de las operaciones de reducción de tamaño comienza con la descarga del camión roquero BELL B40D en la tolva de alimentación de 97,11 m³ de capacidad en donde el material es llevado a una trituradora de mandíbula Loro & Parisini Modelo Margutt 1250 (Ver Figura N°47) con abertura de alimentación de 1,27 x 1,07 m² y 0,19 m (7,5") de descarga, con la ayuda de un alimentador de placa Loro & Parisini de dimensión 5,30x1,35 m² donde el material es clasificado por un clasificador de barrotes que se encuentra antes de la boca de adición del triturador primario, el cual cumple con la función de separar el material fino del grueso. El producto de la trituradora cae a una banda transportadora llamada banda 10 que, en conjunto con el fino ya clasificado, pasan a la primera etapa de cribado, la cual es desempeñada por una criba vibratoria de dos paños (superior 1 ¾" e inferior ½") cuyo retenido del cedazo superior alimenta la segunda etapa de trituración y el retenido del paño inferior es enviado a través de la banda transportadora 12 a clasificación. El tamaño inferior a 1,25 cm, llamado por la empresa ripio, sale del circuito mediante la banda transportadora 11 para ser apilado directamente en patio.



Figura 47. Trituradora de mandíbula Loro & Parisini Modelo Margutt 1250 CR

- *Trituración Secundaria*

La trituración secundaria se realiza con una trituradora de cono marca Loro & Parisini modelo 18-50 Allis Chalmers que tiene una abertura de alimentación de 25,4 cm (10") y un diámetro de salida de 4,7 cm (2") (Ver Figura N°48). El cono funciona en un circuito abierto en donde la descarga cae directamente en la banda transportadora 12, y es enviado mediante las bandas 13 y 14 a una segunda etapa de clasificación, la cual es efectuada por una criba vibratoria de dos paños (superior 1 3/8" e inferior 1/2"). El material retenido en la malla superior es llevado a través de la banda transportadora 16 a una tercera etapa de trituración, mientras que el pasante en conjunto con el rechazo de la malla inferior pasa mediante la banda 2 a una cuarta etapa de trituración, y el material fino menor a 1/2" es enviado por medio de la banda transportadora 19 a la última etapa de cribado.

La tercera etapa de clasificación es ejercida por dos cribas vibratorias de dos paños cada una, que presentan igual características operacionales. Ambas cribas son las encargadas de clasificar el producto final del circuito, hasta obtener los productos comerciales: piedra 3/4", arrocillo y polvillo, para posteriormente ser dispuesto en tolvas de almacenamiento para su despacho.



Figura 48. Trituradora de cono marca Loro & Parisini modelo 18-50 Allis Chalmers

- *Trituración Terciaria*

La operación de trituración terciaria es realizada por la trituradora de cono Loro & Parisini modelo 10-51 Allis Chalmers cuya abertura de alimentación es de 12,7 cm (5") y calibre de salida de 2,4 cm (1") (Ver Figura N°49); este en conjunto la criba 15 forman el primer circuito cerrado dentro del sistema, ya que el material retenido en la primera malla es retornado nuevamente al cono, a través de la banda transportadora 16, hasta obtener la granulometría correspondiente.



Figura 49. Trituradora de cono Loro & Parisini modelo 10-51 Allis Chalmers

- *Trituración cuaternaria*

Actualmente esta etapa del circuito se encuentra inoperativa, era efectuada por la trituradora de cono marca Nordberg tipo Symon (Ver Figura N°50), que se encargaba de triturar el material proveniente del cedazo inferior ($> \frac{1}{2}$ ") de la criba 15 y su descarga era enviado a través de la banda 1 hasta caer en la banda 12, en donde el material era transportado nuevamente a la tercera etapa de cribado realizada por la criba 15, cumpliendo así con el segundo circuito cerrado del sistema.



Figura 50. Trituradora de cono Loro & Parisini modelo 10-51 Allis Chalmers

5.2 Fase II. Análisis del material en las diferentes etapas de reducción de tamaño

Puntos de tomas de muestra

Para realizar la toma de muestra en los puntos de alimentación-descarga de los equipos de trituración y clasificación se detalló el diagrama de flujo mostrado en la Figura N°51, en el que se muestran los equipos que intervienen en el proceso con sus respectivas dimensiones, a fin de identificar la dirección de los flujos y la relación que existe entre cada uno de ellos.

Una vez identificados los puntos del proceso para la toma de muestra, se realizó el muestreo de forma manual para aquellos materiales con granulometría óptima que pudieran ser ensayados mediante una batería de tamices en laboratorio, puesto que de esta manera se puede obtener el análisis granulométrico correspondiente a cada equipo. En aquellos puntos donde las dimensiones superan las 3" se efectuó un análisis fotográfico, considerando para ello un objeto escala de referencia. Las muestras fueron tomadas en 10 puntos que abarcan todas las etapas de trituración y clasificación, tomando en cuenta las muestras de los productos finales de la planta como se observa en la Figura N°51 con el objeto de determinar la razón de reducción, y las respectivas eficiencias de los equipos

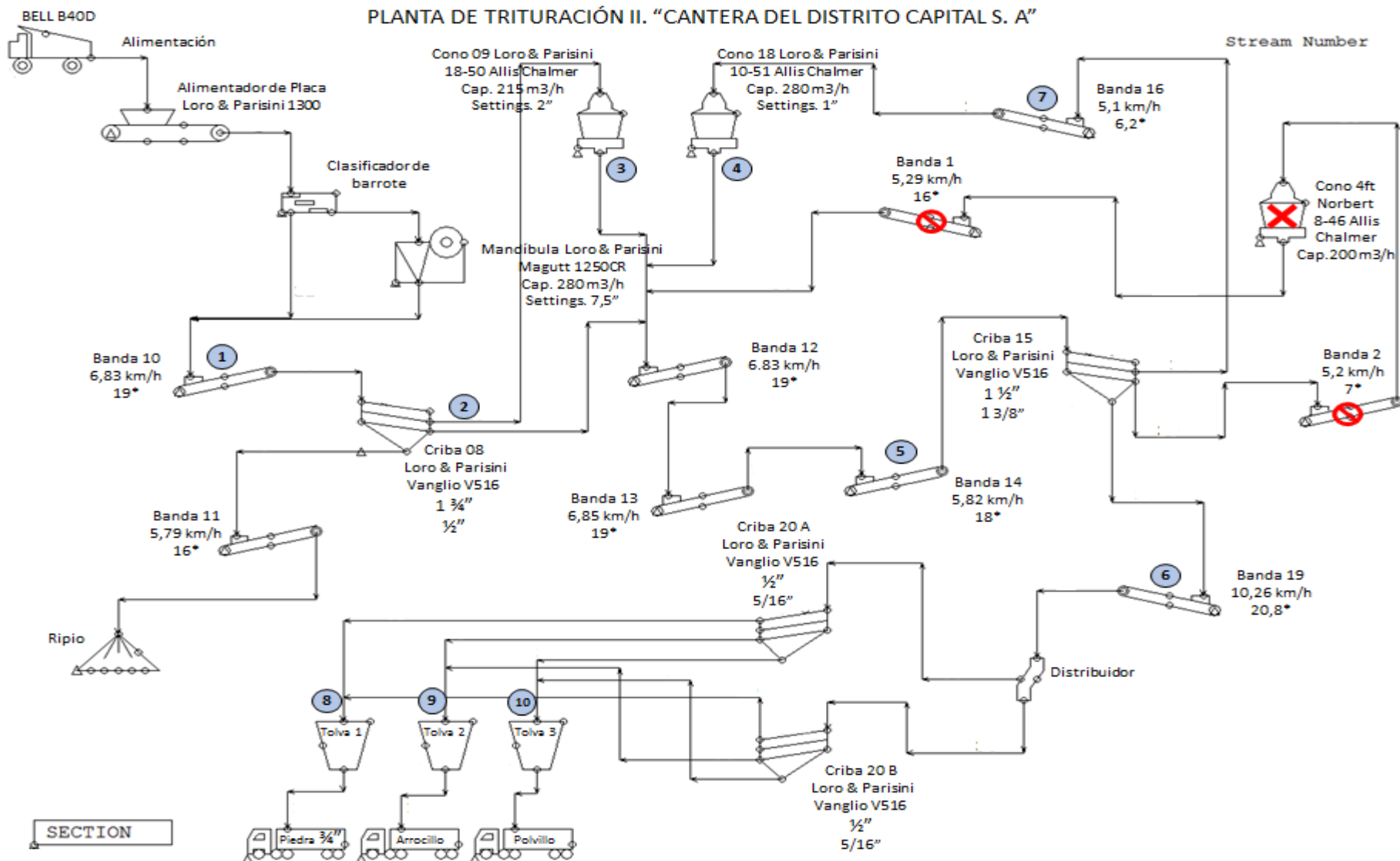


Figura 51. Punto de toma de muestra en el proceso productivo de Planta II

Análisis dimensional del todo uno

El material que actualmente alimenta la planta proviene del frente 7 de Mina 2, el cual es arrancado por medio de perforación y voladura, cargado por un cargador frontal, Belaz modelo 78221, y transportado por un camión de 24 m³ marca BELL, modelo B40D hasta la tolva de alimentación de la planta de procesamiento. El material que alimenta la planta son rocas en su mayoría de esquistos, las cuales deben presentar un tamaño acorde con la abertura del triturador primario.

Tomando en cuenta lo antes expuesto, al referirnos a él todo uno de alimentación, haremos referencia directa al material producto de la voladura, al cual se le realizó análisis fotográfico como el mostrado en la Figura N°52 para determinar su granulometría y estimar así el tamaño del material que está ingresando a la planta.

El análisis fotográfico se efectuó mediante el registro fotográfico de campo. Cada fotografía fue escalada mediante un balón de básquet de 23,5 cm de diámetro y editadas de manera que los fragmentos de roca quedaran en color blanco, el entorno de color negro y el balón de color rojo. Dichas fotografías son presentadas en el apartado de anexo. Sin embargo, para mostrar el resultado generado del estudio, se exhibe la Figura N°50 en donde visualmente se puede apreciar la distribución de tamaño del material.



Figura 52. Análisis fotográfico de distribución de tamaños de todo uno

Del análisis realizado a las fotografías se obtuvo el comportamiento granulométrico del todo uno de alimentación de la planta de trituración II perteneciente a la “Cantera del Distrito Capital S. A”, el cual es mostrado en el gráfico de la Figura N°53.

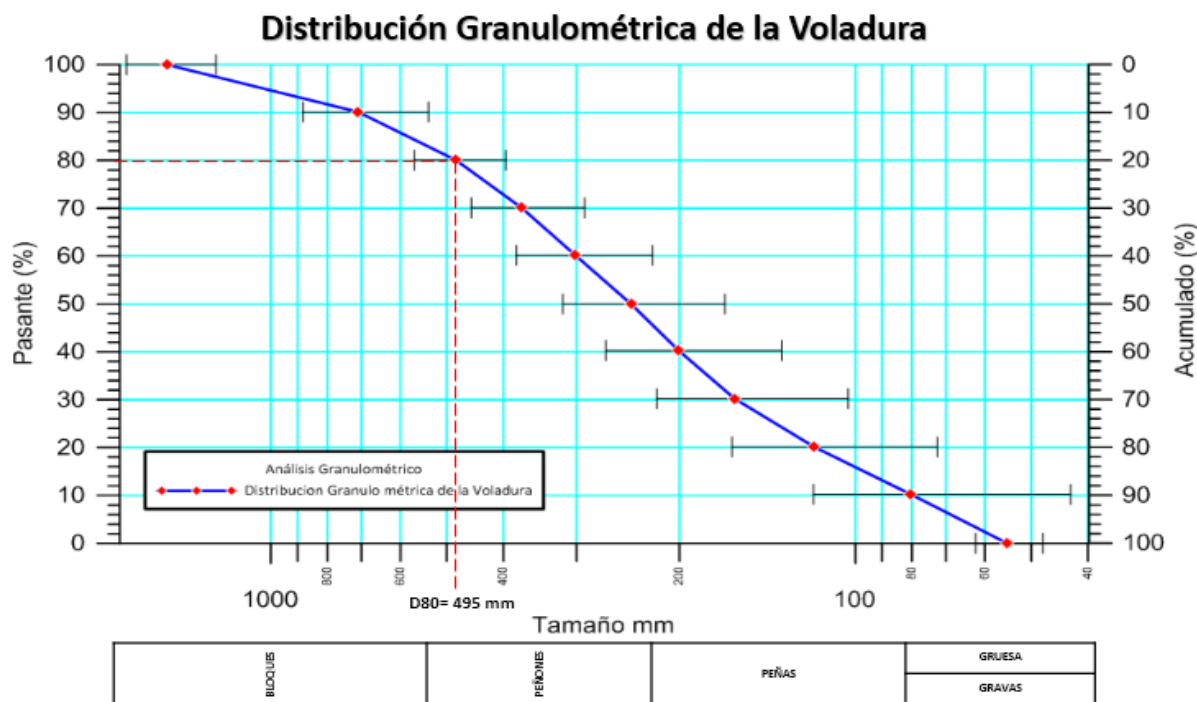


Figura 53. Distribución granulométrica del todo uno de alimentación

De la Figura N°53 se puede observar que el D_{80} está acorde con la abertura de entrada del triturador primario $1,27 \times 1,07 \text{ m}^2$ sin embargo, existe una cantidad importante correspondiente a un 20 % de la distribución en la alimentación que corresponde a una granulometría menor de aproximadamente 132 mm.

Distribución granulométrica y razón de reducción de los equipos trituración

Se determinó la razón de reducción de los equipos de reducción de tamaño analizando las curvas de distribución de tamaño tanto del material que alimenta los equipos de fragmentación, como el resultante de cada proceso. A continuación, se muestra la distribución y la razón de reducción de los equipos:

Triturador primario (Trituradora de mandíbula)

En la Figura N°54, se muestra la curva de distribución granulométrica del material proveniente de la voladura y de la trituración primaria, en donde se puede apreciar que la alimentación del triturador primario generó un $D_{80}=495 \text{ mm}$, mientras que la distribución proveniente de la descarga de este equipo produjo un $D_{80}=72 \text{ mm}$, estos valores permiten

obtener una razón de reducción de 7:1. Según los valores teóricos establecidos por MS. Guamaraes et al. (2007), los valores de razón de reducción para la trituradora de mandíbulas están comprendido entre 2 y 10, esto quiere decir que la trituradora de mandíbula se encuentra realizando un trabajo eficiente en cuanto a la fragmentación de la roca, ya que se encuentra en el rango de los valores teóricos.

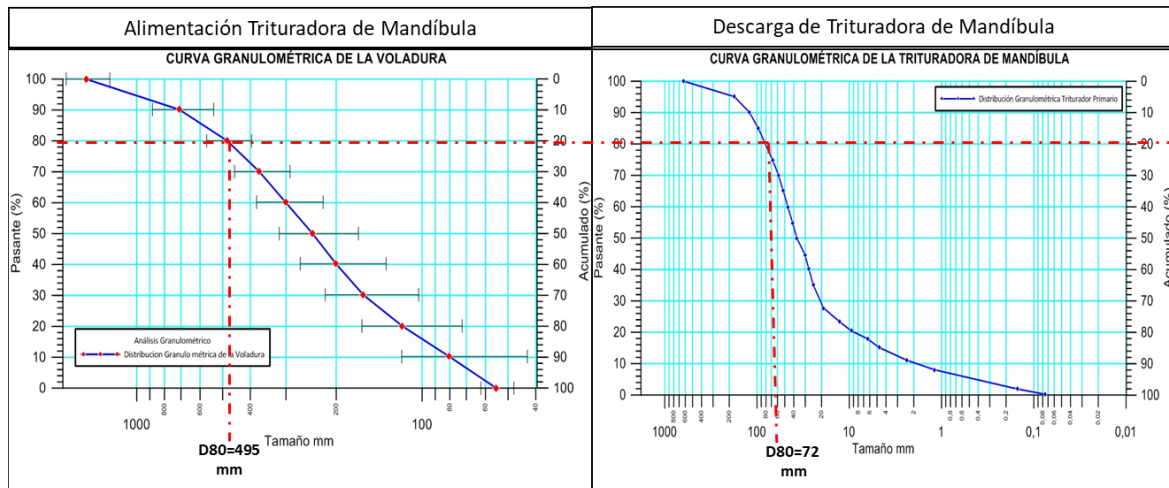


Figura 54. Determinación de D80 para la Trituradora de mandíbula

Triturador de Secundario (Cono 9)

En la Figura N°55, se muestra la curva de distribución granulométrica del material que alimenta la trituradora secundaria (Cono 9), y la generada por la descarga de este equipo. El material con el cual es alimentado se le determinó un $D_{80}=108$ mm, mientras que su descarga produjo un $D_{80}=70$ mm. De los valores arrojados se obtuvo una razón de reducción de 1,5:1. Según el autor mencionado anteriormente los valores teóricos establecidos para la razón de reducción de la trituradora secundaria están comprendidos entre 2 y 8, esto quiere decir que la trituradora secundaria se encuentra operando ineficientemente, ya que la razón de reducción de esta se encuentra por debajo de estos valores.

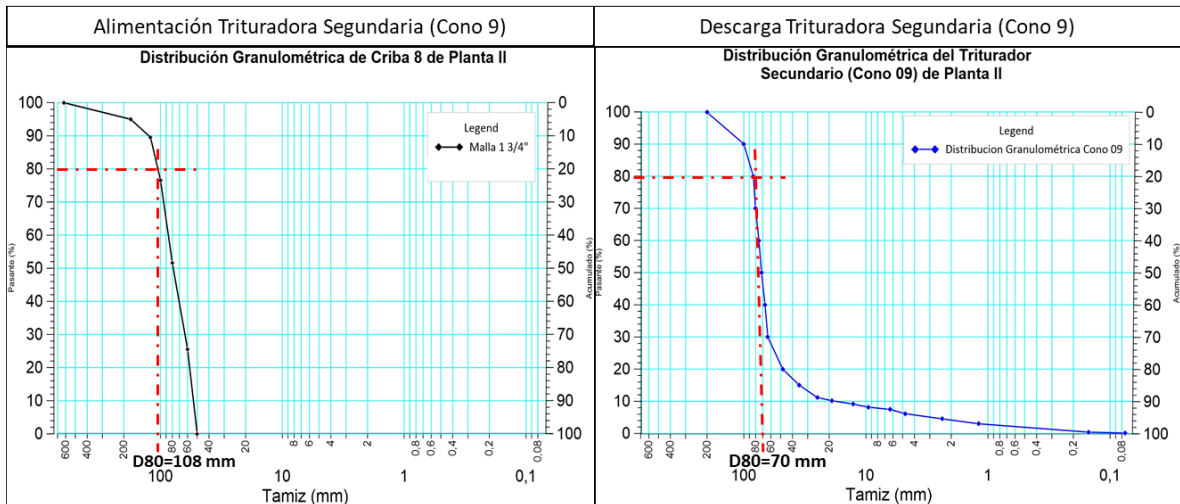


Figura 55. Determinación de D80 para la Trituradora de Secundaria (Cono 9)

Triturador Terciario (Cono 18)

En relación con la trituración terciaria desempeñada por el cono 18, se puede decir, que se encuentra efectuando la reducción de tamaño de las partículas de forma no eficiente, debido a que el cálculo de la razón de reducción es de 1,33:1 igual que en la trituración secundaria queda por debajo de los valores teóricos establecidos, que se encuentra en un rango entre 2 y 6. En la Figura N°56, se aplica las curva de distribución de tamaño del material que alimenta la trituración terciaria, y la generada por la descarga del equipo, para el cálculo de la razón de reducción en donde se obtuvo un $D_{80}=100$ mm, que representa la alimentación respectiva y un $D_{80}=75$ mm de su descarga.

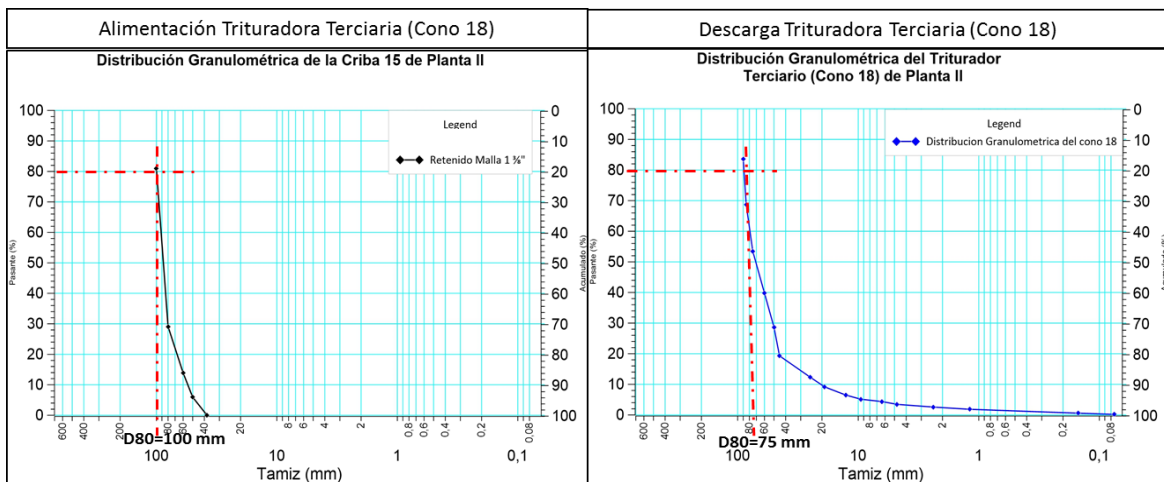


Figura 56. Determinación de D80 para la Trituradora Terciaria (Cono 18)

La baja eficiencia en la trituración secundaria y terciaria se puede atribuir al diagnóstico que presentan estos equipos, en donde el desgaste tan marcado que presentan los mantos

puede influir en su operación y desempeño, dado que le impide disminuir con efectividad la roca al tamaño deseado, generando así una mayor recirculación de material en el sistema.

En vista de la baja eficiencia que presentan los equipos de trituración secundaria y terciaria se realizó un análisis de los productos generados en estas fases del proceso, a fin de conocer los porcentajes que se producen de los agregados comerciales., para ello se consideró las curvas granulométricas de los equipos encargados de estas operaciones. En los gráficos de la Figura N°57 se puede apreciar que en la trituración secundaria se genera un 16 % de los agregados comerciales producidos en la planta, de los cuales 7 % corresponden a Piedra ¾”, 2 % de Arrocillo y 7 % de polvillo, mientras que en la trituración terciaria de un total de 18 %, se produce 10 % de Piedra ¾”, 3 % de Arrocillo y 5 % de Polvillo. Quedando de esta forma evidenciado que durante estas operaciones se produce un bajo porcentaje de producto requerido y un alto porcentaje de material sobredimensionado.

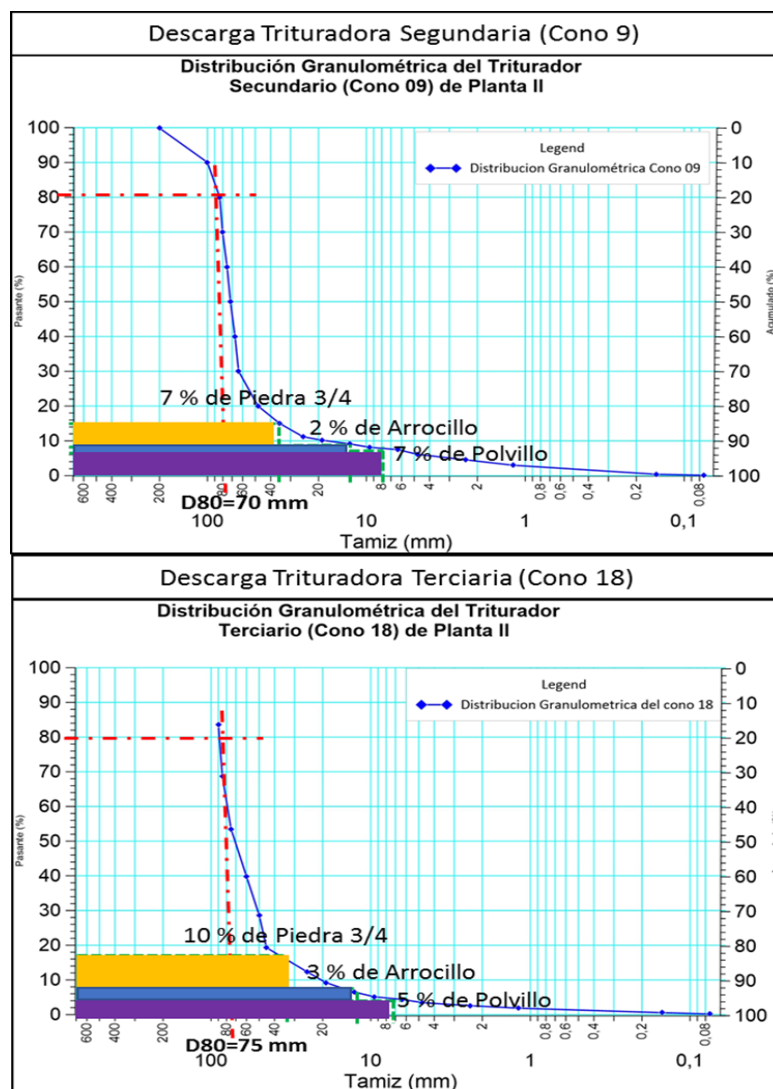


Figura 57. Porcentajes de agregados comerciales producidos en la trituración secundaria y terciaria

Granulometría de los productos.

Para considerar el estudio de los productos comerciales arrojados por la planta de trituración se realizó su respectiva distribución granulométrica y se comparó con los límites de Piedra N°0 establecidos en la norma COVENIN 277:2000. En el gráfico de la Figura N°58, se observan los parámetros que contemplan las características para que la Piedra natural sea clasificada como Piedra ¾" o denominación Piedra N°0. La distribución granulométrica arrojada por la muestra se encuentra fuera de los rangos establecidos por la norma en donde el D_{80} para agregados gruesos debe estar contemplado entre 12 a 9 mm, encontrándose así que la denominación actual que presenta la empresa para la Piedra ¾" no cumple con los parámetros establecidos, teniendo un $D_{80}=20$ mm.

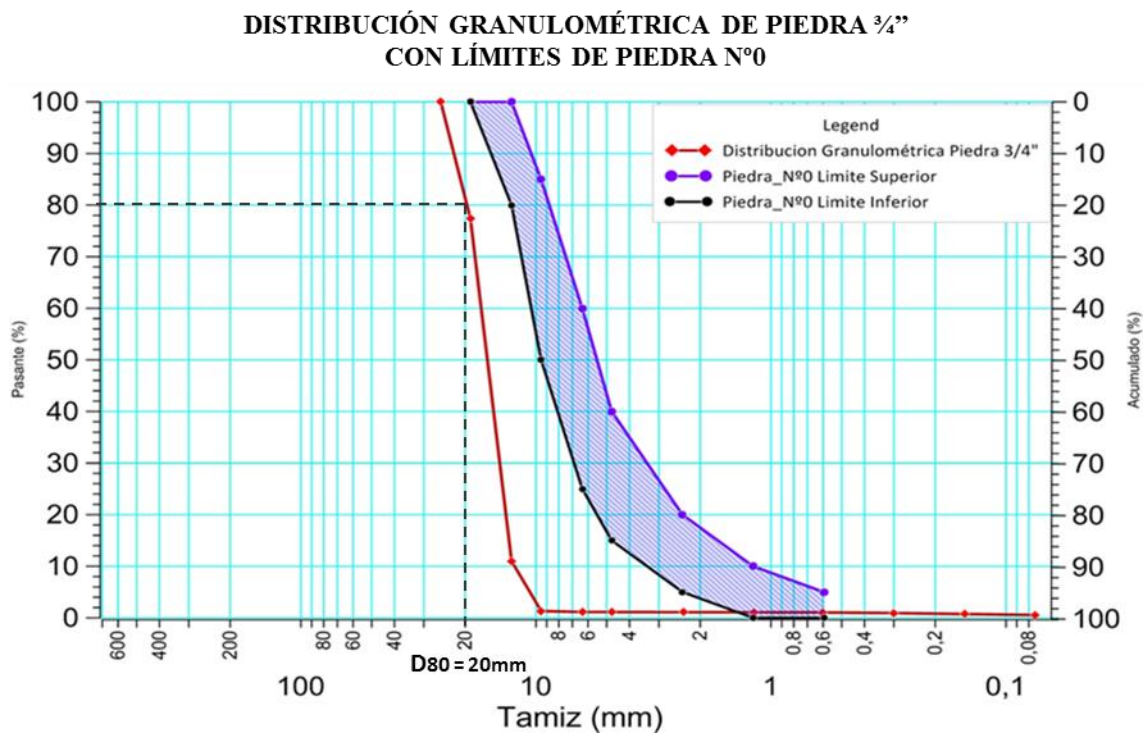


Figura 58. Distribución Granulométrica de la Piedra ¾" con Límites de Piedra N°0

Considerando que la muestra ensayada no cumple con los estándares normados para ser clasificada como Piedra N°0, se realizó su comparación con los parámetros establecidos para Piedra N°1, encontrándose que el comportamiento que tiene el producto generado por la planta se asemeja al comportamiento establecido para Piedra N°1, en donde los rangos para el porcentaje pasante de partículas deben estar 18 y 22 mm respectivamente. Lo cual permite clasificar al agregado ensayado como Piedra N°1 ya que su D_{80} es de 20 mm.

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE PIEDRA ¾” CON LÍMITES DE PIEDRA N°1

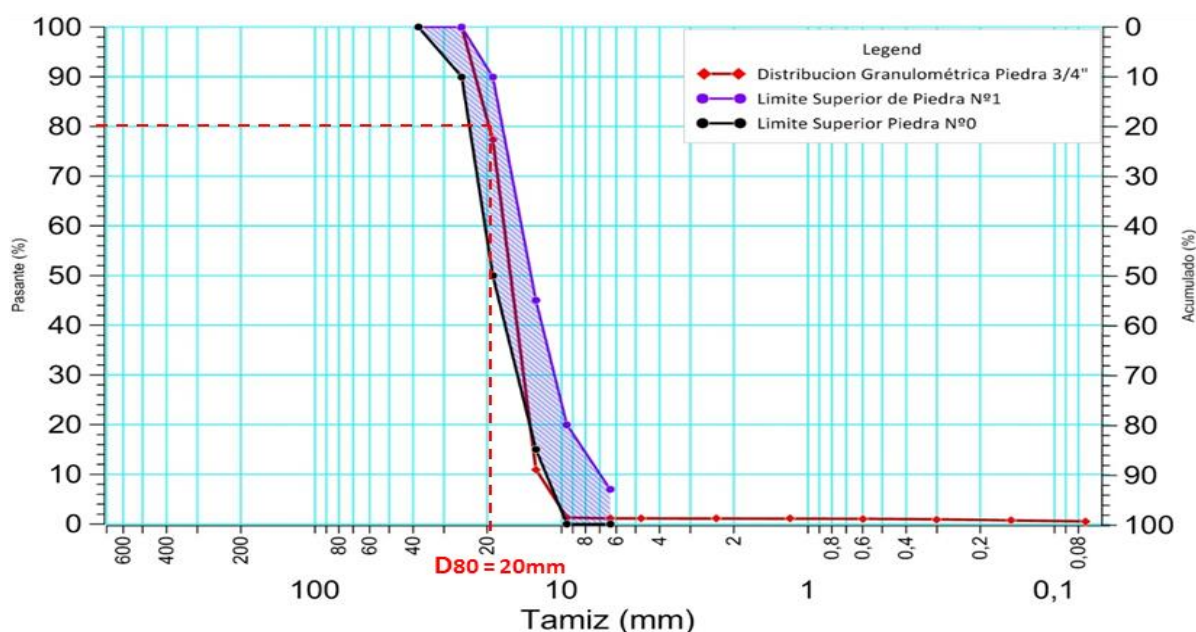


Figura 59. Distribución Granulométrica de la Piedra ¾” con Límites de Piedra N°1.

Es importante destacar que durante el ensayo la muestra arrojó menos del 10 % de material es fino, y considerando que la muestra no clasifica como denominación Piedra N°0, se puede atribuir este comportamiento a la baja eficiencia en las operaciones de trituración secundaria y terciaria que presenta la planta actualmente para obtener la fragmentación requerida. Otro estudio similar realizado al producto comercial Arrocillo ($\frac{1}{2}'' < A < \frac{5}{16}''$) arrojó una concordancia con el comportamiento granulométrico de la Piedra N°0 de la presente norma, cuando los valores comerciales establecidos para su granulometría son pasantes de $\frac{3}{8}''$ y retenido de $\frac{3}{16}''$, lo que corresponde a la denominación de agregado fino con gradación gruesa, según la actualización de la norma COVENIN 277:2021.

5.3 Fase III. Análisis del material proveniente del frente mina

Una vez realizados los estudios en planta, se realizaron diferentes ensayos con el propósito de conocer las características físicas y mecánicas del material con el que es alimentada Planta II. En este apartado se muestran los resultados arrojados en los diferentes ensayos de laboratorio efectuados al material proveniente del frente de explotación y de la pila de almacenamiento de la planta. los cuáles fueron divididos en dos grupos: ensayos mecánicos y ensayos físicos.

Ensayos mecánicos:

Con el propósito de realizar la caracterización mecánica del material proveniente del frente de mina, y obtener así las propiedades de resistencia de la roca intacta se efectuaron los siguientes ensayos:

➤ *Ensayo de Compresión Simple (Uniaxial)*

Para caracterizar el comportamiento del mineral se evaluaron un total de 7 (siete) muestras, de las cuales, 4 (cuatro) fueron dispuesta de forma que los planos de estratificación estuvieran paralelos a la dirección del esfuerzo ejercido por la máquina y las 3 (tres) restantes se colocaron de manera que los planos de estratificación estuvieran en sentido perpendicular a la dirección del esfuerzo.

La Figura N°60 y 61 contemplan las curvas esfuerzo-deformación obtenidas durante el ensayo de las muestras 2653-5 y 2653-1. Las curvas presentan una rama ascendente hasta alcanzar la resistencia pico y una rama descendente que refleja la pérdida de resistencia de estas. El valor dividido de la fuerza máxima que soportan las muestras por el área a la cual se le está aplicando la fuerza representa su compresión simple. Comparadas ambas curvas tras alcanzarse la resistencia pico, se observa que la muestra 2653-5 evaluada de forma perpendicular a los planos de discontinuidad sufrió mayor deformación durante la aplicación del esfuerzo máximo, mientras que la muestra 2653-1 evaluada de forma paralela a los planos de estratificación fue menor alcanzando su rotura de forma violenta. Cabe destacar que el registro de esta porción permite conocer el comportamiento de la roca tras su rotura.

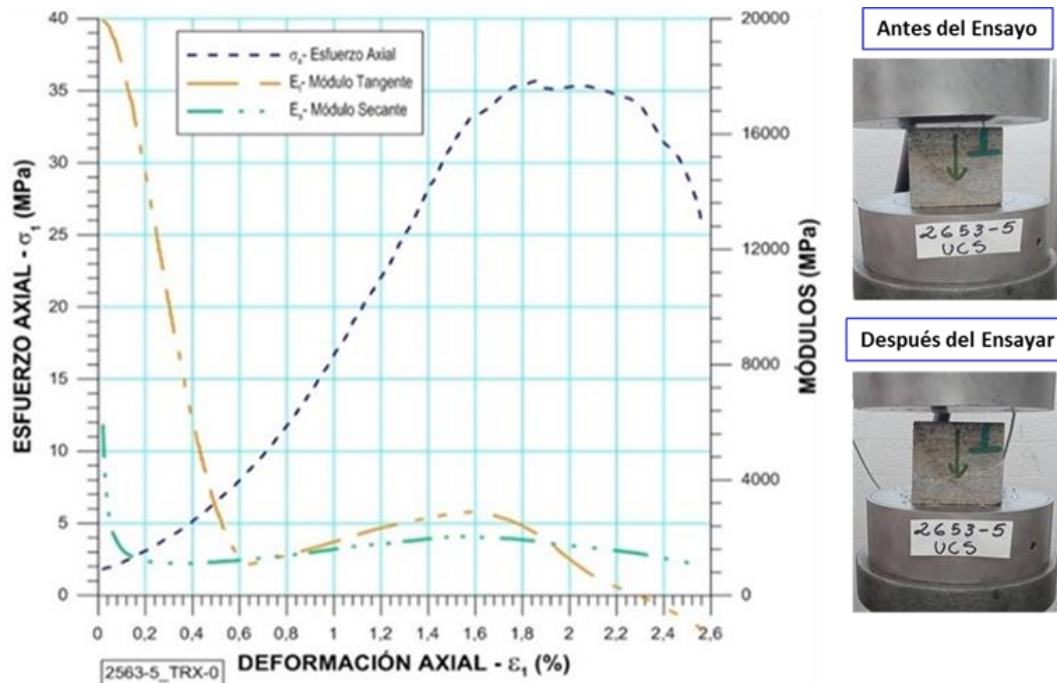


Figura 60. Comportamiento esfuerzo deformación en compresión simple

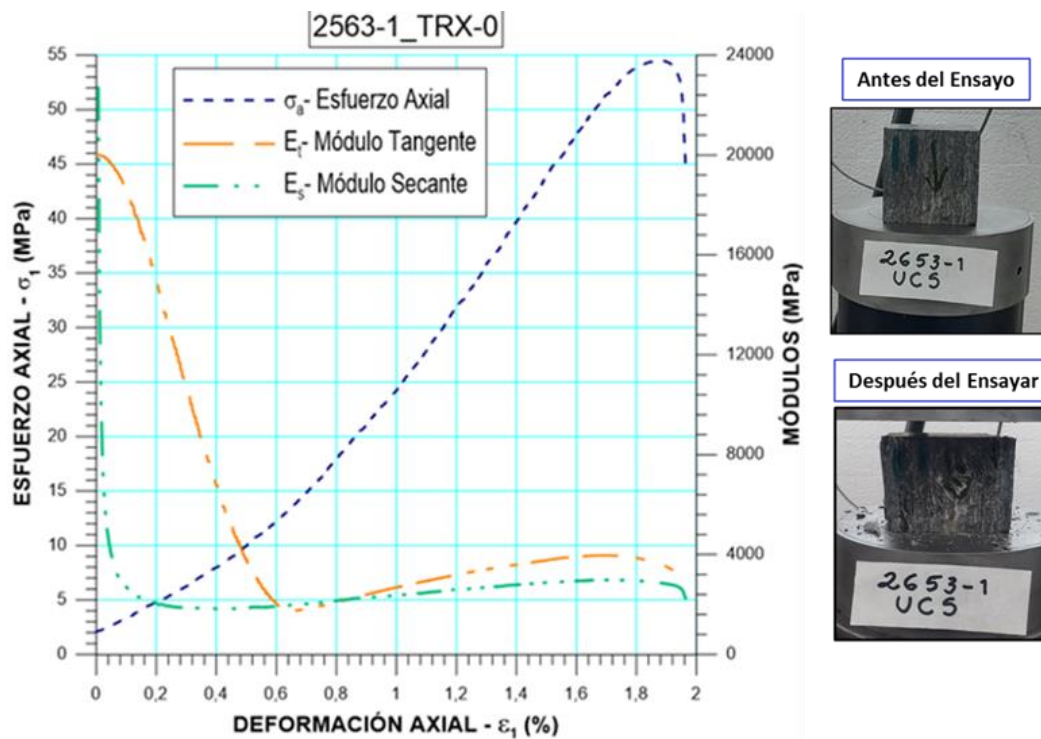

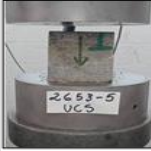



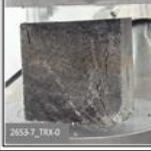


Figura 61. Comportamiento esfuerzo deformación en compresión

A continuación, se presenta las tablas resumen correspondiente a los ensayos de compresión simple realizado a las 7 muestras obtenidas del frente de explotación:

Tabla 19. Resultados ensayo Compresión Uniaxial (orientación perpendicular)






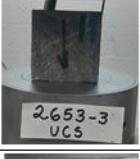


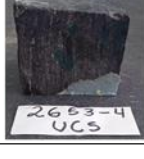
Código de Muestra	Dimensiones de la muestra	Resistencia a la Compresión (Mpa)	Clas. Según ISRM	Sentido del Esfuerzo	Antes de Ensayar	Muestra Ensayada
2653-5 UCS	Largo (mm): 68,83 Ancho (mm): 69,00 Alto (mm): 72,15	36,25	Moderada-(R4)	Perpendicular al Plano de Estratificación		
2653-6 UCS	Largo (mm):68,83 Ancho (mm): 69,00 Alto (mm): 72,15	30,9	Moderada-(R4)	Perpendicular al Plano de Estratificación		
2653-7 UCS	Largo (mm): 69,87 Ancho (mm): 74,30 Alto (mm): 69,38	121,63	Alta-(R6)	Perpendicular al Plano de Estratificación		
Promedio		62,93				
Desviación Estándar		50,91				

En la Tabla N°19, se aprecia los valores de compresión simple (UCS) arrojados para las tres primeras muestras ensayadas de forma perpendicular al plano de estratificación. El valor mínimo de UCS es de 36,35 Mpa y el máximo de 121 Mpa representan los valores característicos de una roca que varía de MODERAMENTE DURA a muy DURA, de acuerdo a la Tabla N°2 de clasificación de las rocas a partir de su resistencia a la compresión simple propuesta por Vallejo (2002)

Tras la determinación del valor promedio de la resistencia a la compresión simple de estas muestras, se pudo clasificar en términos generales la UCS de la matriz rocosa, según el criterio de clasificación del ISRM (1981) como una roca dura.

En la Tabla N°20, se presentan los valores de resistencia a la compresión para las 4 muestras sometidas a esfuerzos paralelos al plano de estratificación. Se observa que las muestras entran en diferentes rangos de clasificación (media, moderada y baja) de acuerdo con la clasificación propuesta por ISRM (1981), siendo el valor promedio de la resistencia a la compresión simple 38,09 Mpa que permite clasificar la roca como una roca MODERADAMENTE DURA.

Tabla 20. Resultados ensayo Compresión Uniaxial (orientación paralela)

Código de Muestra	Dimensiones de la muestra	Resistencia a la Compresión (Mpa)	Clas. Según ISRM	Sentido del Esfuerzo 	Antes de Ensayar	Muestra Ensayada
2653-1 UCS	Largo (mm): 69,67 Ancho (mm): 69,17 Alto (mm): 73,83	55,79	Media - (R5)	Paralelo al Plano de Estratificación		
2653-2 UCS	Largo (mm): 68,57 Ancho (mm): 67,31 Alto (mm): 71,15	49,38	Moderada (R4)	Paralelo al Plano de Estratificación		
2653-3 UCS	Largo (mm): 69,67 Ancho (mm): 69,17 Alto (mm): 68,40	27,79	Moderada - (R4)	Paralelo al Plano de Estratificación		
2653-4 UCS	Largo (mm): 70,13 Ancho (mm): 71,13 Alto (mm): 73,63	19,4	Baja - (R3)	Paralelo al Plano de Estratificación		
Promedio		38,09				
Desviación Estándar		17,28				

Realizando la comparación entre ambas tablas, es notable que el valor más alto de compresión simple (UCS), corresponde a la muestra 2653-7 de la Tabla N°19, la cual tiene como resultado un valor fuera del rango promedio de los obtenidos en los demás ejemplares de la misma litología; por consiguiente, se puede asumir como un valor atípico que pudiera ser el resultado de una composición mineralógica con alta dureza. Mientras que el valor más bajo resistencia a la compresión corresponde a la muestra 2653-4 de la Tabla N°20. Este resultado quizás se debe a la debilidad estructural presente (foliación) en la roca, a la cantidad de minerales resistentes que la conforman (cuarzo) y la orientación de los planos de debilidad en la muestra al momento de ser ejecutado el ensayo. Vallejo Et al. (2002) indica que, “en los resultados de los ensayos de laboratorio influyen tanto los factores referentes a la naturaleza y condición de la roca como a las condiciones del ensayo”, lo que sustenta lo antes mencionado.

➤ *Ensayo de Tracción Indirecta.*

Con el fin de obtener la resistencia que posee el material del frente de mina a la tracción indirecta se ensayaron 3 muestras a las cuales se les midió sus dimensiones (diámetro y

espesor). En el gráfico de la Figura N°62 se puede apreciar el valor máximo de carga que soporta la muestra (carga axial pico) para romperse, es decir se incrementa gradualmente la fuerza en un tiempo determinado hasta que se genera la primera fractura en la muestra, lo que genera una disminución de la carga aplicada, representando de este modo la máxima resistencia a la tracción. Cabe destacar que mientras mayor sea la fuerza registrada mayor será la resistencia a la tracción de la muestra ensayada.

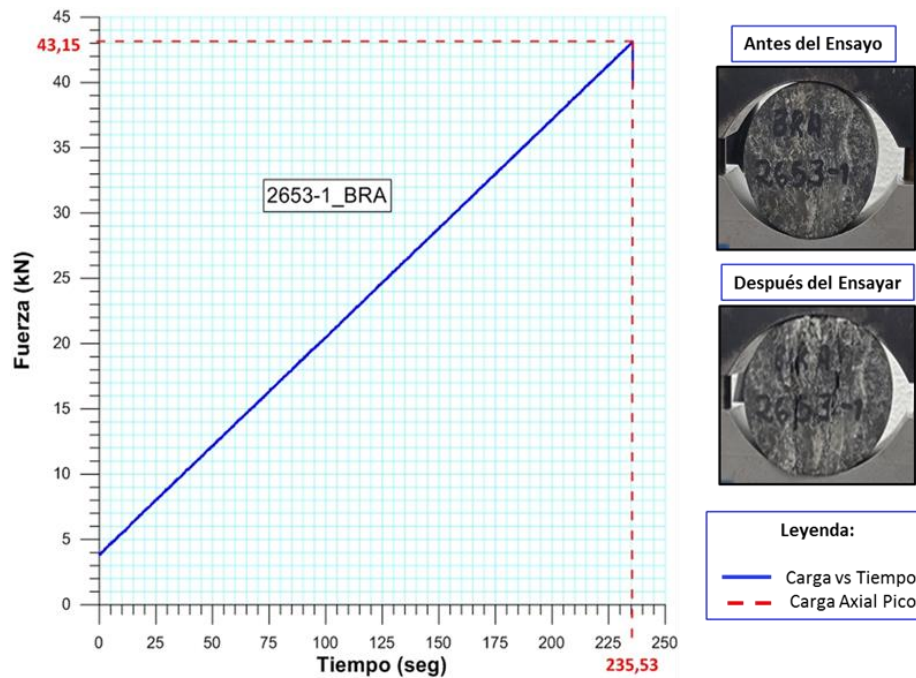

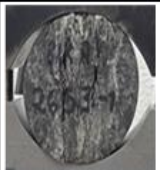






Figura 62. Comportamiento de la muestra 2653-1 ante el ensayo Brasiero

En la Tabla N°21 se tabulan los resultados del ensayo de tracción indirecta, en la cual se detallan las resistencias alcanzadas por los cilindros de roca, se muestra la clasificación respectiva según el índice de calidad ISMR (1981) y se presenta el comportamiento de las muestras antes y después de ser ensayadas.

Tabla 21. Resultados ensayo Brasilerio

Código de Muestra	Diametro (mm)	Espesor (mm)	Resistencia a la Tracción (Mpa)	Clas. Según ISRM	Antes de Ensayar	Muestra Ensayada
2653-1 BRA	54	31,9	-16	Moderada-(R4)		
2653-2 BRA	54,6	31,93	-14	Moderada-(R4)		
2653-3 BRA	54	31.87	-16.40	Moderada-(R4)		
Promedio	-15,00					
Desviación Estándar	1,41					

El valor promedio obtenido de la resistencia a la tracción es de -15 MPa, al clasificar este valor según los criterios de resistencia del ISRM (1981), se obtiene una roca MODERADAMENTE DURA. Estos valores son producto del tipo de roca tratada, la cual posee numerosos planos de debilidad estructural (foliación), pliegues y la dirección y ubicación de estos a la hora de aplicar el ensayo, es notorio destacar que la posición de la muestra a la hora de ejecutar el ensayo es aleatoria, es por ello que tendrá diferentes valores de resistencia en un mismo intervalo de profundidad a la compresión.

Estimación del comportamiento geomecánico del macizo

A partir de los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos (uniaxial y tracción indirecta) realizados al material del frente de explotación, se efectuaron tres modelos geomecánicos para el macizo rocoso:

- Combinación de los resultados del ensayo brasilerio con los ensayos de compresión simple aplicados en forma perpendicular a los planos de estratificación.
- Combinación de los resultados del ensayo brasilerio con los ensayos de compresión simple aplicados en forma paralela a los planos de estratificación.
- Resultados del ensayo tracción indirecta con todos los resultados del ensayo de compresión simple aplicados tanto de forma paralela como perpendicular a los

planos de estratificación. Este modelo es el que será presentado en esta sección, los otros modelos generados se muestran en el apartado de anexo.

La envolvente de falla para el macizo rocoso mostrado en el gráfico de la Figura N°63, se realizó trazando los círculos de Morh relativos al estado de tensiones a la rotura de la matriz rocosa; en donde se observa que la envolvente de falla que describe el programa esta resaltada en color negro, mientras que la curva de ajuste es de color rojo y es del tipo no lineal (Hoek & Brown), la cual muestra una resistencia a la compresión en la roca intacta de 48,26 MPa que permite clasificar el macizo rocoso como una roca MODERADAMENTE DURA, según el ISRM (1981) y una resistencia a la tracción de – 4,022 MPa. Asignando al macizo un valor de GSI de 100 (espécimen de roca intacta o roca masiva con pocas discontinuas muy espaciadas). Los valores de cohesión y ángulo de fricción presentes, van en función del valor del esfuerzo normal en, los cuales tienen como resultado: cohesión (7,906 MPa) y ángulo de fricción (55,85°), mientras que el factor de perturbación D es 0,7 (alteración de la roca causada por voladuras de producción).

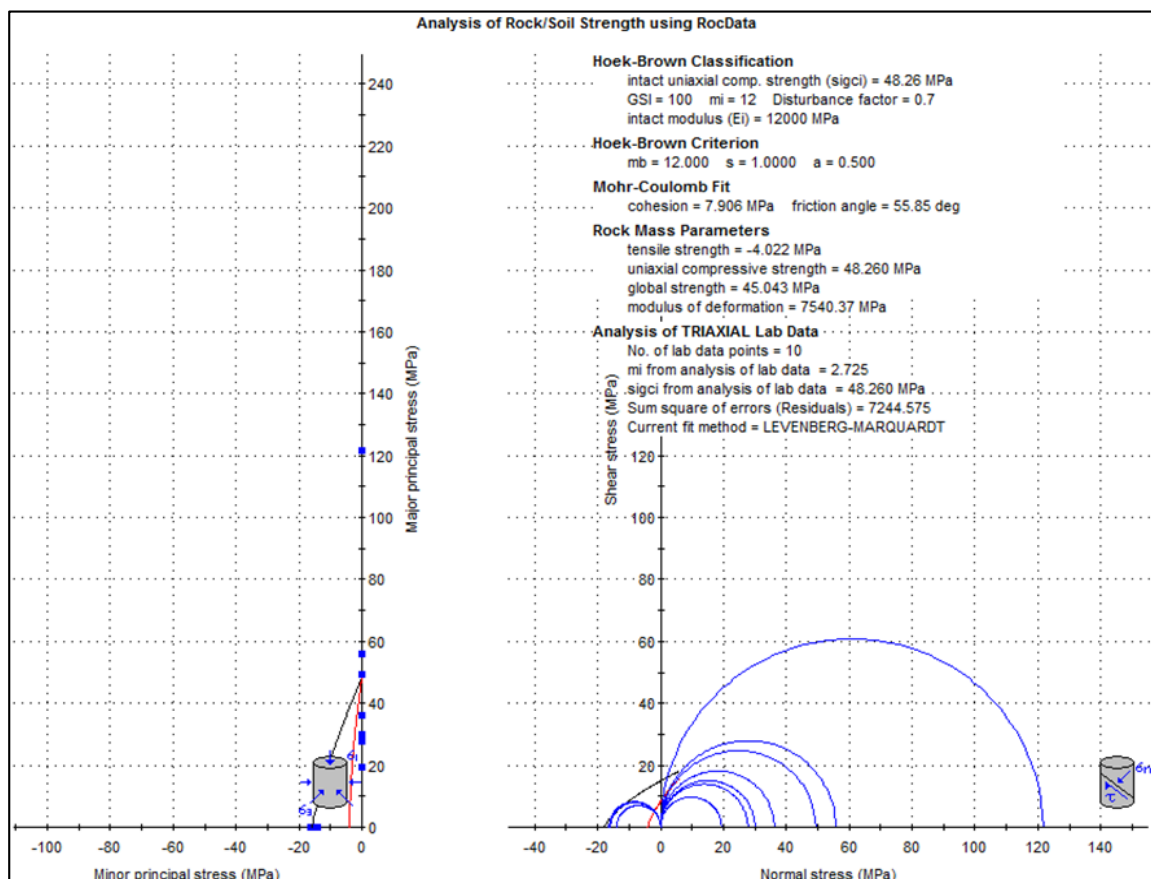


Figura 63. Comportamiento geomecánico del macizo

La resistencia que opone una roca a fragmentarse depende de la cohesión y de la elasticidad. Las fuerzas aplicadas en las partículas por los equipos de fragmentación crean

esfuerzos y tensiones dentro del género produciendo su fractura. Estas fuerzas pueden ser relacionadas con las cargas aplicadas en los ensayos geomecánicos de las muestras ensayadas ya que se estudian los esfuerzos máximos que estas alcanzan a soportar antes de romper.

Un estudio realizado por Olaleye (2010) caracterizo la influencia de ciertas propiedades mecánicas del material respecto al tiempo de trituración para 4 rocas. Los resultados mostraron que si existe influencia entre el UCS y el tiempo de trituración. Si bien en este trabajo se obtuvo esa conclusión, no se propusieron ecuaciones empíricas para la predicción del consumo de energía. Más tarde Korman et al (2014) determinan el impacto de ciertas propiedades mecánicas de la roca con el consumo eléctrico de una trituradora de mandíbula. Los resultados concluyen que el consumo de energía no depende de la cantidad de mineral sino de las propiedades de este. Se destaca la influencia del límite de compresión, mientras que la fracture toughness y el límite de tensión pasan a segundo plano. La densidad y la dureza tienen un impacto menor. Estos autores proponen diversas ecuaciones lineales para el cálculo de la energía específica de conminación CEE (kj/kg) a partir de las propiedades de la roca.

A través del modelamiento geomecánico del macizo rocoso se obtuvieron los valores de compresión simple (UCS) de acuerdo a las orientaciones en las que fueron ensayadas las muestras. Estos valores se determinaron con el fin de estimar el consumo de energía que presentan actualmente los equipos de fragmentación de la planta, considerando para ello, las posibles formas en la que el material puede entrar en los equipos y ser triturado. La energía consumida se calculó mediante las expresiones 9 y 11 que relaciona el consumo de energía a través de los valores de UCS obtenidos en los ensayos de compresión simple. Los resultados son plasmados en las Tablas N°22 y N°23, para el consumo de energía de acuerdo a la capacidad actual y teórica de los equipos de trituración.

Tabla 22. Energía consumida por los equipos de trituración (capacidad actual)

Equipo	Trituradora De Mandíbula	Cono 09	Cono 18
F80 Alimentación (micras)	4.950.000,00	1.080.000,00	1.000.000,00
P80 Producto (micras)	720.000,00	700.000,00	750.000,00
Capacidad Q (Tn/h)	90,20	36,08	233,50
UCS (Paralelo)	37,72	37,72	37,72
UCS (Perpendicular)	61,52	61,52	61,52
Energía Consumida (Esfuerzo Paralelo) Eb (kWh/Tn)	7,34	0,94	4,03
Energía Consumida (Esfuerzo Perpendicular) Eb (kWh/Tn)	9,19	1,18	5,05
Potencia Consumida (Esfuerzo Paralelo) (Hph/Tn)	19,67	2,51	10,81
Potencia Consumida (Esfuerzo Perpendicular) Hph/Tn	24,64	3,150	13,53

En la Tabla N°22 se puede observar los consumos de energía arrojados de acuerdo al valor de la UCS para los equipos de fragmentación, en donde la trituración primaria consume 7,34 Kwh/Tn de energía para triturar una roca que ingresa con orientación paralela a la dirección del esfuerzo que ejerce el equipo para ser fragmentar, así mismo se tiene que para la trituración secundaria de la roca el consumo de energía es de 0,94 Kwh/Tn, mientras que para la trituración terciaria es de tan solo 4,03 Kwh/Tn. Los valores obtenidos para el consumo de energía durante la fragmentación de la roca que ingresa en los equipos con orientación perpendicular son: 9,19 Kwh/Tn para la trituradora de mandíbula, 1,18 Kwh/Tn para el cono 09 y 5,05 Kwh/Tn para el cono 18 respectivamente. Así mismo en la Tabla N°23, presenta los parámetros de energía consumida de acuerdo con la capacidad instalada de los equipos, en donde la trituradora de mandíbula consume 62,66 Kwh/Tn, el cono 09 15,38 Kwh/Tn y finalmente el cono 18 13,30 Kwh/Tn. Cabe destacar que la potencia durante el proceso de trituración no es consumida en su totalidad comparando estos valores los propuesto por los fabricantes.

Tabla 23. Energía consumida por los equipos de trituración (capacidad instalada)

Equipo	Trituradora de Mandíbula	Cono 09	Cono 18
F80 Alimentación (micras)	4.950.000,00	1.080.000,00	1.000.000,00
P80 Producto (micras)	720.000,00	700.000,00	750.000,00
Capacidad Q (Tn/h)	770,00	591,25	770,00
UCS (Paralelo)	37,72	37,72	37,72
UCS (Perpendicular)	61,52	61,52	61,52
Energía Consumida (Esfuerzo Paralelo) Eb (kWh/Tn)	62,66	15,38	13,30
Energía Consumida (Esfuerzo Perpendicular) Eb (kWh/Tn)	78,48	19,26	16,65
Potencia Consumida (Esfuerzo Paralelo) (Hph/Tn)	167,93	41,21	35,63
Potencia Consumida (Esfuerzo Perpendicular) Hph/Tn	210,33	51,612	44,63

Donovan (2003), realiza un estudio para determinar la influencia de las propiedades mecánicas de la roca, en el desempeño de trituradoras de mandíbula. Sus conclusiones demostraron que la mecánica de fractura de las rocas tiene una influencia importante en el comportamiento y desempeño de las trituradoras. Según su clasificación presentada en la Tabla N°3 “las muestras ensayadas pueden ser procesado por todo el equipo en el bajo consumo de energía”, lo que coincide con el resultado obtenido para ambos casos.

Ensayos físicos:

A continuación, se presentan los resultados de los diferentes ensayos físicos realizados al material tomado de la pila de almacenamiento de la planta:

- *Resistencia a la degradación (ensayo de los ángeles).*

En la Tabla N°24 se muestran los resultados obtenidos al someter un lote de muestra (2653-ANG) a una carga abrasiva de 11 esferas a 500 revoluciones. De acuerdo a la porción de

muestra analizada se determinó el porcentaje de desgaste de los agregados comerciales producidos en Planta II.

Tabla 24. Resultados de ensayos de Los Ángeles
Muestra 2653: Carga 11; Revoluciones: 500

Tamiz N°		Tamiz (mm)	Porciones de la muestra	
Pasa	Retiene		Inicial	Final
1 1/2'	1'	25		
1'	3/4'	19		
3/4'	1/2'	12,5	2.503,00	
1/2'	3/8'	9,51	2.501,00	
3/8'	1/4'	6,35		
1/4'	N°4	4,75		2.426,50
N°4	N°8	2,36		
	N°12	1,70		1.099,90
Peso Total (g)			5.004,00	3.526,40
Masa inicial de la muestra (g)		5.004,00		
Masa final de la muestra (g)		3.526,40		
Pérdida de masa de la muestra (%)		29,53 %		

En promedio, el porcentaje de pérdida de masa de las muestras se encuentra en un 29,53 % para la muestra esquistosa, la cual se puede clasificar según el coeficiente de calidad de la roca propuesto por Bustillos & López, (1997) como BUENA. Por otro lado, las Norma COVENIN 277:2000 establece que un índice superior o igual al 40 % indica la mala calidad y escasa resistencia al desgaste de árido, lo que lo hace inservible para su uso en carreteras, dicho esto y comparando el desgaste de los agregados arrojado se puede considerar como un material apto para la fabricación de mezclas asfálticas.

Gutiérrez en el año 2015, demuestra que mientras mayor es el valor de UCS arrojado en el ensayo de compresión simple de la roca, menor es el porcentaje de desgaste del material; correlacionando los resultados derivados de ambos estudios, se puede considerar que el valor de desgaste que alcanzó la muestra está conjuntamente relacionado con resultados derivados del ensayo de compresión simple en donde se pudo clasificar la roca de acuerdo con el criterio de clasificación del ISRM (1981) como una roca MODERADAMENTE DURA A DURA. Por consiguiente, se puede asociar este comportamiento, con el comportamiento que presenta el material ante la acción mecánica de desgaste generado en los procesos de reducción y clasificación de tamaño.

Colquehuanca (2018) indica que, los resultados arrojados en el estudio de Los Ángeles permiten relacionar la dureza del material con los esfuerzos que algunos equipos de reducción de tamaño deben ejercer para romper la roca, ya que a mayor resistencia abrasiva

estos requieren una mayor acción mecánica para provocar la fractura del material, por ende, recomienda el uso de trituradoras primarias de mandíbula de efecto simple, ya que estas máquinas desarrollan elevados esfuerzos de compresión y con alta capacidad de fracturar la roca dura como en el caso de su estudio.

➤ *Ensayo para determinar el % de caras largas y aplanadas*

En vista de que la planta de trituración II produce agregados utilizados en obras de construcción y mezclas asfálticas se realizó un estudio de la forma que tienen los agregados comerciales para determinar su calidad.

La caracterización morfológica se realizó usando el método de medición manual del índice de alargamiento y aplanamiento establecido en la norma COVENIN (264:77). Este índice se calcula dividiendo la longitud máxima y mínima de los agregados, en donde la fracción que contenga un índice mayor a 5 representa la forma alargada y aplanada.

En la Tabla N°25, se puede apreciar la cantidad de partículas sometidas a ensayo, el número de muestras que resultaron con características planas y alargadas, y el porcentaje arrojado con esta particularidad.

Tabla 25. % de caras largas y aplanadas en la muestra 2653

Muestra 2653	
Numero de muestras	103
Numero de muestras planas y alargadas	13
% Caras planas y alargadas	12,62

Analizando el resultado obtenido, el porcentaje de partículas cuya relación entre dimensión máxima y mínima es mayor a 5, están representadas por un total de 13 partículas, de las 103 ensayadas, las cuales representen un total de 12,62 % con esta morfología. De acuerdo con la norma ASTM D-4791 el porcentaje admitido para mezclas asfálticas es del 10 % máximo, quedando el valor obtenido por encima del establecido por la norma.

Según León & Ramírez (2010) indican que, la forma de las partículas afecta la trabajabilidad y colocación del concreto en estado fresco. El requerimiento de pasta de cemento de la mezcla de concreto está asociado a la superficie específica de los agregados.

Las partículas con una superficie específica menor como las de forma cúbica o redondeada requieren menos pasta de cemento para alcanzar la misma trabajabilidad que una mezcla de concreto producida con agregados de mayor superficie específica como aquellos que contienen partículas elongadas y aplanadas. Adicionalmente, las partículas aplanadas, alargadas, angulares y rugosas al acomodarse tienen un alto contenido de vacíos, que hacen que la mezcla requiera de más arena para proporcionar un concreto manejable. Cuando esto sucede, la finura de la mezcla de agregados es mayor, es decir que tiene una superficie específica mayor, y por ende el requerimiento de pasta incrementa.

De lo anterior se puede decir que los agregados con alto contenido de partículas planas y alargadas son más susceptibles a fallar al momento de que se les aplique una presión mínima, ya que su forma no es apropiada por ser tan delgada, por lo tanto, es imprescindible determinar la cantidad de ellas presentes en el agregado grueso, debido a que este es el encargado de darle resistencia a la mezcla asfáltica, además el uso de partículas con características morfológicas irregulares o que tengan una área superficial adecuada permiten una mejor adherencia en la mezcla haciendo que su resistencia sea mayor.

➤ *Método de ensayo para determinar la densidad de los agregados gruesos*

Con el ensayo correspondiente se determinó la densidad de los agregados gruesos, para ello fueron consideradas 4 muestras, a las cuales se les pesó para conocer su masa en húmedo, en seco y saturada. Adicionalmente se les determinó su masa con una capa de material aislante (Parafina) cuya densidad es 0,88 g/cm³, a fin de recubrirlas para que no absorban un porcentaje de agua al ser sumergidas en ella. De los datos se determinó la densidad para cada muestra y se calculó el promedio de esta, dando un valor de 2,75 g/cm³

Tabla 26. Densidad de los agregados gruesos.

Muestra	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)	Masa Saturada (g)	Masa con parafina (g)	Masa con parafina y H ₂ O (g)	Densidad (g/cm ³)
2653-1	82,8	82,7	83,2	86,7	52,3	2,72
2653-2	111,7	111,5	112,2	115,7	71,1	2,74
2653-3	85,4	85,2	85,8	89,1	53,8	2,70
2653-4	67,5	67,4	67,6	70,5	43,6	2,86
Densidad Promedio (g/cm³)						2,75

➤ *Ensayo de fragmentación*

Para este ensayo se tomaron 4 muestras a las cuales se les realizó dos etapas de trituración, con el propósito de determinar la forma resultante de los fragmentos una vez triturados, para ello se efectuó un cuarteo manual y se dividió en 5 (cinco) grupos para determinarles la longitud mayor, intermedia y espesor. Las formas fueron evaluadas a través de la clasificación de Zingg (1935) y de acuerdo a las tablas de comparación visual de Powers (1982).

En la Figura N°64, se muestran los resultados derivados de la trituración primaria y secundaria de las muestras ensayadas.



Figura 64. Ensayo de fragmentación para determinar forma

En el gráfico de la Figura N°48 se presenta el análisis de la evaluación morfológica de cada muestra obtenida después de ser sometidas al ensayo de fragmentación.

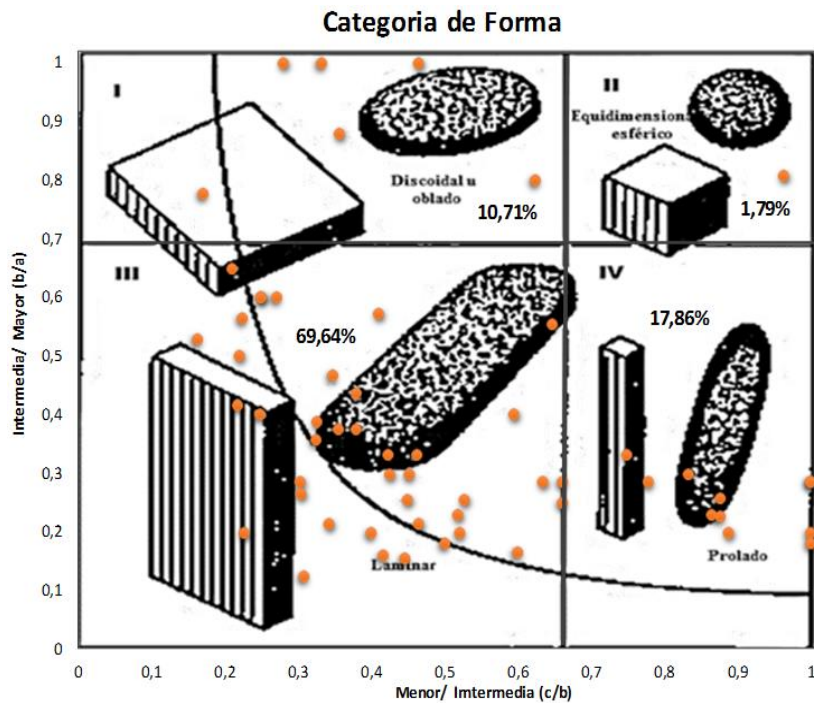


Figura 65. Categorías de las formas de Zigg (1935). (Modificado de Krumbein, 1963)

Con relación al estudio de la forma de los fragmentos generados, se realizó la clasificación de acuerdo a las tarjetas de Formas de zigg (1935), en donde se estimó los parámetros de elongación (b/a) y delgadez (c/b) y posteriormente se analizó considerando lo indicado en la Tabla N°5 de Clasificación del índice de forma. En el gráfico de la Figura N°58, se presenta la dispersión de los datos para lo cual se obtuvo que el 69,64 % presentan forma laminar, el 17,86 % forma prolada, el 10,71 % discoidal oblado y solo el 1,79 % son equidimensionales o esféricos. De acuerdo a las tablas de comparación visual de Powers (1982) de la Figura N°17, los fragmentos son de tipo ANGULOSAS Y DE BAJA ESFERISIDAD como puede apreciar en la Figura N°66.



Figura 66. Resultados de la Trituración Secundaria

Es evidente que el porcentaje del índice de forma más alto se debe quizás a las características litológicas de las muestras, que por su naturaleza metamórfica es un esquistos, el cual tiende a romper por sus planos preferenciales de foliación. Según lo indicado por Tarbut (2005) “los esquistos poseen textura foliada, estas superficies de foliación se consideran como superficies de debilidad y los resultados de su fragmentación serán fragmentos delgados y paralelos a esta superficie.”

Estos resultados son concordantes con lo obtenido en la determinación de la forma de los agregados gruesos producidos por la planta en donde la mayoría de estos presentaron forma alargada y plana.

Fase IV. Balance de Masa del circuito de la planta II

Estimación de la Alimentación

En la Tabla N°27, se observa la alimentación diaria en metros cúbicos que ingresa a la planta para el mes de agosto del presente año, la cual era realizada por un camión de 24 m³ marca BELL, modelo B40D para producir Piedra 3/4, Arrocillo y Polvillo, dando una alimentación total de 2.052 m³ de materia prima, igualmente se determinó la alimentación promedio de la planta, sin considerar los días de parada técnica ya que no afecta los valores a la hora de determinar este promedio. El valor de alimentación promedio es de 164,04 m³/día considerando un tiempo operativo de la planta por día de 5 horas, lo que permite estimar la producción horaria en 32,8 m³.

Tabla 27. Alimentación diaria de Planta 2, durante el mes de agosto

Producción	Piedra 3/4 (m3)	Arrocillo (m3)	Polvillo (m3)	Total, Alimentación Planta 2 (m3)
Lunes, 01 de agosto de 2022	48	28	48	124
Martes, 02 de agosto de 2022	70	31	65	166
Miércoles, 03 de agosto de 2022	65	48	56	169
Jueves, 04 de agosto de 2022	Parada Técnica			0
Viernes, 05 de agosto de 2022	Parada Técnica			0
Sábado, 06 de agosto de 2022	Parada Técnica			0
Total, semana 1	183	107	169	459
Lunes, 08 de agosto de 2022	73	14	73	160
Martes, 09 de agosto de 2022	68	17	62	147
Miércoles, 10 de agosto de 2022	Parada Técnica			0
Jueves, 11 de agosto de 2022	Parada Técnica			0
Viernes, 12 de agosto de 2022	62	17	56	135
Sábado, 13 de agosto de 2022	Parada técnica			0
Total, semana 2	203	48	191	442
Lunes, 15 de agosto de 2022	79	14	82	175
Martes, 16 de agosto de 2022	51	46	22	119
Miércoles, 17 de agosto de 2022	98	56	84	238
Jueves, 18 de agosto de 2022	Parada técnica			0
Viernes, 19 de agosto de 2022	56	28	56	140
Sábado, 20 de agosto de 2022	Parada técnica			0
Total, semana 3	284	144	244	672
Lunes, 22 de agosto de 2022	73	42	98	213
Martes, 23 de agosto de 2022	Parada técnica			0
Miércoles, 24 de agosto de 2022	28	14	14	56
Jueves, 25 de agosto de 2022	Parada técnica			0
Viernes, 26 de agosto de 2022	28	14	28	70
Sábado, 27 de agosto de 2022	Parada técnica			0
Total, semana 4	129	70	140	339
Lunes, 29 de agosto de 2022	Parada técnica			0
Martes, 30 de agosto de 2022	28	14	42	84
Miércoles, 31 de agosto de 2022	14	14	28	56
Total, semana 5	42	28	70	140
Total, Mes	841	397	814	2.052
Promedio de producción (Dia)				164,06

Desarrollo del balance de masa

El desarrollo del balance de masa de la Planta de Trituración II permite identificar los parámetros de alimentación y descargas en cada punto de las fases de fragmentación y clasificación, de esta forma se puede establecer las capacidades adecuadas de los equipos.

Con el fin de describir las etapas por las que pasa el material para su tratamiento, se identificó con las letras cada uno de los puntos de entrada y salida del sistema, identificando así los nodos del circuito, en donde cada letra representa el caudal de material que pasa por determinado punto. En la Figura N°67 se muestra la alimentación que entra en el clasificador de barrotos, identificada con la letra (A), mientras que la salida está representada por dos productos: el retenido (B) y el pasante (C), por lo cual el balance de este equipo va a ser la expresión $A=B+C$. Igualmente se realizó este procedimiento para todo los equipos que conforman el circuito, obteniendo así las expresiones que se muestran en la Tabla N°28.

Tabla 28. Evaluación de los puntos de entrada y salida del material en los nodos del circuito

Flujos – Equipo	Balance
Alimentador	$A=B+C$
Trituradora de mandíbula	$B=X$
Codo 1 (Banda 10)	$B+C=D$
Criba 8	$D=E+Z+F$
Cono 9	$E=H$
Codo 2 (Banda 12)	$P=K+H+Z$
Criba 15	$P=I+J$
Cono 18	$I=K$
Circuito Total	$A=F+J$

En la Figura N°67, se puede apreciar la distribución de los puntos de entra y salida en las fases del circuito

PLANTA DE TRITURACIÓN II. "CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S. A"

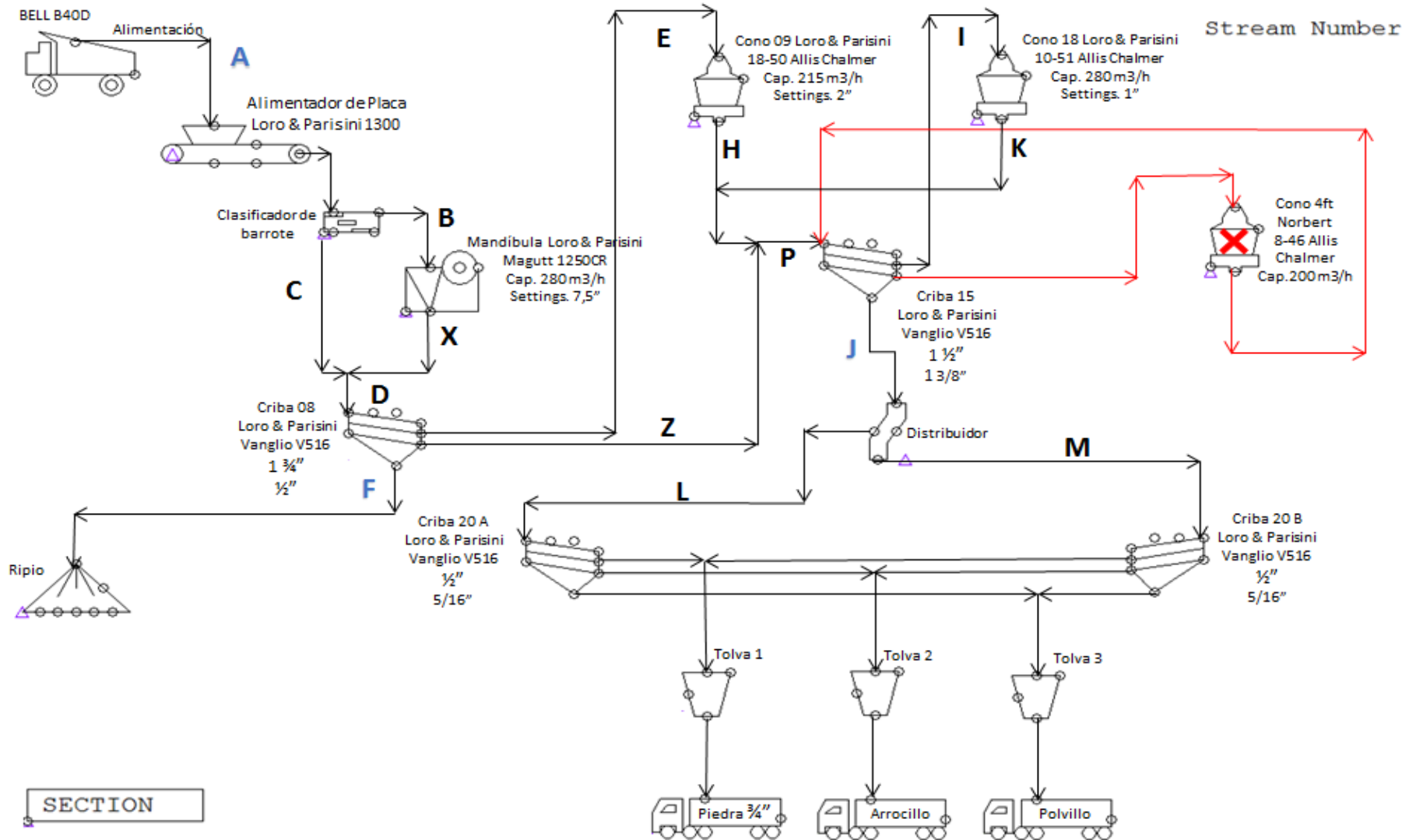


Figura 67. Puntos de entrada y salida en los procesos de Planta

Posteriormente se determinó el porcentaje de mineral que fluye a través de los procesos de clasificación, según las aberturas de mallas de las cribas y las curvas granulométricas de la alimentación de estas y se establecieron dichos porcentajes. En la Figura N°68 se observa que teóricamente en la etapa de preclasificación se tiene que el porcentaje de mineral que pasa a través de los barrotes es de 20 % de la alimentación (A), y el porcentaje de retenido que alimenta a la trituradora de mandíbula es el 80% de este.

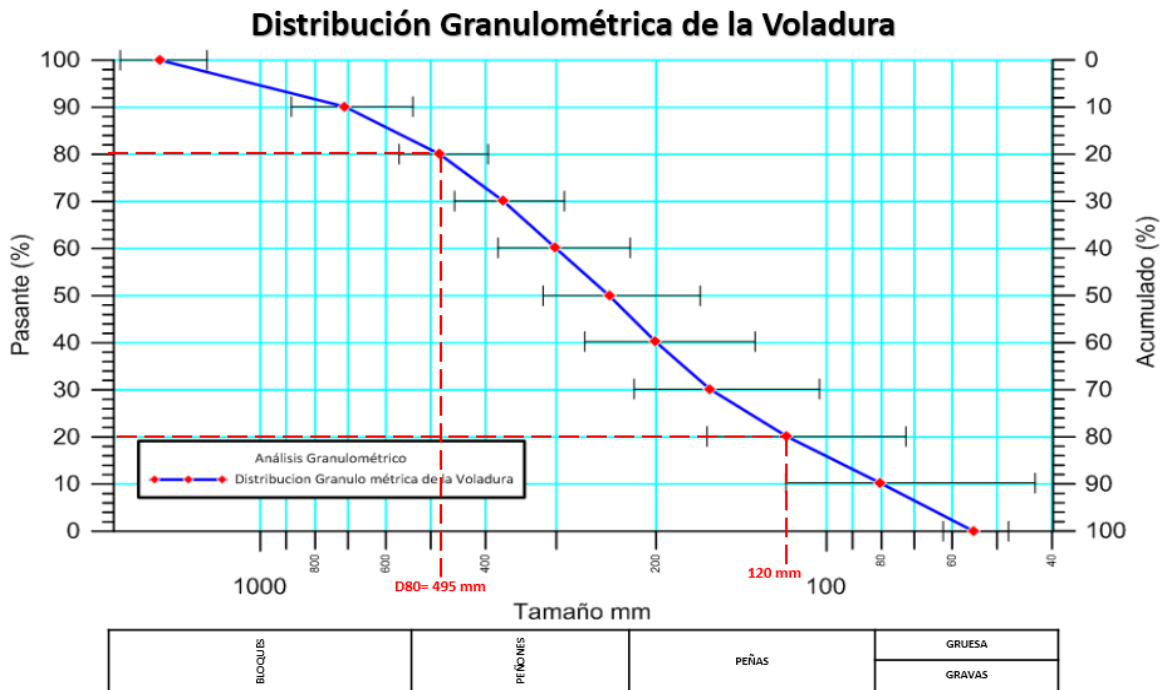


Figura 68. Evaluación del porcentaje de tamaño que pasa a través del clasificador de barrotes

Durante el estudio el clasificador de barrote se encuentra totalmente obstruido de material, ocasionado que toda la alimentación pase directamente a la trituradora de mandíbula. En la Figura N°69 se muestra la distribución granulométrica de la alimentación de las cribas, en donde se observa el porcentaje de mineral retenido o pasante en cada paño. En la sección A se aprecia la curva granulométrica de alimentación de la criba 08, la cual corresponde a la descarga de la trituradora de mandíbula, en esta distribución se aprecia que, para el manto superior, el retenido alcanza el 40 % de material, mientras que el material de diámetro con abertura menor al manto inferior (1/2”) representa un 24 %, que sale del circuito, quedando entre los dos mantos un 36 % del flujo de alimentación que va a la trituración secundaria.

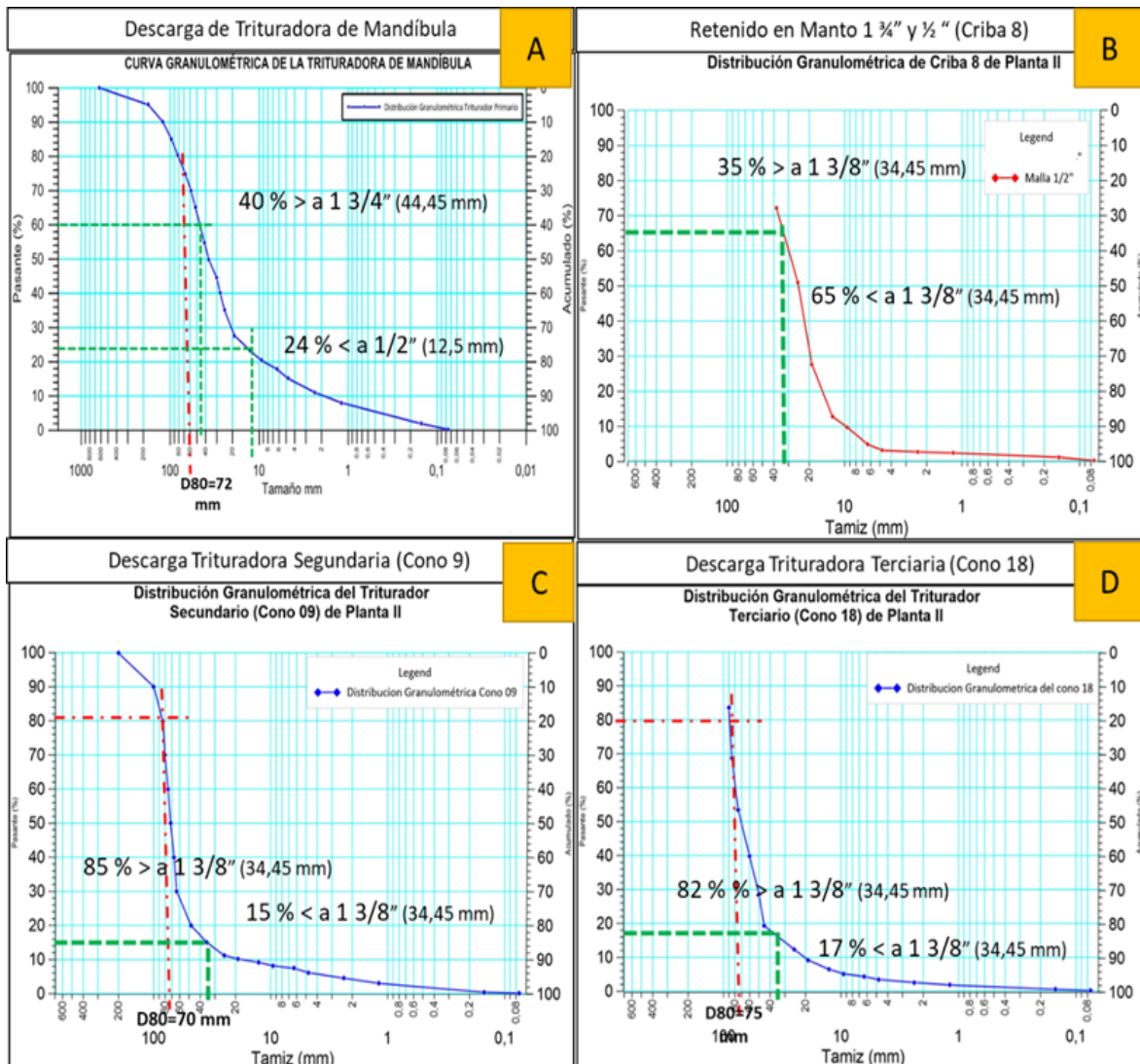


Figura 69. Distribución Granulométrica de las Cribas

La Figura N°70 muestra los porcentajes de materiales triturados que fluyen en cada etapa de clasificación de acuerdo con el análisis de los gráficos del comportamiento granulométrico del material que alimenta las cribas mostradas en la etapa anterior.

PLANTA DE TRITURACIÓN II. "CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S. A"

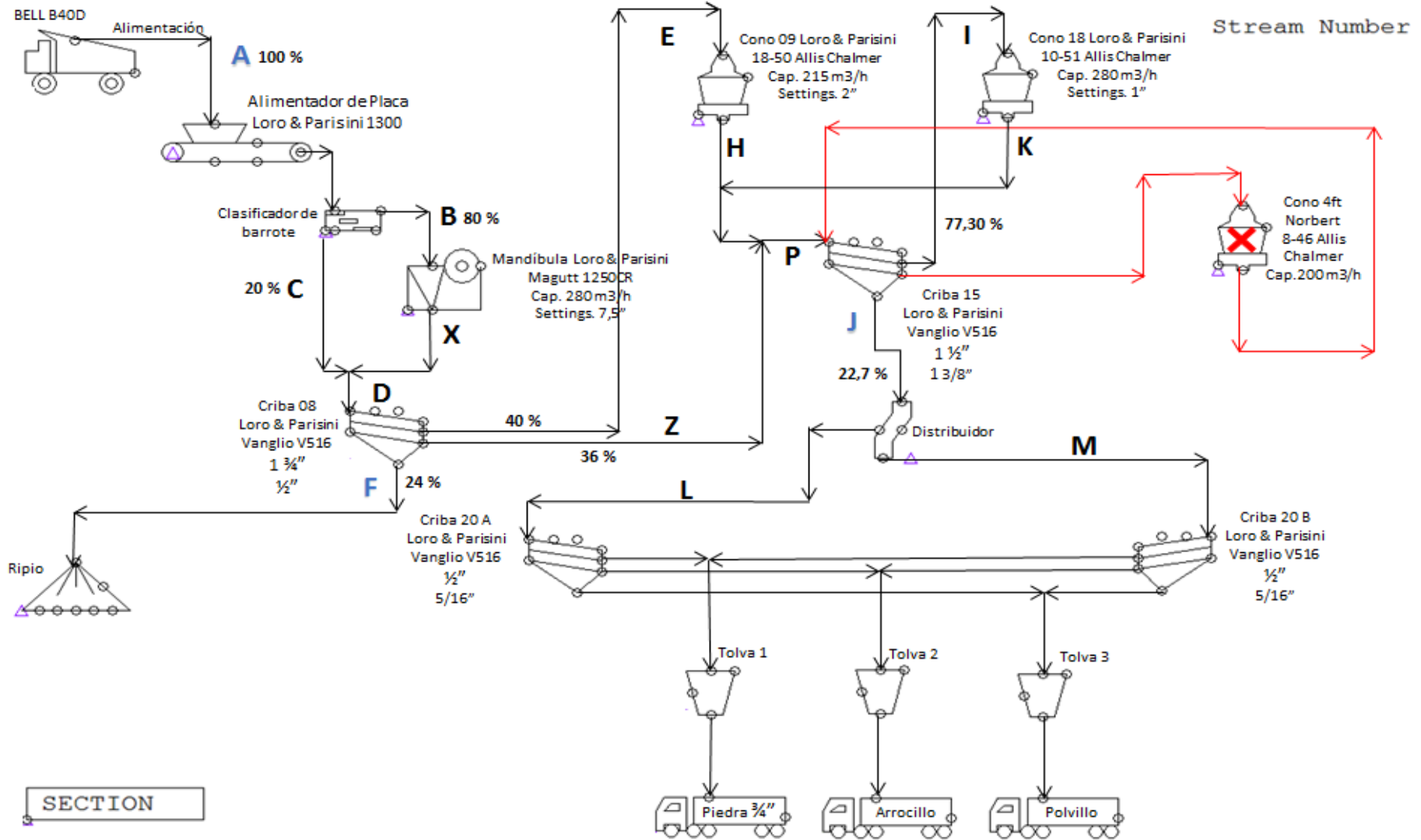


Figura 70. Porcentaje de tamaño que fluye a través de las cribas

Balance de masa

Establecido el diagrama de flujo de la planta con todos los datos técnicos de los equipos, el sentido y la dirección del recorrido del procesamiento del material, se determina el caudal que tendrá la entrada y salida de cada equipo de reducción de tamaño y clasificación. Para ello se tomó la granulometría del material resultante de cada equipo y se observó el porcentaje de material que se dividirá en cada una de las etapas de clasificación, los materiales que no cumplan con la granulometría requerida, forman un retorno de material entre el clasificador y la trituradora, permitiendo que se genere un sistema de circulación interno cerrado, donde se produce lo que se denomina masa circulante

Realizado los pasos mencionados, se calculó el balance de masa para la producción actual, como se muestra en la Figura N°71 en donde la alimentación del circuito es de 32,8 Tn/h, alcanzado el régimen de equilibrio del sistema. Se observa que el cono 18 opera en circuito cerrado en conjunto con la criba 15, en donde la carga circulante es de 340,6 %, por lo tanto, se puede decir que la configuración actual que presenta el equipo no está alcanzando los factores de reducción de tamaño requeridos.

PLANTA DE TRITURACIÓN II. "CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S. A"

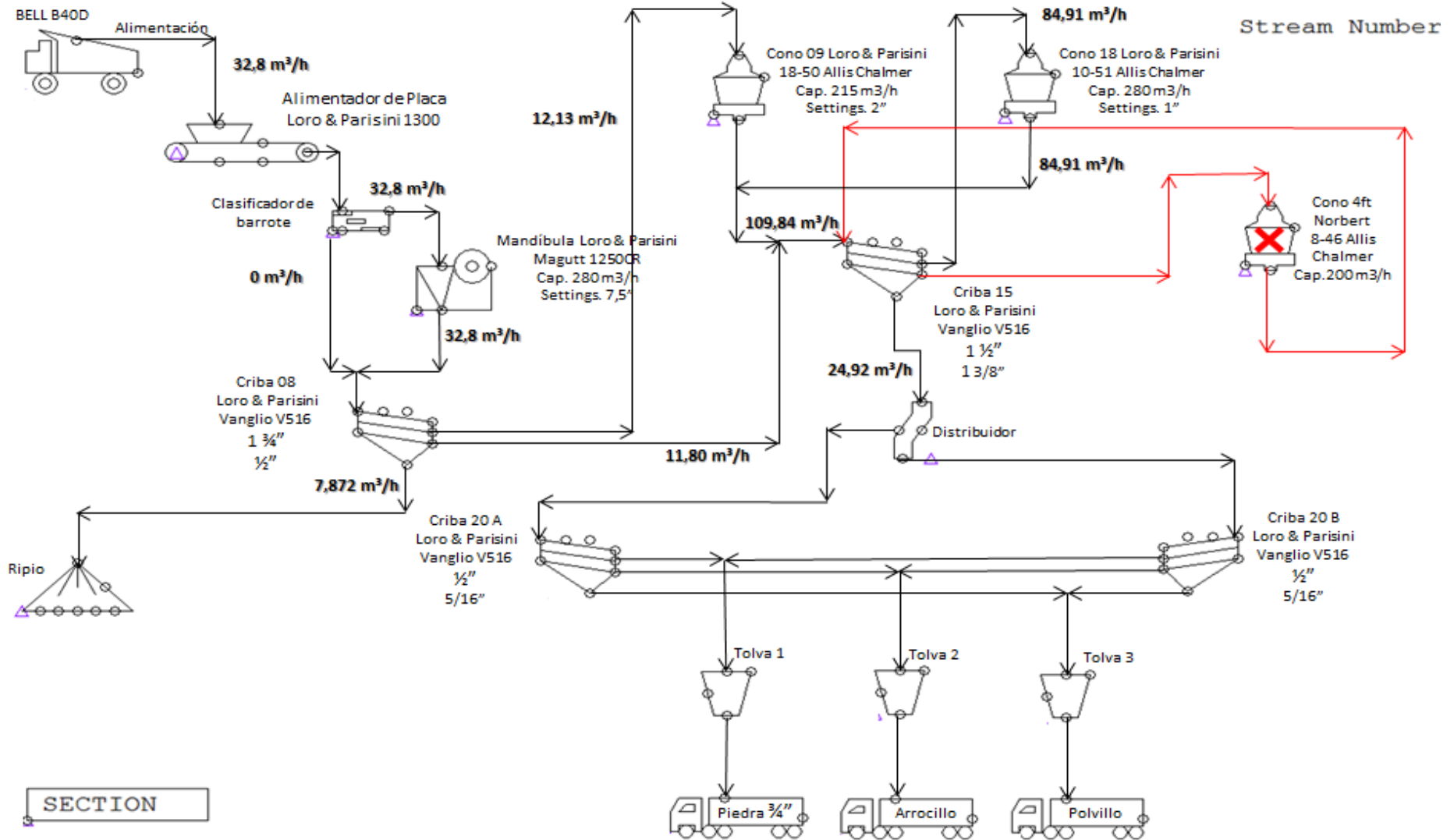


Figura 71. Balance de masa del circuito con la alimentación actual

Posteriormente se efectuó el balance de masa según la capacidad instalada del equipo de trituración primaria, a fin de determinar la influencia de la máxima alimentación del circuito, para lo cual se puede apreciar que el flujo de material debe disminuir en la alimentación del triturador terciario, ya que la trituración cuaternaria se encuentra inoperativa, ocasionando, que el triturador terciario admita todo el material proveniente de la tercera etapa de clasificación realizada por la criba 15, causando un desequilibrando del balance (Ver Figura N°71).

PLANTA DE TRITURACIÓN II. "CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S. A"

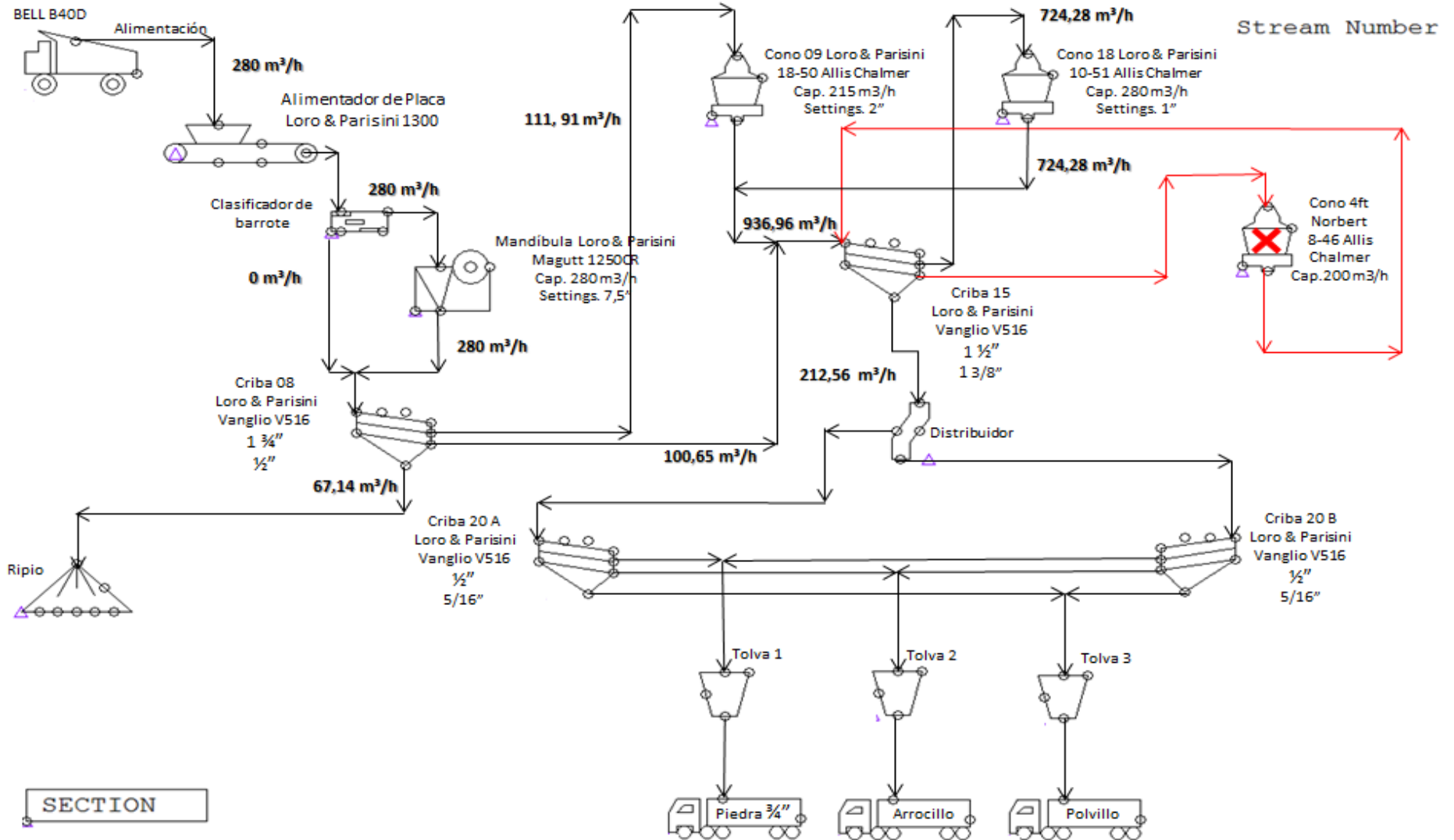


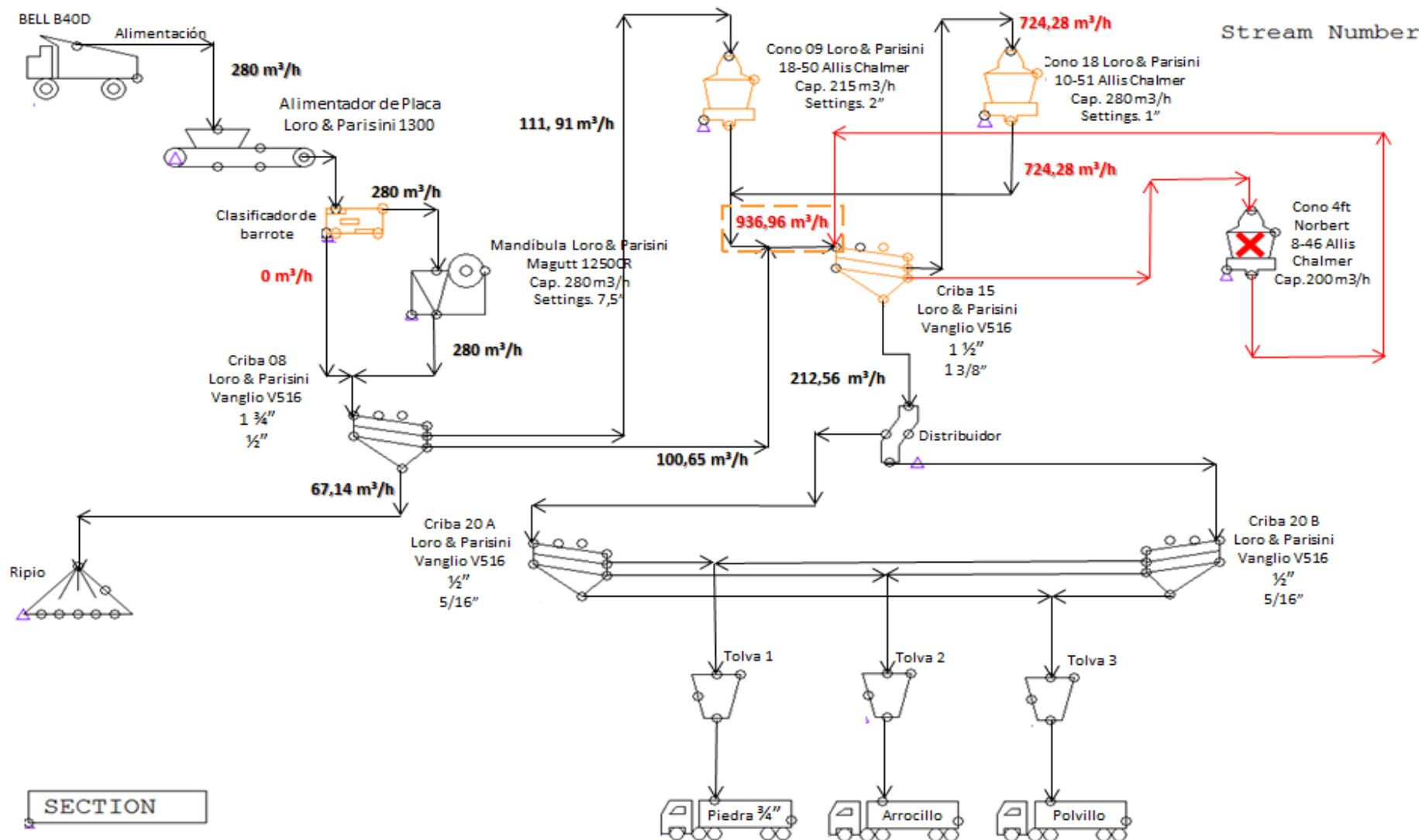
Figura 72. Balance de masa del circuito con la capacidad instalada

Evaluación de los puntos críticos del sistema

Realizado el balance de masa de la planta de producción de agregados, se determinaron los puntos críticos del sistema, con la finalidad de conocer los recursos que limitan al sistema de producción y así poder identificar oportunidades de mejoras que permitan relevar los posibles cuellos de botellas, de tal manera que se pueda generar los productos requeridos para satisfacer la demanda comercial de la empresa.

Para la evaluación de los puntos críticos se consideró lo indicado por Yong et al (2015), el cual evalúa varios factores: puntos de congestión que ocurren en el proceso del producto, aquel recurso cuya capacidad es menor que las demandas exigidas, el proceso que puede estar limitando el rendimiento del sistema, y la instalación, maquina, operador o conjunto de procesos que limita la operación. Dicho esto, se efectuó el análisis del diagrama de procesamiento a fin de determinar los puntos de afectación del sistema. En la Figura N°73, se muestra de color naranja, los puntos críticos determinado para la planta II evaluados según su capacidad instalada

PLANTA DE TRITURACIÓN II. "CANTERA DEL DISTRITO CAPITAL S. A"



SECTION

Figura 73. Puntos críticos en la Planta de Trituración II

Puntos críticos encontrados en el proceso de trituración y clasificación de la Planta de Trituración II.

- **Clasificador de barrotes:** en la actualidad este equipo representa un punto crítico en el sistema, ya que no realiza con eficiencia su trabajo debido a que se encuentra obstruido por una capa de material fino, que no le permite clasificar el material de alimentación, haciendo que pasen directamente a la trituración primaria. Por consiguiente, se puede decir que se genera un bajo rendimiento en la clasificación de los finos proveniente de la alimentación de la planta.
- **Eficiencia en Trituración secundaria (cono 9) y terciaria (cono18):** estas etapas representan puntos críticos puesto que, en la evaluación de la eficiencia se determinó que estos equipos no alcanzan los valores teóricos de reducción de tamaño esperados, lo cual no supero ni si quiera una relación de 2 a 1, dejando en evidencia el bajo rendimiento realizado en la operación. Se puede considerar que en la actualidad estos equipos efectúan la trituración del material como si fueran equipo con mecanismo de fractura de tipo desgaste, donde ocurre la degradación del material debido a la combinación de acción por abrasión entre partículas sólidas del equipo con los cuerpos de roca, generando así que en la distribución de tamaño existan partículas finas y gruesas.
Adicionalmente, se observó que el cono 18 representa una zona de cuello de botella debido a que el equipo posee una capacidad máxima de 280 m³/h, mientras que el flujo de material que circula por este, una vez alcanzado el régimen en la planta de trituración sería de 724,28 m³/h, lo que sobrepasa la cantidad de material que este sería capaz de admitir.
- **Flujo de alimentación de la criba 15:** este flujo está representado por todo el material que cae directamente a la banda 12 el cual proviene de la descarga de la trituración primaria y secundaria, así como del material pasante del paño inferior de la criba 8, por lo tanto una vez que se alcanza el régimen de estabilidad a la máxima capacidad del circuito, la cantidad de mineral que se encontrará en este punto sobrepasa la capacidad de la criba con un total de 936,96 m³/h ocasionado puntos de congestión en el proceso del producto.

- **Criba 15:** en este punto se calculó la carga circulante, en donde la relación de material fino que pasa a través de la criba junto con el grueso que es retenido y envidado a el cono 18, da como resultado una carga circulante de 340,6 %, esto quiere decir que la fracción gruesa es mucho mayor a la porción fina, lo cual se debe a la poca eficiencia con los que están operando los equipos de reducción de tamaño, o quizás por causa de la inoperatividad del cono 4ft.

Fase V. Propuesta de adecuación de la planta

Producción de agregados generado por la planta

Para determinar los porcentajes de productos comerciales generados por la planta se realizó la curva granulométrica en una etapa previa a la clasificación de los productos finales. En la Figura N°74, se aprecia el comportamiento granulométrico del material que paso por todas las etapas de reducción de tamaño. La distribución granulométrica permitió determinar que 41 % de la producción es de Piedra ¾”, el 14 % corresponde a Arrocillo mientras que el 45 % restante es de Polvillo, evidentemente la producción de material fino es mayor, esto puede deberse a que en las etapas de trituración el material no está siendo fragmentado correctamente.

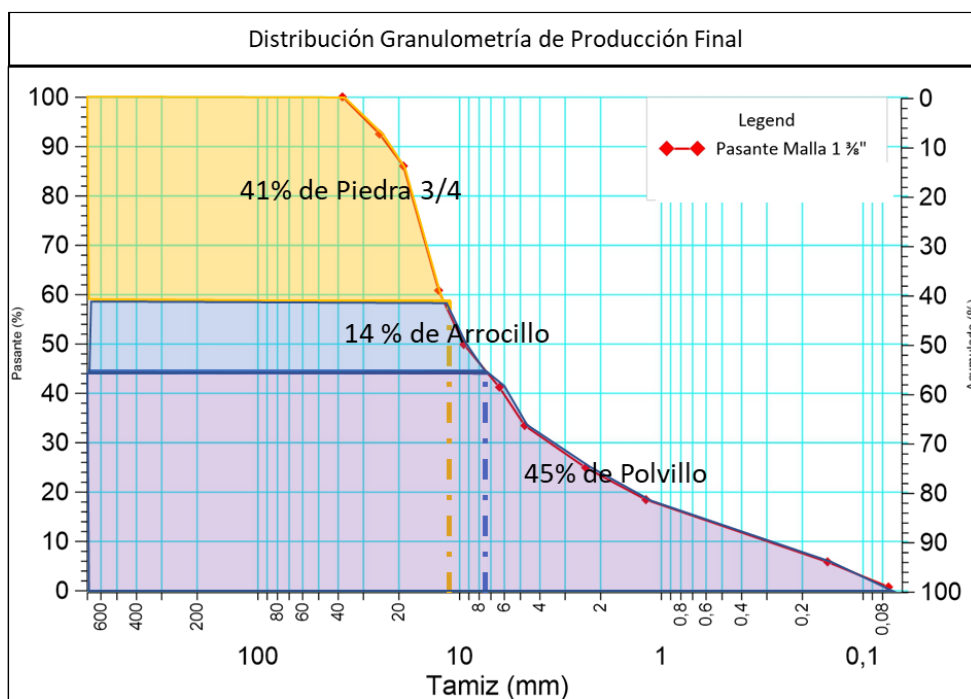


Figura 74. Muestra la distribución porcentual de los agregados.

Determinación de la demanda de los agregados comerciales

Para la estimación de la demanda de los productos, se solicitó a la unidad de facturación de la empresa las órdenes de compras, donde se evaluaron los meses comprendidos entre enero y agosto del presente año, a fin de determinar los porcentajes de Piedra ¾”, Arrocillo y Polvillo demandados por mes. Finalmente se estimó el promedio mensual de los distintos tipos de agregados, dando como resultado una demanda mensual de 54,7 % para Piedra ¾”, 15,40 % para Arrocillo y 30,43 % para Polvillo (Ver Tabla N°29).

Tabla 29. Demanda mensual de los productos

Mes	Piedra ¾	Arrocillo	Polvillo
Enero 2022	46,45	10,25	43,30
Febrero 2022	60,10	15,89	24,01
Marzo 2022	55,01	14,68	30,31
Abril 2022	54,90	16,72	28,38
Mayo 2022	59,80	14,21	25,99
Junio 2022	54,00	16,17	29,84
Julio 2022	51,50	20,59	27,92
Agosto 2022	51,60	14,67	33,73
Promedio	54,17	15,40	30,43

Comparación de la demanda vs la Producción

En la Figura N°75, se muestra la comparación de los valores de producción vs la demanda que tiene de la empresa. La producción de Piedra ¾” es de 41 %, mientras que su demanda está por el orden de los 54,17 %, esto quiere decir que la empresa actualmente no supe la totalidad de la demanda, quedando así un 13,17 % de Piedra ¾” sin suplir. Por otra parte, la producción de Polvillo es de 45 % mientras que la demanda es de 30,43 % de los productos demandados, lo que indica que la empresa supera la demanda actual en un 14,57 %.

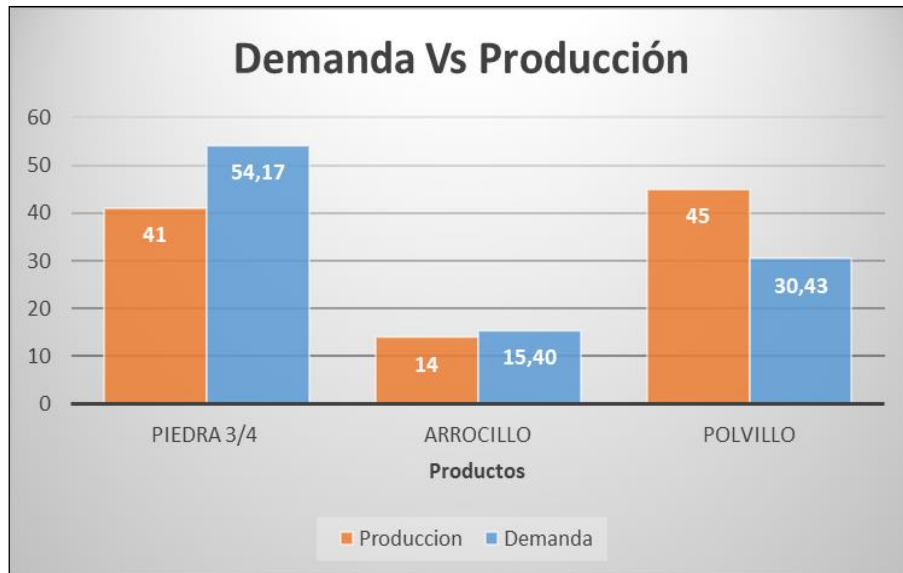


Figura 75 Comparación de la demanda vs la Producción

Propuesta de Adecuaciones para la Planta de Trituración II

Una vez que han sido identificados los puntos críticos que causan los cuellos de botella en el sistema, se puede decir que la principal problemática que se presenta en la planta de agregados gruesos, se debe a dos variables: la primera es la baja eficiencia en las operaciones de reducción de tamaño y la segunda es a la calidad del producto. Con relación a esto, existen varias situaciones que se pueden modificar para optimizar el proceso para ello, se tienen propuesta respecto a cambios estructurales y propuestas de tipo decisiones gerenciales.

Cambios estructurales:

1. *Con el fin de disminuir la cantidad de fino que ingresa a la planta para así contribuir con la disminución de la generación de polvillo se propone:*

Sustituir el clasificador de barrotes por un “**alimentador vibratorio tipo Grizzly**” ya que es un equipo de mejor eficiencia en la separación de fino, debido a que efectúa la clasificación dimensional de las partículas gruesas y finas del material proveniente de la voladura, dejando entrar al circuito solo fragmentos de rocas grandes. El equipo debe contar con una capacidad acorde con el flujo de alimentación y la máxima capacidad de la tolva de entrada de la planta (97,11 m³) además el área de la superficie debe ir acorde a geometría inferior de la tolva de alimentación. Un ejemplo de este equipo es el que se muestra en la Figura N°76.



Figura 76. Alimentador vibratorio tipo Grizzly. Tomado de: Metso

2. Aumentar la eficiencia en la trituración secundaria y terciaria:

Triturador secundario

Según los datos suministrados por la empresa, el triturador secundario cuenta con un diámetro de salida de 2", mientras que en los resultados mostrados en la Figura N°55 podemos observar que el porcentaje de partículas es mayor a este diámetro es de 80% y en vista de que el análisis de eficiencia de este equipo arrojó una baja eficiencia en sus operaciones de reducción de tamaño. Se recomienda hacer las mediciones correspondientes y graduar la dimensión del diámetro de salida, que permita el aumento de la razón de reducción de forma tal que la mayor cantidad del material pueda ingresar a la trituradora de terciaria con un diámetro acorde a la alimentación.

Triturador terciario

Igualmente se recomienda evaluar los diámetros de entrada y salida realizando las mediciones correspondientes además graduar las dimensiones de admisión y el diámetro de salida, que permita el aumento de la razón de reducción de forma tal que no exista gran cantidad de material recirculando ya que el cono está generando apenas un 18 % de material que cumple con las características de los productos finales, el otro 82 % son de sobretamaño que recircula en el circuito. Es por esto que se propone que el diámetro de salida sea de 1 3/8", de esta forma se podrá generar la mayor cantidad de partículas de menor diámetro, garantizando que el D_{80} de granulometría pase a través de la criba final.

Adicionalmente se propone realizar un estudio que permita evaluar los distintos tipos de mantos, para que se ajusten al tipo de material que se está explotando, así igualmente contribuir en la mejora de la eficiencia de esta fase de trituración.

3. Activar equipos inhabilitados:

Estos cambios estructurales nos llevan a un equipo inhabilitado en la planta de trituración II, el cono 4ft, el cual es el encargado de la trituración cuaternaria del proceso. Al activar este equipo se estaría mejorando la eficiencia en la fragmentación de las rocas, y se estaría disminuyendo la carga circulante dentro del circuito, permitiendo así nivelar el balance de masa de la planta para aumentar su producción.

Decisiones gerenciales:

1. Programa de mantenimiento:

Se propone seguir una planificación de mantenimiento predictiva y preventiva a fin de analizar las posibles anomalías en el funcionamiento de los equipos, de modo que puedan solucionarse antes de que se origine la falla. Para este plan de tomarse en consideración los tiempos de parada de los equipos, motivo de las paradas, tiempo de reparación y frecuencia de la falla, a fin de prever paradas no planificadas que bajen el nivel de producción de la planta. En relación a las actividades que se deben desempeñar para el buen funcionamiento de los equipos son: revisión al sistema de lubricación de los equipos de reducción de tamaño, cambio de rodillos de carga en las bandas transportadoras, sustitución de los cedazos que presentan paneles con aberturas mayores a los correspondiente por este, protección al sistema eléctrico de los equipos, así mismo efectuar limpiezas en las pazos que conectan los procesos de la planta con el propósito de evitar accidentes laborales.

2. Con el fin de mejorar los productos generados por la planta y disminuir el porcentaje de caras largas y aplanadas, se propone lo siguiente:

Controlar de mejor forma el método de explotación y selección de los materiales, mediante una planificación minera estructurada en mejorar la calidad del agregado para disminuir la cantidad de caras planas y alargadas presente en los productos, en vista de que los agregados tienen un porcentaje mayor a lo establecido por la norma ASTM D-4791 en donde se admite un 10% máximo en mezclas asfálticas.

3. Adquisición de elementos consumibles para equipos de trituración:

Adquirir nuevos forros para los equipos de fragmentación considerando los valores obtenidos de los ensayos mecánicos, aquel que genere mayor cubicidad en los fragmentos y seleccionando correctamente la cavidad del revestimiento de la trituradora con el

propósito de obtener la granulometría deseada. Por ejemplo, para las trituradoras de cono en vista de que tienen varias opciones de cavidad con diferentes aberturas de alimentación y rangos de ajuste, se puede seleccionar la cavidad correcta según el tamaño y la configuración de la alimentación. En la Figura N°77 se exhiben los distintos mantos y el tipo de cavidad que estos presentan para su selección.

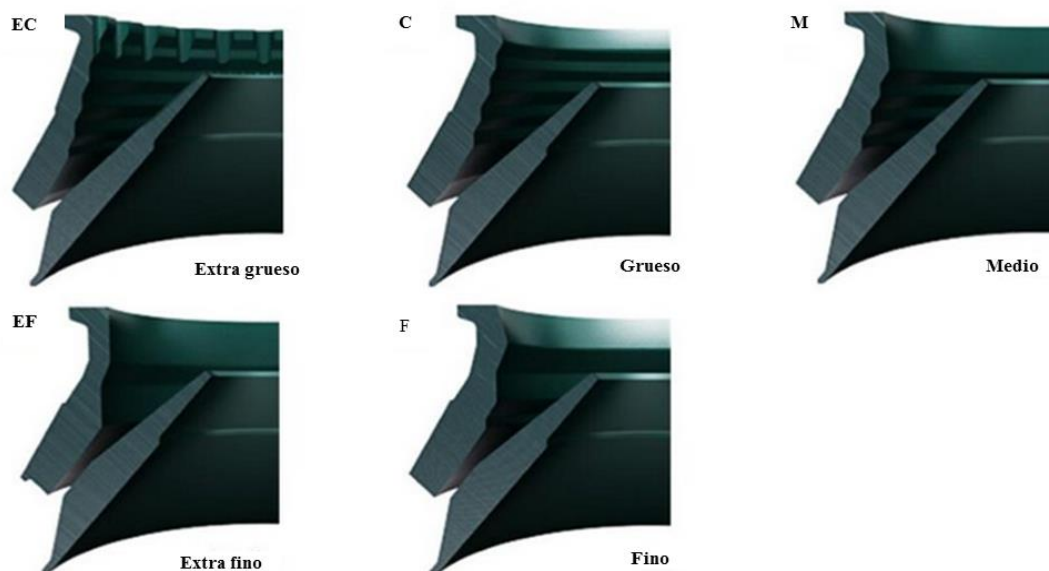


Figura 77. Tipos de forros y cavidad: (EC, C, M, EF, F) para trituradoras de cono. Fuente: Metso

En la Tabla N°30, se presentan el calibre de salida de acuerdo al tipo de cavidad y diámetro de alimentación para la selección del revestimiento de la trituradora de cono, presentado por Metso.

Tabla 30. Selección de cavidad basada en la apertura de alimentación (Metso)

Tamaño de la trituradora	Cavidad	Mínimo Setting "A"	Apertura de alimentación "B"
HP3	Extra fino	8 mm (0,31")	18 mm (0,78")
	Fino	11 mm (0,43")	95 mm (3,74")
	Medio	15 mm (0,59")	156 mm (6,15")
	Grueso	20 mm (0,79")	183 mm (7,20")
	Extra grueso	25 mm (0,99")	200 mm (7,89")
HP4	Extra fino	8 mm (0,31")	74 mm (2,91")
	Fino	10 mm (0,39")	116 mm (4,57")
	Medio	16 mm (0,63")	169 mm (6,65")
	Grueso		
	Extra grueso	28 mm (1,10")	252 mm (9,92")
HP5	Extra fino	9 mm (0,35")	56 mm (2,20")
	Fino	12 mm (0,47")	112 mm (4,41")
	Medio	18 mm (0,71")	205 mm (8,07")
	Grueso	25 mm (0,98")	290 mm (11,41")
	Extra grueso	30 mm (1,18")	330 mm (12,99")

CONCLUSIONES

En función del análisis de resultado se obtuvieron las siguientes conclusiones:

La elaboración de fichas técnicas para cada equipo permitió realizar un inventario de las piezas deterioradas de los equipos, y si estas piezas se pueden cambiar a reparar. En estas fichas se describe la condición de cada elemento principal, se detalla la existencia de partes desgastada y/o si los componentes poseen fugas de aceites.

Se determino las fallas de los equipos, resultando que las fallas en general están asociadas a la falta de rodillos como es el caso de las bandas transportadoras, fugas de lubricantes y desgastes en los mantos presentes en el triturador secundario, terciario y cuaternario.

El diagnostico permitió determinar la disponibilidad de los equipos: 32% están operativo en excelentes condiciones, 58% se encuentran operativos funcionales, 5% operativos con fallas y 5% no funcionan. Además, permitió identificar de acuerdo la mecánica general, desgaste en piezas, botes de lubricante, piezas faltantes y estado físico que el equipo con más fallas encontradas es el triturador cuaternario identificado como Cono 4tf debido a problemas en la corona, piñón y contra eje.

A través del diagnóstico realizado se obtuvo que los equipos con un alto índice de funcionalidad son en su mayoría las bandas transportadoras, debido a que la empresa realizo inversiones en estos equipos.

De acuerdo con los análisis realizados en la distribución de tamaño de los equipos de trituración, se encontró que la razón de reducción actual para el triturador primario es de 7:1, para el triturador secundario de 1,5:1 y el terciario 1,3: 1, lo que nos indica según valores teóricos de reducción que estos últimos no se encuentran desempeñando correctamente su trabajo, ocasionado una baja eficiencia en las operaciones de trituración.

En relación a la cantidad de material producido durante la etapa de trituración secundaria y terciaria se determinó el porcentaje de agregados comerciales que se generan en función de la alimentación de estos equipos, encontrándose así que el triturador secundario produce un 16% de agregados comerciales, mientras que el triturador terciario solo genera un 18% de estos, lo que quiere decir que el 80% en ambas etapas recircula en el circuito hasta alcanzar la granulometría requerida.

Del análisis realizado a los productos generados por la planta, se obtuvo que la Piedra $\frac{3}{4}$ " no se encuentra bajo valores normado sean los estándares de la Norma COVENIN

277:2000 para clasificar como Piedra N°0. Sin embargo, de acuerdo a los porcentajes obtenidos en la distribución de tamaño la piedra picada clasifica como Piedra N°1, lo que nos indica que la empresa tiene una incorrecta denominación de sus agregados.

De acuerdo con la caracterización mecánica de las diferentes muestras ensayadas, se puede clasificar la roca según el criterio de ISRM (1981) como una roca Moderadamente dura y de buena calidad.

De los ensayos de resistencia a la compresión simple realizados se encontró un valor atípico arrojado en la muestra 2653-5 UCS del ensayo de compresión simple, seguramente originado por la composición mineralógica donde existe minerales con alta dureza.

En los procesos de trituración secundaria y terciaria de la planta se determinó que los equipos no están generando la granulometría del material deseada, debido que el D_{80} aproximado es de 75 mm y el tamaño requerido del producto final debe ser menor a 34,9 mm, es decir no alcanzando a producir el mayor porcentaje este diámetro. Lo que trae como consecuencia la recirculación del material y disminución de la producción. Los equipos de trituración deben adaptarse a los parámetros establecidos para el poder fragmentar eficientemente el material proveniente del yacimiento, capaces de proporcionar la fractura de la roca con un UCS entre 37,72 Mpa y 61, 52 Mpa.

Según estudios realizados sobre el porcentaje de partículas que presentan caras largas y aplanadas, se encontró que los agregados producido en planta II se encuentra fuera de valores permitido para su uso, esto puede ser causado por la litología presente en el yacimiento, que para el periodo de este estudio se estaba alimentando la planta con material esquistoso proveniente del frente de mina.

Del diseño del balance de masa, se pudo evaluar los puntos críticos en el circuito en donde se evidencio que el clasificador de barrotes genera un punto crítico ya que se encuentra tapado con material fino provocando que este particulado ingrese directamente a la trituración primaria. Así mismo en la criba 15 se tiene una saturación de material, puesto que el cono 4ft no está operativo, trayendo como consecuencia que se genere mayor recirculación en la trituración terciaria del sistema, y que no se cumpla adecuadamente la operación de clasificación.

La evaluación de los puntos críticos permitió establecer propuestas gerenciales y de tipo estructural de la planta. Cantera del Distrito Capital S.A, podrá considerar dichas

propuestas evaluando la factibilidad económica de implementar estas adecuaciones a fin de aumentar los niveles de producción de los agregados.

De los productos finales generados en la planta, la Piedra $\frac{3}{4}$ " es el agregado con mayor demanda, y en vista de que la planta no satisface los requerimientos de material exigidos por el mercado, se debe configurar las aberturas de salida de los equipos de trituración y adquirir nuevos forros que contribuyan a la producción de este tipo de granulometría

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los análisis y conclusiones realizados se presentan las siguientes recomendaciones:

Gerenciales

Se sugiere a la Unidad de Operaciones de la empresa realizar un estudio para la caracterización del agregado producido por la planta, en pro de cumplir con las especificaciones de mercado, siguiendo los estándares establecidos por las normas venezolanas de agregados para la construcción

Mediante las propuestas generadas se recomienda evaluar las características de los puntos críticos a fin identificar oportunidades de mejoras que permitan relevar los posibles cuellos de botellas en la planta, para ello se sugiere realizar un análisis técnico-económico de las propuestas planteadas.

En aras de cumplir con las normativas ambientales, es necesario reactivar el sistema de riego de la planta para el control de partículas suspendidas, permitiendo así encontrar una solución al problema.

Se recomienda a la empresa realizar estudios para la evaluación y control de sedimentos, para cuantificar la cantidad de finos que se pueden generar en operaciones de la planta, de tal forma de mitigar los impactos que estos puedan ocasionar a las redes hídricas.

Se recomienda realizar estudios a los productos finales con el propósito de ajustar la denominación de estos, a lo establecido por la norma COVENIN 277:2000.

Para mejorar la eficiencia en la fragmentación del triturador secundario y terciario de la planta se recomienda realizar un estudio en pro de conocer el manto más adecuado para generar las granulometrías requeridas.

Estructurales

Activar el cono 4ft a fin de garantizar la cuarta etapa de trituración en el sistema, para que las operaciones de fragmentación alcancen su eficiencia y no se produzca un aumento de la carga circulante en el circuito.

Revisión de las mallas o paños de las cribas para asegurar que no haya contaminación del material y un aumento de la carga circulante dentro del circuito. Adicionalmente se

recomienda acondicionar la planta garantizando la limpieza en todas las áreas de y pasillos de la misma, de esta manera también se evitarían accidentes laborales.

Sustituir los cedazos superiores de las cribas 08 y 15 ya que se encuentran con estructura de diferentes dimensiones.

Se recomienda acondicionar las pasarelas de la planta con el propósito de evitar accidentes laborales, ya que las mismas se encuentran en condiciones no apropiadas.

Líneas de Investigación

Realizar un estudio geológico, ya que la empresa no cuenta con investigaciones actuales de este tipo, que les permita conocer la cantidad y calidad de los recursos con los que cuenta, ya que de esta manera se ajustaría la selección de los frentes de extracción, en torno a una explotación de rocas de mejor calidad.

Llevar a cabo estudio geomecánicas de diferentes rocas que permita explicar por qué las probetas preparadas de formas cúbicas sometidas a ensayos de compresión simple difieren de las muestras preparadas de formas cilíndricas realizando el mismo ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta M (2017). *Establecimiento de los parámetros mineros-geomecánicos para el funcionamiento de los equipos de clasificación y trituración de la planta III, Canteras del Distrito Capital S.A.* Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

Aguilera Carlos (2017). *Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones.*

Araya, E. (2010). *Mejoramiento del proceso de producción y optimización de agregados producidos en el quebrador “Las Flores de Chirripío”.* Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica.* 6ta Edición. Caracas.

Ascanio H & Peña C. (2019). *Diagnóstico de las Condiciones Actuales en las Planta II y III de Procesamiento de Mineral, Canteras Del Distrito Capital S.A.* Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela

Ashop. D, (2015). *Mineral Processing Design and Operation.* Australia

ASTM. (1995). *Análisis granulométrico por tamizado.* washington D.C.

ASTM. (2002). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.*

ASTM. (2008). *Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens under Constant Normal Force.* washington, D.C.

ASTM. (2010). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens.* washinnton, D.C.

Ayala et al. (2019). *Manual de ensayos para laboratorio. Agregados (AG) para mezclas asfálticas.* México

Ballester et al. (2000). *Metalurgia extractiva.* Volumen I Editorial Sintesis. Madrid

Blanco, E. (2014). *Bloque I- Capitulo 5. Fragmentación.* Universidad de Cantabria. España.

Blanco, E. (2014). Bloque II- Capitulo 9. *Clasificación y Cribado*. Universidad de Cantabria. España.

Briceño, C. (2017). *Análisis la operatividad de las plantas de producción de agregados de la empresa Canteras del Distrito Capital S.A.* Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

Bustillos, M. & López, C. (1997) *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras*, Instituto Tecnológico Minero de España. Madrid.

Canteras del Distrito Capital. (2021-2022). “*Plan de Aprovechamiento de Minerales*”. Antímano, Caracas.

Carcamo, H. (2003). *Operaciones mecánicas - Apuntes para alumnos de Ingeniería Metalúrgica*. Antofagasta - Chile: Universidad Católica del Norte.

Castillejo, M. (1993). *Análisis Comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control*. Parte 2. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

Castro, J. & Vera, M. (2017). *Influencia de las características de los agregados de las canteras del sector El Milagro-Huanchaco en un diseño de mezcla de concreto, Trujillo 2017*. Universidad Privada del Norte. Trujillo-Perú.

Cerda, O. (2020). *Aplicación de metodología Value Stream Mapping para identificar cuellos de botella por escenarios en minera Los Palmares*. Universidad de Chile. Santiago de Chile- Chile.

Chang et al. (2003). *Influencia de los agregados pétreos en características del concreto*, Artículo científico. Universidad Autónoma de Yucatán. México.

Chung, C. (2017). *Análisis de cuellos de botella para incrementar la tasa de procesamiento de mineral de una minera*. Universidad San Ignacio de Loaya. Lima-Perú

Contreras, E., Pedraza, E., & Rojas, C. (2010). *Análisis granulométrico post-tronadura*. Universidad de Chile, Ingeniería de Minas, Chile.

Colquehuanca M (2018), *Implementación de mejora al sistema de una planta de trituración de roca, para optimizar el rendimiento en el proceso de producción de agregados*. Universidad Privada del Norte, Lima-Perú.

Cruz, E. B., Corrales, A. F. & Alfonso, A. B. (s.f.). *Manual de entrenamiento en concentración de minerales - Sección II*. Santa Cruz - Bolivia: SERGEOTECMIN.

Curso de Sedimentología (2011). *Morfometría de las partículas*.

De Marco, P. (1995). *Determinación de la resistencia mecánica de las rocas mediante ensayos de laboratorio*. Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Donovan, J. (2003). *Fracture toughness-based models for the prediction of power consumption, product size, and capacity of jaw crushers (Unpublished doctoral dissertation)*. Virginia Polytechnic Institute and State University.

Escudero, S. (2016). *Mejora del proceso productivo de áridos industrial concreto*. Medellín- Colombia

Erinova, M. Z. (2012). *Proyecto de una planta de Trituración para cantera de caliza*. Provincia de Lugo España.

Espinosa, L. & López, V. (1984). *Teoría y prácticas de trituración y molienda*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Frías, M. & Mata, D. (2018). *Caracterización y planificación del frente "Mina 2" de Cantera Bolívar, Estado Bolívar, para posibles usos industriales*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

Fueyo, L. (1999). *Equipos de trituración, molienda y clasificación. Tecnología, diseño y aplicación*. España.

Fuenmayor, O. (2001). *Caracterización Geomecánica de las Rocas de la Cantera Perteneciente a la Corporación De Cemento Andino C.A. Ubicada En El Municipio Candelaria, Estado Trujillo*, Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

Gavidia, W. y Pimentel, R. (2014). *Diagnóstico de las plantas de agregados de la Cantera Carayaca para conocer las especificaciones técnicas y de producción. Período Julio-septiembre de 2014*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

Guerra, F. (1999). *Optimización de una planta de fabricación de agregados minerales*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

González De Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Educacional.

González Jesús (2018) *Agregados para concreto*.

Gonzales, A. & Villa, E. (2012). *Caracterización de agregados pétreos de la cantera Tritupisvar para su uso en la elaboración de concreto*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga- Colombia.

Gómez, R. & Olga, P. (2007). Análisis De Liberación De Los Grupos De Macerales Del Carbón: Carbones Colombianos. Boletín de Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Colombia.

Gutiérrez, H. (2015). *Resistencia a la fragmentación de rocas volcánicas como áridos para hormigones y asfaltos*. Santa Cruz de Tenerife, España: Universidad de La Laguna.

Jeria, R. (2017). *Curso Laboratorista Vial Clase C*. Chile: Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Pública.

Kelly, E. Spottiswood, D. (1990) *Introducción al procesamiento de Minerales*, México D.F: Noriega.

Korman, T, Bedekovic, G, Kujundzic, T, & Kuhinek, D. (2015). *Impact of physical and mechanical properties of rocks on energy consumption of jaw crushers*. *Mineral Processing*, 51(2), 461–475

Krumbein, W. S. (1963). *Stratigraphy and Sedimentation*, Second ed. San Francisco: W.H. Freeman and Company.

Labrador, M. (2017). *Evaluación de la planta de trituración y clasificación de tamaño de la roca caliza en la cantera agua viva II, San Sebastián de los Reyes, estado Aragua*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

León & Ramírez. (2010). *Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes*, Revista Ingeniería de Construcción Vol. 25 N°2. Universidad de Los Andes, Bogotá. Colombia

Linares, N. (s.f.). *Procesamiento de minerales - Mineralurgia I*.

Lobo et al. (2016). Paradigm Geophysics, Methodology for Petrophysical and Geomechanical Analysis of Shale Plays. Case Study: La Luna and Capacho Formations, Maracaibo Basin. SPE-185606-MS.

López, J. (1998). Manual de áridos. 3ª edición. Ed. Carlos López Jimeno. Madrid, 607 pp. ISBN: 84-605-1266-5.

Manual de Metso minerals. Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales (2004).

Manual de chancado Pennsylvania Crusher (2014). Disponible en <https://terrasource.com/wp-content/uploads/2017/05/Manual-de-chancado-Handbook-of-Crushing.pdf>. Revisado en octubre de 2021.

Manual general de minería y metalurgia. Minas. Concentradoras. Refinerías. Fundiciones. (2006). Portal minero ediciones. Chile

Mc Dowell, G. (1999). *Micromechanics of clastic soil. Proceedings of the International Workshop on Soil Crushability*. Ube, Yamaguchi. Japan.

Marchan D & Araque. (2015). *Modelo geológico y geomecánico de perforaciones ubicadas entre La Urbina y la Urb. Miranda, para la excavación de los túneles del Metro de Caracas-Guarenas, Edo. Miranda*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

Martí, J.V.; González, F.; Yepes, V. (2005). *Temas de procedimientos de construcción. Extracción y tratamiento de áridos*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Ref. 2005.165. Valencia.

Merello, B. (2016). *Caracterización de la chancabilidad de rocas mineralizadas provenientes del proyecto Chuquicamata subterránea*. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile- Chile.

Metso Minerals. (2008). *Manual de trituración y cribado*. Lokomonkatu, Finlandia: Kirjapaino Hermes.

Modified from compilation by William Van Schmus in Robert S. Carmichael (ed.), *Handbook of Physical Properties of Rocks*, vol. 3, CRC Press, Inc. (1984).

Mosarelli, G. (2015). Métodos y diseño de investigación cuantitativa. Consultado en: https://www.researchgate.net/publication/303895876_Metodos_y_Disenos_de_Investigacion_Cuantitativa

M.S. Guimaraes a, J.R. Valdes b, A.M. Palomino c, J.C. Santa marina d (2007). “*Aggregate production: Fines generation during rock crushing*”

Nobregas, R. (2016). *Propuesta para reducción de tamaño de minerales no metálicos: Caso charnockita, cerro la danta Sector cambalache, estado Bolívar*. Departamento de Minas, Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.

Norma Técnica Colombiana NTC-129. *Toma de muestras de agregados*. (1era actualización).

Norma Técnica Colombiana NTC-3674. *Práctica para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo, para la realización de ensayos*.

Norma Técnica NTE INEN 695:2010. *Áridos. Muestreo*. (1era Edición). Quito – Ecuador

Norma UNE-22181: *Mármoles y calizas ornamentales. Clasificación*.

Norma UNE 22-175. *Granitos Ornamentales*

Norma Venezolana COVENIN 269:1998. *Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción*

Norma Venezolana COVENIN 27:1998. *Agregados. Extracción de muestras para morteros y concreto*.

Norma Venezolana COVENIN 255:1998 *Agregados. Determinación de la composición granulométrica*. (1era revisión).

Norma Venezolana COVENIN 277:2000. *Concreto. Agregados. Requisitos*. (3era Revisión).

Norma Venezolana COVENIN 277:2021. *Concreto. Agregados. Requisitos* (4ta Revisión).

- Norma Venezolana COVENIN 27:1998. *Ensayo de tamizado*.
- Norma Venezolana COVENIN 27:1998. Ensayo de tamizado.
- Norma Venezolana COVENIN 264:77. *Método de ensayo para determinar el cociente entre la dimensión máxima y dimensión mínima en agregados gruesos para el concreto*.
- Norma Venezolana COVENIN 266:77. *Método para determinar la resistencia al desgaste en agregados gruesos por medio de la máquina de Los Ángeles*
- Norma Venezolana COVENIN 1465:79. *Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de la piedra natural para la construcción*
- Olaleye, B. (2010). *Influence of some rock strength properties on jaw crusher performance in granite quarry*. *Mining Science and Technology (China)*, 20(2), 204–208.
- Ortiz, E. & Tirado, R. (2005). *Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas de excéntrica elevada*. (Tesis de titulación). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Pastor, C. (2022). *Optimización del proceso de conminución en la planta de beneficio PROMINE, Camilo Ponce Enríquez – Azuay*, Universidad de Azuay, Cuenca-Ecuador.
- Peláez, E. (1981). *Preparación y concentración de Minerales*. Departamento. Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela.
- Pimentel, R. (2016). *Desarrollo de una propuesta de adecuación de las plantas de agregados de la cantera Carayaca, Distrito Capital, para disminuir la producción de finos*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.
- Ponce, Y. (2014). *Propuesta de circuito óptimo de flotación para mineral rajo Norte proveniente de Sewell en planta convencional de Colon Codelco división El Teniente*. Universidad Católica de Valparaíso. Chile
- Porras, D. (1998). *Fundamentos básicos para operadores y supervisores de plantas concentradoras* (Vol. 1a. ed.). Lima: Lima 1998.
- Puerta, D. (2019). *Diagnóstico del estado mecánico de los equipos de la planta de beneficio mineral de Cantera La Ceiba, Estado Miranda*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

- Ramírez, A. (2022). *Generación y evaluación de un modelo geomecánico analítico para la simulación del fracturamiento hidráulico de pozos*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.
- Ríos, M. (2010). *Rendimiento de producción de agregados con el uso de chancadoras secundarias modelo de cono*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- Roberto, H y. O. (2003). *Metodología de la investigación*. México: Infagon Web, S.A.
- Romero, N. (2010) *Manual preliminar de petrografía aplicada al estudio de materiales pétreos para carreteras*. Bogotá- Colombia.
- Salas, D (2016). *Estudio de aumento del tonelaje en planta de chancado-minera altos de PUNITAQUI (MAP)*. Universidad Técnica Federico Santa María, Val paraíso-Chile.
- Salinas, L. (2008). *Optimización del proceso de trituración de agregados pétreos para la producción de mezclas asfálticas en caliente*. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela.
- Sánchez, C. (2019). *Estudio geomecánico de rocas dimensionales del yacimiento de cantera Tacarigua C.A, Puerto Cabello, Estado Carabobo*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.
- Seijas, D. (2017). *Integración de criterios de cierre de mina a la planificación a largo plazo: “Canteras del Distrito Capital”, Mamera, Municipio Libertador*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.
- Sepulveda, J. E. & R, L. G. (1986). *Dimensionamiento y optimización de plantas concentradoras mediante técnicas de modelación matemática*. Santiago - CHILE: Centro de Investigación Minera y Metalúrgica.
- Soto, P. (s.f.). *Dimensionamiento de equipos de procesos metalúrgicos para nuevos proyectos de ingeniería*.
- Tarbutck, E. & Lutgens, F. (2005). *Ciencia de la tierra. Una introducción a la geología física*. 8^{va} Edición, Pearson Prentice Hall. Madrid

Thuro et al. (2001). *Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test*. Helsinki University of Technology Finnish National Group of ISMR. Finlandia

Tecsup (2015). *Curso II - Fundamento de operación en plantas concentradoras*. Arequipa - Perú: Tecsup.

Tiktin, J. (1994). *Procesamiento de áridos: instalaciones y puesta en obra de hormigón*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 360 pp. ISBN: 84-7493-205-X.

Turpo, Y, (2019). *Estudio técnico económico para incrementar la producción de la planta concentradora de minerales San Carlos- Provincia de Lampa-Región Puno*. Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Perú

Utches & Anjoul, (2016). *Adaptación del Software Blastscheme a la operación unitaria de perforación y voladura en canteras*. Universidad Central de Venezuela, Caracas-Venezuela.

Valencia, E. (2013). Trabajo Especial de Grado. “Proyecto para el incremento de capacidad de operación de la planta de beneficio, compañía minera La Negra, Maconí Querétaro”. Universidad Nacional Autónoma de México.

Vielma, O. (2014). *Agregados y Mezcla Asfáltica - Informe 1/4 sobre el proceso de fabricación de agregados y mezcla asfáltica en caliente, en pavimentadora ONICA, El Vigía, estado Mérida, Venezuela*.

Wills B (1994). *Tecnología del procesamiento de minerales. Tratamiento de menas y recuperación de minerales*. Editorial Limusa, México.

ANEXOS

Anexos 1. Fichas técnicas de los equipos que componen la Planta de Trituración II


Ficha Técnica Tolva de Alimentación		
	Especificaciones	
	Altura (m)	5,22
	Ancho (m)	5,88
	Largo (m)	4,88
	Ángulo de Alimentación	45°
	Capacidad Eficiente (m ³)	48,55
	Capacidad total de la tolva (m ³)	97,11
Observaciones: -Presenta poca corrosión en toda su estructura -La cara frontal presenta desgastes y ondulaciones -Las caras laterales presentan desgastes en la zona inferior de la superficie -Presenta mucho material humedo adherido a las caras, no se encuentra totalmente vacia, lo que no permite ser usada a su capacidad eficiente.		

Figura 78. Ficha técnica tolva de alimentación

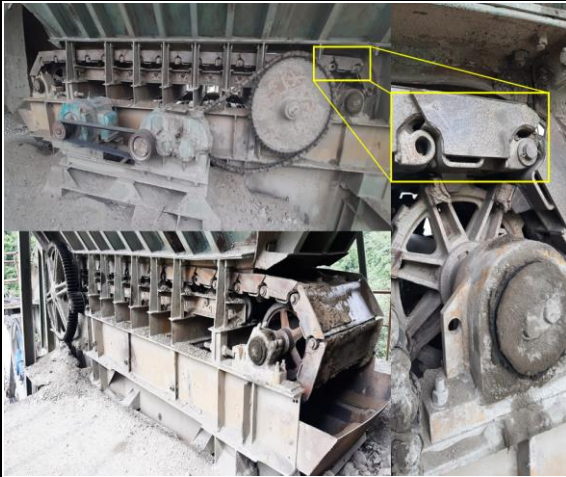
Ficha Técnica del Alimentador de Lamina		
	Especificaciones	
	Dimensiones de la oruga (m)	5,30x1,35
	Marca	Loro&Parisini
	Modelo	1300
	Largo (m)	7
	Ancho (m)	1,8
	Especificaciones de la correa de placa	
	Rodillos de carga	9
	Cantidad de placas 130cm x 37cm	36
	Velocidad máxima (m/h)	7,6
	Salida de material a velocidad máx (m ³ /h)	275
	Especificaciones del Motor	
	Marca	A.E.G.R.M
	Modelo	AJ 200 M 6
Potencia	35 Hp	
RPM	1165	
Observaciones: -Presenta desgaste en las tejas -Presenta corrosión y desgaste en los tacos de arrastre de los rodillos motrices -Le faltan tres pin de acople -Falta tensión en la cadena motor-rodillo motriz		

Figura 79. Ficha técnica del alimentador de láminas

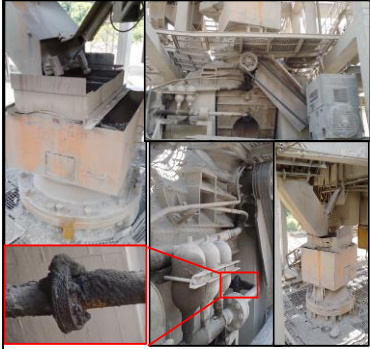
Ficha Técnica Trituradora de Cono 18		
	Especificaciones	
	Marca	Loro&Parisini
	Modelo	10-51 Allis Chalmers modificado a 7-51
	Serial	86817
	Potencia	257 Hp
	RPM	885
	Capacidad instalada (m ³ /h)	185-280
	Dimensión de la boca de alimentación (cm)	12,7
	Separación de los forros en Sc (cm)	2,4
Observaciones: -La bomba de aceite presenta fugas -Los mantos se encuentran desgastados afectando la eficiencia de trituración -La zona de alimentación se encuentra en buen estado -El sistema de enfriamiento funciona correctamente -El sistema eléctrico se encuentra protegido -La estructura del cono se encuentra en buen estado. No esta corroída		

Figura 80. Ficha técnica Cono 18



Ficha Técnica Trituradora de Cono 4 Ft		
	Especificaciones	
	Marca	Nordberg
	Tipo	Symon
	Modelo	8-46 Allis Chalmers
	Serial	4164
	Potencia	150 Hp
	RPM	800-885
	Capacidad instalada (m ³ /h)	185-280
	Dimensión de la boca de alimentación (cm)	7,62
Observaciones: -La bomba de aceite presenta fugas -Los mantos se encuentran en buen estado. -No está operativo por falla en la corona, piñón y contra eje -El plato de distribución del material presenta desgaste y ondulaciones -Zona de alimentación esta desgastada y con huecos visibles producto del roce del material y la corrosión -El motor se encuentra operativo. -El sistema de enfriamiento funciona correctamente -El sistema eléctrico no se encuentra protegido -La estructura del cono se encuentra en mal estado, producto de la corrosión -El sistema del eje principal está en buen estado		

Figura 81. Ficha técnica Cono 4ft

Ficha Técnica Criba 20 A																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> </thead> <tr> <td>Marca</td> <td>Loro&Parisini</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td>Vaglio V 516</td> </tr> <tr> <td>Serial</td> <td>92156242</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>18 Hp</td> </tr> <tr> <td>Capacidad instalada (m³/h)</td> <td>60-300</td> </tr> <tr> <td>Inclinación</td> <td>20,5°</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea de la criba (cm)</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del motor (cm)</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Tipo de movimiento</td> <td>Circular</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Dimensiones de la mallas</th> </tr> <tr> <td>Ancho (cm)</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>Largo (cm)</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>Nº de mallas</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Forma de la abertura de malla</td> <td>Cuadrada</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Apertura de las mallas</th> </tr> <tr> <td>Superior</td> <td>1/2"</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>5/16"</td> </tr> <tr> <td>Tipo de alambre</td> <td>Doble ondulación</td> </tr> </table>	Especificaciones		Marca	Loro&Parisini	Modelo	Vaglio V 516	Serial	92156242	Potencia	18 Hp	Capacidad instalada (m³/h)	60-300	Inclinación	20,5°	Diámetro polea de la criba (cm)	47	Diámetro polea del motor (cm)	23	Tipo de movimiento	Circular	Dimensiones de la mallas		Ancho (cm)	175	Largo (cm)	600	Nº de mallas	2	Forma de la abertura de malla	Cuadrada	Apertura de las mallas		Superior	1/2"	Inferior	5/16"	Tipo de alambre	Doble ondulación
	Especificaciones																																						
Marca	Loro&Parisini																																						
Modelo	Vaglio V 516																																						
Serial	92156242																																						
Potencia	18 Hp																																						
Capacidad instalada (m³/h)	60-300																																						
Inclinación	20,5°																																						
Diámetro polea de la criba (cm)	47																																						
Diámetro polea del motor (cm)	23																																						
Tipo de movimiento	Circular																																						
Dimensiones de la mallas																																							
Ancho (cm)	175																																						
Largo (cm)	600																																						
Nº de mallas	2																																						
Forma de la abertura de malla	Cuadrada																																						
Apertura de las mallas																																							
Superior	1/2"																																						
Inferior	5/16"																																						
Tipo de alambre	Doble ondulación																																						

| **Observaciones:** Los mantos de mallas presentan poco desgaste en toda la superficie. Se mantiene en buen estado, sin reparaciones. Motor se encuentra operativo El sistema vibrador no presenta fuga de aceite por las estoperas del eje principal No posee protección de sistema eléctrico Presenta desgaste en el rodamiento que genera el sobrecalentamiento del sistema El motor presenta todas las correas de transmisión las cuales no están desgastadas En el sistema de resorte existe 8 resorte de sección estándar en buen estado La estructura se mantiene en buen estado, solo en ciertas zonas presenta problemas de corrosión. La estructura de las descargas está muy erosionadas y corroídas La polea de la criba mide 47cm y la del motor 23 cm | |

Figura 82. Ficha técnica Criba 20A

Ficha Técnica Criba 20 A																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> </thead> <tr> <td>Marca</td> <td>Loro&Parisini</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td>Vaglio V 516</td> </tr> <tr> <td>Serial</td> <td>92156242</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>18 Hp</td> </tr> <tr> <td>Capacidad instalada (m³/h)</td> <td>60-300</td> </tr> <tr> <td>Inclinación</td> <td>20,5°</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea de la criba (cm)</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del motor (cm)</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Tipo de movimiento</td> <td>Circular</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Dimensiones de la mallas</th> </tr> <tr> <td>Ancho (cm)</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>Largo (cm)</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>Nº de mallas</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Forma de la abertura de malla</td> <td>Cuadrada</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Apertura de las mallas</th> </tr> <tr> <td>Superior</td> <td>1/2"</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>5/16"</td> </tr> <tr> <td>Tipo de alambre</td> <td>Doble ondulación</td> </tr> </table>	Especificaciones		Marca	Loro&Parisini	Modelo	Vaglio V 516	Serial	92156242	Potencia	18 Hp	Capacidad instalada (m³/h)	60-300	Inclinación	20,5°	Diámetro polea de la criba (cm)	47	Diámetro polea del motor (cm)	23	Tipo de movimiento	Circular	Dimensiones de la mallas		Ancho (cm)	175	Largo (cm)	600	Nº de mallas	2	Forma de la abertura de malla	Cuadrada	Apertura de las mallas		Superior	1/2"	Inferior	5/16"	Tipo de alambre	Doble ondulación
	Especificaciones																																						
Marca	Loro&Parisini																																						
Modelo	Vaglio V 516																																						
Serial	92156242																																						
Potencia	18 Hp																																						
Capacidad instalada (m³/h)	60-300																																						
Inclinación	20,5°																																						
Diámetro polea de la criba (cm)	47																																						
Diámetro polea del motor (cm)	23																																						
Tipo de movimiento	Circular																																						
Dimensiones de la mallas																																							
Ancho (cm)	175																																						
Largo (cm)	600																																						
Nº de mallas	2																																						
Forma de la abertura de malla	Cuadrada																																						
Apertura de las mallas																																							
Superior	1/2"																																						
Inferior	5/16"																																						
Tipo de alambre	Doble ondulación																																						

| **Observaciones:** - La malla superior presenta múltiples reparaciones y remiendos (parches) de distintas aberturas en la parte inferior de su estructura. - La malla inferior presenta poco desgaste en toda la superficie. Se mantiene en buen estado, sin reparaciones. - Radamientos y engrase en buen estado - Motor se encuentra operativo - El sistema vibrador no presenta fuga de aceite por las estoperas del eje principal - No posee protección de sistema eléctrico - El motor presenta todas las correas de transmisión las cuales no están desgastadas - En el sistema de resorte existe 8 resorte de sección estándar en buen estado - La estructura presenta orificio en la parte de abajo por motivos de corrosión - La estructura de las descargas está muy erosionadas y corroídas - La polea de la criba mide 47cm y la del motor 26 cm | |

Figura 83. Ficha técnica Criba 20B


Ficha Técnica Criba 15																																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> </thead> <tr> <td>Marca</td> <td>Loro&Parisini</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td>Vaglio V 517</td> </tr> <tr> <td>Serial</td> <td>2157.2</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>30 Hp</td> </tr> <tr> <td>Capacidad instalada (m³/h)</td> <td>60-300</td> </tr> <tr> <td>Inclinación</td> <td>20°</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea de la criba (cm)</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del motor (cm)</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Tipo de movimiento</td> <td>Circular</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Dimensiones de la mallas</th> </tr> <tr> <td>Ancho (cm)</td> <td>208</td> </tr> <tr> <td>Largo (cm)</td> <td>670</td> </tr> <tr> <td>Nº de mallas</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Forma de la abertura de malla</td> <td>Cuadrada</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Apertura de las mallas</th> </tr> <tr> <td>Superior (482cm x 208 cm)</td> <td>1 ½"</td> </tr> <tr> <td>Superior (108cm x 208 cm)</td> <td>2 ½"</td> </tr> <tr> <td>Inferior</td> <td>1 ¾"</td> </tr> <tr> <td>Tipo de alambre</td> <td>Doble ondulación</td> </tr> </table>	Especificaciones		Marca	Loro&Parisini	Modelo	Vaglio V 517	Serial	2157.2	Potencia	30 Hp	Capacidad instalada (m ³ /h)	60-300	Inclinación	20°	Diámetro polea de la criba (cm)	47	Diámetro polea del motor (cm)	26	Tipo de movimiento	Circular	Dimensiones de la mallas		Ancho (cm)	208	Largo (cm)	670	Nº de mallas	2	Forma de la abertura de malla	Cuadrada	Apertura de las mallas		Superior (482cm x 208 cm)	1 ½"	Superior (108cm x 208 cm)	2 ½"	Inferior	1 ¾"	Tipo de alambre	Doble ondulación
	Especificaciones																																								
	Marca	Loro&Parisini																																							
	Modelo	Vaglio V 517																																							
	Serial	2157.2																																							
	Potencia	30 Hp																																							
	Capacidad instalada (m ³ /h)	60-300																																							
	Inclinación	20°																																							
	Diámetro polea de la criba (cm)	47																																							
	Diámetro polea del motor (cm)	26																																							
	Tipo de movimiento	Circular																																							
	Dimensiones de la mallas																																								
	Ancho (cm)	208																																							
	Largo (cm)	670																																							
	Nº de mallas	2																																							
	Forma de la abertura de malla	Cuadrada																																							
	Apertura de las mallas																																								
	Superior (482cm x 208 cm)	1 ½"																																							
	Superior (108cm x 208 cm)	2 ½"																																							
	Inferior	1 ¾"																																							
	Tipo de alambre	Doble ondulación																																							
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> -La estructura está en buen estado -La estructura de las descargas está muy erosionadas y corroídas. -Presenta reparaciones y remiendos en la malla superior (parches) de distintas aberturas. La malla inferior se encuentra en buen estado sin ningún tipo de empate. -El motor se encuentra totalmente operativo -Posee protector del sistema eléctrico -Presenta desgaste en el rodamiento que genera el sobrecalentamiento del sistema -La malla presenta desgaste en toda la superficie de clasificación, los alambres de división originalmente eran de 1 cm de diámetro, actualmente el diámetro horizontal varía desde 8 mm hasta 9.2mm y el diámetro vertical varía desde 5.1 mm hasta 8 mm -El sistema vibrador no presenta fuga de aceite por las estoperas del eje principal -El motor presenta todas las correas de transmisión las cuales no están desgastadas -En el sistema de resorte existe 8 resorte de sección estándar en buen estado -La polea de la criba mide 47cm y la del motor 24 cm 																																									

Figura 84. Ficha técnica Criba 15.


Ficha Técnica Banda 1																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dimensiones</th> </tr> </thead> <tr> <td>Ancho (cm)</td> <td>76</td> </tr> <tr> <td>Largo (m)</td> <td>42,6</td> </tr> <tr> <td>Inclinación</td> <td>16°</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> <tr> <td>Motor</td> <td>1750 RPM</td> </tr> <tr> <td>Velocidad (Km/h)</td> <td>5,29</td> </tr> <tr> <td>Reducción de revoluciones</td> <td>15 a 1</td> </tr> <tr> <td>Tambor Motriz (cm)</td> <td>100 x 32</td> </tr> <tr> <td>Tambor de reenvío</td> <td>98 x 32</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de retorno (100cm x 10,16cm)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Rodillos guía (75cm x 9cm)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Estaciones</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del reductor (cm)</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del motor (cm)</td> <td>19</td> </tr> </table>	Dimensiones		Ancho (cm)	76	Largo (m)	42,6	Inclinación	16°	Especificaciones		Motor	1750 RPM	Velocidad (Km/h)	5,29	Reducción de revoluciones	15 a 1	Tambor Motriz (cm)	100 x 32	Tambor de reenvío	98 x 32	Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)	63	Rodillos de retorno (100cm x 10,16cm)	4	Rodillos guía (75cm x 9cm)	4	Estaciones	21	Diámetro polea del reductor (cm)	32	Diámetro polea del motor (cm)	19
	Dimensiones																																
	Ancho (cm)	76																															
	Largo (m)	42,6																															
	Inclinación	16°																															
	Especificaciones																																
	Motor	1750 RPM																															
	Velocidad (Km/h)	5,29																															
	Reducción de revoluciones	15 a 1																															
	Tambor Motriz (cm)	100 x 32																															
	Tambor de reenvío	98 x 32																															
	Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)	63																															
	Rodillos de retorno (100cm x 10,16cm)	4																															
	Rodillos guía (75cm x 9cm)	4																															
Estaciones	21																																
Diámetro polea del reductor (cm)	32																																
Diámetro polea del motor (cm)	19																																
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones entre 28cm a 31cm de largo - Falta un (1) rodillo guía - Falta un (1) rodillo de retorno - No dispone de la protección de los componentes eléctricos - La cinta transportadora no presenta desgaste - El sistema presenta dos poleas de desvío de 5 canales y 4 Correas B-128 - El tambor motriz y el tambor de reenvío presentan desgaste en toda la superficie - El sistema de rodaje del tambor motriz está en buen estado 																																	

Figura 85. Ficha técnica Banda 1

Ficha Técnica Banda 2																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dimensiones</th> </tr> </thead> <tr> <td>Ancho (cm)</td> <td>72,5</td> </tr> <tr> <td>Largo (m)</td> <td>39,2</td> </tr> <tr> <td>Inclinación</td> <td>7°</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> <tr> <td>Motor</td> <td>1750 RPM</td> </tr> <tr> <td>Velocidad (Km/h)</td> <td>5,2</td> </tr> <tr> <td>Reducción de revoluciones</td> <td>15 a 1</td> </tr> <tr> <td>Tambor Motriz (cm)</td> <td>102 x 39,5</td> </tr> <tr> <td>Tambor de reenvío (cm)</td> <td>95 x 32</td> </tr> <tr> <td>Estaciones</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de retorno (100cm x 10cm)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Rodillos guía (15cmx8,89cm)</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del reductor (cm)</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del motor (cm)</td> <td>17</td> </tr> </table>	Dimensiones		Ancho (cm)	72,5	Largo (m)	39,2	Inclinación	7°	Especificaciones		Motor	1750 RPM	Velocidad (Km/h)	5,2	Reducción de revoluciones	15 a 1	Tambor Motriz (cm)	102 x 39,5	Tambor de reenvío (cm)	95 x 32	Estaciones	18	Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)	54	Rodillos de retorno (100cm x 10cm)	5	Rodillos guía (15cmx8,89cm)	0	Diámetro polea del reductor (cm)	32	Diámetro polea del motor (cm)	17
	Dimensiones																																
	Ancho (cm)	72,5																															
	Largo (m)	39,2																															
	Inclinación	7°																															
	Especificaciones																																
	Motor	1750 RPM																															
	Velocidad (Km/h)	5,2																															
	Reducción de revoluciones	15 a 1																															
	Tambor Motriz (cm)	102 x 39,5																															
	Tambor de reenvío (cm)	95 x 32																															
	Estaciones	18																															
	Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)	54																															
	Rodillos de retorno (100cm x 10cm)	5																															
Rodillos guía (15cmx8,89cm)	0																																
Diámetro polea del reductor (cm)	32																																
Diámetro polea del motor (cm)	17																																
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> -No se encuentra operativa, debido a la avería del cono 4 pies - Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones entre 28cm a 31cm de largo - Faltan dos (7) rodillos de carga - Falta un (1) rodillo de retorno - No dispone de la protección de los componentes eléctricos - La cinta transportadora presenta desgaste en toda la superficie de contacto - El sistema presenta dos poleas de desvío de 5 canales y 4 Correas B-128 - El tambor motriz y el tambor de reenvío presentan desgaste por corrosión. 																																	

Figura 86. Ficha técnica Banda 2

Ficha Técnica Banda 10																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dimensiones</th> </tr> </thead> <tr> <td>Ancho (cm)</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>Largo (m)</td> <td>58,3</td> </tr> <tr> <td>Inclinación</td> <td>16°</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> <tr> <td>Motor</td> <td>1750 RPM</td> </tr> <tr> <td>Velocidad (Km/h)</td> <td>5,12</td> </tr> <tr> <td>Reducción de revoluciones</td> <td>15 a 1</td> </tr> <tr> <td>Tambor Motriz (cm)</td> <td>115 x 32</td> </tr> <tr> <td>Polea de inflexión(cm)</td> <td>113 x 43</td> </tr> <tr> <td>Tambor de reenvío (cm)</td> <td>118 x 33</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de carga (38cm x 12,7cm)</td> <td>99</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de retorno (115cm x 10cm)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Rodillos guía (75cm x 10cm)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Estaciones</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del reductor (cm)</td> <td>50,5</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del motor (cm)</td> <td>26,5</td> </tr> </table>	Dimensiones		Ancho (cm)	95	Largo (m)	58,3	Inclinación	16°	Especificaciones		Motor	1750 RPM	Velocidad (Km/h)	5,12	Reducción de revoluciones	15 a 1	Tambor Motriz (cm)	115 x 32	Polea de inflexión(cm)	113 x 43	Tambor de reenvío (cm)	118 x 33	Rodillos de carga (38cm x 12,7cm)	99	Rodillos de retorno (115cm x 10cm)	4	Rodillos guía (75cm x 10cm)	10	Estaciones	33	Diámetro polea del reductor (cm)	50,5	Diámetro polea del motor (cm)	26,5
	Dimensiones																																		
	Ancho (cm)	95																																	
	Largo (m)	58,3																																	
	Inclinación	16°																																	
	Especificaciones																																		
	Motor	1750 RPM																																	
	Velocidad (Km/h)	5,12																																	
	Reducción de revoluciones	15 a 1																																	
	Tambor Motriz (cm)	115 x 32																																	
	Polea de inflexión(cm)	113 x 43																																	
	Tambor de reenvío (cm)	118 x 33																																	
	Rodillos de carga (38cm x 12,7cm)	99																																	
	Rodillos de retorno (115cm x 10cm)	4																																	
Rodillos guía (75cm x 10cm)	10																																		
Estaciones	33																																		
Diámetro polea del reductor (cm)	50,5																																		
Diámetro polea del motor (cm)	26,5																																		
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones entre 28cm a 31cm de largo - Faltan cuatro (4) rodillos de carga - Posee una chumacera del tambor motriz dañada - El tambor motriz presenta desgaste en la zona central - El sistema de rodaje del tambor motriz esta en buen estado - Bordes de la cinta transportadora se encuentran desgastados. - Unión con las grapas se mantiene en buen estado. - El reductor de revoluciones no presenta fuga de lubricante - El sistema presenta dos poleas de desvío de 4 canales y 4 correas C-144, las cuales se encuentran operativas 																																			

Figura 87. Ficha técnica Banda 2

Ficha Técnica Banda 11																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dimensiones</th> </tr> </thead> <tr> <td>Ancho (cm)</td> <td>74</td> </tr> <tr> <td>Largo (m)</td> <td>43,4</td> </tr> <tr> <td>Inclinación</td> <td>16°</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> <tr> <td>Motor</td> <td>1750 RPM</td> </tr> <tr> <td>Velocidad (Km/h)</td> <td>5,79</td> </tr> <tr> <td>Reducción de revoluciones</td> <td>15 a 1</td> </tr> <tr> <td>Tambor Motriz (cm)</td> <td>102 x 40</td> </tr> <tr> <td>Tambor de reenvío (cm)</td> <td>91 x 31</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de retorno (100cm x 10cm)</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Rodillos guía (15cmx8,89cm)</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Estaciones</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del reductor (cm)</td> <td>32,5</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del motor (cm)</td> <td>17</td> </tr> </table>	Dimensiones		Ancho (cm)	74	Largo (m)	43,4	Inclinación	16°	Especificaciones		Motor	1750 RPM	Velocidad (Km/h)	5,79	Reducción de revoluciones	15 a 1	Tambor Motriz (cm)	102 x 40	Tambor de reenvío (cm)	91 x 31	Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)	60	Rodillos de retorno (100cm x 10cm)	8	Rodillos guía (15cmx8,89cm)	1	Estaciones	20	Diámetro polea del reductor (cm)	32,5	Diámetro polea del motor (cm)	17
	Dimensiones																																
	Ancho (cm)	74																															
	Largo (m)	43,4																															
	Inclinación	16°																															
	Especificaciones																																
	Motor	1750 RPM																															
	Velocidad (Km/h)	5,79																															
	Reducción de revoluciones	15 a 1																															
	Tambor Motriz (cm)	102 x 40																															
Tambor de reenvío (cm)	91 x 31																																
Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)	60																																
Rodillos de retorno (100cm x 10cm)	8																																
Rodillos guía (15cmx8,89cm)	1																																
Estaciones	20																																
Diámetro polea del reductor (cm)	32,5																																
Diámetro polea del motor (cm)	17																																
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones entre 28cm a 31cm de largo - Faltan ocho (8) rodillos de carga - La cinta transportadora está muy desgastada - El tambor motriz presenta mucha corrosión - El motor trabaja con dos correas. - Unión con las grapas se encuentra en mal estado - El reductor de revoluciones no presenta fuga de lubricante - El sistema presenta dos poleas de desvío de 5 canales - 4 correas B-128, donde el mecanismo motriz esta accionado por dos correas 																																	

Figura 88. Ficha técnica Banda 11

Ficha Técnica Banda 12																																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dimensiones</th> </tr> </thead> <tr> <td>Ancho (cm)</td> <td>102</td> </tr> <tr> <td>Largo (m)</td> <td>68,32</td> </tr> <tr> <td>Inclinación</td> <td>19°</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> <tr> <td>Motor</td> <td>1750 RPM</td> </tr> <tr> <td>Velocidad (Km/h)</td> <td>6,83</td> </tr> <tr> <td>Reducción de revoluciones</td> <td>15 a 1</td> </tr> <tr> <td>Tambor Motriz (cm)</td> <td>115 x 46</td> </tr> <tr> <td>Tabor de Inflexión</td> <td>114 x 31,5</td> </tr> <tr> <td>Tambor Reflector N°1 (cm)</td> <td>115 x 33</td> </tr> <tr> <td>Tambor Reflector N°2 (cm)</td> <td>115 x 33</td> </tr> <tr> <td>Tambor de Ajuste (cm)</td> <td>115 x 33</td> </tr> <tr> <td>Tambor de reenvío (cm)</td> <td>115 x 33</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de carga (38 cm x 12,7cm)</td> <td>108</td> </tr> <tr> <td>Rodillos de retorno (115cmx10.16cm)</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Rodillos guía (15cmx8,85cm)</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Estaciones</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del reductor (cm)</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>Diámetro polea del motor (cm)</td> <td>27</td> </tr> </table>	Dimensiones		Ancho (cm)	102	Largo (m)	68,32	Inclinación	19°	Especificaciones		Motor	1750 RPM	Velocidad (Km/h)	6,83	Reducción de revoluciones	15 a 1	Tambor Motriz (cm)	115 x 46	Tabor de Inflexión	114 x 31,5	Tambor Reflector N°1 (cm)	115 x 33	Tambor Reflector N°2 (cm)	115 x 33	Tambor de Ajuste (cm)	115 x 33	Tambor de reenvío (cm)	115 x 33	Rodillos de carga (38 cm x 12,7cm)	108	Rodillos de retorno (115cmx10.16cm)	2	Rodillos guía (15cmx8,85cm)	11	Estaciones	36	Diámetro polea del reductor (cm)	45	Diámetro polea del motor (cm)	27
	Dimensiones																																								
	Ancho (cm)	102																																							
	Largo (m)	68,32																																							
	Inclinación	19°																																							
	Especificaciones																																								
	Motor	1750 RPM																																							
	Velocidad (Km/h)	6,83																																							
	Reducción de revoluciones	15 a 1																																							
	Tambor Motriz (cm)	115 x 46																																							
Tabor de Inflexión	114 x 31,5																																								
Tambor Reflector N°1 (cm)	115 x 33																																								
Tambor Reflector N°2 (cm)	115 x 33																																								
Tambor de Ajuste (cm)	115 x 33																																								
Tambor de reenvío (cm)	115 x 33																																								
Rodillos de carga (38 cm x 12,7cm)	108																																								
Rodillos de retorno (115cmx10.16cm)	2																																								
Rodillos guía (15cmx8,85cm)	11																																								
Estaciones	36																																								
Diámetro polea del reductor (cm)	45																																								
Diámetro polea del motor (cm)	27																																								
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - El material que recibe esta banda proviene del segundo paño de la criba 8, de la descarga de los conos 9, 18 y banda 1 - Faltan cuatro (4) rodillos de carga - De los 108 rodillos de carga, 11 son de tipo impacto, los cuales se ubican cerca del tambor de reenvío - La cinta transportadora se encuentra en buen estado - Unión con las grapas se mantiene en buen estado - El sistema de rodaje del tambor motriz está en buen estado - El tambor motriz presenta desgaste en toda la superficie de contacto - El reductor de revoluciones no presenta fuga de lubricante - El sistema posee 2 poleas desvío, operativas - El sistema presenta dos poleas de desvío de 6 canales - Presenta 4 correas C-144, donde el mecanismo motriz esta accionado por una sola correa - La chumacera presenta desgaste 																																									

Figura 89. Ficha técnica Banda 12.


Ficha Técnica Banda 13		
	Dimensiones	
	Ancho (cm)	107
	Largo (m)	51,34
	Inclinación	19°
	Especificaciones	
	Motor	1750 RPM
	Velocidad (Km/h)	6,85
	Reducción de revoluciones	15 a 1
	Tambor Motriz (cm)	113 x 48
	Tabor de Inflexión	113 x 32
	Tambor de reenvío (cm)	117 x 34
	Rodillos de carga (38 cm x 12,7cm)	81
	Rodillos de retorno (115cm x 10cm)	9
	Rodillos guía (15cmx8,89cm)	2
Estaciones	27	
Diámetro polea del reductor (cm)	41,5	
Diámetro polea del motor (cm)	27	
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones entre 28 cm a 31 cm de largo -La cinta transportadora se encuentra en buen estado -Unión con las grapas se mantiene en buen estado -El sistema eléctrico se encuentra protegido -El sistema de rodaje del tambor motriz está en buen estado. - El tambor motriz se encuentra en buen estado -El reductor de revoluciones no presenta fuga de lubricante - El sistema presenta dos poleas de desvío de 4 canales y 4 correas C-128, las cuales se encuentran operativas 		

Figura 90. Ficha técnica Banda 13


Ficha Técnica Banda 14		
	Dimensiones	
	Ancho (cm)	96
	Largo (m)	58,2
	Inclinación	18°
	Especificaciones	
	Motor	1750 RPM
	Velocidad (Km/h)	5,82
	Reducción de revoluciones	15 a 1
	Tambor Motriz (cm)	118 x 22
	Tambor de reenvío (cm)	114 x 32
	Rodillos de carga (38 cm x 12,7cm)	84
	Rodillos de retorno (115cm x 10cm)	12
	Rodillos guía (15cmx8,89cm)	1
	Estaciones	28
Diámetro polea del reductor (cm)	52	
Diámetro polea del motor (cm)	28	
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones entre 28cm a 31cm de largo. - Falta un (1) rodillo guía -En general la banda está en buen estado. -Unión con las grapas se mantiene en buen estado -El sistema eléctrico no se encuentra protegido -El sistema de rodaje del tambor motriz está en buen estado. -El tambor motriz no posee desgaste apreciable en la superficie de contacto. -El reductor de revoluciones no presenta fuga de lubricante - El sistema presenta dos poleas de desvío de 4 canales y 4 correas C-136 que se encuentran operativas 		

Figura 91. Ficha técnica Banda 14

Ficha Técnica Banda 19		
	Dimensiones	
	Ancho (cm)	87
	Largo (m)	34,2
	Inclinación	20,8°
	Especificaciones	
	Motor	1750 RPM
	Velocidad (Km/h)	10,26
	Reducción de revoluciones	15 a 1
	Tambor Motriz (cm)	101 x 39,5
	Tambor de reenvío (cm)	96 x 32
	Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)	54
	Rodillos de retorno (100cm x 10,16cm)	3
Rodillos guía (75cm x 9cm)	1	
Estaciones	18	
Diámetro polea del reductor (cm)	26,3	
Diámetro polea del motor (cm)	26,3	
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones entre 28 cm a 31 cm de largo - Falta cuatro (4) rodillos de carga - El tambor motriz no posee desgaste apreciable en la superficie de contacto - El tambor de reenvío se encuentra en buen estado y no presenta desgastes en el sistema de rodaje - El reductor de revoluciones presenta fuga de lubricante - No dispone de la protección de los componentes eléctricos - Bordes de la cinta transportadora se encuentran desgastados - Le faltan grapas de unión en el empalme de la banda - El sistema presenta dos poleas de desvío una de 2 canales y una de 4 canales - Presenta 4 correas B-136, donde el mecanismo motriz esta accionado por una sola correa 		

Figura 92. Ficha técnica Banda 19


Ficha Técnica Banda 16		
	Dimensiones	
	Ancho (cm)	90
	Largo (m)	53,8
	Inclinación	6,2°
	Especificaciones	
	Motor	1750 RPM
	Velocidad (Km/h)	5,1
	Reducción de revoluciones	15 a 1
	Tambor Motriz (cm)	102 x 35
	Tambor de reenvío (cm)	100 x 32
	Rodillos de carga (28 ~ 31 cm x 10cm)	78
	Rodillos de retorno (95cm x 10cm)	8
Rodillos guía (15cmx8,89cm)	0	
Estaciones	26	
Diámetro polea del reductor (cm)	32,5	
Diámetro polea del motor (cm)	20	
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Poseen rodillos de carga de diversas dimensiones entre 28 cm a 31 cm de largo - Faltan tres (3) rodillos guías - Falta un (1) rodillo de retorno - El tambor motriz no posee desgaste apreciable en la superficie de contacto - El tambor de reenvío se encuentra en buen estado y no presenta desgastes en el sistema de rodaje - Le faltan grapas de unión en el empalme de la banda - Bordes de la cinta transportadora se encuentran desgastados - El sistema eléctrico se encuentra protegido - El reductor de revoluciones no presenta fuga de lubricante - El sistema presenta dos poleas de desvío de 5 canales y 4 correas B-128, que se encuentran operativas. 		

Figura 93. Ficha técnica Banda 16

**Anexo 2. Análisis fotográfico Material producto de la voladura y material de la
descarga de la trituración primaria y secundaria.**

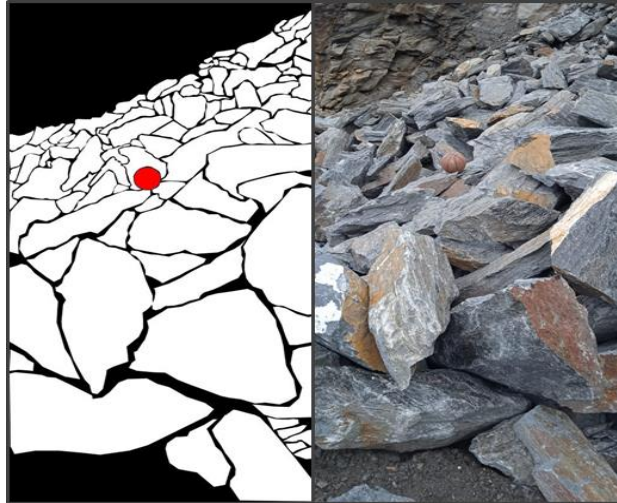


Figura 94. Análisis fotográfico 1 del todo uno de la alimentación



Figura 95. Análisis fotográfico 2 del todo uno de la alimentación



Figura 96. Análisis fotográfico 3 del todo uno de la alimentación

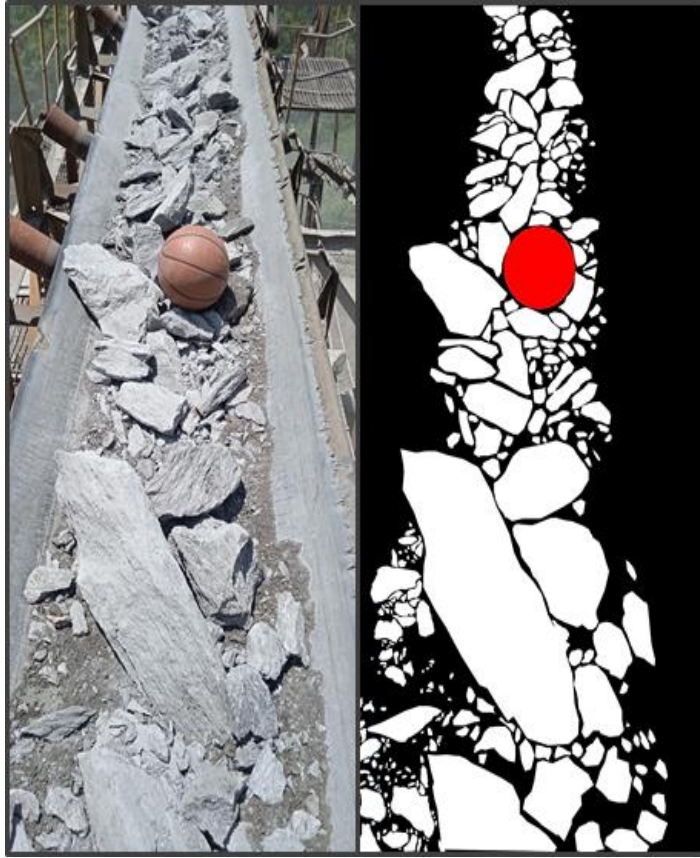


Figura 97. Análisis fotográfico trituración primaria

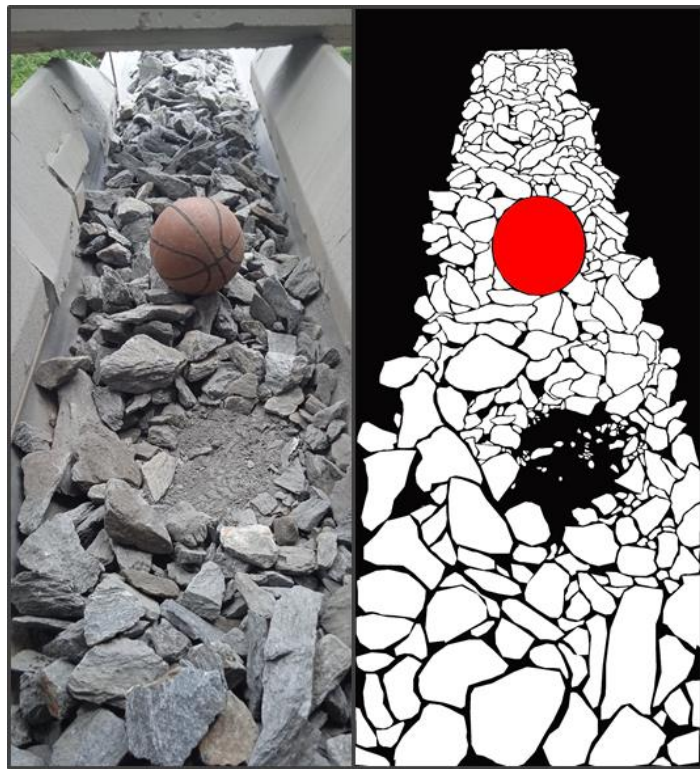


Figura 98. Análisis fotográfico trituración secundaria

Anexo 3. Estudio Granulométrico del Producto final de Planta II.

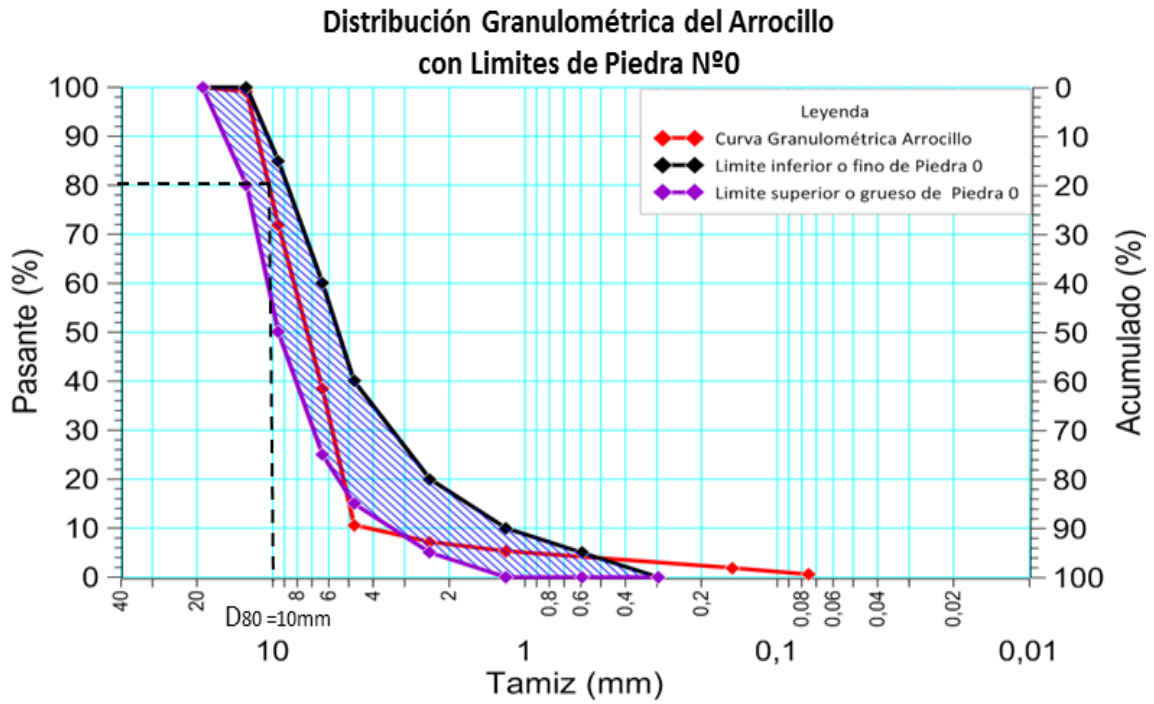


Figura 99. Distribución granulométrica del arrocillo con límites de Piedra N°0

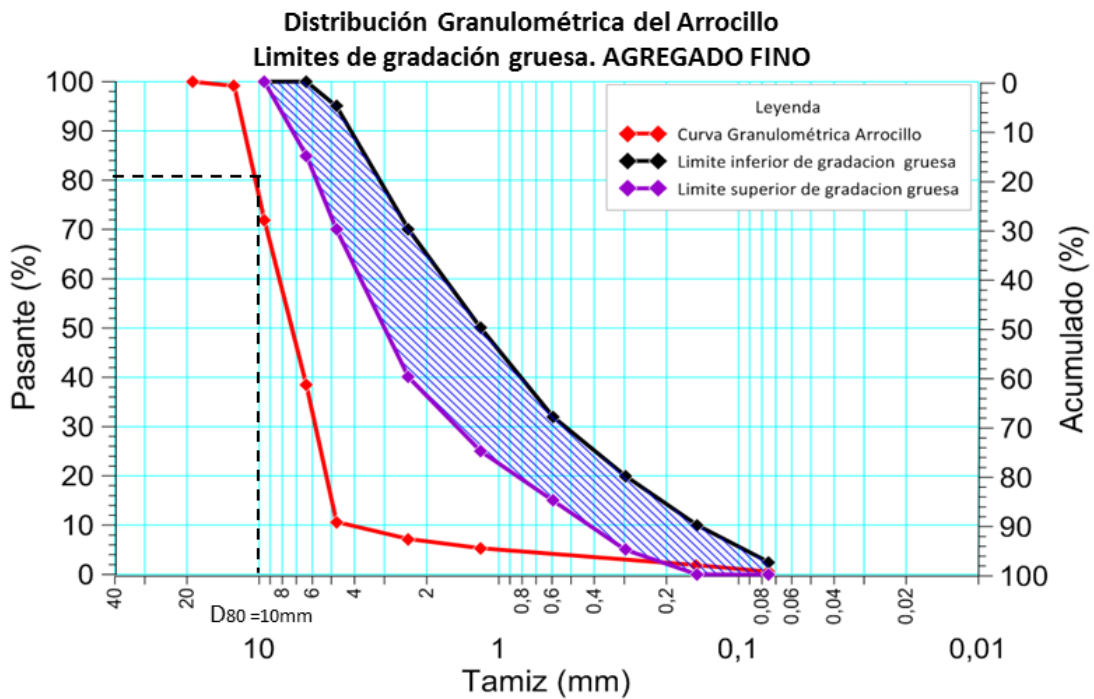


Figura 100. Distribución granulométrica del arrocillo límites de gradación gruesa - agregado fino

Anexo 3. Envolverte de falla para el macizo rocoso

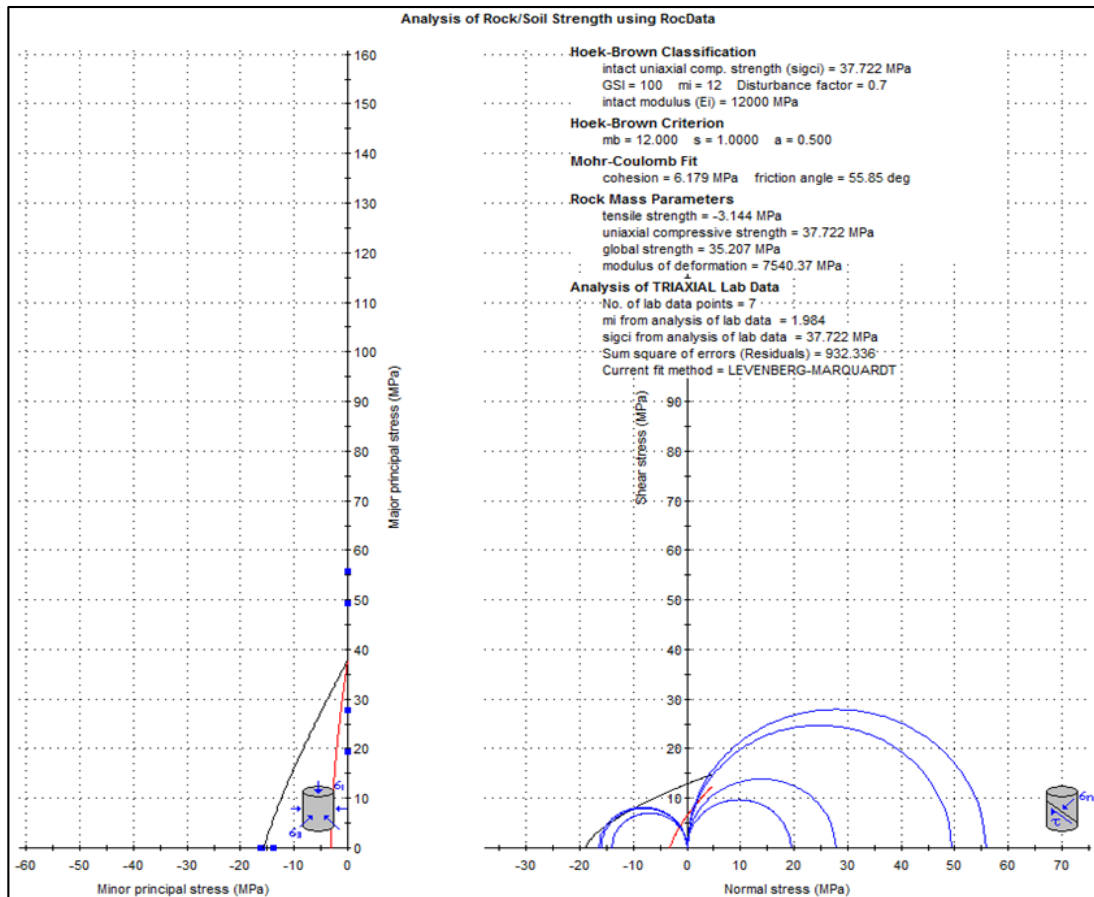


Figura 101. Envoltura de falla del macizo rocoso a través de resultados UCS paralelos- Basilero

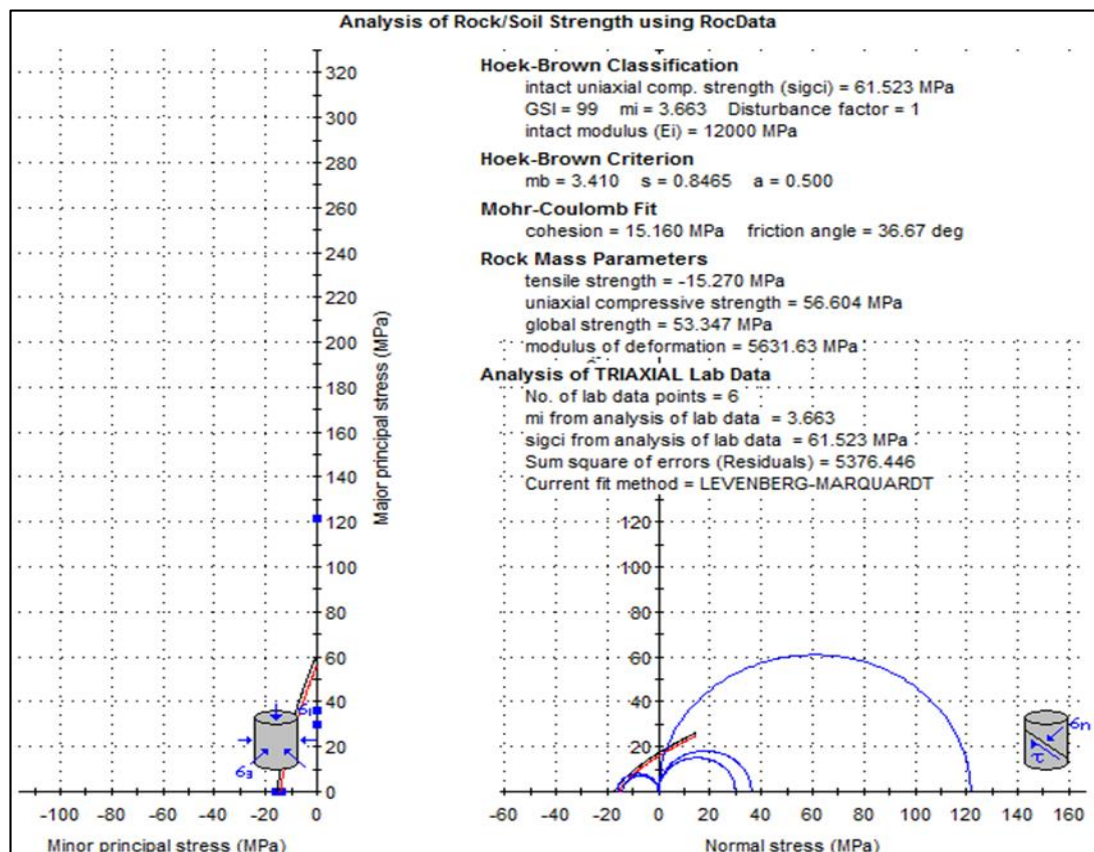


Figura 102. Envoltura de falla del macizo rocoso a través de resultados UCS perpendiculares- Basilero

Anexo 4. Reporte técnico de cada ensayo realizado

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-1
NORMAS UTILIZADAS	ISRM	Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (1979)		
	ASTM	Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures		
DATOS GENERALES				
Equipo	GCTS – RDS - 500			
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89			
Proyecto:	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardo González			
Espécimen:	2653-1 UCS Paralelo			
Tipo de Muestra	Cubo			
Tipo de roca	Esquisto			
Largo - Ancho - Alto (mm)	68,57 – 67,31 – 71,15			
Profundidad:	- m			
Altura	- msnm			
Longitud medidora de deformación	71,15 mm			
Diámetro	76,66 mm			
Área	46,15 cm ²			
Volumen	328,4 cm ³			
Peso	875,1 gr			
Densidad	2664,74 Kg/m ³			
L/D	0,93 mm			
σ_3 (Calculado):	0 MPa			
				
CONDICIÓN INICIAL DEL ESPÉCIMEN				

DISEÑO DEL ENSAYO			RESULTADOS DEL ENSAYO		
ACTUADOR AXIAL			ESPÉCIMEN		
Control de Entrada	TI-8; SA Esfuerzo Axial		Altura	71,15	mm
Tipo de Carga	Incremental	Tipo de Carga	Long. Medidor deformaciones	71,15	mm
Valor inicial de carga	Relativo	Carga de asiento	Diámetro	76,66	mm
Velocidad	20 MPa/min		Área	46,15	cm ²
Valor final de carga	300 MPa		Volumen	328,4	cm ³
PRESIÓN DE POROS			Finalización de la Etapa debido a Pico reverso Activado		
Control de Entrada	No definida		Sd – Esfuerzo desviador Final (Pico)	53,9	MPa
Velocidad			t - Tiempo	157,595	seg
Valor Inicial			Ea – Deformación Axial	1,868	%
Valor Final			Er – Deformación Radial	-0,623	%
FINALIZACIÓN DE LA ETAPA			Ev – Deformación Volumétrica		
Máxima deformación Axial	NS		Sa – Esfuerzo Axial	54,5	MPa
Tiempo Máximo de Carga	1 hora		Sd – Esfuerzo desviador Final (Residual)	2,1	MPa
Variable de Control	TI-8: Sa - Axial Stress		t - Tiempo	158,078	seg
Valor reverso	10 MPa		Ea – Deformación Axial	2,112	%
Umbral	1 MPa		Er – Deformación Radial	-0,704	%
ADQUISICIÓN DE DATOS			Ev – Deformación Volumétrica		
Incremento de tiempo	0.1 Segundo		Sa – Esfuerzo Axial	2,8	MPa
Nivel de cruce			Valores de las Constantes al 50% de ρ_{max}		
Entrada de Control	TI-8: Sa - Axial Stress		Módulo de Elasticidad Tangente	2909,157	MPa
Sensibilidad	0,5 MPa		Módulo de Elasticidad Secante	2449,48	MPa
TIPO	Drenado		Módulo de Poisson	0,33	-
MANEJO DE LAS DEFORMACIONES – AL INICIO DE LA ETAPA			Clasificación de la Roca de acuerdo a su Resistencia (ISRM)		
Deformaciones en cero			Media - (R5)		



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

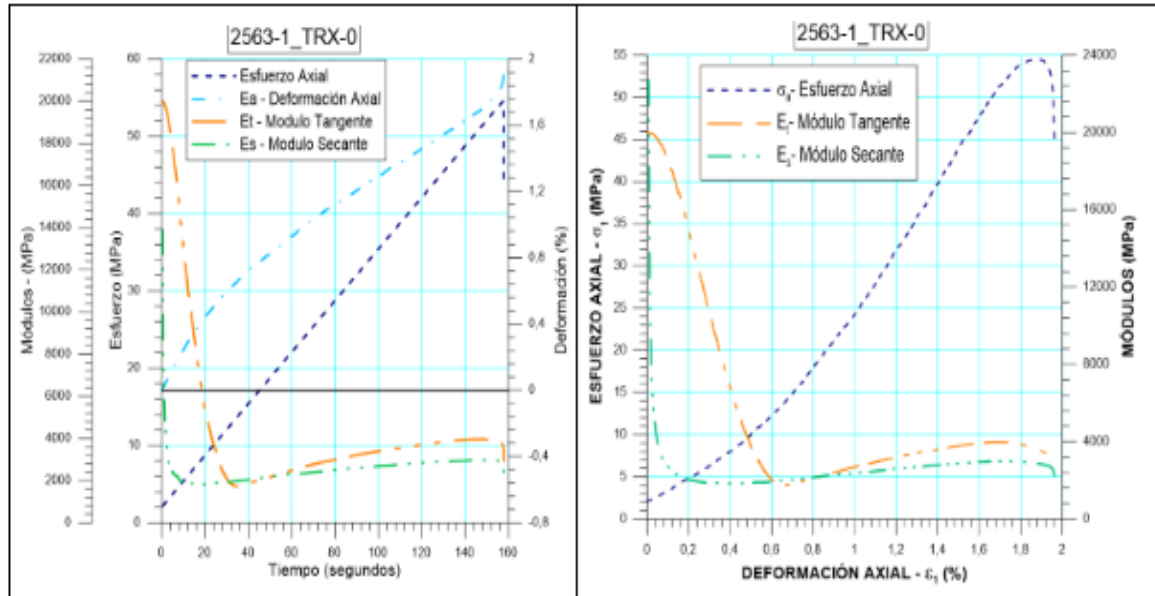
CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A
HACIENDA MAMERA



RIF: G-20000062-7

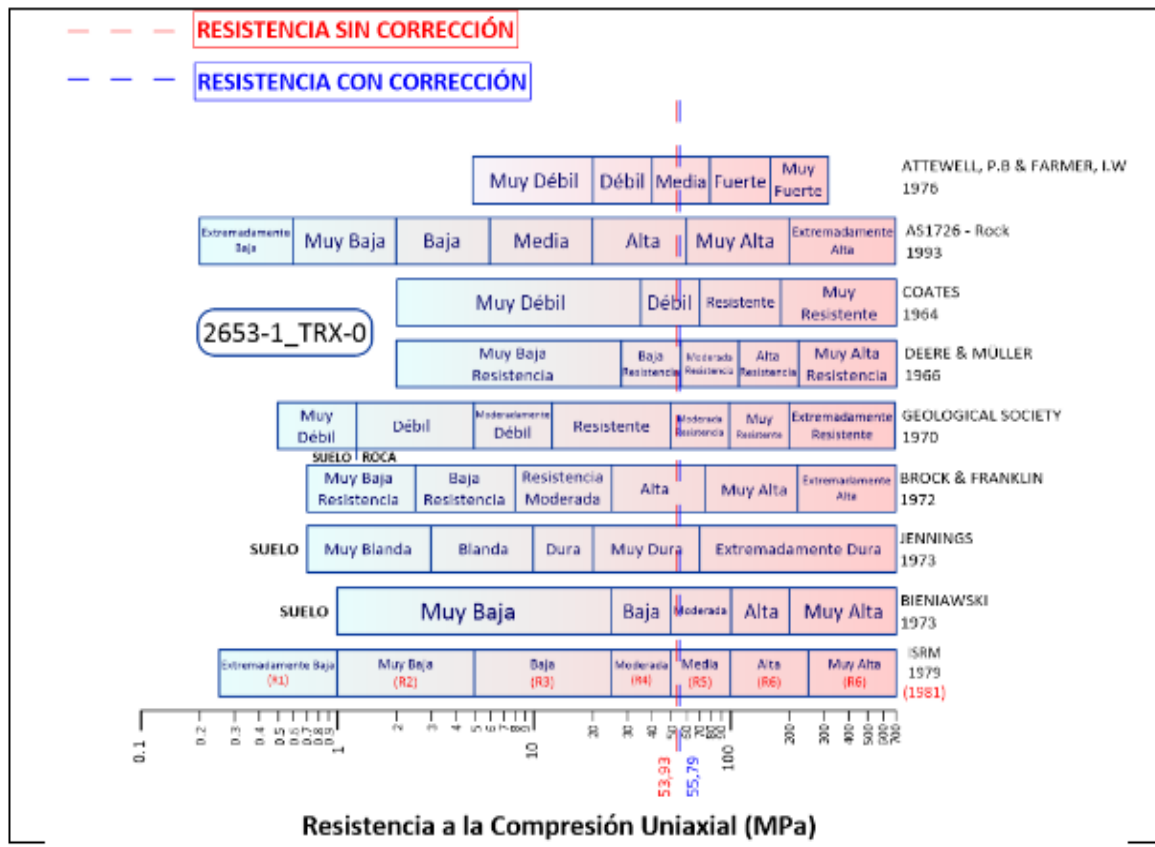
RIF: G-20000062-7



Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-1




Desarrollo del ensayo

Resultados del ensayo





 RIF: G-20000082-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 3 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-1

	CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ROCA POR EFECTO ESCALA	
	Corrección por relación (L/D)	
	$\sigma_{c,30} - \sigma_c [0.925 + 0.036(L/D)]$	51,66 MPa
	Corrección por diámetro (50/D)	
	$(\sigma_c / \sigma_{c,50}) - (50/D)^{0.25}$	55,79 MPa
Corrección del Módulo de Elasticidad		
$E_{50} - E [1.24 - 0.33 \ln(L/D)]$	3.678,96 MPa	
Observaciones:		
El esfuerzo en esta muestra fue aplicado paralelo a las foliaciones, es decir, en el mismo sentido.		
Condición final del Espécimen		

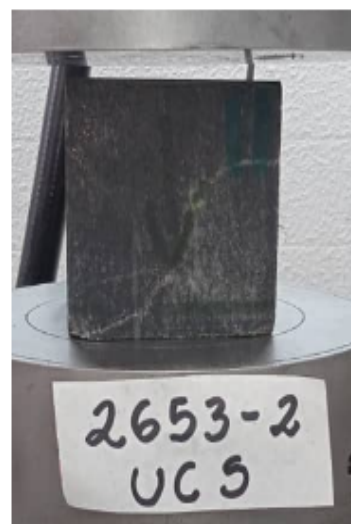
Bibliografía

- Fairhurst, C., & Hudson, J. (1999). Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, 279-289.
- Hoek, E., & Brown, E. (1980). *Underground excavations in*. London: Inst. Min. Metall. London: Chapman & Hall.
- ISRM. (1978). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15, 99-103.
- ISRM. (1978). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 16, 135-140.
- Thuro, K., Plinninger, R., Záh, S., & Schütz, S. (2001). Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. In S. & Eloranta (Ed.), *Rock mechanics - a Challenge for Society* (pp. 169-174). Espoo, Finland (June 3-7,2001): Swets &Zeitlinger Lisse.

 RIF: G-20000082-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000082-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-2

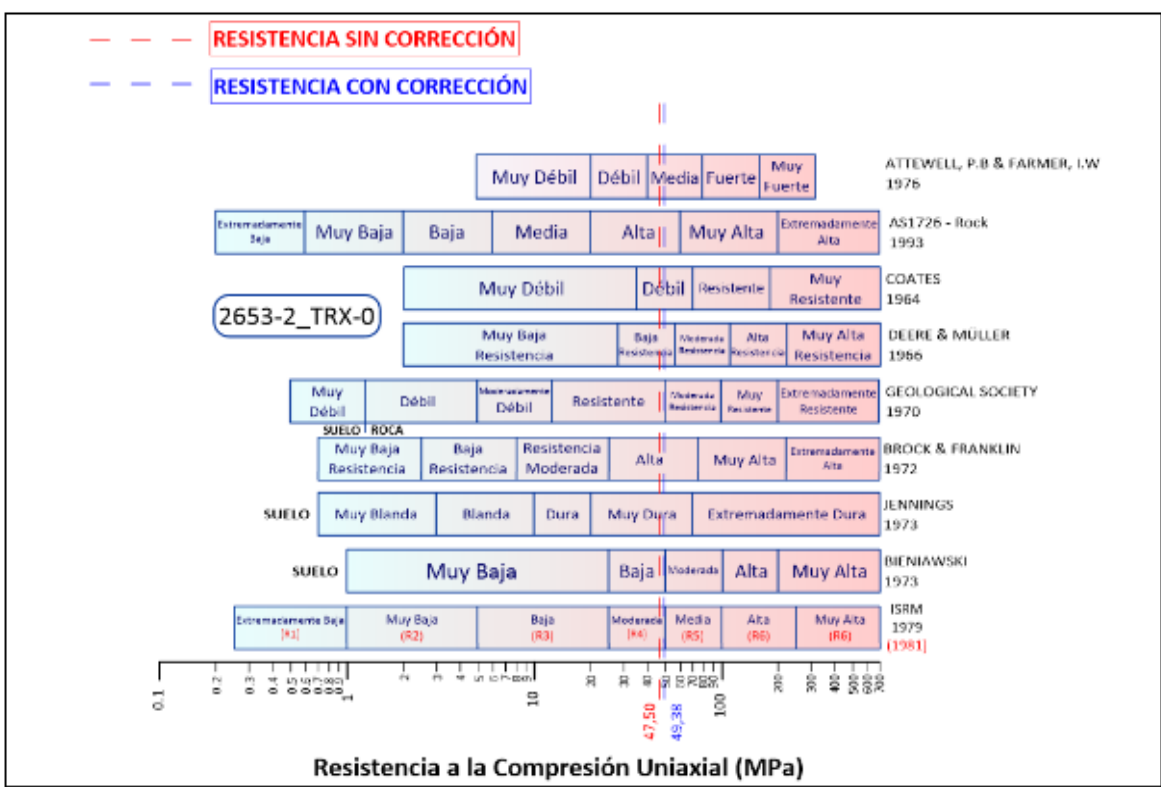
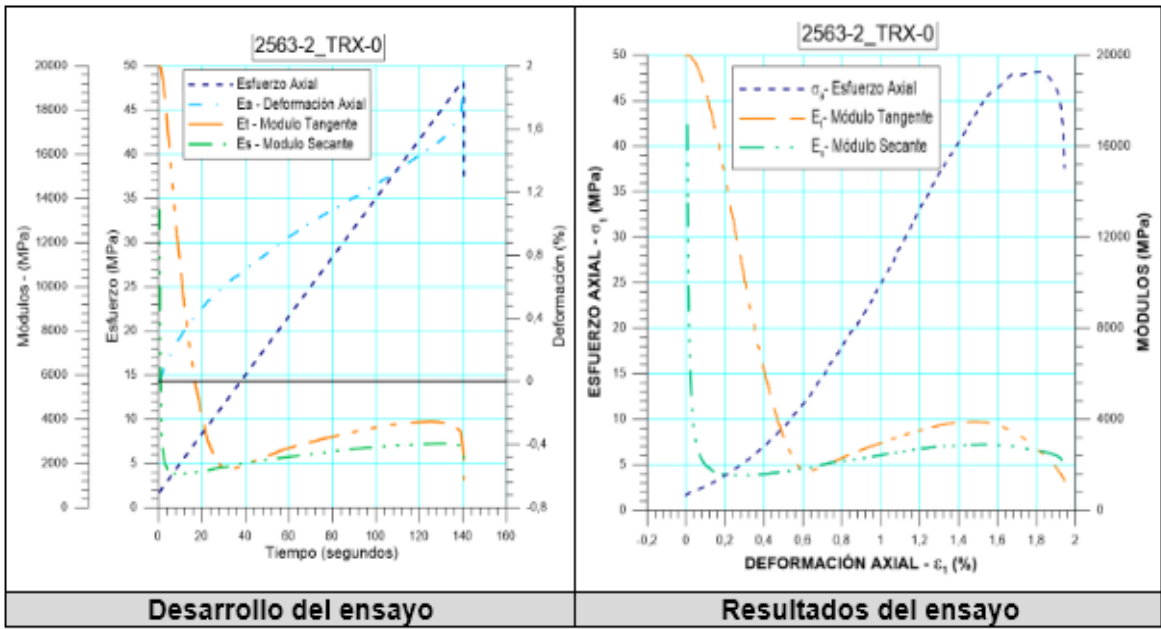
NORMAS UTILIZADAS	ISRM	Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (1979)
	ASTM	Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures



DATOS GENERALES	
Equipo	GCTS – RDS - 500
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89
Proyecto:	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardo González
Espécimen:	2653-2 UCS Paralelo
Tipo de Muestra	Cubo
Tipo de roca	Esquisto
Largo - Ancho - Alto (mm)	69,67 – 69,17 – 73,83
Profundidad:	- m
Altura	73,83 msnm
Longitud medidora de deformación	73,83 mm
Diámetro	78,32 mm
Área	48,18 cm ²
Volumen	355,69 cm ³
Peso	942,8 gr
Densidad	2650,65 Kg/m ³
L/D	0,94 mm
σ_3 (Calculado):	0 MPa




CONDICIÓN INICIAL DEL ESPÉCIMEN

DISEÑO DEL ENSAYO			RESULTADOS DEL ENSAYO		
ACTUADOR AXIAL			ESPÉCIMEN		
Control de Entrada	TI-8; SA Esfuerzo Axial		Altura	73,83	mm
Tipo de Carga	Incremental	Tipo de Carga	Long. Medidor deformaciones	73,83	mm
Valor inicial de carga	Relativo	Carga de asiento	Diámetro	78,32	mm
Velocidad	20 MPa/min		Área	48,18	cm ²
Valor final de carga	300 MPa		Volumen	355,69	cm ³
PRESIÓN DE POROS			Finalización de la Etapa debido		
Control de Entrada	No definida		Pico reverso Activado		
Velocidad			Sd – Esfuerzo desviador Final (Pico)	47,5	MPa
Valor Inicial			t - Tiempo	140,199	seg
Valor Final			Ea – Deformación Axial	1,821	%
FINALIZACIÓN DE LA ETAPA			Er – Deformación Radial	-0,607	%
Máxima deformación Axial	NS		Ev – Deformación Volumétrica	0,628	%
Tiempo Máximo de Carga	1 hora		Sa – Esfuerzo Axial	48,2	MPa
Variable de Control	TI-8: Sa - Axial Stress		Sd – Esfuerzo desviador Final (Residual)	2,9	MPa
Valor reverso	10 MPa		t - Tiempo	140,513	seg
Umbral	1 MPa		Ea – Deformación Axial	2,17	%
ADQUISICIÓN DE DATOS			Er – Deformación Radial	-0,723	%
Incremento de tiempo	0,1 Segundo		Ev – Deformación Volumétrica	0,75	%
Nivel de cruce			Sa – Esfuerzo Axial	3,8	MPa
Entrada de Control	TI-8: Sa - Axial Stress		Valores de las Constantes al 50% de σ_{max}		
Sensibilidad	0,5 MPa		Módulo de Elasticidad Tangente	2889,23	MPa
TIPO	Drenado		Módulo de Elasticidad Secante	2390,93	MPa
MANEJO DE LAS DEFORMACIONES – AL INICIO DE LA ETAPA			Módulo de Poisson	0,33	-
Deformaciones en cero			Clasificación de la Roca de Acuerdo a su Resistencia (ISRM)		
			Moderada - (R4)		



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 3 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-2

	CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ROCA POR EFECTO ESCALA	
	Corrección por relación (L/D)	
	$\sigma_{cs} = \sigma_c [0.925 + 0.036(L/D)]$	45,55 MPa
	Corrección por diámetro (50/D)	
	$(\sigma_c / \sigma_{cs}) = (50/D)^{0.22}$	49,38 MPa
Corrección del Módulo de Elasticidad		
$E_{50} = E [1.24 - 0.33 \ln(L/D)]$	3.638,93 MPa	
Observaciones:		
El esfuerzo en esta muestra fue aplicado paralelo a las foliaciones, es decir, en el mismo sentido.		
Condición final del Espécimen		

Bibliografía


Fairhurst, C., & Hudson, J. (1999). Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, 279-289.

Hoek, E., & Brown, E. (1980). *Underground excavations in*. London: Inst. Min. Metall. London: Chapman & Hall.

ISRM. (1978). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15, 99-103.

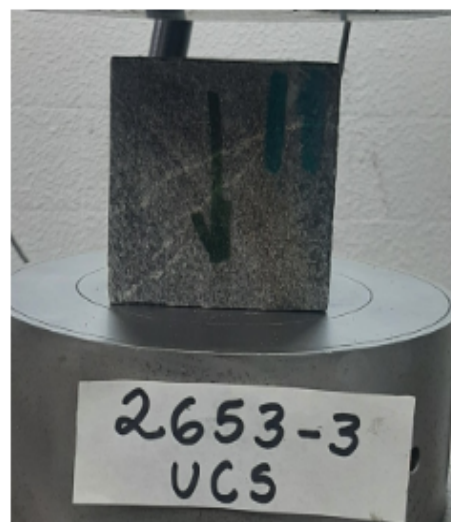
ISRM. (1978). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 16, 135-140.

Thuro, K., Plinninger, R., Záh, S., & Schütz, S. (2001). Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. In S. & Eloranta (Ed.), *Rock mechanics - a Challenge for Society* (pp. 169-174). Espoo, Finland (June 3-7,2001): Swets &Zeitlinger Lisse.

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-3

NORMAS UTILIZADAS	ISRM	Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (1979)
	ASTM	Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures

DATOS GENERALES	
Equipo	GCTS – RDS - 500
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89
Proyecto:	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardo González
Espécimen:	2653-3 UCS Paralelo
Tipo de Muestra	Cubo
Tipo de roca	Esquisto
Largo - Ancho - Alto (mm)	69,67 – 69,17 – 68,40
Profundidad:	- m
Altura	68,40 msnm
Longitud medidora de deformación	68,40 mm
Diámetro	78,32 mm
Área	48,18 cm ²
Volumen	329,53 cm ³
Peso	886,00 gr
Densidad	2688,70 Kg/m ³
L/D	0,87 mm
σ_3 (Calculado):	0 MPa



CONDICIÓN INICIAL DEL ESPÉCIMEN

DISEÑO DEL ENSAYO			RESULTADOS DEL ENSAYO		
ACTUADOR AXIAL			ESPÉCIMEN		
Control de Entrada	TI-8; SA Esfuerzo Axial		Altura	68,40	mm
Tipo de Carga	Incremental	Tipo de Carga	Long. Medidor deformaciones	68,40	mm
Valor inicial de carga	Relativo	Carga de asiento	Diámetro	78,32	mm
Velocidad	20	MPa/min	Área	48,18	cm ²
Valor final de carga	300	MPa	Volumen	329,53	cm ³
PRESIÓN DE POROS			Finalización de la Etapa debido Pico reverso Activado		
Control de Entrada	No definida		Sd – Esfuerzo desviador Final (Pico)	28,8	MPa
Velocidad			t - Tiempo	77,7854	seg
Valor Inicial			Ea – Deformación Axial	1,544	%
Valor Final			Er – Deformación Radial	-0,515	%
FINALIZACIÓN DE LA ETAPA			Ev – Deformación Volumétrica	0,528	%
Máxima deformación Axial	NS		Sa – Esfuerzo Axial	27,5	MPa
Tiempo Máximo de Carga	1 hora		Sd – Esfuerzo desviador Final (Residual)	13,1	MPa
Variable de Control	TI-8: Sa - Axial Stress		t - Tiempo	78,3977	seg
Valor reverso	10 MPa		Ea – Deformación Axial	1,945	%
Umbral	1 MPa		Er – Deformación Radial	-0,648	%
ADQUISICIÓN DE DATOS			Ev – Deformación Volumétrica	0,67	%
Incremento de tiempo	0,1 Segundo		Sa – Esfuerzo Axial	13,7	MPa
Nivel de cruce			Valores de las Constantes al 50% de p_{max}		
Entrada de Control	TI-8: Sa - Axial Stress		Módulo de Elasticidad Tangente	1664,80	MPa
Sensibilidad	0,5 MPa		Módulo de Elasticidad Secante	1756,21	MPa
TIPO	Drenado		Módulo de Poisson	0,33	-
MANEJO DE LAS DEFORMACIONES – AL INICIO DE LA ETAPA			Clasificación de la Roca de Acuerdo a su Resistencia (ISRM)		
Deformaciones en cero			Moderada - (R4)		



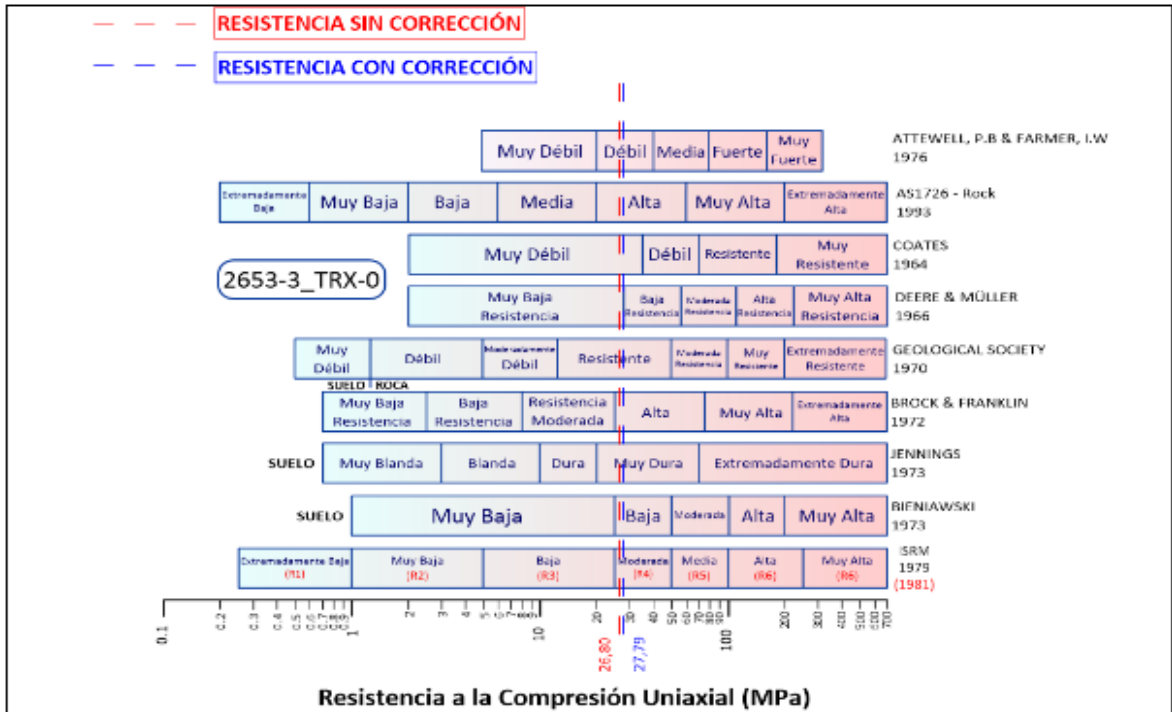
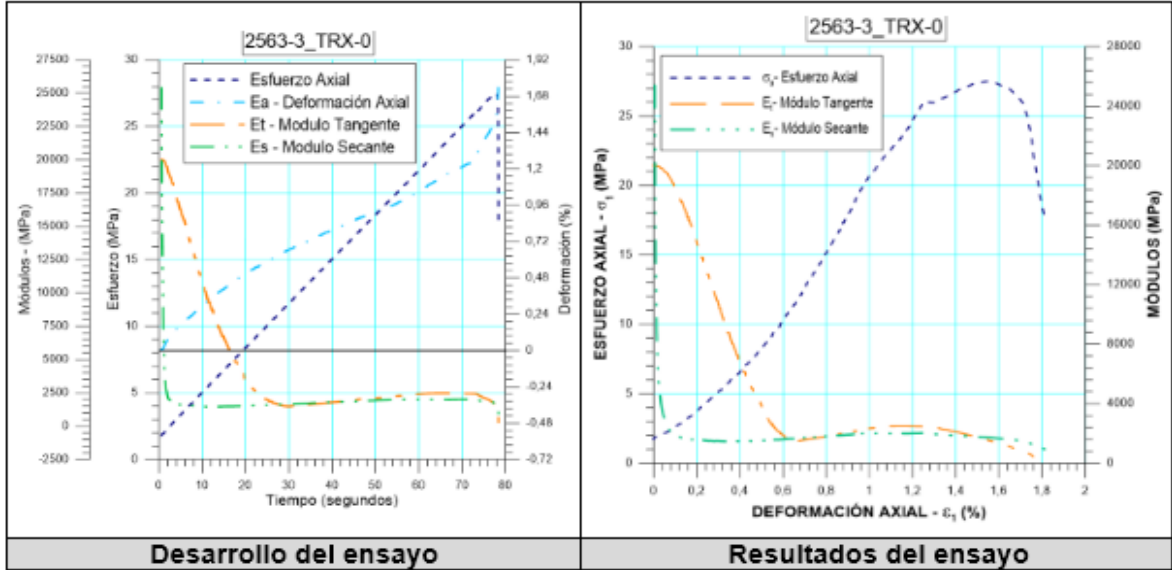
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE



CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A
HACIENDA MAMERA

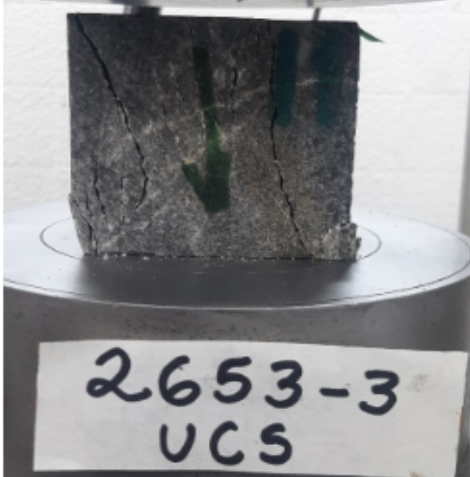


RIF: G-20000082-7

Código Proyecto: T.E.G	Cálculo: I. Estee & E. González	Revisión: M. Castillejo	Fecha: 20/06/2022	Página 2 de 3 Especimen: 2653-3
---------------------------	------------------------------------	----------------------------	----------------------	------------------------------------



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 3 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-3

	CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ROCA POR EFECTO ESCALA	
	Corrección por relación (L/D) $\sigma_{c,20} - \sigma_c [0.925 + 0.036(L/D)]$	
	25,63	MPa
Corrección por diámetro (50/D) $(\sigma_c / \sigma_{c,20}) - (50/D)^{0.2}$		
	27,79	MPa
Corrección del Módulo de Elasticidad $E_{50} - E [1.24 - 0.33 \ln(L/D)]$		
	2.138,754	MPa
Observaciones: El esfuerzo en esta muestra fue aplicado paralelo a las foliaciones, es decir, en el mismo sentido.		
Condición final del Espécimen		

Bibliografía



Fairhurst, C., & Hudson, J. (1999). Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, 279-289.

Hoek, E., & Brown, E. (1980). *Underground excavations in*. London: Inst. Min. Metall. London: Chapman & Hall.

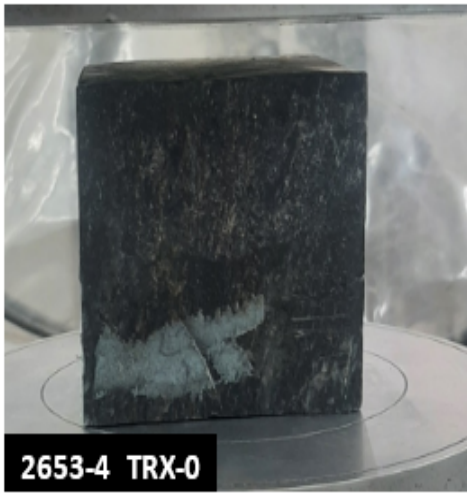
ISRM. (1978). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15, 99-103.

ISRM. (1978). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 16, 135-140.

Thuro, K., Plinninger, R., Záh, S., & Schütz, S. (2001). Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. In S. & Eloranta (Ed.), *Rock mechanics - a Challenge for Society* (pp. 169-174). Espoo, Finland (June 3-7,2001): Swets &Zeitlinger Lisse.

 RIF: G-20000082-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000082-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-4

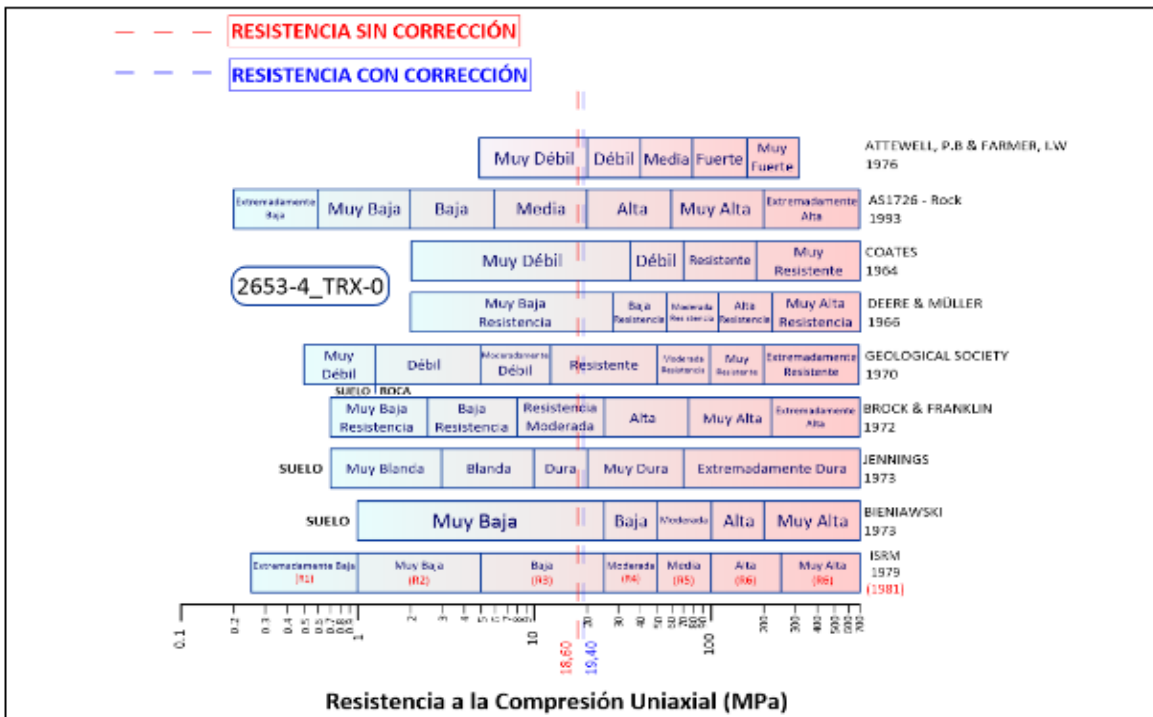
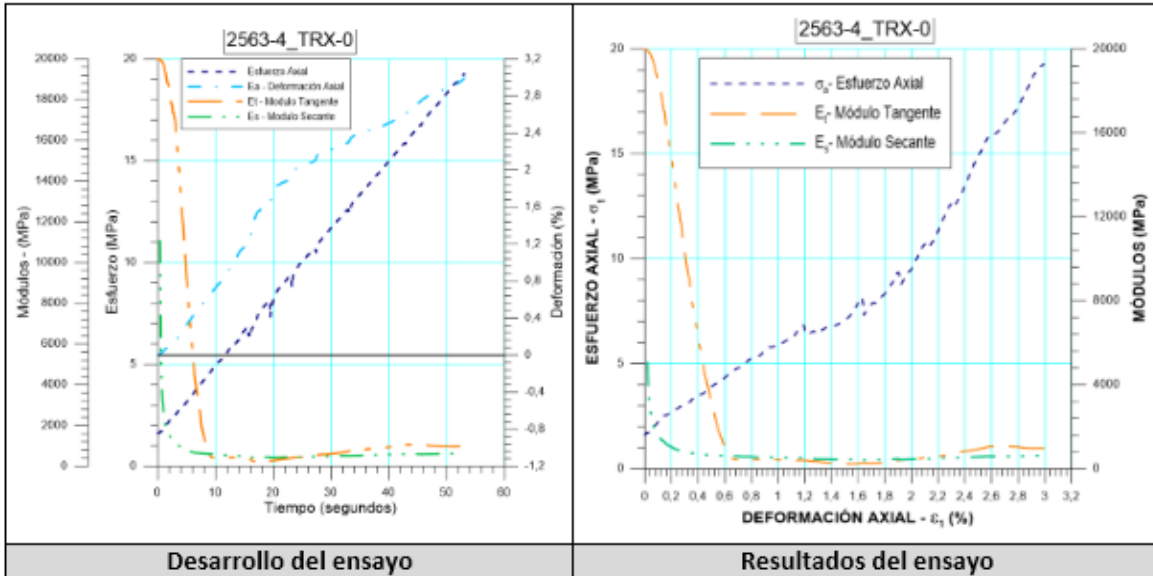
NORMAS UTILIZADAS	ISRM	Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (1979)
	ASTM	Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures
DATOS GENERALES		
Equipo	GCTS – RDS - 500	
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89	
Proyecto:		
Espécimen:	2653-4 UCS Paralelo	
Tipo de Muestra	Cubo	
Tipo de roca	Esquisto	
Largo - Ancho - Alto (mm)	70,13 – 71,13 – 73,63	
Profundidad:	- m	
Altura	69,38	msnm
Longitud medidora de deformación	69,38	mm
Diámetro	81,30	mm
Área	51,91	cm ²
Volumen	360,17	cm ³
Peso	967,60	gr
Densidad	2686,52	Kg/m ³
L/D	0,85	mm
σ_3 (Calculado):	0	MPa






2653-4 TRX-0

CONDICIÓN INICIAL DEL ESPÉCIMEN

DISEÑO DEL ENSAYO		RESULTADOS DEL ENSAYO	
ACTUADOR AXIAL		ESPÉCIMEN	
Control de Entrada	TI-8; SA Esfuerzo Axial	Altura	69,38 mm
Tipo de Carga	Incremental Tipo de Carga	Long. Medidor deformaciones	69,38 mm
Valor inicial de carga	Relativo Carga de asiento	Diámetro	81,91 mm
Velocidad	20 MPa/min	Área	48,18 cm ²
Valor final de carga	300 MPa	Volumen	360,17 cm ³
PRESIÓN DE POROS		Finalización de la Etapa debido Pico reverso Activado	
Control de Entrada	No definida	Sd – Esfuerzo desviador Final (Pico)	18,60 MPa
Velocidad		t - Tiempo	63,05 seg
Valor Inicial		Ea – Deformación Axial	2,99 %
Valor Final		Er – Deformación Radial	-0,995 %
FINALIZACIÓN DE LA ETAPA		Ev – Deformación Volumétrica	1,045 %
Máxima deformación Axial	NS	Sa – Esfuerzo Axial	19,3 MPa
Tiempo Máximo de Carga	1 hora	Sd – Esfuerzo desviador Final (Residual)	18,5 MPa
Variable de Control	TI-8: Sa - Axial Stress	t - Tiempo	63,22 seg
Valor reverso	10 MPa	Ea – Deformación Axial	3,00 %
Umbral	1 MPa	Er – Deformación Radial	-1,00 %
ADQUISICIÓN DE DATOS		Ev – Deformación Volumétrica	1,05 %
Incremento de tiempo	0,1 Segundo	Sa – Esfuerzo Axial	19,2 MPa
Nivel de cruce		Valores de las Constantes al 50% de ρ_{max}	
Entrada de Control	TI-8: Sa - Axial Stress	Módulo de Elasticidad Tangente	435,29 MPa
Sensibilidad	0,5 MPa	Módulo de Elasticidad Secante	445,21 MPa
TIPO	Drenado	Módulo de Poisson	0,33 -
MANEJO DE LAS DEFORMACIONES – AL INICIO DE LA ETAPA		Clasificación de la Roca de acuerdo a su Resistencia (ISRM)	
Deformaciones en cero		Baja - (R3)	



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 3 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-4

	CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ROCA POR EFECTO ESCALA	
	Corrección por relación (L/D)	
	$\sigma_{e,50} = \sigma_c [0.925 + 0.036(L/D)]$	17,78 MPa
	Corrección por diámetro (50/D)	
	$(\sigma_c / \sigma_{c,50}) = (50/D)^{0.25}$	19,40 MPa
Corrección del Módulo de Elasticidad		
$E_{50} = E [1.24 - 0.33 \ln(L/D)]$	562,54 MPa	
Observaciones:		
El esfuerzo en esta muestra fue aplicado paralelo a las foliaciones, es decir, en el mismo sentido.		
Condición final del Espécimen		

Bibliografía



Fairhurst, C., & Hudson, J. (1999). Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, 279-289.

Hoek, E., & Brown, E. (1980). *Underground excavations in*. London: Inst. Min. Metall. London: Chapman & Hall.

ISRM. (1978). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15, 99-103.

ISRM. (1978). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 16, 135-140.

Thuro, K., Plinninger, R., Záh, S., & Schütz, S. (2001). Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. In S. & Eloranta (Ed.), *Rock mechanics - a Challenge for Society* (pp. 169-174). Espoo, Finland (June 3-7,2001): Swets & Zeitlinger Lisse.

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-5

NORMAS UTILIZADAS	ISRM	Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (1979)
	ASTM	Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures

DATOS GENERALES	
Equipo	GCTS – RDS - 500
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89
Proyecto:	Tesis de Grado
Espécimen:	2655-1 UCS Perpendicular
Tipo de Muestra	Cubo
Tipo de roca	Esquisto
Largo – Ancho- Alto (mm)	68,83 – 69,00 – 72,15
Profundidad:	- m
Altura	72,15 mm
Longitud medidora de deformación	72,15 mm
Diámetro	77,76 mm
Área	47,49 cm ²
Volumen	342,641 cm ³
Peso	919,8 gr
Densidad	2684,45 Kg/m ³
L/D	0,88 mm
σ_3 (Calculado):	0 MPa



CONDICIÓN INICIAL DEL ESPÉCIMEN

DISEÑO DEL ENSAYO		RESULTADOS DEL ENSAYO	
ACTUADOR AXIAL		ESPÉCIMEN	
Control de Entrada	TI-8: SA Esfuerzo Axial	Altura	72,15 mm
Tipo de Carga	Incremental Tipo de Carga	Long. Medidor deformaciones	72,15 mm
Valor inicial de carga	Relativo Carga de asiento	Diámetro	77,76 mm
Velocidad	20 MPa/min	Área	47,49 cm ²
Valor final de carga	300 MPa	Volumen	342,641 cm ³
PRESIÓN DE POROS		Finalización de la Etapa debido	Pico reverso Activado
Control de Entrada	No definida	Sd – Esfuerzo desviador Final (Pico)	35 MPa
Velocidad		t - Tiempo	102.508 seg
Valor Inicial		Ea – Deformación Axial	1.861 %
Valor Final		Er – Deformación Radial	-0.62 %
FINALIZACIÓN DE LA ETAPA		Ev – Deformación Volumétrica	0.64 %
Máxima deformación Axial	NS	Sa – Esfuerzo Axial	35.7 MPa
Tiempo Máximo de Carga	1 hora	Sd – Esfuerzo desviador Final (Residual)	11.8 MPa
Variable de Control	TI-8: Sa - Axial Stress	t - Tiempo	103.607 seg
Valor reverso	10 MPa	Ea – Deformación Axial	2.721 %
Umbral	1 MPa	Er – Deformación Radial	-0.907 %
ADQUISICIÓN DE DATOS		Ev – Deformación Volumétrica	0.948 %
Incremento de tiempo	0,1 Segundo	Sa – Esfuerzo Axial	12.3 MPa
Nivel de cruce		Valores de las Constantes al 50% de p_{max}	
Entrada de Control	TI-8: Sa - Axial Stress	Módulo de Elasticidad Tangente	1986.08 MPa
Sensibilidad	0,5 MPa	Módulo de Elasticidad Secante	1639.96 MPa
TIPO	Drenado	Módulo de Poisson	0.33 -
MANEJO DE LAS DEFORMACIONES – AL INICIO DE LA ETAPA		Clasificación de la Roca de acuerdo a su Resistencia (ISRM)	
Deformaciones en cero		Moderada - (R4)	



RIF: G-20000062-7

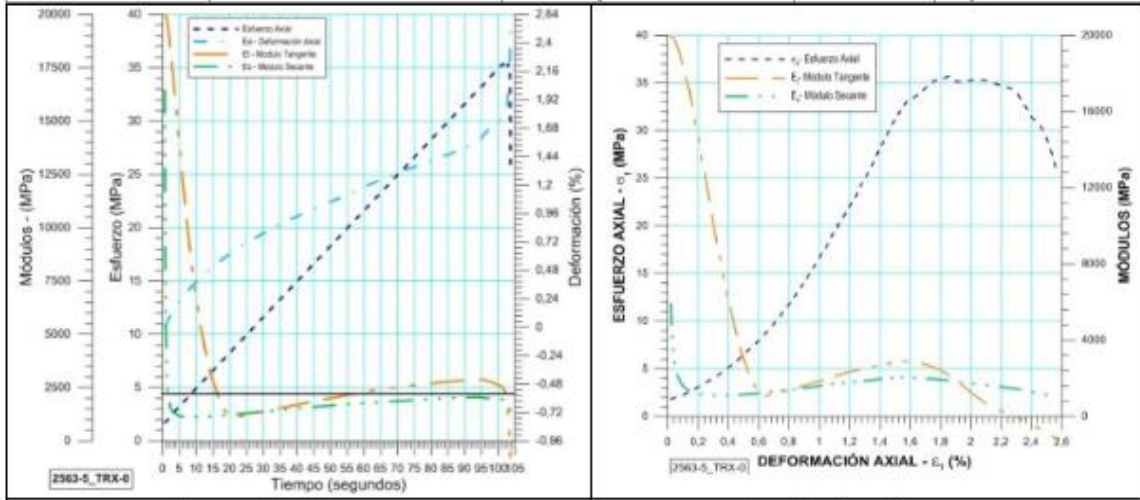
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A
HACIENDA MAMERA



RIF: G-20000082-7

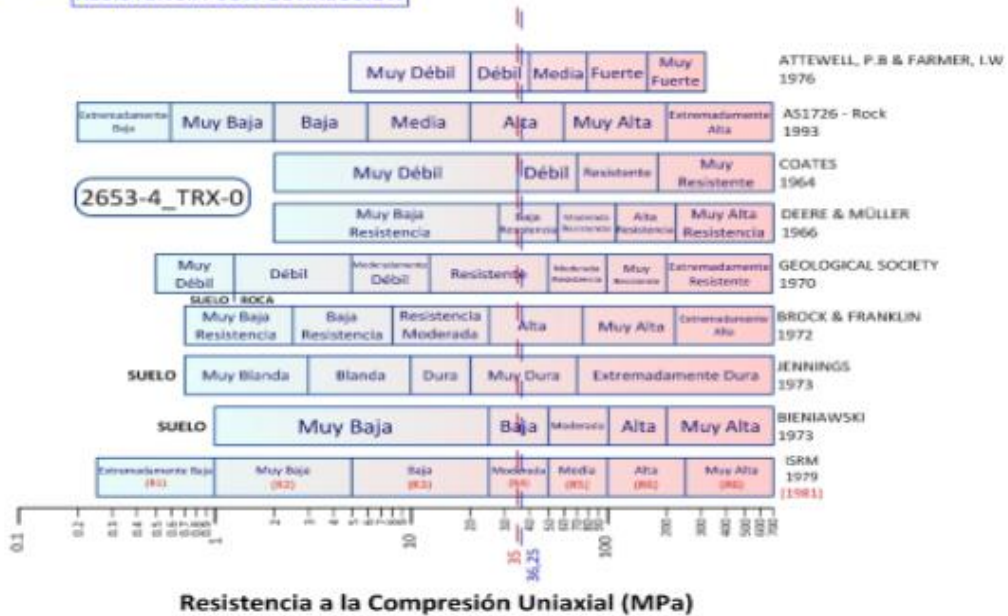
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Especimen: 2653-5






Desarrollo del ensayo



Resultados del ensayo

- RESISTENCIA SIN CORRECCIÓN
- RESISTENCIA CON CORRECCIÓN



Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000082-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 3 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-5
Clasificación de la roca de acuerdo a su resistencia				
		CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ROCA POR EFECTO ESCALA		
		Corrección por relación (L/D)		
		$\sigma_{c50} = \sigma_c [0.925 + 0.036(L/D)]$	33.84	MPa
		Corrección por diámetro (50/D)		
		$(\sigma_c / \sigma_{c50}) = (50/D)^{0.25}$	36.25	MPa
		Corrección del Módulo de Elasticidad		
$E_{50} = E [1.24 - 0.33 \ln(L/D)]$	2.520.878	MPa		
Observaciones:				
Condición final del Espécimen				
Bibliografía				
Fairhurst, C., & Hudson, J. (1999). Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. <i>Int. J. Rock Mech. Min. Sci.</i> , 36, 279-289.				
Hoek, E., & Brown, E. (1980). <i>Underground excavations in</i> . London: Inst. Min. Metall. London: Chapman & Hall.				
ISRM. (1978). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. <i>Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.</i> , 15, 99-103.				
ISRM. (1978). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. <i>Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.</i> , 16, 135-140.				
Thuro, K., Plinninger, R., Zäh, S., & Schütz, S. (2001). Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. En S. & Eloranta (Ed.), <i>Rock mechanics - a Challenge for Society</i> (págs. 169-174). Espoo, Finland (June 3-7,2001): Swets &Zeitlinger Lisse.				

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Especimen: 2653-6

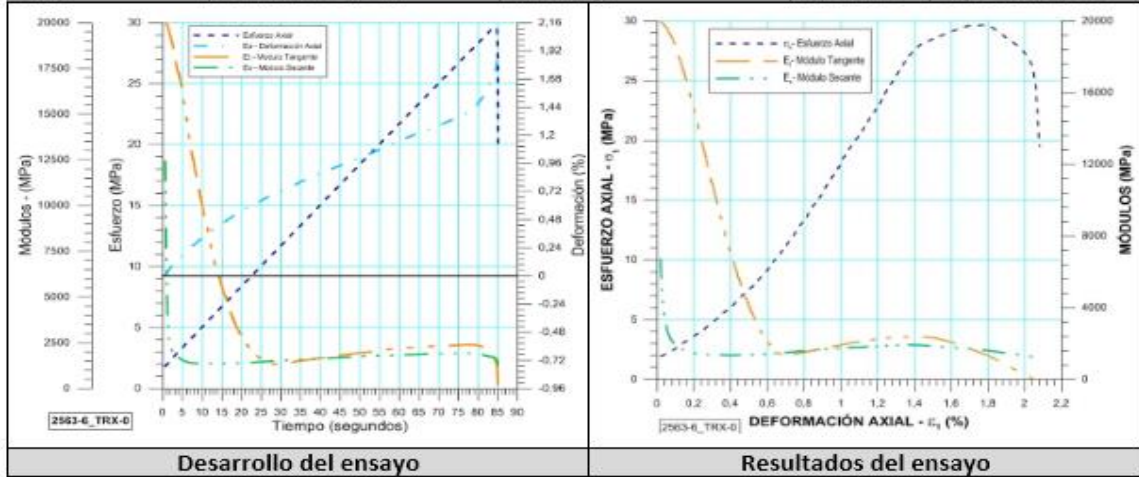
NORMAS UTILIZADAS	ISRM	Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (1979)
	ASTM	Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures

DATOS GENERALES	
Equipo	GCTS – RDS - 500
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89
Proyecto:	Tesis de Grado
Especimen:	2655-1 UCS Perpendicular
Tipo de Muestra	Cubo
Tipo de roca	Esquisto
Largo – Ancho- Alto (mm)	68,83 – 69,00 – 72,15
Profundidad:	- m
Altura	66,35 mm
Longitud medidora de deformación	66,35 mm
Diámetro	79,18 mm
Área	49,24 cm ²
Volumen	326,71 cm ³
Peso	881,5 gr
Densidad	2698,12 Kg/m ³
L/D	0,84 mm
σ_3 (Calculado):	0 MPa

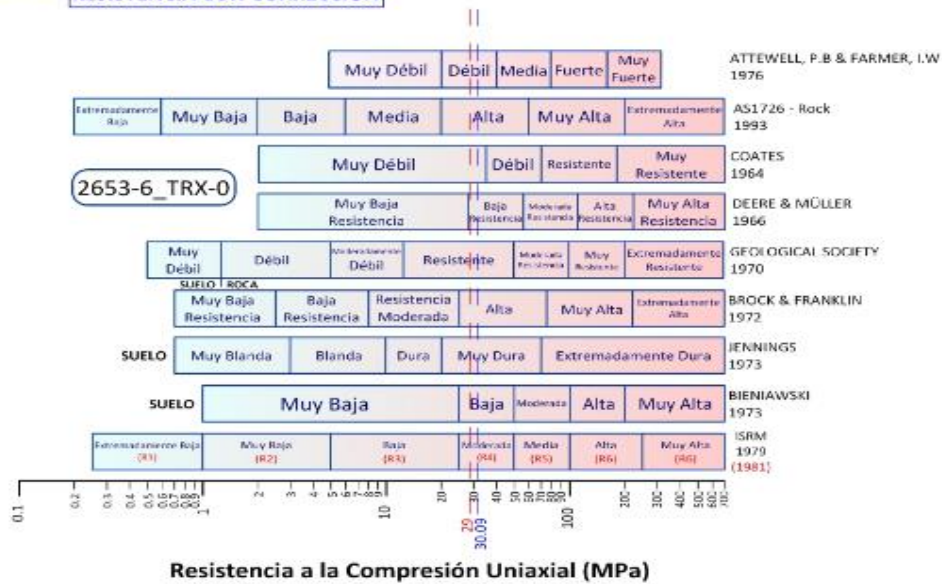




CONDICIÓN INICIAL DEL ESPECIMEN

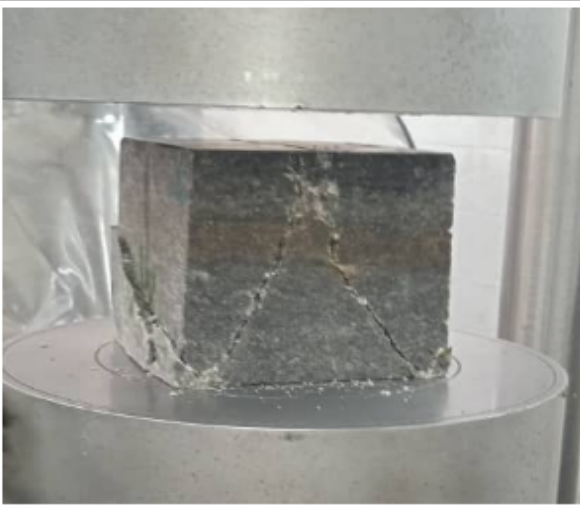
DISEÑO DEL ENSAYO		RESULTADOS DEL ENSAYO	
ACTUADOR AXIAL		ESPECIMEN	
Control de Entrada	TI-8; SA Esfuerzo Axial	Altura	66,35 mm
Tipo de Carga	Incremental Tipo de Carga	Long. Medidor deformaciones	66,35 mm
Valor inicial de carga	Relativo Carga de asiento	Diámetro	79,18 mm
Velocidad	20 MPa/min	Área	49,24 cm ²
Valor final de carga	300 MPa	Volumen	326,71 cm ³
PRESIÓN DE POROS		Finalización de la Etapa debido	Pico reverso Activado
Control de Entrada	No definida	Sd – Esfuerzo desviador Final (Pico)	29 MPa
Velocidad		t - Tiempo	84,5199 seg
Valor Inicial		Ea – Deformación Axial	1,778 %
Valor Final		Er – Deformación Radial	-0,592 %
FINALIZACIÓN DE LA ETAPA		Ev – Deformación Volumétrica	0,61 %
Máxima deformación Axial	NS	Sa – Esfuerzo Axial	29,7 MPa
Tiempo Máximo de Carga	1 hora	Sd – Esfuerzo desviador Final (Residual)	4,9 MPa
Variable de Control	TI-8; Sa - Axial Stress	t - Tiempo	85,0314 seg
Valor reverso	10 MPa	Ea – Deformación Axial	2,365 %
Umbral	1 MPa	Er – Deformación Radial	-0,788 %
ADQUISICIÓN DE DATOS		Ev – Deformación Volumétrica	0,82 %
Incremento de tiempo	0,1 Segundo	Sa – Esfuerzo Axial	5,8 MPa
Nivel de cruce		Valores de las Constantes al 50% de p_{max}	
Entrada de Control	TI-8; Sa - Axial Stress	Módulo de Elasticidad Tangente	1644,93 MPa
Sensibilidad	0,5 MPa	Módulo de Elasticidad Secante	1634,24 MPa
TIPO	Drenado	Módulo de Poisson	0,33 -
MANEJO DE LAS DEFORMACIONES – AL INICIO DE LA ETAPA		Clasificación de la Roca de acuerdo a su Resistencia (ISRM)	
Deformaciones en cero		Moderada - (R4)	





--- RESISTENCIA SIN CORRECCIÓN
 --- RESISTENCIA CON CORRECCIÓN



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000082-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 3 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-6

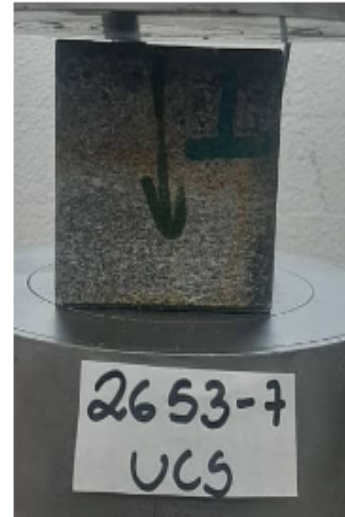
Clasificación de la roca de acuerdo a su resistencia		
	CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ROCA POR EFECTO ESCALA	
	Corrección por relación (L/D) $\sigma_{c50} = \sigma_c [0.925 + 0.036(L/D)]$	27,70 MPa
	Corrección por diámetro (50/D) $(\sigma_c / \sigma_{c50}) = (50/D)^{0.25}$	30,09 MPa
	Corrección del Módulo de Elasticidad $E_{50} = E [1.24 - 0.33 \ln(L/D)]$	2.134,357 MPa
	Observaciones: 	
Condición final del Espécimen		

Bibliografía
Fairhurst, C., & Hudson, J. (1999). Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. <i>Int. J. Rock Mech. Min. Sci.</i> , 36, 279-289.
Hoek, E., & Brown, E. (1980). <i>Underground excavations in</i> . London: Inst. Min. Metall. London: Chapman & Hall.
ISRM. (1978). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. <i>Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.</i> , 15, 99-103.
ISRM. (1978). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. <i>Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.</i> , 15, 135-140.
Thuro, K., Plinninger, R., Záh, S., & Schütz, S. (2001). Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. En S. & Eloranta (Ed.), <i>Rock mechanics - a Challenge for Society</i> (págs. 169-174). Espoo, Finland (June 3-7,2001): Swets &Zeitlinger Lisse.

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-7



NORMAS UTILIZADAS	ISRM	Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials (1979)
	ASTM	Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures

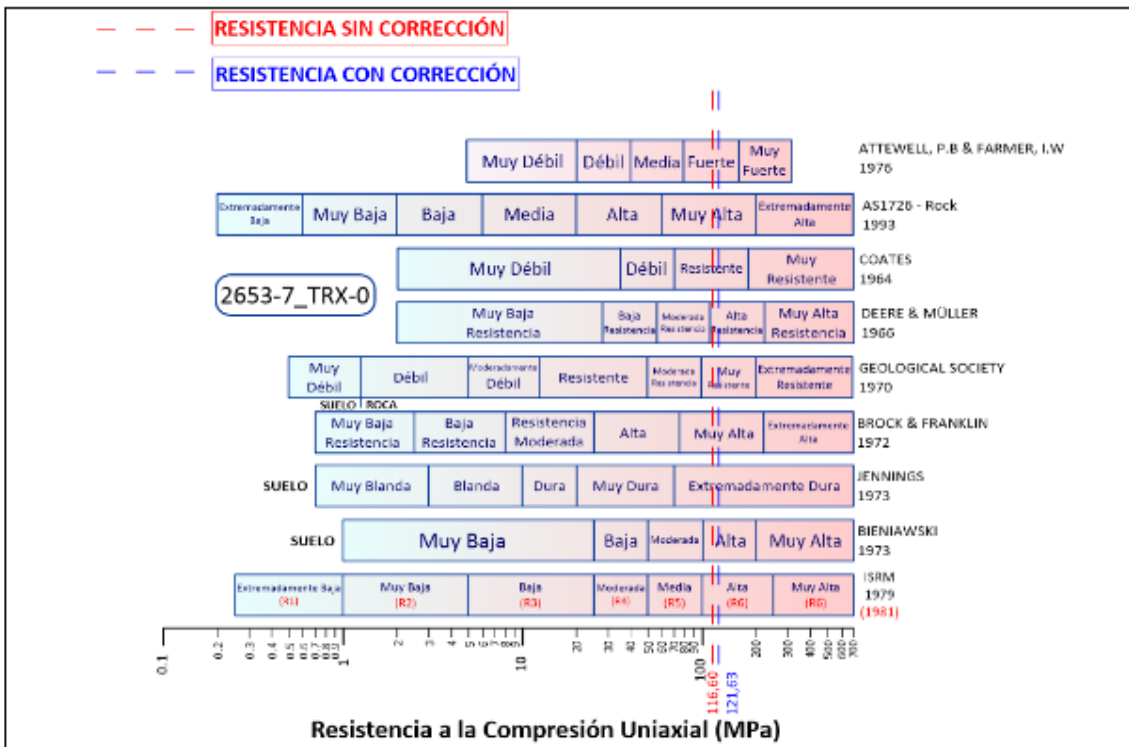
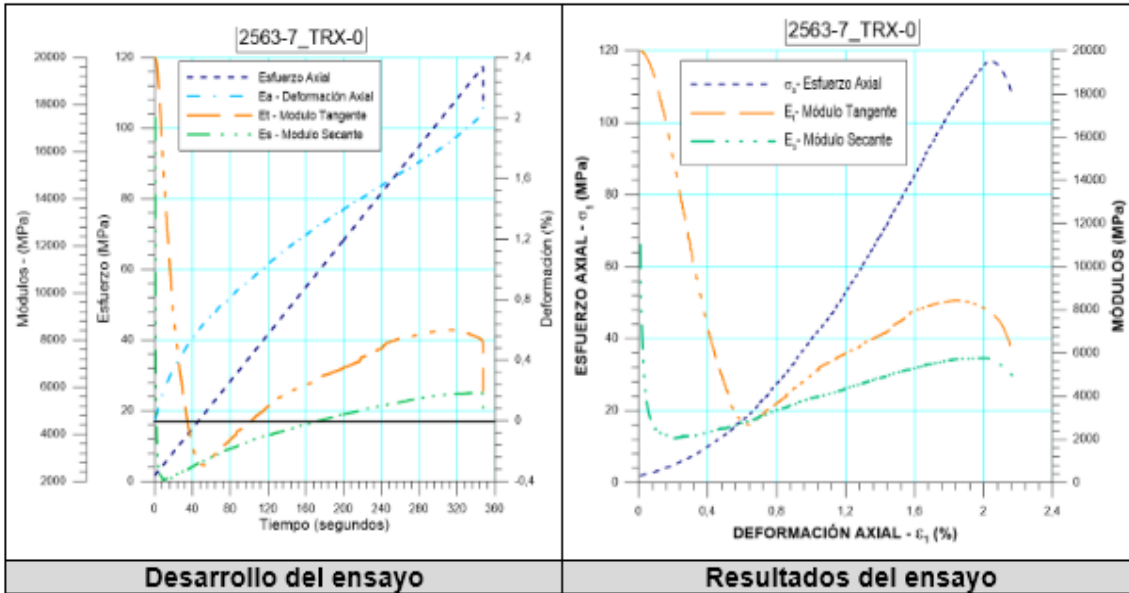
DATOS GENERALES	
Equipo	GCTS – RDS - 500
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89
Proyecto:	
Espécimen:	2653-3 UCS Perpendicular
Tipo de Muestra	Cubo
Tipo de roca	Esquisto
Largo - Ancho - Alto (mm)	69,87 – 74,30 – 69,38
Profundidad:	- m
Altura	69,38 msnm
Longitud medidora de deformación	69,38 mm
Diámetro	81,30 mm
Área	51,91 cm ²
Volumen	360,17 cm ³
Peso	967,60 gr
Densidad	2686,52 Kg/m ³
L/D	0,85 mm
σ_3 (Calculado):	0 MPa





CONDICIÓN INICIAL DEL ESPÉCIMEN

DISEÑO DEL ENSAYO			RESULTADOS DEL ENSAYO		
ACTUADOR AXIAL			ESPÉCIMEN		
Control de Entrada	TI-8; SA Esfuerzo Axial		Altura	69,38	mm
Tipo de Carga	Incremental	Tipo de Carga	Long. Medidor deformaciones	69,38	mm
Valor inicial de carga	Relativo	Carga de asiento	Diámetro	81,30	mm
Velocidad	20	MPa/min	Área	51,91	cm ²
Valor final de carga	300	MPa	Volumen	360,17	cm ³
PRESIÓN DE POROS			Finalización de la Etapa debido		
Control de Entrada	No definida		Sd – Esfuerzo desviador Final (Pico)	116,60	MPa
Velocidad			t - Tiempo	347,104	seg
Valor Inicial			Ea – Deformación Axial	2,041	%
Valor Final			Er – Deformación Radial	-0,68	%
FINALIZACIÓN DE LA ETAPA			Ev – Deformación Volumétrica	0,703	%
Máxima deformación Axial	NS		Sa – Esfuerzo Axial	117,3	MPa
Tiempo Máximo de Carga	1 hora		Sd – Esfuerzo desviador Final (Residual)	28,3	MPa
Variable de Control	TI-8: Sa - Axial Stress		t - Tiempo	347,468	seg
Valor reverso	10 MPa		Ea – Deformación Axial	2,358	%
Umbral	1 MPa		Er – Deformación Radial	-0,788	%
ADQUISICIÓN DE DATOS			Ev – Deformación Volumétrica	0,817	%
Incremento de tiempo	0,1 Segundo		Sa – Esfuerzo Axial	29	MPa
Nivel de cruce			Valores de las Constantes al 50% de p_{max}		
Entrada de Control	TI-8: Sa - Axial Stress		Módulo de Elasticidad Tangente	1864,80	MPa
Sensibilidad	0,5 MPa		Módulo de Elasticidad Secante	1756,21	MPa
TIPO	Drenado		Módulo de Poisson	0,33	-
MANEJO DE LAS DEFORMACIONES – AL INICIO DE LA ETAPA			Clasificación de la Roca de Acuerdo a su Resistencia (ISRM)		
Deformaciones en cero			Alta - (R6)		

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-7



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 3 de 3
T.E.G	I. Estee & E. González	M. Castillejo	20/06/2022	Espécimen: 2653-7

 2653-7_TRX-0	CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ROCA POR EFECTO ESCALA	
	Corrección por relación (L/D)	
	$\sigma_{s0} - \sigma_c [0.925 + 0.036(L/D)]$	111,44 MPa
	Corrección por diámetro (50/D)	
	$(\sigma_c / \sigma_{s0}) - (50/D)^{0.22}$	121,63 MPa
Corrección del Módulo de Elasticidad		
$E_{s0} - E [1.24 - 0.33 \ln(L/D)]$	8.159,97 MPa	
Observaciones:		
El esfuerzo en esta muestra fue aplicado perpendicular a las foliaciones.		
Condición final del Espécimen		

Bibliografía



Fairhurst, C., & Hudson, J. (1999). Draft ISRM suggested method for the complete stress-strain curve for intact rock in uniaxial compression. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, 279-289.



Hoek, E., & Brown, E. (1980). *Underground excavations in*. London: Inst. Min. Metall. London: Chapman & Hall.

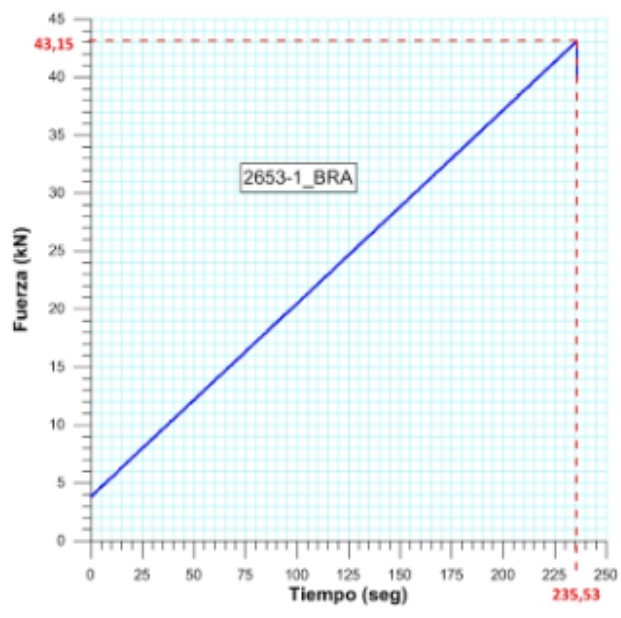
ISRM. (1978). Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15, 99-103.

ISRM. (1978). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. *Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 16, 135-140.

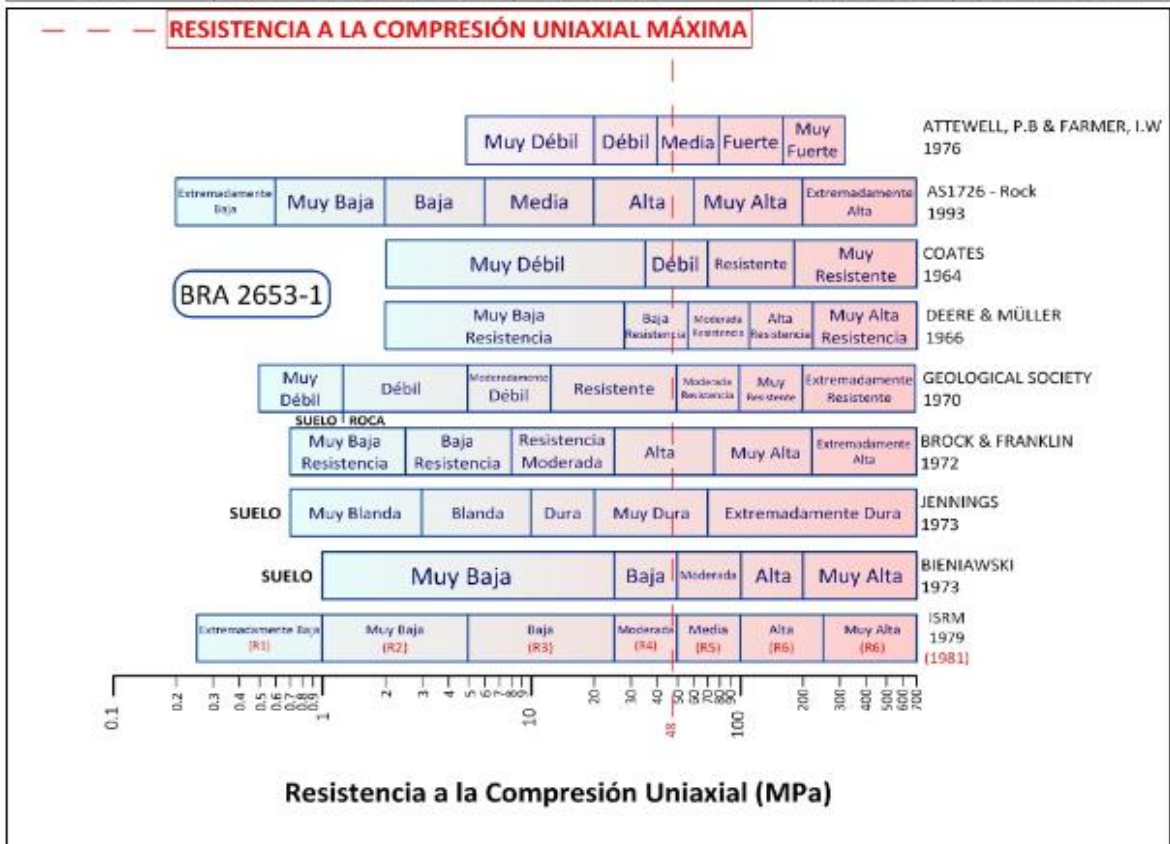
Thuro, K., Plinninger, R., Záh, S., & Schütz, S. (2001). Scale effects in rock strength properties. Part 1: Unconfined compressive test and Brazilian test. In S. & Eloranta (Ed.), *Rock mechanics - a Challenge for Society* (pp. 169-174). Espoo, Finland (June 3-7,2001): Swets &Zeitlinger Lisse.



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO BRASILEIRO (TRACCIÓN INDIRECTA)			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 2
T.E.G	Idalys Estee & Edgardy González	M. CASTILLEJO	30-05-2022	Espécimen: 2653-1

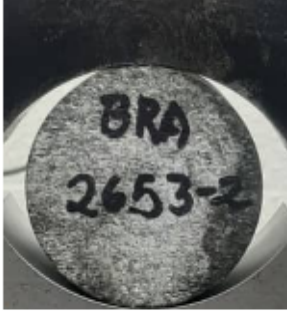

NORMAS UTILIZADAS	ISRM	(1978) - Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials		
	ASTM	D2936 – 08 - Standard Test Method for Direct Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens		
DATOS GENERALES				
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89			
Proyecto:	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardy González			
Espécimen:	2653-2_BRA			
Perforación:	No Aplica			
Profundidad:	-	m		
Diámetro (D)	54	mm		
Espesor	31,90	mm		
Duración:	237,11	seg		
				
		INICIO		FINAL

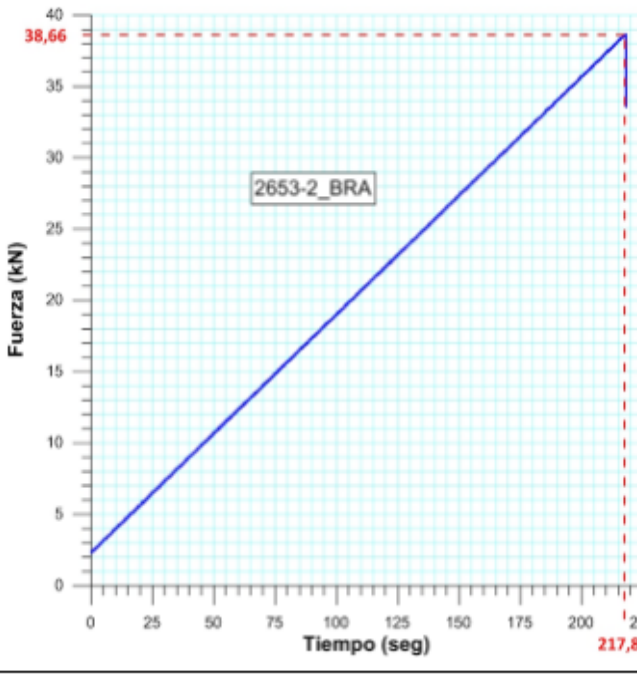
ETAPA DE CARGA ESTÁTICA			
Retroalimentación:	AI-1: Axial Load		
Tipo	Incremental		
Esfuerzo de Asiento	- MPa		
Valor Inicial	Relativo		
Velocidad de Carga:	10 kN/min		
Carga Máxima permitida	100 kN		
ETAPA FINAL			
Deformación Axial - Ea	>=	0,607%	
Tiempo Máximo del Ensayo	-	min	
Carga Máxima del Ensayo	-	kN	
ADQUISICIÓN DE DATOS:			
Incremento de Tiempo	0,1 seg		
Level Crossing	Entrada de Control	Carga Axial	
	Sensibilidad	1 kN	
Manejo de las deformaciones al inicio del ensayo		CERO	
RESULTADOS DEL ENSAYO			OBSERVACIONES
Carga Axial Pico	43,15	kN	
Resistencia a la Tracción	-16	MPa	
Resistencia a la Compresión	48	MPa	
Clasificación según su Resistencia (ISRM)	Moderada (R4)		



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO BRASILEIRO (TRACCIÓN INDIRECTA)			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 2
T.E.G	Idalys Estee & Edgardy González	M. CASTILLEJO	30-05-2022	Espécimen: 2653-1

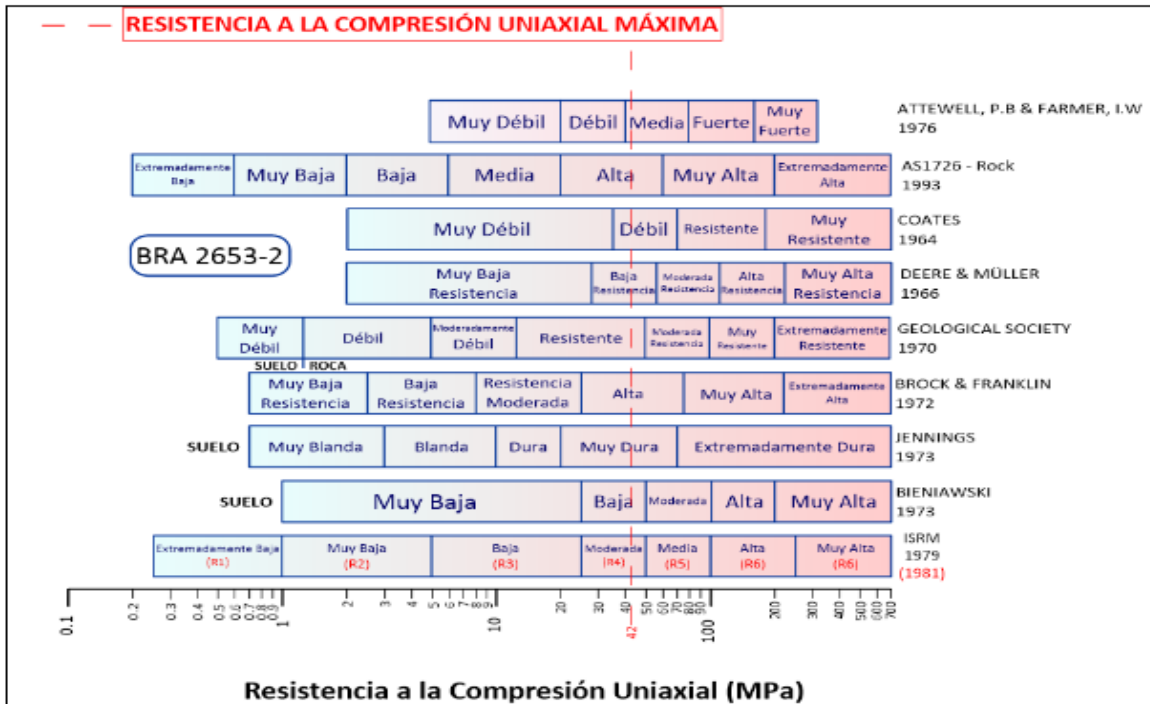




 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO BRASILEIRO (TRACCIÓN INDIRECTA)			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 2
T.E.G	Idalys Estee & Edgardy González	M. CASTILLEJO	30-05-2022	Espécimen: 2653-2

NORMAS UTILIZADAS	ISRM	(1978) - Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials
	ASTM	D2936 - 08 - Standard Test Method for Direct Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens
DATOS GENERALES		
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89	
Proyecto:	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardy	
Espécimen:	2653-2_BRA	
Perforación:	No Aplica	
Profundidad:	-	m
Diámetro (D)	54,6	mm
Espesor	31,93	mm
Duración:	218,621	seg
		
		
		INICIO
		FINAL

ETAPA DE CARGA ESTÁTICA		
Retroalimentación:	AI-1: Axial Load	
Tipo	Incremental	
Esfuerzo de Asiento	- MPa	
Valor Inicial	Relativo	
Velocidad de Carga:	10 kN/min	
Carga Máxima permitida	100 kN	
ETAPA FINAL		
Deformación Axial - Ea	>=	1,255%
Tiempo Máximo del Ensayo	-	min
Carga Máxima del Ensayo	-	kN
ADQUISICIÓN DE DATOS:		
Incremento de Tiempo	0,1 seg	
Level Crossing	Entrada de Control	Carga Axial
	Sensibilidad	1 kN
Manejo de las deformaciones al inicio del ensayo	CERO	
		
RESULTADOS DEL ENSAYO		OBSERVACIONES
Carga Axial Pico	38,66	kN
Resistencia a la Tracción	-14	MPa
Resistencia a la Compresión	42	MPa
Clasificación según su Resistencia (ISRM)	Moderada (R4)	

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO BRASILEIRO (TRACCIÓN INDIRECTA)			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 2
T.E.G	Idalys Estee & Edgardo González	M. CASTILLEJO	30-05-2022	Espécimen: 2653-2

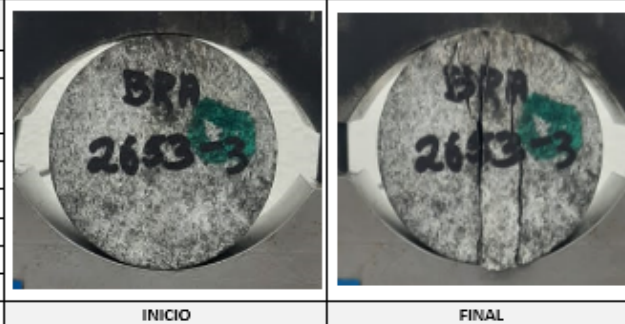


 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO BRASILEIRO (TRACCIÓN INDIRECTA)		 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA		

Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 2
T.E.G	Idalys Estee & Edgardy González	M. CASTILLEJO	30-05-2022	Espécimen: 2653-3

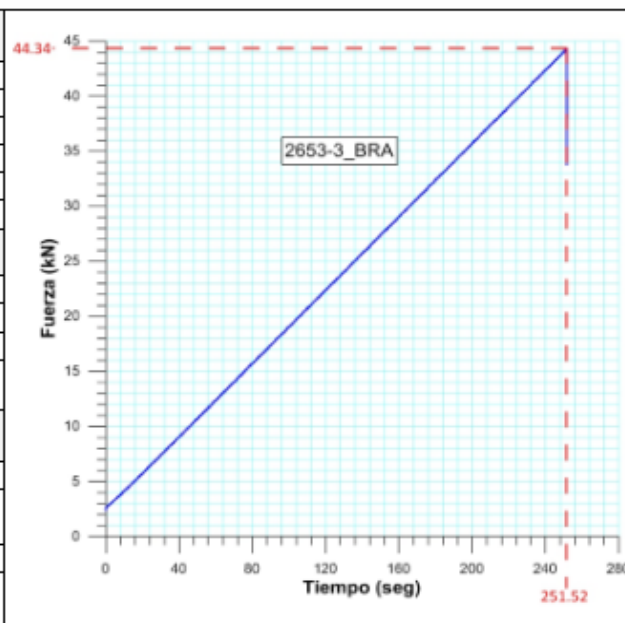
NORMAS UTILIZADAS	ISRM	(1978) - Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials
	ASTM	D2936 – 08 - Standard Test Method for Direct Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens

DATOS GENERALES		
Software:	C.A.T.S. Advanced – Versión: 1.89	
Proyecto:	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardy González	
Espécimen:	2653-3_BRA	
Perforación:	-	
Profundidad:	-	m
Diámetro (D)	54	mm
Espesor	31,87	mm
Duración:	251,838	seg



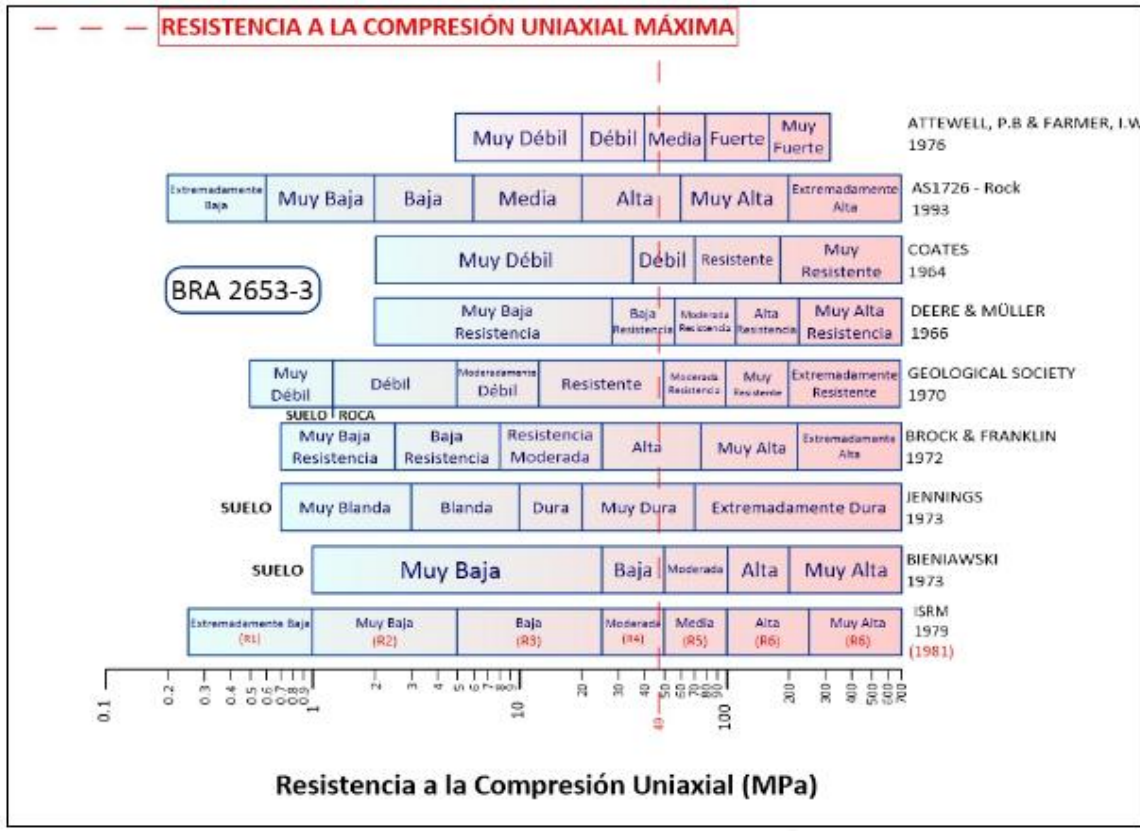
ETAPA DE CARGA ESTÁTICA		
Retroalimentación:	AI-1: Axial Load	
Tipo	Incremental	
Esfuerzo de Asiento	-	MPa
Valor Inicial	Relativo	
Velocidad de Carga:	10	kN/min
Carga Máxima permitida	100	kN
ETAPA FINAL		
Deformación Axial - Ea	>=	1,16%
Tiempo Máximo del Ensayo	-	min
Carga Máxima del Ensayo	-	kN



ADQUISICIÓN DE DATOS:		
Incremento de Tiempo	0,1 seg	
Level Crossing	Entrada de Control	Carga Axial
	Sensibilidad	1 kN
Manejo de las deformaciones al inicio del ensayo		CERO



RESULTADOS DEL ENSAYO			OBSERVACIONES
Carga Axial Pico	44,34	kN	
Resistencia a la Tracción	-16,40	MPa	
Resistencia a la Compresión	49,21	MPa	
Clasificación según su Resistencia (ISRM)	Moderada (R4)		

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO BRASILEIRO (TRACCIÓN INDIRECTA)			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 2
T.E.G	Idalys Estee & Edgardy González	M. CASTILLEJO	30-05-2022	Espécimen: 2653-3



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS METODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ANGELES			 RIF: G-20000062-7							
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA										
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 1							
T.E.G	I. Estee & E. González	Miguel Castillejo	20-04-2022	Espécimen: 2653-ANG							
NORMAS UTILIZADAS	ASTM	C-131 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine									
		C-535 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine									
	COVENIN	267 Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregado grueso mayores de 19 mm (3/4") por medio de la maquina de Los Angeles									
		266 Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste en agregado grueso menores de 38.1 mm (1 1/2") por medio de la maquina de Los Angeles									
DATOS GENERALES											
Proyecto	Caracterización de Agregados										
Espécimen	2653- ANG										
Ubicación	Antimano, Dtto Capital										
Origen de la Muestra	Canteras del Distrito Capital S.A	Fecha De La Muestra	15/03/2022								
GRADACIÓN DEL ENSAYO											
mm (pulg.) Tamiz Nº		GRADACIÓN FINA ASTM C-131 (gr)				GRADACIÓN GRUESA ASTM C-535 (gr)			DATOS DEL ENSAYO		
Pesante	Retenido	A	B	C	D	E	F	G	RETENIDO INICIAL (q _i)	RETENIDO FINAL (q _f)	
75 (3")	2 1/2"					2500 ± 50					
63 (2 1/2")	50 (2")					2500 ± 50					
50 (2")	37.50 (1 1/2")					5000 ± 50	5000 ± 50				
37.50 (1 1/2")	25.00 (1")	1250 ± 25					5000 ± 50	5000 ± 50			
25.00 (1")	19 (3/4")	1250 ± 25						5000 ± 50			
19 (3/4")	12.50 (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10						2.508,00		
12.50 (1/2")	9.50 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10						2.501,00		
9.50 (3/8")	6.30 (1/4")			2500 ± 10							
6.30 (1/4")	4.75 (Nº 4)			2500 ± 10						2.426,50	
4.75 (Nº 4)	2.36 (Nº 8)				5000 ± 10						
	1.70 (Nº 12)									1.099,90	
Peso Total (gr)		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 10	10000 ± 75	10000 ± 50	5.004,00	3.526,40	
Número de Esferas		12	11	8	6	12	12	12			
Nº de revoluciones		500				1000					
CALCULO											
Cálculos: $P(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$											
P(%):		29,53%		Pérdida de masa de la muestra (%)							
m _i (g):		5.004,00		Masa Inicial de la muestra (g)							
m _f (g):		3.526,40		Masa final de la muestra (g)							
RESULTADOS											
DESGASTE DE LOS ANGELES						29,53%					
Análisis del Ensayo											
Observaciones:											
Tipo de ensayo realizado "B", debido a que lo retenido en la malla 3/4" de la muestra total no cumplía con el requerimiento del peso establecido de 1250gr.											



LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS
ENSAYO BRASILEIRO (TRACCIÓN INDIRECTA)

CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A
HACIENDA MAMERA



RIF: G-20000062-7

Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 1
T.E.G	Idalys Estee & Edgardy González	M. CASTILLEJO	30-05-2022	Espécimen: 2653-1

NORMAS UTILIZADAS	COVENIN	255:1998	AGREGADOS. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA
	COVENIN	277:2000	CONCRETO. AGREGADOS. REQUISITOS (3RA REVISIÓN)

DATOS GENERALES	
Proyecto	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardy
Espécimen	2653-1_GRA
Formación Geológica	Antímano



Análisis del Ensayo

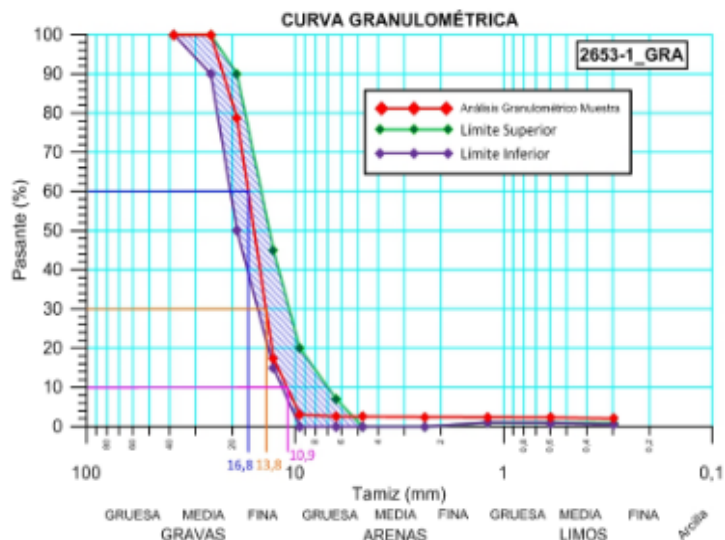
Peso Inicial	5.000,00 gr
--------------	-------------

Tamiz Nº	Tamiz (mm)	Retenido W (gr)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Pasante (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,000	0,000	100,000
1"	25,400	0,00	0,000	0,000	100,000
3/4"	19,000	1,035,50	21,176	21,176	78,824
1/2"	12,700	3,062,50	61,440	82,616	17,384
3/8"	9,510	712,00	14,284	96,900	3,100
1/4"	6,350	27,00	0,542	97,442	2,558
#4	4,760	0,50	0,010	97,452	2,548
#8	2,380	5,00	0,100	97,552	2,448
N°16	1,190	3,50	0,070	97,623	2,377
N°30	0,595	3,50	0,070	97,693	2,307
N°50	0,297	14,50	0,291	97,984	2,016
Fondo		100,50	2,016	100,000	0,000
Total		4.984,50			Total 100,00

Tamaño Máx Nominal 3/4"

Pasa Tamiz Nº 4 (5 mm)	2,548 %
Pasa Tamiz Nº 200 (0.074 mm) No Aplica	
D60	16,800 mm
D30	13,800 mm
D10 (diámetro Efectivo)	10,900 mm

Límites de porcentajes en peso pasante según COVENIN 277:2000
Piedra picada o Grava COVENIN N°1



NORMAS UTILIZADAS	COVENIN 255:1998 AGREGADOS. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA
	COVENIN 277:2000 CONCRETO. AGREGADOS. REQUISITOS (3RA REVISIÓN)

DATOS GENERALES	
Proyecto	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardy
Espécimen	2653-2_GRA
Formación Geológica	Antímano



Análisis del Ensayo

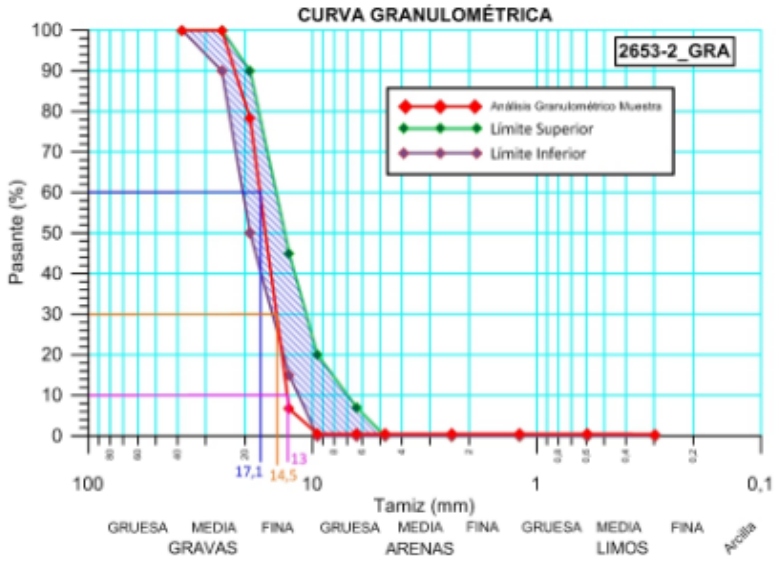
Peso Inicial 5.000,00 gr



Tamiz N°	Tamiz (mm)	Retenido W (gr)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Pasante (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,000	0,000	100,000
1"	25,400	0,00	0,000	0,000	100,000
3/4"	19,000	1,072,00	21,720	21,720	78,280
1/2"	12,700	3,534,50	71,614	93,334	6,666
3/8"	9,510	304,00	6,159	99,493	0,507
1/4"	6,350	0,00	0,000	99,493	0,507
#4	4,760	0,00	0,000	99,493	0,507
#8	2,380	0,00	0,000	99,493	0,507
N°16	1,190	0,00	0,000	99,493	0,507
N°30	0,595	0,50	0,010	99,504	0,496
N°60	0,297	2,00	0,041	99,544	0,456
Fondo		22,90	0,456	100,000	0,000
Total		4,935,50		Total	100,00

Tamaño Máx Nominal 3/4"

Pasa Tamiz N° 4 (5 mm)	0,507%
Pasa Tamiz N° 200 (0,074 mm)	No Aplica
D60	17,100 mm
D30	14,500 mm
D10 (diámetro Efectivo)	13,000 mm


Límites de porcentajes en peso pasante según COVENIN 277:2000
 Piedra picada o Grava COVENIN N°1



 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO BRASILEIRO (TRACCIÓN INDIRECTA)			 RIF: G-20000062-7
	CANTERAS DEL DISTRITO CAPITAL S.A HACIENDA MAMERA			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 1
T.E.G	Idalys Estee & Edgardy González	M. CASTILLEJO	30-05-2022	Espécimen: 2653-3

NORMAS UTILIZADAS	COVENIN	255:1998	AGREGADOS. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA
	COVENIN	277:2000	CONCRETO. AGREGADOS. REQUISITOS (3RA REVISIÓN)

DATOS GENERALES	
Proyecto	Trabajo Especial de Grado Idalys y Edgardy
Espécimen	2653-3_GRA
Formación Geológica	Antimano


 2653_3-GRA

Análisis del Ensayo

Peso Inicial: 5,000,00 gr

Tamiz Nº	Tamiz (mm)	Retenido W (gr)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Pasante (%)
1 1/2"	38,100	0,00	0,000	0,000	100,000
1"	25,400	0,00	0,000	0,000	100,000
3/4"	19,000	1,251,00	25,053	25,053	74,947
1/2"	12,700	3,298,50	66,056	91,108	8,892
3/8"	9,510	426,50	8,541	99,650	0,350
1/4"	6,350	0,00	0,000	99,650	0,350
#4	4,750	0,00	0,000	99,650	0,350
#8	2,380	0,00	0,000	99,650	0,350
Nº16	1,190	0,00	0,000	99,650	0,350
Nº30	0,595	0,50	0,010	99,660	0,340
Nº50	0,297	0,50	0,010	99,670	0,330
Fondo		16,50	0,330	100,000	0,000
Total		4,993,50		Total	100,00

Tamaño Máx Nominal: 3/4"

Pasa Tamiz Nº 4 (5 mm)	0,350 %
Pasa Tamiz Nº 200 (0.074 mm)	No Aplica
D60	17,300 mm
D30	14,400 mm
D10 (diámetro Efectivo)	12,800 mm

mites de porcentajes en peso pasante según COVENIN 277:2000
 Piedra picada o Grava COVENIN Nº1

