

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **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**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Labrador P., María A.  
Para optar al Título  
de Ingeniero de Minas

Caracas, marzo 2017

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **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**

TUTOR ACADÉMICO: Profa. Katherine Silva

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Labrador P., María A.  
Para optar al Título  
de Ingeniero de Minas

Caracas, abril 2017

Caracas, abril de 2017

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller María A. Labrador P. titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRITURACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE TAMAÑO DE LA ROCA CALIZA EN LA CANTERA AGUA VIVA II SAN SEBASTIAN DE LOS REYES, ESTADO ARAGUA”**

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

Prof. José Luis de Abreu  
Jurado

Prof. María Teresa Artigas  
Jurado

Prof. Katherine Silva  
Tutor Académico

## DEDICATORIA

*A mis Ángeles en cielo*

*Betshabe Parra mi abuela*

*María Fernanda Vielma mi hermana*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por haber sido mi casa de estudio, por haberme dado una educación de calidad, por haber sido ejemplo ante tantas adversidades, por su equipo administrativo, obrero y docente quien día a día con su ejemplo me demostraron cuán grande es la persona antes de títulos y profesiones.

A mi tutora académica la Dra. Katherine Silva, quien no solo en el trabajo especial de grado sino a lo largo de la carrera represento para mí un ejemplo de mujer líder, entusiasta, proactiva, exigente y colaboradora, gracias por exigirme un 200% cada día, por siempre verme en mi grandeza y por darme responsabilidades que cada día reforzaron muchos de los valores con los que entre a esta institución.

A la empresa Aragua Minas y Canteras, S.A. por su personal que me recibió como un empleado más, y me proporciono lo que estuvo en sus posibilidades para la realización de este trabajo de investigación. Especialmente a la Ing. Oriana Nieves por su apoyo como ingeniero de la cantera y en el préstamo de su personal para trasladar muestras y equipos que fueron importantes dentro de las actividades a realizar en este trabajo.

A tren profesoral del Departamento de Minas, a todos esos profesores que impartieron un gran conocimiento sin limitaciones, especialmente a las profesoras Aurora Piña por su humor peculiar, Alba Castillo por su energía positiva y al profesor José Luis de Abreu por su apoyo incondicional.

A mis Padres Xiomara Pérez y Alejandro Labrador quienes fueron mis pilares fundamentales antes y durante la carrera, a los que les debo la vida, mis valores y mis triunfos.

A mis amigos con los cuales compartí altos y bajos, alegrías y felicidades. A ustedes les debo gran parte de mejores años dentro de la universidad.

Finalmente, a Dios, por todo y por tanto.

¡Muchas Gracias!

**Labrador P., María A.**

**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**

**Tutora Académica: Prof. Katherine Silva**

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología,  
Minas y Geofísica. Departamento de Minas. Año 2017, 96 p.**

**Palabras Claves:** Balance de Masa, carbonato de calcio, agregados,  
beneficio mineral

**Resumen.** La cantera Agua Viva II es una de las canteras pertenecientes a la empresa Aragua Minas y canteras, S.A. (ARAMICA, S.A.), ubicada en el municipio San Sebastián de Los Reyes en la carretera principal San Juan de Los Morros y San Sebastián de Los Reyes. Esta cantera realiza labores de explotación de mineral de roca caliza con labores de arranque por medio de voladuras que finalmente será procesado por una planta de beneficio mineral. Este trabajo de investigación presenta una evaluación de esta planta de beneficio mineral, tomando en cuenta las distribuciones granulométricas de los equipos de trituración y clasificación, obteniendo valores de eficiencia del cribado y rendimientos de trituración. El estudio determina el balance de masas de la planta obteniendo aspectos críticos de la planta como una alimentación promedio de 700 tn/día, teniendo en cuenta que la capacidad instalada actual de la planta es de mínimo 2000 tn/día. Así mismo se encontraron fallas de en la capacitación al personal que maneja la planta, y la falta de la automatización de las operaciones y finalmente como consecuencias de estas anteriores un inadecuado manejo de materiales. El trabajo genera propuestas de tipo gerencial en las que se deben hacer cambios en la forma en la que se maneja la planta, mientras que por otro lado manejamos propuestas estructurales que nos refieren instalaciones de equipos que mejoren la productividad en la planta en sus condiciones actuales.

## INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I – GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.1 Planteamiento del Problema .....	3
5.2 Objetivos de la Investigación.....	4
5.2.1 Objetivo General.....	4
5.2.2 Objetivos Específicos.....	4
5.3 Justificación.....	4
5.4 Alcances y Limitaciones .....	5
CAPÍTULO II - GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	6
2.1 Generalidades de la Empresa .....	6
2.1.1 Breve reseña histórica .....	6
2.1.2 Misión .....	7
2.1.3 Visión .....	7
2.1.4 Ubicación y características generales del área de explotación.....	8
2.2 Proceso de producción de la empresa .....	10
2.2.1 Descripción del método de explotación .....	10
2.2.2 Planta de Procesamiento de Mineral .....	11
CAPITULO III - MARCO TEÓRICO .....	15
3.1 Antecedentes .....	15
3.2 Bases Teóricas.....	16
3.2.1 Geología Regional .....	16

3.2.1.1 Faja Piemontina .....	17
3.2.1.2 Faja de Villa de Cura .....	18
3.2.2 Cribas .....	19
3.2.3 Balance de Masas .....	20
3.2.3 Manejo de materiales.....	22
3.2.3.1 Principio en el manejo de materiales .....	23
CAPÍTULO IV – MARCO METODOLÓGICO.....	25
4.1 Diseño y Tipo de la Investigación .....	25
4.2 Unidad de estudio .....	26
4.3 Etapas Metodológicas .....	26
CAPÍTULO V -RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	40
5.1 Características físicas del material de entrada.....	40
5.1.1 Descripción de la planta de beneficio mineral Agua Viva II .....	40
5.1.2 Dimisiones del material de alimentación de la planta .....	51
5.2 Distribución granulométrica actual de los equipos de trituración de tamaño de la planta de beneficio mineral.....	52
5.2.1 Circuito I .....	52
5.2.2 Circuito II.....	54
5.2.3 Circuito III.....	55
5.2.4 Circuito IV .....	56
5.3 Calcular la eficiencia de los equipos de clasificación por obstáculos e isodrómicos .....	58
5.3.1 Análisis de la distribución granulométrica .....	58
5.3.2 Calculo de la eficiencia de los equipos .....	69
5.4 Balance de masa de la planta de beneficio mineral .....	70

5.4.1 Alimentación del Balance de Masas .....	70
5.4.3 Desarrollo del Balance de Masas .....	71
5.5 Evaluar los puntos críticos de las operaciones de reducción y clasificación de tamaño. ....	75
5.5.1 Características del material de alimentación .....	77
5.5.2 Elementos Accesorios .....	80
5.5.3 Manejo de Material .....	81
5.6 Proponer mejoras a la planta, en función de la evaluación obtenida ..	82
5.6.1 Decisiones Gerenciales .....	82
5.6.2 Cambios Estructurales.....	89
CONCLUSIONES .....	92
RECOMENDACIONES .....	93
Gerenciales .....	93
Estructural .....	93
Líneas de Investigación.....	93
BIBLIOGRAFIA .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Organigrama Aragua Minas y Canteras.....	6
Figura 2.2 – Ubicación en mapa de la cantera Agua Viva II .....	8
Figura 2.3 – Frente de Explotación de la Cantera Agua Viva II, método de terraceo a cielo abierto .....	10
Figura 2.4 – Diagrama del Proceso de la caliza .....	14
Figura 4.1 – Batería de tamices y mezclador con batería de tamices.....	30
Figura 4.2 – Grafica de distribución granulométrica.....	31
Figura 4.3 – Toma de muestra en los silos. A) Descarga del silo. B) Alimentación al separador isodrómico .....	33
Figura 4.4 – Valores involucrados en los separadores isodrómicos .....	34
Figura 4.5 – Factores para el cálculo de eficiencia de las cribas, siendo $s_i$ =Alimentación, $g_i$ =Retenido y $f_i$ =Pasante.....	36
Figura 4.6 –Toma de datos para la el cálculo de la eficiencia del cribado ....	36
Figura 5.1 – Circuito de procesamiento mineral, Cantera Agua Viva II.....	41
Figura 5.2 – Circuito de procesamiento minera, Cantera Agua Viva II. Dividia por circuitos.....	43
Figura 5.3 – Trituradora primaria de mandíbula 42"x47" de la planta Agua Viva II.....	44
Figura 5.4 – A) Circuito II B) Criba vibratoria agregados y trituradora de mandíbula .....	45
Figura 5.5 – A) Vista de la Planta, señalando silo 1 y 2, B) Planta de Agregados II con los silos 9 y 10, C) Cono que alimenta el circuito III.....	47
Figura 5.6 – Planta de Carbonato de Calcio .....	48
Figura 5.7 – Operaciones de la planta de Carbonato, A) Trituradores de Impacto secundaria en paralelo, B) Criba Vibratoria, C.1) Separadores Isodrómicos parte superior, C.2) Separadores Isodrómicos parte inferior, D) Trituradora de Impacto terciaria, E) .....	50
Figuras 5.8 – Distribución de tamaño de la pila de alimentación, A) Pila Pulmón B) Bloques Grandes C) Bloques medianos .....	51

Figura 5.9 – Distribución granulométrica para la pila pulmón material de alimentación.....	52
Figura 5.10 – Granulometría de entrada del material circuito II, A) Pila de material B) Mediciones de bloques en la pila.....	53
Figura 5.11 – Granulometría de la Pila generada por la trituración primaria.	53
Figura 5.10 – Gráfica granulométrica de la descarga de la mandíbula circuito II.....	55
Figura 5.11 – Distribución Granulométrica de la descarga del cono hidráulico. Circuito III.....	56
Figura 5.12 – Distribución granulométrica de los equipos de trituración del circuito IV .....	57
Figura 5.13 – Distribución granulométrica de la criba de la planta de agregados I.....	58
Figura 5.14 – Distribución granulométrica para la criba de agregados en el circuito III .....	63
Figura 5.15– Distribución granulométrica Criba vibratoria 1 .....	65
Figura 5.16 – Distribución granulométrica Criba vibratoria 2 .....	66
Figura 5.17 – Distribución granulométrica de la salida interna separador 1 .	68
Figura 5.18 –Distribución granulométrica de la salida interna separador 2 ..	69
Figura 5.19 – Grafico de control de la alimentación de la planta .....	71
Figura 5.20 –Balance de Masas. Circuito I, II y III.....	72
Figura 5.21 – Balance de Masas, Circuito IV turno diurno y nocturno .....	73
Figura 5.23 – Puntos críticos de la planta de procesamiento mineral, Agua Viva II.....	76
Figura 5.24 – Balance de Masas para una alimentación de 2000 tn/día. Circuitos I, II y III .....	87
Figura 5.25 - Balance de Masas para el circuito IV, turno Diurno.....	88
Figura 5.26 – Balance de Masas para el circuito IV, con molino de Bolas....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 - Criterios mineros para el desarrollo del plan de la cantera .....	11
Tabla 2.2 - Producción de la cantera Agua Viva II por m <sup>3</sup> /hora.....	13
Tabla 3.1 – Factores que afectan el cribado.....	20
Tabla 4.1 – Tamaño de la muestra para tamizado según tamaño del agregado .....	29
Tabla 4.3 – Ejemplo de la codificación de los equipos de Reducción de Tamaño de la planta. ....	37
Tabla 4.4–Tabla de codificación de las muestras tomadas en campo.....	38
Tabla 5.1 – Características comerciales de los productos comerciales de la cantera Agua Viva II.....	40
Tabla 5.2 – Clasificación en circuitos de la Planta .....	42
Tabla 5.3 – Equipos del circuito I.....	44
Tabla 5.4 – Equipos del circuito II.....	45
Tabla 5.5 – Equipos que conforman el circuito III. ....	46
Tabla 5.6 – Equipos que conforman el circuito IV.....	49
Tabla 5.8 - Distribución granulométrica. Descarga de la mandíbula, circuito II .....	54
Tabla 5.9 – Distribución Granulométrica descarga Cono circuito III .....	55
Tabla 5.11 – Distribución granulométrica del material retenido Malla 4”.....	58
Tabla 5.10 – Distribución granulométrica del material de alimentación de la criba de agregados .....	58
Tabla 5.13– Distribución granulométrica del material retenido malla ½”.....	58
Tabla 5.14 – Distribución granulométrica del material pasante malla ½”.....	58
Tabla 5.12 – Distribución granulométrica del material retenido malla 2”.....	58
Tabla 5.15 –Distribución granulométrica de la Alimentación de la Criba de Agregados .....	61
Tabla 5.16 – Distribución granulométrica del material retenido Malla 1”.....	61
Tabla 5.17 – Distribución granulométrica del material retenido Malla 5/16”..	61
Tabla 5.18 – Distribución granulométrica del material pasante Malla 5/16”..	62

Tabla 5.19 – Distribución granulométrica de la alimentación de la Criba 01 .	63
Tabla 5.20 – Distribución granulométrica del retenido Malla 16 para la Criba 01 .....	63
Tabla 5-21 – Distribución granulométrica del pasante Malla 16 para la Criba 01 .....	63
Tabla 5.22 – Distribución granulométrica de la alimentación de la Criba 02	65
Tabla 5.23 – Distribución granulométrica del retenido malla 16 para Criba 265	
Tabla 5-24 – Distribución granulométrica del pasante malla 16 para Criba 265	
Tabla 5.25 – Distribución granulométrica del separador 1 salida interna.....	67
Tabla 5.26 - Distribución granulométrica Separador 1 Salida Externa.....	67
Tabla 5.27 - Distribución granulométrica Separador 2 Salida interna.....	68
Tabla 5.28 - Distribución granulométrica Separador 2 Salida Externa.....	68
Tabla 5.29 – Eficiencia de los equipos de clasificación .....	69
Tabla 5.30 – alimentación de la planta. Agua Viva II .....	70
Tabla 5.31 - Diferencia entre producción y despacho de la cantera para los días de muestreo .....	78
Tablas 5.32–Variables controlables de la voladura.....	79
Tabla 5.33 – Variables controlables de la voladura. ....	79
Tabla 5.34 – Producción de la Cantera Agua Viva II. Para los valores mínimo, máximo y promedio En lo días muestreados .....	80
Tabla 5.35 – Producción para una alimentación de 1500 tn/día .....	80

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la extracción de la roca caliza tenemos tres grandes etapas empezando por la explotación de un frente, pasando a las operaciones de reducción y clasificación de tamaño y finalmente son distribuidas según las especificaciones del mercado. Para el desarrollo de estas etapas la empresa CEMEX indica que la “excelencia en la eficiencia operativa” es clave para tener altos niveles de producción, con un desarrollo de balance de masas, trabajando para controlar las variables de los equipos que afecten el producto final.

Este trabajo pretende mediante una investigación destacar los aspectos o los puntos críticos que presenta la planta de reducción y clasificación de tamaño de la cantera Agua Viva II ubicada en San Sebastián de los Reyes en el estado Aragua, dichos puntos críticos nos muestran una serie de aspectos que a su vez generan una cantidad de finos cuantificables que no están contemplados dentro de los productos de la cantera, aunado a esto para el fino generado no existe algún estudio que indique la calidad de mismo, lo que puede que afecte o no el producto final.

De la misma forma dado el desarrollo de este trabajo, la planta genero puntos críticos o a evaluar que acarrear problemas operativos en la planta, es por ello que la investigación busca en base a los estudios a realizar, generar propuestas para que sean evaluadas por la empresa desde una perspectiva gerencial y estructural.

La estructura de este trabajo está definido por capítulos, siendo el primero las generalidades de la investigación que nos definen el problema, su justificación y objetivos a desarrollar, seguidamente en el capítulo II se contempla la información de la empresa y de método de extracción y aprovechamiento del material, el marco teórico para el capítulo III con antecedentes de esta propuesta, y las bases teóricas necesarias para el desarrollo del trabajo, el

capítulo IV marco metodológico donde se describe el tipo y diseño de investigación, pasando por el capítulo V con los resultados y análisis de los mismos y finalizando con las conclusiones y recomendaciones, y las referencias utilizadas.

## **CAPITULO I – GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo se presentarán los elementos generales del proyecto, empezando se tiene el planteamiento del problema, siguiendo del objetivo general y los específicos, posteriormente la justificación de la investigación, así como sus alcances y limitaciones.

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Las operaciones de extracción, manejo y producción de la roca caliza van desde el arranque de la piedra por voladura en los frentes de explotación de la cantera, pasando por una planta de reducción de tamaño que fragmenta el material la cual es clasificada según su granulometría por las operaciones de clasificación y finalmente es despachado de la mina a las industrias según al mercado al que este dirigida.

Partiendo de esto, la cantera Agua Viva II perteneciente a la empresa Aragua Minas y Canteras ARAMICA S.A., se dedica a extraer y a procesar roca caliza, dentro de sus operaciones existe una planta de reducción y clasificación mineral que está generando material fino, menor a 75  $\mu\text{m}$ , que actualmente se encuentra adherido a los productos comerciales, que bien puede estar siendo mal clasificado o las operaciones de reducción están generando finos por las características de los equipos respecto al material.

Este escenario genera un problema directo para los productos finales y comerciales de la empresa, ya que granulométricamente deben ser regulados y revisados según Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) dependiendo de su uso comercial, además de que el precio de venta del material está regulado en Venezuela por el estado. Este trabajo plantea evaluar la generación de finos en las operaciones de reducción y clasificación de tamaño de la caliza en la cantera Agua Viva II, a través de la realización de un balance de masa en las plantas de reducción de tamaño.

## **5.2 Objetivos de la Investigación**

### **5.2.1 Objetivo General**

Evaluar los puntos de generación de finos en operaciones de reducción y clasificación de tamaño de la caliza en la cantera Agua Viva II Ubicada en San Sebastián de los Reyes, estado Aragua.

### **5.2.2 Objetivos Específicos**

- Conocer las características físicas del material de alimentación de la planta de reducción y clasificación de tamaño.
- Estimar la distribución granulométrica actual de los equipos de trituración de tamaño de la planta de beneficio mineral.
- Calcular la eficiencia de los equipos de clasificación por obstáculos e isodrómicos.
- Determinar el balance de masa de la planta de beneficio mineral, tomado en cuenta los puntos de entrada y salida de las etapas de las operaciones unitarias.
- Evaluar los puntos críticos de las operaciones de reducción y clasificación de tamaño, en base al balance de masas de la planta de beneficio mineral.
- Proponer mejoras a la planta, en función de la evaluación obtenida.

## **5.3 Justificación**

Dada la necesidad que tiene la empresa de ser eficaz para alcanzar las metas de producción y eficientes en las operaciones de reducción y clasificación de tamaño, esta investigación es el punto de partida para realizar los correctivos que permitan poner las plantas en equilibrio. Los estudios de balance de masa en plantas de reducción de tamaño permitirán evaluar directamente el proceso y el producto de la cantera que busca en uno de sus objetivos generar una propuesta para la mejora de la planta. Por otro lado, en beneficio de la empresa este estudio se puede reproducir en las diferentes canteras pertenecientes a

la empresa tomando en cuenta que dichas canteras producen el mismo producto comercial.

Simultáneamente la región se verá beneficiada en la mejora del producto, logrando apoyar el abastecimiento de la industria del acero y la construcción, al mejorar las operaciones se puede reducir la cantidad de finos existentes y las partículas de polvo que representan pasivos ambientales para las comunidades cercanas se verían disminuidas de una forma considerable.

#### **5.4 Alcances y Limitaciones**

Este trabajo plantea como alcance un estudio de las operaciones de reducción y clasificación de tamaño, donde se tiene como meta una evaluación de las mismas en la cantera Agua Viva II. La realización de estudios físicos, diagnóstico de la situación actual de la planta, mediante análisis granulométricos y diagnósticos con equipos de laboratorio.

## CAPÍTULO II - GENERALIDADES DE LA EMPRESA

Para este capítulo se desarrollan los aspectos generales de la empresa, partiendo de la reseña histórica, pasando por la estructura organizativa de la empresa, seguidamente la ubicación y las características físico naturales de la zona de estudio.

### 2.1 Generalidades de la Empresa

#### 2.1.1 Breve reseña histórica

“Aragua Minas y Canteras S.A. con sus siglas *ARAMICA* S.A. es una empresa perteneciente a la gobernación del estado Aragua, que conforma todas las minas y canteras ubicadas en el estado Aragua” (ARAMICA 2014), teniendo su oficina principal en la ciudad de Maracay estado Aragua y las canteras alrededor del estado Aragua. Su estructura organizativa está constituida por su presidente el Dr. Pedro Maldonado desde el 1 de enero de 2014, y a su vez con las diferentes gerencias que hacen vida tanto en la sede principal, como en sus canteras en San Sebastián de Los Reyes (ver figura 1).



**Figura 2.1** – Organigrama Aragua Minas y Canteras, Fuente ARAMICA S.A 2014

El gobernador del estado Aragua Tareck El Aissami, mediante el decreto N° 2437 publicado en la gaceta del estado Aragua N° 2073 el 23 de mayo de 2013, crea esta empresa de producción social que está dirigida a cumplir con el artículo 164 numeral 5 de la constitución que atribuye a cada estado la explotación de los minerales no metálicos. (ARAMICA 2014, párr.1).

### **2.1.2 Misión**

Llevar adelante la organización, planificación, explotación y comercialización de los yacimientos minerales no metálicos existentes en el territorio aragüeño; mediante el desarrollo de las minas, canteras, y saques; cumpliendo con los parámetros de calidad aplicables en oportunidad, cantidad y costos competitivos, ofreciendo agregados a los mercados públicos y privados que brinden soluciones competitivas a las necesidades de infraestructura, y de la industria de la construcción regional y nacional; garantizando el cumplimiento de las políticas públicas en materia de vivienda, las expectativas de los trabajadores y el pueblo aragüeño; manteniendo la continuidad operacional y la sustentabilidad social, con la premisa del uso racional y conservacionista del medio ambiente (ARAMICA 2014, párr.4).

### **2.1.3 Visión**

Ha de transformarse en el mediano plazo en una organización eficiente, eficaz, oportuna, con los menores costos de producción, el personal más comprometido, y con el cuerpo de dirigentes consustanciado con la realidad social, que le lleven a ocupar el sitio de primera empresa procesadora de minerales no metálicos del estado Aragua y que sus esquemas de gestión productiva, social y del conocimiento minero contribuya de manera determinante a la creación del Modelo Productivo Socialista y la consolidación del Plan Nacional Socialista 2013 – 2019 como derecho del Pueblo Venezolano. (ARAMICA 2014, párr.5).

#### 2.1.4 Ubicación y características generales del área de explotación

El área de estudio está ubicada al en terrenos del Fundo Agua Viva, en jurisdicción del Municipio San Sebastián del Edo. Aragua, localizado en la margen izquierda de la carretera Nacional San Juan de los Morros–San Sebastián de los Reyes a una distancia de 8,4Km de esta última ciudad, en una de las canteras pertenecientes a la rama de canteras de la empresa Aragua Minas y Canteras S.A, (ver figura N° 2).

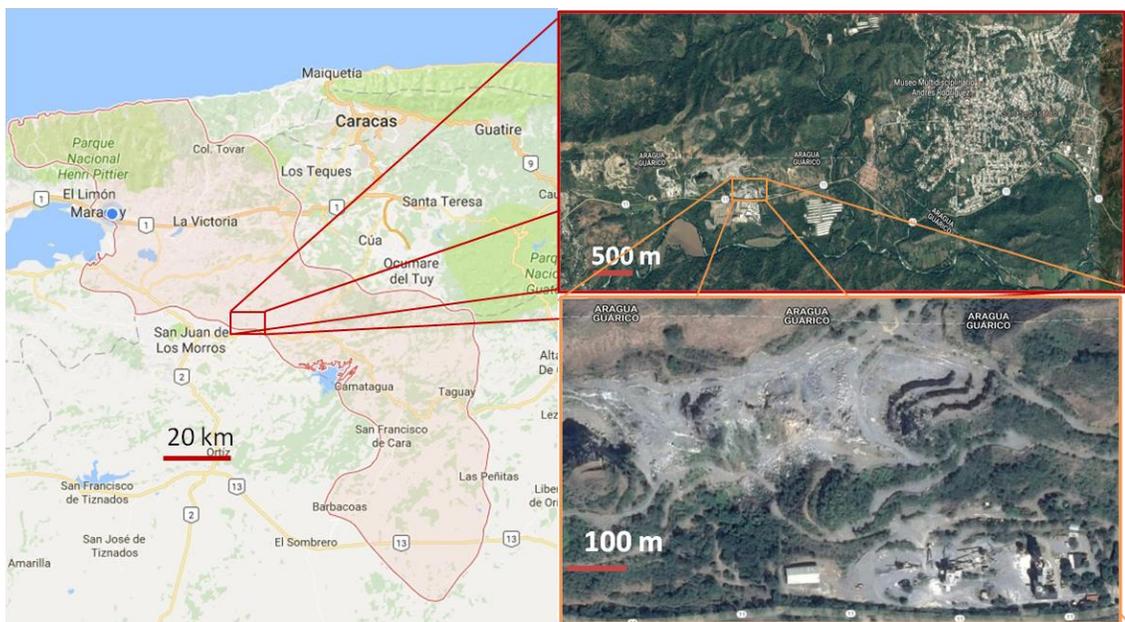


Figura 2.2 – Ubicación en mapa de la cantera Agua Viva II. Fuente Google Earth

##### 2.1.4.1 Clima

Se caracteriza por ser tropical de sabana, el cual presenta dos estaciones; una de lluvia y otra de sequía. Las temperaturas oscilan entre los 25 °C y los 26 °C, presentándose las mayores temperaturas en abril y mayo. A comienzos de la estación lluviosa, las mayores precipitaciones ocurren entre los meses de junio y julio, siendo menores durante los últimos y primeros del año. (Factor de Éxito 2009, párr. 3).

#### **2.1.4.2 Vegetación**

La espesura presente en este municipio es de bosque seco tropical y bosque húmedo, pre-montañoso. Asimismo, sus especies son mayormente deciduas, las cuales pierden sus hojas en la época de sequía y aumenta su follaje en lluviosa. Esta vegetación alta ocupa los terrenos adyacentes a los cursos de agua, garantizando así la conservación de los suelos. La cubierta vegetal arbústica es menos extensa, reduciéndose a pequeñas áreas cuyo grado de protección superficial es menos afectiva. (Factor de Éxito 2009, párr. 4).

#### **2.1.4.3 Relieve**

Por su ubicación geográfica el municipio se despliega en la serranía del interior, donde se destaca el Topo Cataurito, límite con el municipio Zamora con 1.665 msnm. Al sur posee un relieve de pie de monte de colinas bajas y redondeadas. También, tiene una zona de llanos con planicies que alternan con bajas colinas alargadas. (Factor de Éxito 2009, párr. 7)

#### **2.1.4.4 Hidrografía**

Esta pertenece a la cuenca del Orinoco, comprendida por la cuenca alta y media del Río Guárico; Cacamate y sus afluentes. Su red hidrográfica se caracteriza por un recorrido corto y poco caudal de sus cursos de agua, pero de gran importancia como fuentes de agua. (Factor de Éxito 2009, párr. 8).

## 2.2 Proceso de producción de la empresa

### 2.2.1 Descripción del método de explotación

El sistema de explotación de la cantera Agua Viva II es a cielo abierto de bancos y terrazas (ver figura 2.3), dichos bancos tienen una altura aproximadamente 10 m y tiene una pendiente de alrededor de 80°, diseñados acorde a los equipos de excavación adquiridos para la producción de la cantera, que permitan una óptima excavación y productividad sin descuidar los parámetros básicos de seguridad. (Informe técnico ARAMICA S.A. 2014).



**Figura 2.3** – Frente de Explotación de la Cantera Agua Viva II, método de terracedo a cielo abierto. Fuente ARAMICA

La viabilidad de la cantera, se basa en el ancho de los camiones a circular por las mismas, de igual forma las rampas de acceso están planteadas para tener un 10% de pendiente aproximadamente (informe técnico ARAMICA S.A. 2014). El talud del frente, tendrá un ángulo general de 40 grados. Este ángulo permitirá mantener terrazas de seguridad por cada 10 metros de avance vertical. Los criterios mineros de diseño antes descritos, para el desarrollo del plan de minas de la cantera “Agua Vivas II” se dan a conocer en la Tabla 2.1

**Tabla 2.1** - Criterios mineros para el desarrollo del plan de la cantera. Fuente ARAMICA S.A.

<b>Criterios de diseño minero</b>	
Altura de banco de explotación	10 m
Ancho de paneles	50 m
Ángulo de las paredes	80°
Frente del banco (talud)	40°
Pendiente de las rampas	10%
Ancho mínimo de vías permanentes	12 m
Ancho mínimo de las vías temporales	6 m
Ancho mínimo de los bancos de trabajo	10 m

El proceso de producción de la cantera comienza con la etapa de arranque que consiste en la etapa de perforación y posterior voladura de los frentes de trabajo. Una vez que el banco es detonado, los equipos de carga y acarreo ingresan a los frentes de explotación, el material sobre tamaño producto de las voladuras no admisible directamente en la trituración es apartado y acumulado para la posterior fragmentación con los martillos hidráulicos (Informe técnico ARAMICA S.A. 2014).

El proceso continúa colocando el material en la tolva primaria a través de un alimentador tipo cadena, y es transportado a la trituradora primaria, haciendo una pila pulmón que es descargada por 2 bandas transportadoras subterráneas que alimentan 3 sistemas de trituración secundaria para generar piedra N° 2, piedra N° 1, arrocillo, polvillo y carbonato de calcio.

### **2.2.2 Planta de Procesamiento de Mineral**

La cantera Agua Viva II posee cinco (5) áreas de procesamiento de caliza tipo fija. Consta de una planta primaria y dos plantas secundarias. Esta planta cuenta con una línea de trituración del mineral, que inicia descargando el

material en una tolva provista de una trituradora primaria de mandíbula y a través de una banda transportadora va a una pila conocida como pila pulmón que abastece el resto de las operaciones por medio de 2 bandas subterráneas que dirigen el material a una de las plantas secundarias y otra a la planta de Carbonato. (Informe técnico ARAMICA S.A. 2014).

La primera banda transportadora subterránea surte el material hacia la planta I de agregados la cual produce Piedra N° 1, Piedra N° 2, Arrocillo y Polvillo. En esta planta existe un circuito cerrado con una mandíbula que realiza una fragmentación secundaria, y a través de bandas transportadoras, el material cae por gravedad y se acumula en forma de pilas para su venta. La segunda banda alimenta a una criba que separa los productos en tres partes, tamaños superiores a 2", iguales a 2" y menores a 2", que alimenta tanto a la planta de carbonato de calcio y la planta II de agregados para su próxima etapa de reducción y clasificación. (Informe técnico ARAMICA S.A. 2014).

La planta de carbonato es alimentada con piedra N° 2" y produce carbonato de calcio en presentaciones malla 20 y malla 200. La piedra 2" es transportada mediante una banda transportadora un silo de almacenamiento, para ser fragmentada por una serie de equipos que trabajan en paralelo, iniciando con unas trituradoras de impacto, pasando a las cribas de carbonato configuradas entre mallas 20 y 16 y mediante tornillos sin fin es llevada a separadores isodrómicos, que clasifican el material en malla 20 y malla 200, finalmente están provistos 4 silos de almacenamiento de producto terminado, de los cuales dos son de malla 20 y dos son de malla 200.

#### **2.2.2.1 Tipo de Proceso y Porcentaje de Recuperación**

La tabla 2.2 muestra el tipo de proceso y porcentajes de recuperación de los materiales que son extraídos de la cantera Agua Viva II, para los mayores índices de producción con una alimentación aproximada 1500 m<sup>3</sup> en una jornada, siendo esta la más actualizada en julio del 2014.

**Tabla 2.2** - Producción de la cantera Agua Viva II por m<sup>3</sup>/hora. Fuente ARAMICA S.A. 2014.

<b>Producción de la Cantera Agua Viva II</b>		
<b>Producto</b>	<b>m<sup>3</sup>/Hora</b>	<b>Porcentaje</b>
Piedra # 2	33,45	27
Piedra # 1	50,00	41
Arrocillo	3,23	3
Polvillo	35,16	29
Total	121,83	100

En la figura 2.4 se presentan las etapas de producción de caliza de la empresa, de manera esquematizada todo lo antes descrito del proceso productivo de la caliza en la cantera Agua Viva II. Inicia con la etapa de planificación, pasando a la producción, voladura, beneficio mineral y finalmente comercialización del mismo

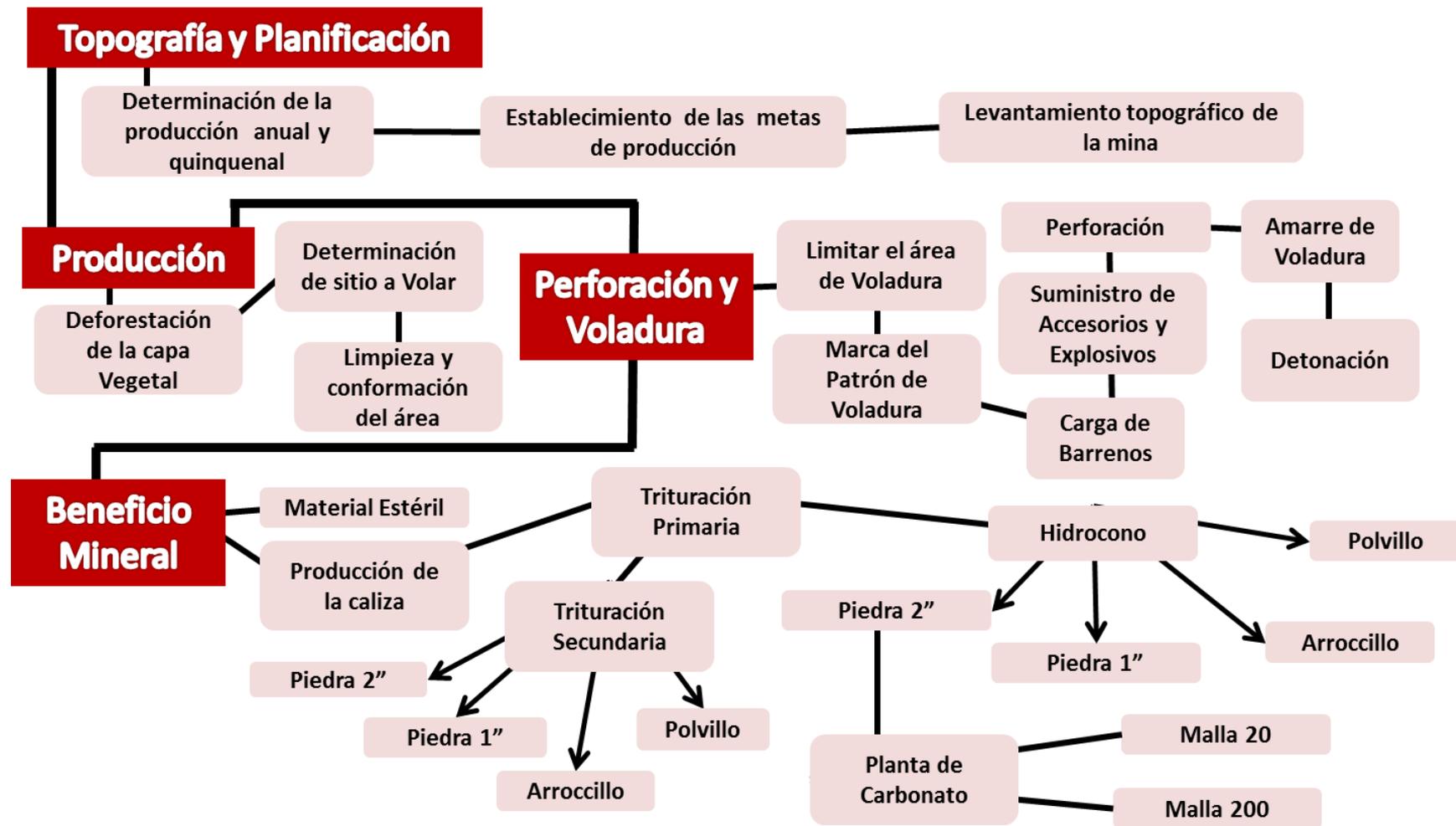


Figura 2.4 – Diagrama del Proceso de la caliza Fuente ARAMICA S.A. 2014

## **CAPITULO III - MARCO TEÓRICO**

En el siguiente capítulo se reseñan los antecedentes de la investigación que aportan conclusiones relevantes para la realización de este trabajo, además contempla las bases teóricas de la investigación las cuales son necesarias para comprender los procedimientos a aplicar

### **3.1 Antecedentes**

- Herrera Yuleidy (2014) “Estudio Diseño de un sistema de clasificación granulométrico para el carbón mineral, empleado en Loma de Níquel, estado Miranda” Universidad Central de Venezuela, Trabajo especial de grado.

Presenta un estudio basándose en diferentes criterios para lograr tener un diseño del sistema de clasificación del carbón mineral, tomando en cuenta los factores que afectan el cribado de un material, además se basa en leyes de distribución granulométrica para medir la eficiencia de la operación.

- Valencia Evaristo (2013) “Proyecto para el incremento de capacidad de operación de la planta de beneficio, compañía minera la negra, Marconi Queretaro”, Universidad Autónoma de México Trabajo Especial de Grado.

Nos plantea un estudio de la planta, evaluando las características de los equipos de reducción y clasificación, aquí nos muestra un balance de masas que parte de un estudio con un patrón de toma de muestra, obteniendo valores dentro de las operaciones para plantear un proyecto en la incrementación de la producción de la planta.

- Hernández Teobaldo (2000) Análisis Granulométrico y Balance de Masas en el proceso de la planta de trituración de barrancos de la Empresa C.V.G. Ferrominera del Orinoco.

Está basado en un estudio granulométrico de las operaciones de la planta de reducción y clasificación de tamaño, teniendo como objetivo desarrollar el balance de masas de dicha planta con el análisis asociado, desarrollando una metodología para la descripción de la planta y la toma de muestra en las operaciones, enumerando cada una de las muestras y el periodo con el que se toman dichas muestras, el posterior análisis lleva al autor a analizar los puntos críticos del proceso en donde existía una recirculación del material, adicional a una pérdida del mismo durante las operaciones.

## **3.2 Bases Teóricas**

### **3.2.1 Geología Regional**

Carrero R. y Rivero R (2013) nos destacan cuatro unidades litológicas, dentro de estas unidades nos describen unidades sedimentarias carbonáticas con calizas arrecifales y prearrecifales, rocas sedimentarias detríticas, no cíclicas con material calcáreo y rocas sedimentarias detríticas cíclicas. Para esta caliza los autores describen un “color fresco gris oscuro a gris claro, de forma masiva sin estratificar, presentando alta reacción al ácido clorhídrico, lo que indican un alto contenido de carbonato de calcio”.

Por otra parte, Díaz P. (2014) habla de la geología en una zona que abarca a San Juan de los Morros, Villa de Cura y San Sebastián de Los Reyes, estas tres zonas tienen correlación en la información geológica y nos da como resultado una compilación de las formaciones geológicas existentes en la zona de estudio. Con análisis de muestras recolectadas en campo Díaz indica la presencia de una cobertura sedimentaria en la zona, con las correlaciones volcánicas y plutónicas de las otras formaciones geológicas.

Según ambos trabajos antes mencionados Díaz (2014) y Carrero R. y Rivero R (2013) existe la “Faja Piemontina” y la “Faja Villa de Cura”, a su vez cada una de estas fajas contienen en si formaciones que nos dan características específicas estudiadas en trabajo de campo. E.

### **3.2.1.1 Faja Piemontina**

#### **3.2.1.1.1 Formación Morro del Faro**

Está formada por grandes masas de calizas arrecifales de color gris, densas y con vetas de calcita, masas de turbiditas y algunas rocas volcánicas embebidas en forma caótica en una matriz limo-arcillosa calcárea.

La formación está constituida por 300 a 350 m de calizas biostromales, biodetríticas con abundancia de foraminíferos, microalgas y otros organismos carbonáticos, dispuestas en capas submétricas a plurimétricas. Las calizas son macizas, compactas de color gris claro que meteoriza a gris azulado; su localidad tipo se encuentra a 5 kilómetros al noroeste de la ciudad de San Juan de los Morros (Carrero R. y Rivero R., 2013, pág. 79).

#### **3.2.1.1.2 Formación Caramacate**

Carrero y Rivero (como se citó en Vivas y Macsotay, 1995) describen un rango de formación desde la carretera de San Juan de Los Morros –San Sebastián hasta el norte de la formación Las Hermanas.

La formación es una unidad de 400 m de espesor, conformada por limolitas silíceas que se interestratifican con capas de calizas arcillosas, lutitas negras y capas de chert finamente laminado y bandeado en colores claros y oscuros; también son comunes las areniscas grauváquicas, parcialmente líticas. Sus estructuras sedimentarias son la gradación, las laminaciones paralela y cruzada, y estructuras de carga. Localmente a diferentes niveles se hallan diamictitas polimícticas que contienen clastos de volcánicas sin diferenciar. En la parte inferior y media de la secuencia, las pelitas contienen olistolitos carbonáticos, con lito y biofacies tipo Formación Morro del Faro (Carrero R. y Rivero R. pag 80).

### **3.2.1.1.3 Formación Garrapata**

Nuevamente los autores Carrero R. y Rivero R (como se citó Bell, 1968 y Renz, 1955) se trata de

Secuencia de turbiditas cíclicas, perfectamente gradadas de espesor irregular desde los diez centímetros hasta los diez metros. Cada ciclo referido comienza con un conglomerado grueso seguido por una sucesión de turbiditas y Lutitas. Las calizas o lutitas calcáreas duras son un constituyente menor que se hace más frecuente hacia el tope de la unidad. (pág 82).

Localmente se encuentra hasta un 60% del espesor total de la formación, constituida por conglomerados caracterizados por su color gris oscuro. Las capas tienen espesores máximos de 50 metros, y son generalmente macizas y de escogimiento pobre; sin embargo, se encuentra buena estratificación gradada en las capas de limolita y arenisca fina que se encuentra sobre los conglomerados (pág 83).

### **3.2.1.2 Faja de Villa de Cura**

#### **3.2.1.2.1 Formación Las Hermanas**

Su ubicación está a 8 km al norte de San Sebastián de los Reyes y está caracterizada por un transporte tectónico y la describen como “bloques exóticos” (Carrero R. y Rivero R, 2013). Seguidamente Carrero R. y Rivero R. (citando a Pitburn, 1977) nos afirman

La formación las hermanas está caracterizada por dos miembros principales: el inferior, consiste esencialmente de conglomerados gruesos, con intercalaciones delgadas de tobas; el miembro superior está formado de tobas líticas, flujos de lavas y fanitas. En la región de San Sebastián, esta unidad infrayace discordante a una secuencia de calizas arenosas y lutitas del Paleoceno. El contacto está marcado por

un conglomerado basal, en el cual se entremezclan peñones redondeados de calizas fosilíferas del paleoceno con fragmentos de la Formación Las Hermanas. El miembro inferior está constituido esencialmente de conglomerados gruesos, mal escogidos, formados por fragmentos de lavas porfíricas vesiculares, ricas en plagioclasa y piroxenos. Los clastos son redondeados o sub-redondeados y pueden alcanzar excepcionalmente hasta unos 60 cm de diámetro. (Carrero R. y Rivero R. 2013, pag 86).

### **3.2.2 Cribas**

De acuerdo con (Fueyo, 1999), el cribado es un conjunto de operaciones mecánicas de clasificación de materiales de forma y dimensiones variadas, mediante la presentación de estos materiales sobre unas superficies con aberturas que dejan pasar los trozos de dimensiones inferiores a las dimensiones de las aberturas (pasante), mientras que los trozos de medidas superiores son retenidos (sobredimensionados) y clasificados por tamaños.

Esta operación se debe a que los materiales procedentes de las operaciones de trituración o molienda, tienen una distribución granulométrica por lo tanto hay que hacer una separación por dimensiones en función de su uso final.

El objeto de las operaciones de cribado es la separación de los fragmentos más gruesos contenidos en el todo-uno con el fin de eliminarlos o de enviarlos otra vez a las operaciones de reducción de tamaño. También, puede pretenderse la separación de los fragmentos más pequeños para eliminarlos o clasificarlos en distintas dimensiones comerciales. Esto permite aumentar la capacidad de los equipos de trituración y evitar la sobre trituración.

#### **3.2.2.1 Factores que afectan el cribado**

En una investigación, (Kelly, 1990) estudió los factores que determinan la rapidez con la cual pasan las partículas a través de una superficie de cribado (como se ilustra en la Tabla 4), donde se pueden dividirse en dos grupos: los

relacionados con las propiedades de las partículas y los que dependen de la máquina y su operación. En realidad, muchos de los factores son interdependientes y no pueden considerarse en forma aislada. Por ejemplo, la rapidez con que pasa el material sobre la superficie de la criba es también importante, ya que determina el espesor del lecho y el tiempo de residencia. De hecho, depende de las características de la máquina tales como el ángulo de inclinación, la amplitud, la frecuencia y el tipo de superficie de cribado, así como de propiedades de las partículas tales como la forma y la distribución de tamaños en la alimentación.

**Tabla 3.1** – Factores que afectan el cribado. Extraído de Kelly (1990)

<b>Factores del Mineral</b>	<b>Factores de la Máquina</b>
Densidad Global Forma de la curva de distribución de tamaños Forma de la partícula Humedad de la superficie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficie de la Criba</li> <li><u>Área:</u></li> <li>Porcentaje de área abierta</li> <li>Tamaño de la abertura</li> <li>Forma de la abertura</li> <li>Espesor</li> <li>• Vibración</li> <li>Amplitud</li> <li>Frecuencia</li> <li>Dirección</li> <li>• Angulo de inclinación</li> <li>• Método de alimentación</li> </ul>

### 3.2.3 Balance de Masas

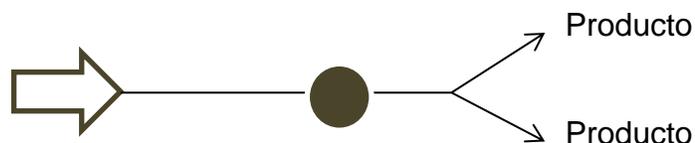
Según Kelly E. (1990) existen tres operaciones básicas para un diagrama de proceso, estas son la reducción de tamaño, la separación y el manejo de materiales, y cada una de estas puede subdividirse dependiendo de la operación a la cual corresponda, por ejemplo, para la etapa de la reducción de tamaño existe la trituración y la molienda que van seguidas de la separación por tamaños del material. A su vez estos procesos están sometidos a unas

especificaciones de mercado, que hacen que un material tenga ciertas características de tamaño de composición o ambos.

Un diagrama de proceso nos indica el flujo del material y como mencionamos anteriormente separar las operaciones por etapas o fases para llegar a su producto final, por otra parte Kelly E (1990) nos hace referencia a un aspecto fundamental de un diagrama de proceso como lo es el Balance de materiales o balance de masa, este se basa en “los puntos en los que se dividen y se combina las corrientes”, este se basa en principio de la conservación de la material de donde obtenemos la siguiente relación

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

Partiendo de esto el autor establece que debe existir una base que fundamenta el resto de los cálculos que puede 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



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

Este es el principio según Kelly E. (1990) para la realización de un balance de masa, donde nos indica que es importante una elaboración “clara y limpia del diagrama del proceso en donde se indican todos los datos conocidos” (pág. 32) además de 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, para ello el autor recomienda que se debe

aprovechar el exceso de datos que nos pueden proporcionar información adicional para los cálculos.

Estudios realizados por Bakke Brian y Sova Ron (2007), para evitar el desperdicio de agua, nos hacen referencia a la importancia en el monitoreo en los factores que afectan el balance de masas de una planta, uno de estos aspectos es la importancia de estos elementos que pueden hacer una planta precisa y con menos probabilidades de cometer errores, como beneficio de tener un balance de masas los autores enfatizan en que se pueden identificar puntos críticos de un proceso y mejorarlos con los análisis y ensayos correspondientes.

La empresa Telesmith (2010) cuya principal actividad es la fabricación en equipos de reducción y clasificación de tamaño, realizó un informe que habla de la importancia de la eficiencia en el balance de masa para las operaciones de reducción y clasificación de tamaño en cualquier planta de beneficio mineral, en donde el mal en un balance de masa para este estudio, representa gastos energéticos, haciendo de las operaciones procesos ineficientes. El estudio hace una revisión del desgaste de energía ocasionado por los equipos y la comparación entre los molinos semi-autógenos y los molinos autógenos, en donde solo se puede saber dicho desgaste energético con la cuidadosa y adecuada toma de muestras en la entrada y salida de los equipos.

### **3.2.3 Manejo de materiales**

El manejo de materiales es una definición que abarca una gran gama de operaciones, para la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos por sus siglas en inglés ASME, en su manual de manejo de materiales (1985) lo define como “un sistema o una combinación de métodos, facilidades, labores y equipos para mover, empacar y almacenar materiales para un fin común”. Aquí el ASME cuida aspectos que están incluidos en la propia definición como lo

son mover, empacar y almacenar, pero afirma que no deben confundirse con la definición propia del manejo de materiales.

Para considerar el manejo de materiales un problema dentro del procesamiento del mismo se debe tomar en cuenta el contexto (ASME 1985), y de cómo afecta el manejo dentro de las operaciones “aguas abajo”, un ejemplo es, la eficiencia con la que se almacena un producto dentro de una tienda y cómo afecta la comercialización del mismo.

### **3.2.3.1 Principio en el manejo de materiales**

Como hemos descrito antes el manejo de materiales engloba una diversidad de operaciones, pero existen unos principios o reglas que aumentaran considerablemente la fluidez en el manejo de los mismos. Según el Ing. Francisco Borjas en su libro Manejo de Materiales Vol. II (1966), resume el manejo de materiales en los siguientes principios:

1. Eliminación de los métodos anti económicos
2. Planeación de la disposición de la planta
3. Selección de los aparatos de manejo de materiales
4. Reducción de costos
5. Coordinación y simplificación de las operaciones
6. Uso y Mantenimiento

Cada uno de estos principios tiene unas reglas adjuntas a ellos las cuales, dan indicaciones que según el autor tiene como resultados

- Mejoras en la disposición de la planta
- Aumento de la Producción
- Reducción del tiempo de fabricación
- Menores Costos

Por otra parte el ASME, reseña la importancia de una evaluación previa, con el fin de recolectar la información necesaria y así aplicar una mejora en el

manejo del material. Iniciando con “definir el problema”, ya que, según los autores existen diferentes problemas que se atribuyen al manejo del material los cuales no corresponden al mismo, seguidamente el siguiente paso que llaman “recolección de información relevante” y ambos pasos van de la mano, lo que lleva a analizar los datos obtenidos.

Para la evaluación el manual, tiene tres pasos de cierre en donde una vez que se evalúan los datos, inicia el proceso de “implementar la solución” comprendido entre desarrollar un plan de acción y buscar alternativas en base a la evaluación obtenida, y emprender alternativas respecto a la maquinaria y el personal son el que se cuenta actualmente en la planta.

## **CAPÍTULO IV – MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se presenta el diseño y el tipo de la misma, además se describen las técnicas para llevar a cabo la investigación, la unidad de estudio y se desarrollan las etapas metodológicas.

### **4.1 Diseño y Tipo de la Investigación**

Para este estudio con en base el problema planteado, la estructura adecuada de esta investigación según J. Hurtado (2007) es una investigación explicativa-analítica, tiene un diseño explicativo en donde se busca “encontrar posibles relaciones entre los eventos, respondiendo a las preguntas por qué y cómo del evento estudiado, aquí la causa del evento es lo que se intenta identificar, sin manipular eventos, ni controlar variables extrañas” (párr. 7) lo que nos lleva a una clasificación eficiente del material. La investigación pasa a un diseño analítico en donde según la autora “busca los aspectos menos evidentes en los eventos analizados, y en algunos casos busca contrastar u evento con otro. Dado que analizamos “un ser con un deber ser” partiendo de la situación actual de la planta hasta que se plantea para mejorarla.

El Diseño de la investigación J. Hurtado (2007) tiene un sistema de clasificación en donde la investigación empieza por ser la forma en la que se recopilan los datos, para ello la autora nos indica que la información al ser recopilada en un ambiente natural el diseño se denomina de Campo, por otra parte cuando se habla de la perspectiva temporal del estudio debemos llamarla según la autora transeccional en donde “el investigador estudia el evento en un único momento del tiempo” (párr. 20) La unificación de ambos criterios y otros más nos dan como resultado una investigación experimental en la cual el “el investigador interviene sobre las variables independientes o sobre los procesos causales y los modifica de manera intencional y planificada con el objetivo de ver los efectos, pero además hace un control estricto de variables

extrañas para descartar que los cambios hayan sido originados por otros factores distintos a las variables independientes” (párr. 22).

## **4.2 Unidad de estudio**

La investigación se centró en el material carbonatico desde su entrada a la planta hasta el producto final y las operaciones en conjunto a los equipos de la planta. La población de estudio la componen las siete plantas de procesamiento mineral de la empresa Aragua Minas y Canteras S.A. *ARAMICA S.A*, y la muestra está constituida por la planta de la cantera Agua Viva II, ubicada en el Km 11 de la vía a San Juan de los Morros – San Sebastián de los Rey.

## **4.3 Etapas Metodológicas**

### **4.3.1. Conocer las características físicas del material de alimentación de la planta de reducción y clasificación de tamaño.**

- ✓ Descripción de la planta de beneficio mineral

Esta etapa es el objetivo de apertura de la investigación, se inicia con la determinación de las características granulométricas de entrada del material que es procesado en la planta. Fue necesario realizar una descripción de la misma, circuito por circuito, con el fin de manejar más fácilmente la estructura y los equipos correspondientes dentro de las operaciones a describir y evaluar.

Dentro de las tareas realizadas para describir de la planta se utilizó el programa de dibujo AutoCAD 360, en su versión demo estudiantil, para el dibujo y desarrollo del diagrama del circuito completo desde que inicia la alimentación hasta la comercialización de los productos. Seguidamente para llenar la información dentro del diagrama de flujo de la planta, se hizo una salida técnica para tomar datos de las características industriales de marca, modelo y capacidades de los equipos que conforman la planta, para el llenado de esta información se utiliza un formato destacando el nombre del equipo, la

marca y el modelo, el equipo que alimenta y las dimensiones de entrada y salida.

Una vez realizado el diagrama de flujo de la planta con la información competente a los equipos y sus capacidades, conectando las operaciones entre equipo y equipo, separamos en el diagrama la planta en cuatro (4) circuitos, colocando en orden la información, y así exponer los resultados obtenidos circuito por circuito.

- ✓ Determinar las dimensiones granulométricas de entrada de la planta

En esta tarea se realiza una recolección fotográfica en el material que ingresa a la trituración primaria, para ello es necesario

- Cámara Fotográfica.
- Cuaderno de campo.
- Instrumento de Medición (metro).

Aquí se miden los bloques y sus diferentes tamaños para determinar una escala en la que referenciar las fotografías, acompañado a esto se hace la recolección fotográfica de la pila.

Una vez con las fotografías referenciada en su escala previamente determinada, se usan dos 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 una curva de distribución que es el resultado de una voladura realizada por la unidad de voladura de la empresa, debido a esto se consulta con el departamento de voladura, las variables manejadas para realizar dicha voladura, y tomarla en cuenta en para los análisis correspondientes para este objetivo.

#### **4.3.2 Estimar la distribución granulométrica de los equipos de trituración de tamaño de la planta de beneficio mineral.**

Previamente determinamos las dimensiones de entrada de la planta, que sería la primera etapa de fragmentación dentro de las operaciones mineras, en este objetivo se desarrolla equipo por equipo y a su vez circuito por circuito las curvas de distribución de tamaño.

Al ser procedimientos estandarizados se contemplan las siguientes normas en el desarrollo del objetivo, estas normas son publicadas por la Sociedad Americana de Materiales y Ensayos por sus siglas en inglés ASTM, las normas utilizadas son

- ASTM C50 /C50M-13, Práctica estándar para la toma de muestras, preparación de muestras, empaquetado y marcado de los productos cal y piedra caliza.
- ASTM D75M-14 Práctica estándar para el muestreo de Agregados.
- ASTM C117-03 Práctica estándar para agregados menores a 75  $\mu\text{m}$ , por método de lavado.
- ASTM E323-11, Especificación estándar de mallas perforadas para propósitos de Ensayo.

##### ✓ Toma de Muestras:

Dentro de la toma de muestras de agregados se usa como referencia la norma ASTM D75M-14, la cual nos indica que según el tamaño del agregado la muestra debe tener un peso correspondiente (ver tabla 4.1). En esta tabla la norma nos separa los agregados según su granulometría entre agregados finos y gruesos, durante el trabajo nos referiremos mediante a esta forma para hablar de agregados finos y gruesos.

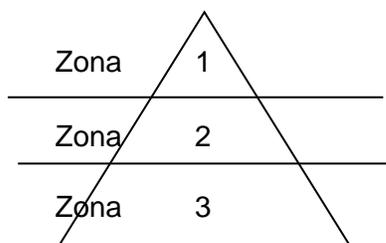
**Tabla 4.1** – Tamaño de la muestra para tamizado según tamaño del agregado.

Extraído de la norma ASTM D75M-14

Tamaño Máximo Nominal de los Agregados, mm (pul)	Peso Mínimo aproximado de las muestras de Campo (kg)
<b>Agregado Fino</b>	
2,35	1
4,75	1
<b>Agregado Grueso</b>	
9,50 (3/8)	1
12,50 (1/2)	2
19,00 (3/4)	5
25,00 (1)	10
37,50 (1 ½)	15
50,00 (2)	20
63,00 (2 ½)	35
75,00 (3)	60
90,00 (3 ½)	100
100 (4)	150
125 (5)	300

Seguidamente las normas refieren las siguientes indicaciones ya que la toma de muestras en los agregados fue en las pilas de comercialización, es por ello que esta toma fue

- Aleatoria
- Se tomó material en tres (3) puntos diferentes de la pila, el tercio superior (zona 1), la zona intermedia (zona 2), y tercio inferior (zona 3), asegurando la homogeneidad de la muestra, al final se deben mezclar las tres y tomar una muestra representativa de esta mezcla. (ASTM D75M-14)



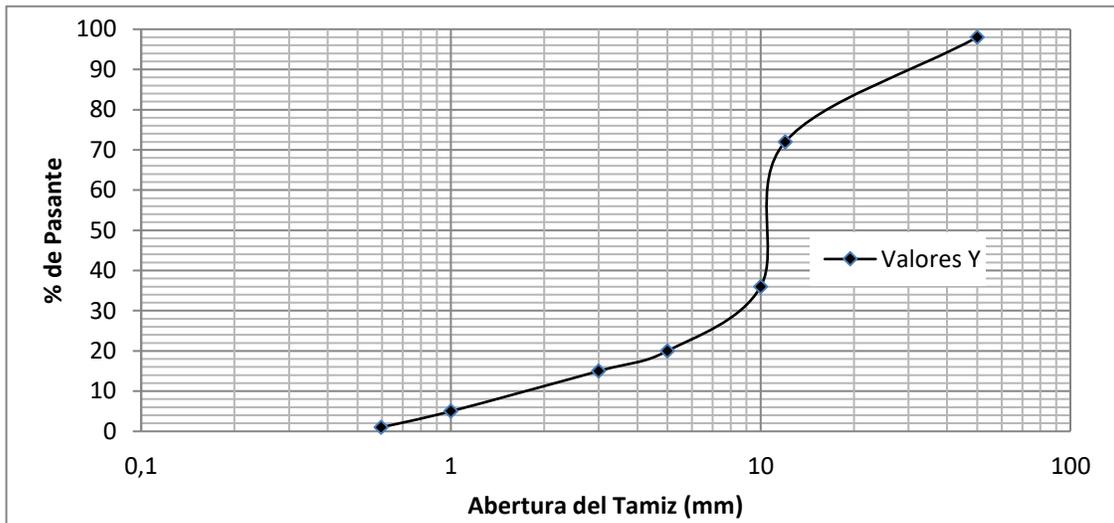
- Para los agregados finos se debe tomar muestras de las capas internas de las pilas ya que la segregación puede arrojar valores erróneos de la muestra.
- ✓ Desarrollo de las curvas granulométricas de los equipos de reducción de tamaño
  - Una vez tomada la muestra, se procede a pesar 1 kg, seleccionando la muestra por la técnica del cuarteo.
  - Se armó la batería de tamices comprendido entre 2 ½” y malla 20 (850µm) para el ensayo.
  - Para conocer el desarrollo de la curva se utilizó un mezclador marca “Gilson”, modelo SS-15 (ver figura 4.1). se colocó la batería de tamices en el mezclador entre 10 y 15 min para ser clasificada.



**Figura 4.1** – Batería de tamices y mezclador con batería de tamices

- Seguidamente se separó la batería de tamices y se pesó en una balanza con lectura de hasta 0,1 g, cada carga retenida. De esta forma se calcula el porcentaje de retenido en base al peso total de la muestra.

- Por último se digitalizan los datos obtenidos por medio de una hoja de cálculo con el fin de realizar una distribución granulométrica, para ello se utilizó una gráfica “log-normal” por tener en su eje vertical una escala natural representando el porcentaje en peso de retenido o pasante de los tamices y en su eje horizontal una escala logarítmica que representa la abertura de los tamices (ver figura 4.2).



**Figura 4.2 – Grafica de distribución granulométrica**

Para las muestras menores a 75  $\mu\text{m}$ , se siguió el procedimiento de la norma ASTM C117-03:

- Colocar la muestra en un recipiente y se llena de agua sin aditivos o detergentes hasta cubrirlo, se agita el recipiente para mezclando la muestra, así las partículas finas quedaran en suspensión.
- Verter la mezcla en suspensión sobre el tamiz 200 (75  $\mu\text{m}$ ).
- Repetir el procedimiento hasta que el envase en donde se mezcló el material quede sin restos.
- Secar la muestra que quedo retenida en la malla en un horno a 110  $^{\circ}\text{C}$ , se obtuvieron los cálculos de porcentaje y se elaboró la curva de distribución respectiva, de la misma forma que las muestras anteriores.

### **4.3.3 Calcular la eficiencia de los equipos de clasificación por obstáculos e isodrómicos**

Los equipos de clasificación para la planta son de dos tipos por obstáculos e isodrómicos, tal y como lo menciona el título de este objetivo. En el cálculo de la eficiencia es necesario el desarrollo de las curvas granulométricas de la alimentación y de la descarga correspondiente al equipo, para ello al igual que en el objetivo anterior existieron procedimientos estandarizados por normas ASTM, como la toma de muestras y el desarrollo de las curvas de distribución granulométrica de los equipos.

Por otra parte, las muestras menores a 2,36 mm (menor dimensión de los agregados finos según la norma ASTM D75M-14), tienen un muestreo distinto dado que en su mayoría este material está almacenado en silos o es vertido por ductos de un equipo a otro, la toma de muestra se hizo bajo las siguientes condiciones:

- Para los silos se tomaron las muestras en la parte inferior ubicada en el ducto de descarga (ver figura 4.2 A)
- Para la alimentación en los separadores Isodrómicos en la parte superior en el ducto donde inicia la descarga al equipo (Figura 4.2 B) y para la salida se tomó en la parte inferior, como en el punto anterior.
- Su peso máximo fue de 300 g.
- Para el almacenamiento y traslado para hacer los ensayos posteriores, la muestra se almacenó en un recipiente fresco, sin recibir humedad o alteraciones con el ambiente



**Figura 4.3** – Toma de muestra en los silos. A) Descarga del silo. B) Alimentación al separador isodrómico. Fuente Propia

Al igual que los objetivos anteriores se expone la información por circuito, donde una vez desarrolladas las curvas de la alimentación y la descarga, se colocaron todas las curvas en una gráfica general por equipo. Seguidamente el cálculo de la eficiencia de los equipos de separación, está definida de la siguiente manera.

- ✓ Para los separadores isodrómicos

Ya que en este tipo de separadores tendremos un flujo de aire ingresando de forma tangencial a un cilindro, en donde “actúa una fuerza centrífuga que tiende a desplazar radialmente las partículas hacia la pared, de forma que aquellas que alcanzan la pared se deslizan hacia abajo dentro del cono y se recogen” (Piña. J y Bucalá V., 2013, pág. 11.2). Tendremos para la eficiencia la formula

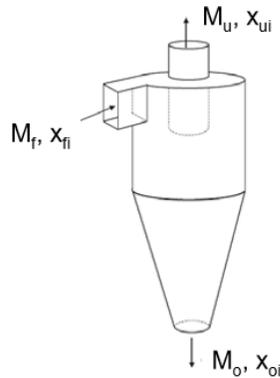
$$E_T = \frac{M_o}{M_f} \quad (I)$$

Donde

$E_T$ =Eficiencia del equipo.

$M_o$ = Caudal de Partículas Gruesas.

$M_f$ = Caudal Alimentación del equipo (kg/h).



**Figura 4.4** – Valores involucrados en los separadores isodrómicos . Extraído de Piña J. y Bucalá V., 2013

Dentro del concepto de la eficiencia de los ciclones existe un valor llamado “tamaño crítico” ( $x_{crit}$ ) este valor se toma de  $x_{50}$  que es donde la curva de eficiencia tiene un 50% del material evaluado (Piña J. y Bucalá V., 2013, pág. 11.4). Para una eficiencia “ideal” en donde todas las partículas son clasificadas a una eficiencia de 100%

Dado esto para los separadores isodrómicos la toma de muestra corresponde a los materiales menores a  $75 \mu m$  (por las características de los productos a clasificar), es decir, que no debe ser mayor a 300 g.

Partiendo de esto obtenemos el  $x_{50}$  de la gráfica y se usa como valor base para el cálculo de la eficiencia, allí observamos los caudales másicos en g que alimentan el clasificador versus el caudal másico en g de partículas gruesas dentro de esa alimentación por ultimo utilizamos la fórmula previamente mencionada y obtenemos la eficiencia de los separadores isodrómicos.

✓ Para los Separadores por Obstáculos

Para este tipo de separadores según Piña J. y Bucalá V. (2013) existen dos formas de establecer la eficiencia de los separadores, respecto a la cantidad de finos o respecto a la cantidad de gruesos, además existe una eficiencia global que compara ambos factores. Para lo antes mencionado tenemos las dos fórmulas.

$$E_g = \frac{(X_s - X_f)X_g}{(X_g - X_f)X_s} \quad (II)$$

$$E_f = \frac{(X_s - X_g)(1 - X_f)}{(X_f - X_g)(1 - X_s)} \quad (III)$$

Donde

$E_f$  = Eficiencia respecto al producto pasante.

$E_g$  = Eficiencia respecto al producto retenido.

$X_s$  = Fracción en porcentaje, de la alimentación total.

$X_g$  = Fracción en porcentaje, superior a la malla a evaluar.

$X_f$  = Fracción en porcentaje, inferior a la malla a evaluar.

Para la eficiencia total tendremos la formula

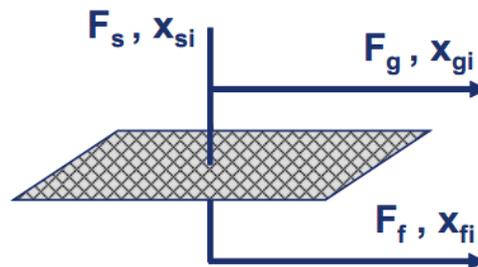
$$E_T = \frac{(X_s - X_g)(1 - X_f)}{(X_f - X_g)(1 - X_s)} \frac{(X_s - X_f)X_g}{(X_g - X_f)X_s} \quad (IV)$$

Donde

$E_T$  = eficiencia total.

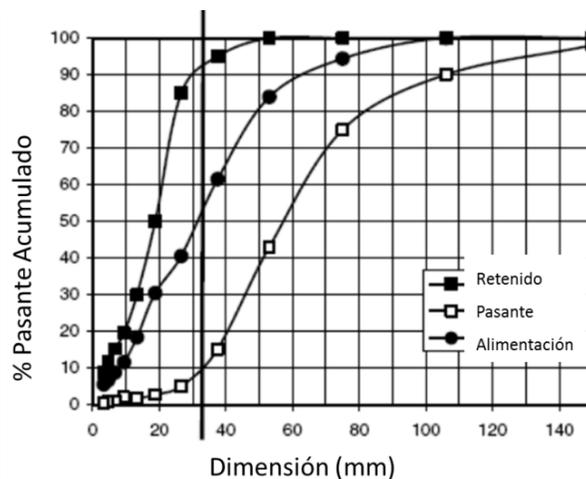
Esta eficiencia al igual que los separadores isodrómicos está definida por un porcentaje que mientras más se acerque a 1 reflejara la eficiencia del equipo.

Para obtener estos valores porcentuales se deben tomar en cuenta las distribuciones granulométricas de la alimentación, el pasante y el retenido como lo muestra la figura 4.5.



**Figura 4.5** – Factores para el cálculo de eficiencia de las cribas, siendo  $s_i$ =Alimentación,  $g_i$ =Retenido y  $f_i$ =Pasante. Extraído de Piña J. y Bucalá V. (2013)

Al ubicar la granulometría correspondiente a cada factor dentro de una misma gráfica, se procede a pasar una línea que representa la dimensión de la malla la cual se quiere evaluar, así como se ve representado en la figura 4.6



**Figura 4.6** – Toma de datos para la el cálculo de la eficiencia del cribado . Extraído de Piña J. y Bucalá V. (2013)

Se introducen estos datos dentro de la formula y allí se obtiene la eficiencia de los separadores por obstáculos. Esta eficiencia al igual que los separadores

isodrómicos está definida por un porcentaje que mientras más se acerque a 1 reflejara la eficiencia del equipo.

**4.3.4 Desarrollar el balance de masa de la planta de beneficio mineral, tomado en cuenta los puntos de entrada y salida de las etapas de las operaciones unitarias.**

Una vez teniendo cada una de las etapas anteriores listas, que nos proporcionará información importante como las dimensiones y las características específicas de las entradas y salidas de los equipos de la planta, procedemos a desarrollar el balance de masa de la misma, para el desarrollo del balance de masa, se tomará la metodología del trabajo de Valencia (2013), la cual se describe a continuación

- ✓ Se inicia el circuito con el registro de la alimentación de la planta en cuanto a capacidad, por medio de un registro de 22 días de trabajo.
- ✓ Se codifican las muestras de los equipos de reducción de tamaño.

Para la identificación y codificación de la toma de muestras en los equipos de reducción de tamaño se tomara en cuenta el siguiente formato

**Línea de Producción – Equipo – Entrada/Salida**

En donde para el ejemplo tomado de Valencia (2013, lo divide la siguiente forma

**Tabla 4.3** – Ejemplo de la codificación de los equipos de Reducción de Tamaño de la planta. Fuente Valencia (2013).

<b>Línea de Producción</b>	<b>Equipo</b>	<b>Código</b>
1	Trituradora de Mandíbula	TM
2	Conos	CS
3	Trituradora de Impacto	TI

Ejemplo de la codificación

**2–TI – Entrada**

Donde

2 = Línea de Producción  
 TI = Trituradora de Impacto  
 Entrada = Toma de muestra en la entrada del equipo

La codificación de las muestras en los puntos de entrada y salida de los equipos, se vio de la siguiente manera.

**Tabla 4.4**–Tabla de codificación de las muestras tomadas en campo

Línea de Producción	Equipo	Código	Lugar de toma de muestra
<b>Pila Pulmón</b>	Trituradora Primaria de Mandíbula	PP-01	Mediciones en campo
	<b>Agregados I</b>	Criba Agregados	AI-C-S1
AI-C-S2			Arrocillo
AI-C-S3			Polvillo Grueso
<b>Agregados II</b>	Trituradora de Mandíbula	AI-TM-S	Salida de la Trituradora de Mandíbula
	Criba Principal	CP-S1	<2" (Va al cono, en circuito cerrado)
		CP-S2	2" (Alimenta Silo 1 de dos pulgadas y la Pila 2")
		CP-S3	>2" (Alimenta silo 9, para los productos comerciales)
	Hidrocono	AII-H-S	Hace ciclo cerrado con la criba principal
	Criba Agregados	AII-C-S1	1"
		AII-C-S2	Arrocillo
AII-C-S3		Polvillo Fino	
<b>Carbonato</b>	Trituradora Impacto 1	C-TI1-E	Viene del Silo 2 que contiene piedra 2"
		C-TI1-S	Va hacia unos elevadores por medio de un tornillo sin fin
	Trituradora Impacto 2	C-TI2-E	Viene del Silo 2 que contiene piedra 2"
		C-TI2-S	Va hacia unos elevadores por medio de un tornillo sin fin
	Criba 01	C-C1-S1	malla #20 y #16, para aumentar el rendimiento
		C-C1-S2	
	Criba 02	C-C2-S1	malla #20 y #16, para aumentar el rendimiento
		C-C2-S2	
	Trituradora Impacto 3	C-TI3-S	Sube a los elevadores y pasa a los separadores
	Separador 1	C-S1-S1	Salida Interna Malla 20
		C-S1-S2	Malla 200 pasa a separador 2
	Separador 2	C-S2-S1	Salida Interna Malla 20, regresa en tornillo sin fin para silos de malla 20
		C-S2-S2	Salida Malla 200

- ✓ Una vez determinada la toma de muestras y la distribución de las mismas se procede a realizar el balance de masas, aquí ubicamos las curvas granulométricas de un equipo en una gráfica y se observa el porcentaje que se fractura o se clasifica, esto dada la información recopilada en la

visita técnica a la planta y los valores correspondientes a los equipos de las entradas y salidas de las operaciones desde que entran a las líneas de producción hasta que son despachadas.

- ✓ Para lograr esquematizar el balance se ubica la cantidad de material procesado para una alimentación promedio, según el circuito y según el turno en el que desarrolle sus operaciones.

#### **4.3.5 Evaluar los puntos críticos de las operaciones de reducción y clasificación de tamaño, en base al balance de masas de la planta de beneficio mineral.**

- ✓ Partiendo de los estudios realizados, y de las características obtenidas en las distribuciones granulométricas, el balance de masa y la eficiencia en el cribado, inicia la evaluación de los puntos críticos de la planta colocando en el diagrama de flujo los puntos a desarrollar en forma de círculos.
- ✓ Se esquematizo la planta en su mínima y en su máxima capacidad, con el fin de evaluar factores de almacenamiento y manejo de materiales que representan aspectos del circuito
- ✓ Todos los factores antes descritos desde el arranque nos indicarán si la generación de finos se genera previa a la planta de beneficio, y posteriormente el balance de masa nos dará datos específicos de las operaciones en cada una de sus etapas, esto junto a las distribuciones granulométricas y la generación de fino por operación nos proveerá una evaluación.

#### **4.3.6 Proponer mejoras a la planta, en función de la evaluación obtenida**

- ✓ Este objetivo está diseñado para desarrollarse en base a la evaluación y el resultado de los ensayos físicos obtenidos de los productos de la cantera. Estas mejoras estarán dispuestas como recomendaciones técnicas basados en dichos ensayos, y se establecerán desde la etapa de la alimentación de la trituradora primaria (tomando en cuenta el primero objetivo de esta investigación).

## CAPÍTULO V -RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la investigación por medio de tablas, gráficos y esquemas, con sus respectivos análisis, a través de los objetivos específicos planteados.

### 5.1 Características físicas del material de entrada.

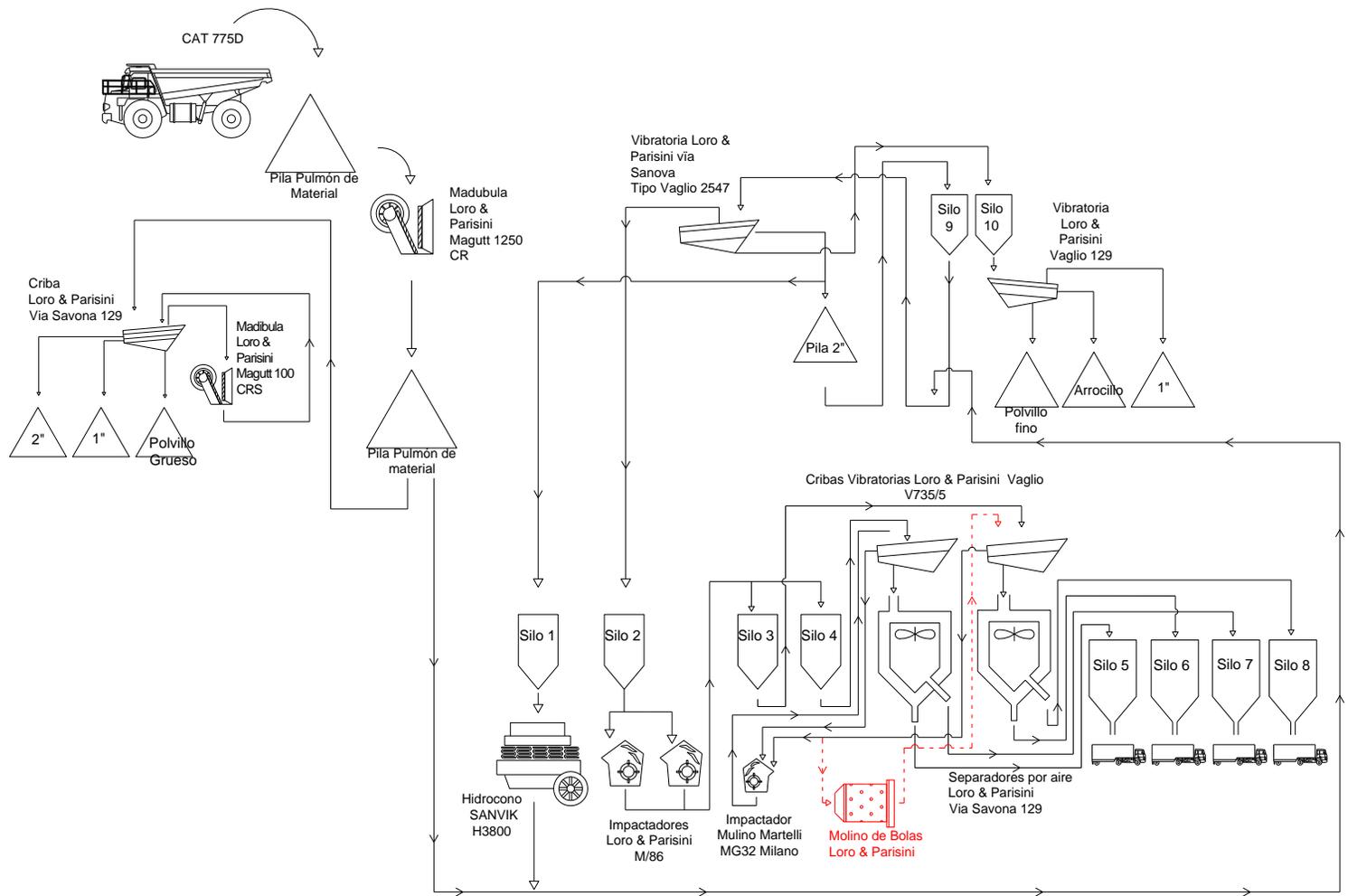
#### 5.1.1 Descripción de la planta de beneficio mineral Agua Viva II

Dentro de la cantera Agua Viva II, existe una planta de beneficio mineral que busca la reducción de tamaño de roca caliza, para ello la cantera cuenta con un circuito que procesa seis (6) diferentes productos comerciales, que se dividen de acuerdo a sus características granulométricas, las cuales están especificadas en la tabla 1.

**Tabla 5.1** – Características comerciales de los productos comerciales de la cantera Agua Viva II. Fuente ARAMICA.

Producto comercial	Tamaño
Piedra N° 2 (#2)	2 ½" > #2 > 1 ½"
Piedra N° 1 (#1)	1 ½" > #1 > ½"
Arrocillo (P)	½ " > A > 5/16"
Polvillo (A)	5/16 < P
Malla 20	860 µm
Malla 200	75 µm

Esta planta de beneficio mineral comprende operaciones de reducción, clasificación y almacenamiento, las cuales están compuestas por trituradoras de mandíbula, trituradoras de impacto, clasificadores de aire, cribas vibratorias y silos de almacenamiento. Al ver la figura 5.1 observamos como cada uno de estos equipos se engranan para lograr los productos comerciales antes descritos, y están dispuestos con el fin de depender el uno de otro.



**Figura 5.1** – Circuito de procesamiento mineral, Cantera Agua Viva II. fuente propia.

Estos equipos y sus respectivas operaciones están conectadas bien sean por bandas transportadoras, elevadores en forma de ductos y tornillos sin fin, que se utilizaron como base para distribuir las etapas en la planta.

Sobre la base de lo antes descrito en la investigación se dividió la planta en 4 circuitos, que ayudan al entendimiento y desarrollo de la evaluación. Cada circuito se separó dependiendo de la línea de producción en la que se desarrolla, y aunque ningún circuito es independiente cada uno tiene una función principal que cumplir dentro de la planta que le da el nombre a la línea de producción.

**Tabla 5.2 – Clasificación en circuitos de la Planta**

<b>Circuito</b>	<b>Línea de Producción</b>	<b>Circuito que alimenta</b>
I	Trituración Primaria	II y III
II	Agregados I	producto comercial
III	Agregados II	IV y producto comercial
IV	Carbonato de CaCO <sub>3</sub>	producto comercial

En la figura 5.2 se especifica cada circuito y su separación en donde el circuito I se toma como la alimentación principal de la planta, es el inicio del procesamiento mineral, los dos continuos inician en operaciones de transporte mediante bandas transportadoras subterráneas y el último inicia por medio de una operación de almacenamiento.

Posteriormente se procederá a describir circuito por circuito y operación por operación, señalando su papel dentro del circuito con el fin de determinar posteriormente la evaluación correspondiente al trabajo.

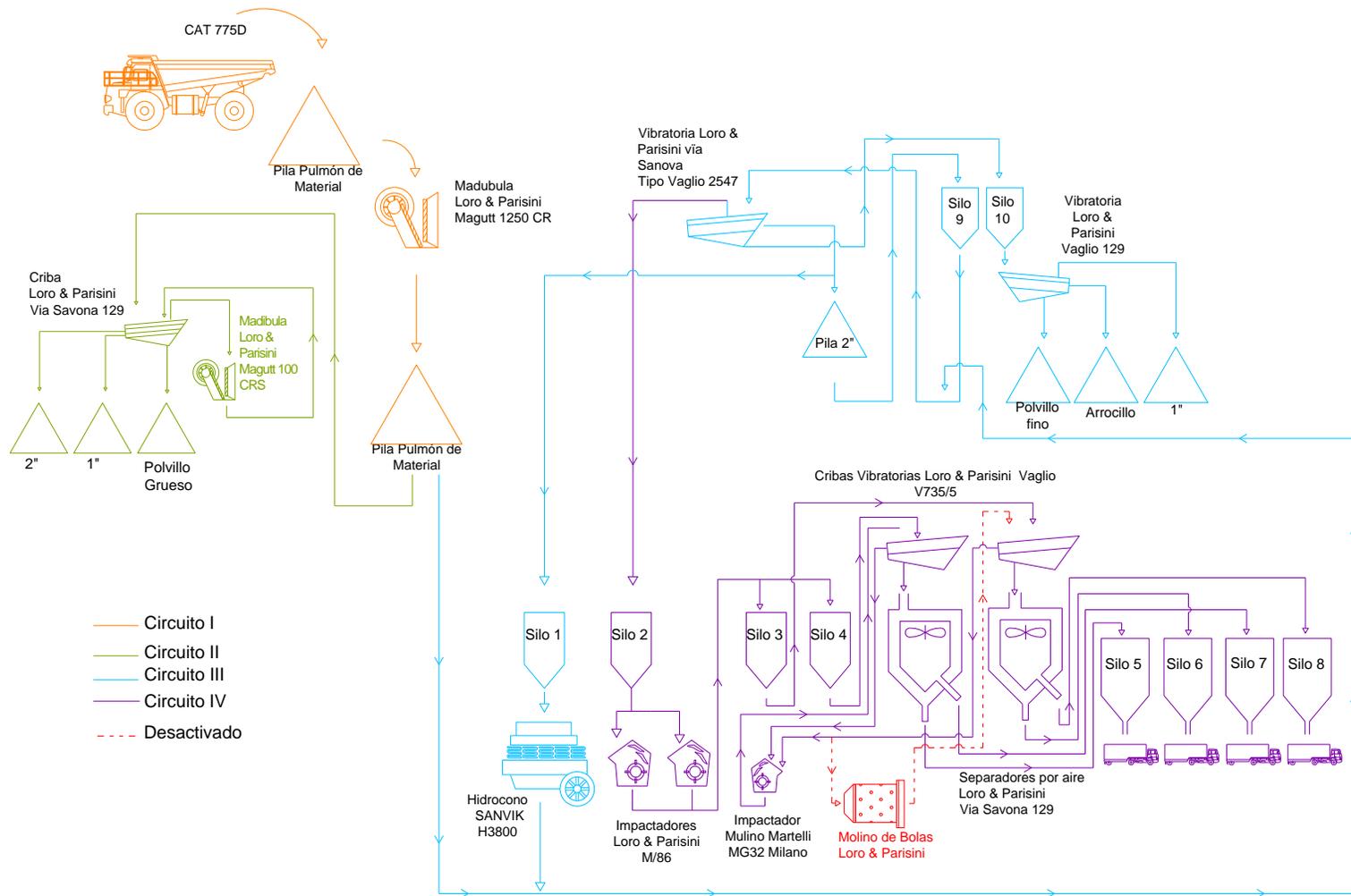


Figura 5.2 – Circuito de procesamiento minera, Cantera Agua Viva II. Dividia por circuitos fuente propia

### 5.1.1.1 Circuito I – Trituración Primaria

Este es el primer circuito de trituración de la planta, es el más sencillo, respecto a las operaciones que realiza, inicia con un camión rockero marca Caterpillar modelo 775D proveniente de mina, que descarga su tolva sobre una pila pulmón de material ubicada en un patio previo a la trituración primaria, esta pila es acondicionada por un cargador frontal marca Caterpillar modelo 980H, una vez allí este equipo descarga el material sobre un alimentador tipo cadena conectado a una trituradora tipo mandíbula (ver figura 5.3) con características de entrada de hasta 49” reduciendo el material entre 4” – 2” (como lo indica la tabla 5.3). Este circuito tiene como fin es generar una pila de material, que a su vez alimenta por medio de una cinta transportadora subterránea los tres circuitos posteriores.



**Figura 5.3** – Trituradora primaria de mandíbula 42”x47” de la planta Agua Viva II ARAMICA

**Tabla 5.3** – Equipos del circuito I

Circuito	Equipo	Marca/Modelo	Equipo que Alimenta	Entrada - Salida
<b>Trituradora Primaria</b>	Trituradora Primaria de Mandíbula	Loro & Parisini Magutt 1250 CR	Pila pulmón del material	42”x47” – 4”x 2”

### 5.1.1.2 Circuito II: Agregados I

Este circuito es alimentado por una cinta transportadora subterránea que proviene de la pila pulmón mineral que produce el circuito I. En la tabla 5.4, se encuentran los equipos del circuito II donde se destacan sus marcas, modelos y alimentación.

Es importante destacar que este es el primer circuito que tiene como productos comerciales la piedra 2", piedra 1" y el polvillo grueso, en la figura 5.4 se muestran fotografías de la estructura, equipos del circuito y sus productos.

**Tabla 5.4 – Equipos del circuito II**

<b>Circuito</b>	<b>Equipo</b>	<b>Marca/Modelo</b>	<b>Equipo que Alimenta</b>	<b>Entrada - Salida</b>
<b>Agregados I</b>	Trituradora secundaria de Mandíbula	Loro & Parisini Magutt 100 CRS	Criba de Agregados Circuito II	40"x 42" 2"x ½"
	Criba Vibratoria	Loro Parisini via sanovia 129 /Tipo Vaglio 555	Pilas de producto comercial 2", 1"	Malla 4" Malla 2" Malla 1"
			Polvillo Grueso	



**Figura 5.4 – A) Circuito II B) Criba vibratoria agregados y trituradora de mandíbula**

En esta planta de agregados existe un circuito cerrado entre la trituradora primaria y la criba, donde las piedras mayores a 4", dado la clasificación de control de tamaño en la criba de agregados, van a una trituradora de mandíbula secundaria. Seguidamente para que los productos comerciales sean apilados, existen bandas transportadoras para los productos 1" y polvillo grueso, mientras que la piedra 2" cae por un ducto que usa la gravedad para apilar este material.

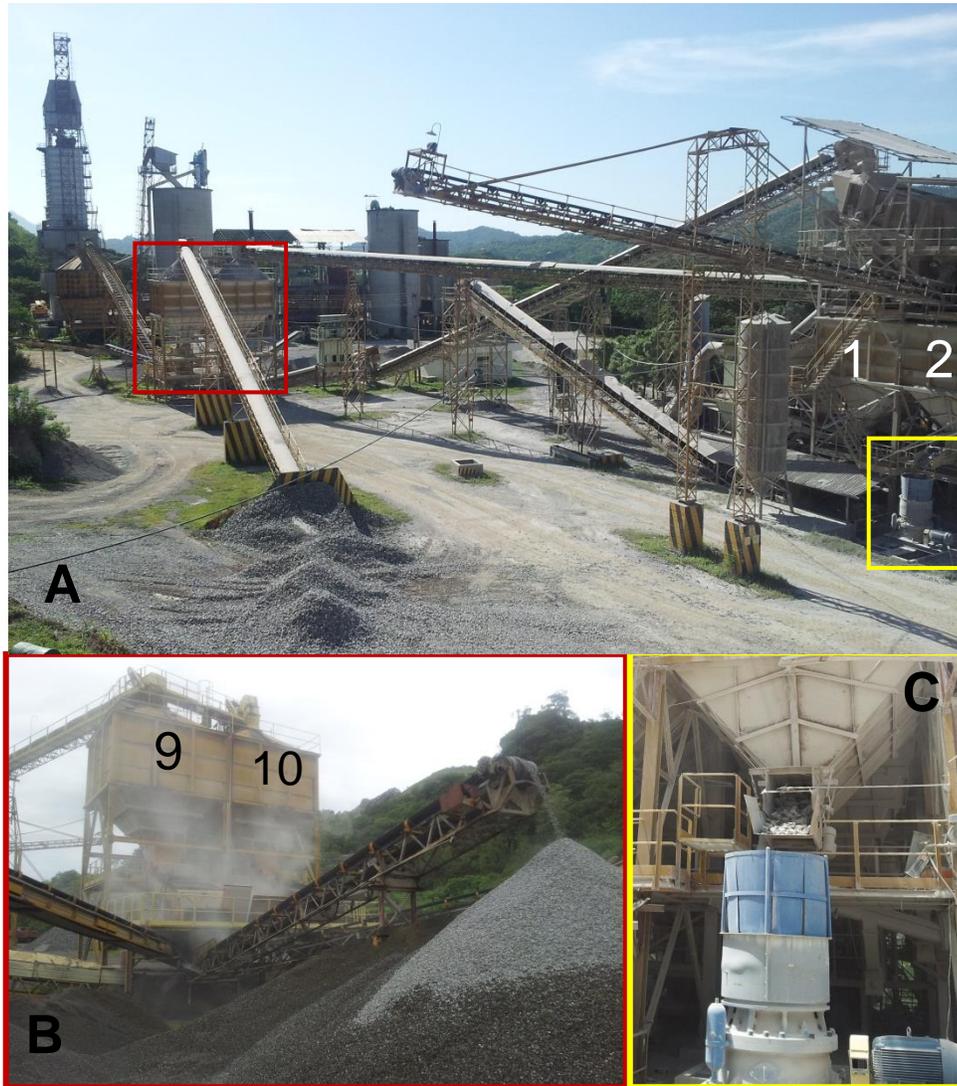
### 5.1.1.3 Circuito III – Planta de Agregados II:

Esta planta de agregados se alimenta por la segunda banda subterránea que proviene de la pila pulmón del circuito I, que a diferencia de la planta de agregados I, se encarga de suministrar material al circuito III y IV. El material de esta pila pulmón por medio de una criba vibratoria, clasifica el material según las dimensiones de las mallas del equipo, las cuales son 2" y 4", siendo almacenados en los silos 1 y 2 respectivamente.

El material del silo 1 es para el circuito IV, y él del silo 2 es la alimentación hacia la planta de agregados de este circuito. La tabla 5.5 esquematiza lo descrito anteriormente, indicando los equipos, marcas y alimentación. En la figura 5.5 se puede ver en detalle la ubicación de los silos y los equipos de fragmentación y clasificación.

**Tabla 5.5 – Equipos que conforman el circuito III.**

Circuito	Equipo	Marca/Modelo	Equipo que Alimenta	Entrada Salida
Agregados II	Criba Vibratoria de agregados	Loro Parisini via sanovia 129 /Tipo Vaglio 555	Pilas de material comercial	Malla ½" Malla 5/16"
	Criba Vibratoria	Loro Parisini Via sanovia 128/ Tipo vibrante vaglio 2547	Pila 2"/Silo 1 /Silo 2/Silo 10	Malla 4" Malla 2"
	Cono Hidráulico	SANVIK H3800 EC32	Cinta transportadora subterránea 02	4"- (1"-5/16")



**Figura 5.5 – A) Vista de la Planta, señalando silo 1 y 2, B) Planta de Agregados II con los silos 9 y 10, C) Cono que alimenta el circuito III**

Para entrar en la planta de agregados de este circuito, el silo 2 almacena el material y alimenta a un cono hidráulico (ver figura 5.5-C) que tritura el material entre 1" – ½", por medio de una banda transportadora el material es trasladado al silo 9 (ver figura 5.5-B) que descarga en una criba, que llamaremos "criba de agregados" que clasifica este material en los productos 1", arrocillo y polvillo fino , mientras que el silo 10 se llena de la piedra 2" que produce este circuito, para funcionar como alimentación del circuito IV en el turno nocturno.

#### 5.1.1.4 Circuito IV – Planta de Carbonato $\text{CaCO}_3$ :

La planta de carbonato representa el último circuito de la planta de la cantera, y presenta una infraestructura (ver figura 5.6) con tres niveles, donde contempla 4 operaciones principales, trituración secundaria y terciaria, clasificación, transporte y almacenamiento. Cada una de estas etapas, desde que el material entra a la planta, están dispuestas para la producción de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en sus presentaciones de malla 20 y malla 200, las que están destinadas según el departamento de comercialización de la empresa para las industrias del vidrio, las pinturas y cerámica.



**Figura 5.6** – Planta de Carbonato de Calcio

Esta planta está conectada por elevadores y/o tornillos sin fin que son funcionales para aprovechar la infraestructura de la planta. La planta de carbonato cuenta con los siguientes equipos:

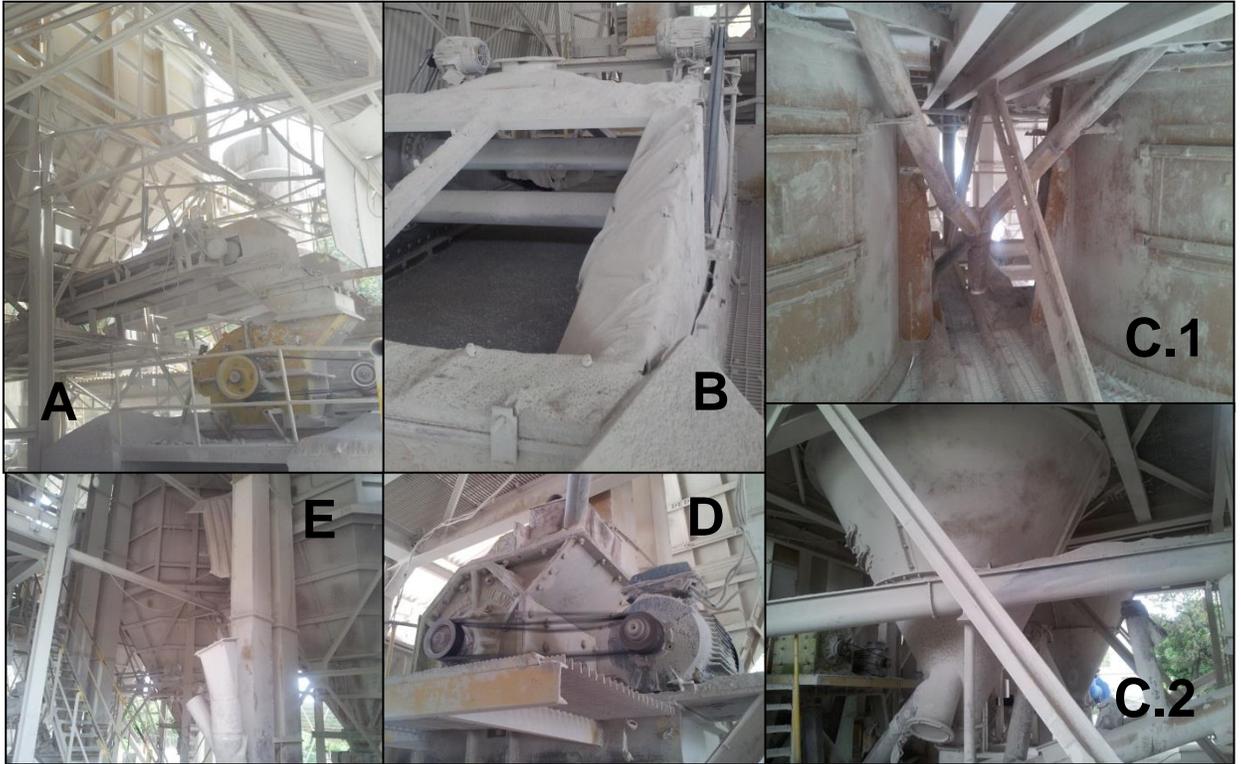
**Tabla 5.6 – Equipos que conforman el circuito IV**

Circuito	Equipo	Tipo	Marca/Modelo	Equipo que Alimenta	Entrada Salida
Carbonato	Criba 01	Vibratoria	Loro Parisini Via Savona /Tipo Vaglio V735/5	Separador 1	Malla 20
	Criba 02	Vibratoria	Loro Parisini Via Savona 129/Tipo Vaglio V735/5	Separador 2	Malla 20
	Separador 01	Isodrómico /Separador de Aire	Loro Parisini Via Savona 129/Tipo Vaglio V735/5	Silo 5 y Silo 7	Malla 20 Malla 200
	Separador 02	Isodrómico/ Separador de Aire	Loro Parisini via savona 129 /Tipo Separador de aire	Silo 6 y silo 8	Malla 20 Malla 200
	Trituradora 1	Impacto	Magutt Loro Parisini Mulino M/86	Criba 1	2" – (1/2" - 500µm)
	Trituradora 2	Impacto	Magutt Loro Parisini Mulino M/86	Criba 2	2" – (1/2"- 500µm)
	Trituradora 3	Impacto	Molino Martelli MG32/Milano	Cribas 1 y 2	1/2" – (100 µm-75 µm)

A diferencia de los circuitos anteriores este trabaja 24 horas con tres turnos de 8 horas cada uno, lo que hace de gran importancia que el silo 10, que es alimentado por el circuito III de piedra 2", asegurando la producción de la planta de carbonato durante los turnos nocturnos. Así mismo, la planta está diseñada para recibir entre 120 – 200 tn al día, que estará determinado por las condiciones de lluvia de la zona.

Este circuito es el que cuenta con más equipos que el resto y al ser el que tiene más turnos representa el circuito con la mayor supervisión a lo largo de sus operaciones. Estas inician en el silo 1 que alimentan los trituradores de impacto secundarias, seguidamente van a las cribas de clasificación de tamaño, el retenido en la malla 20 va hacia una trituración de impacto terciaria y lo que es pasante a esta malla va hacia los clasificadores isodrómicos que

separan las partículas y los mandan hacia los silos de almacenamiento 5, 6, 7 y 8 para su comercialización. Este procedimiento se puede ver en la figura 5.7

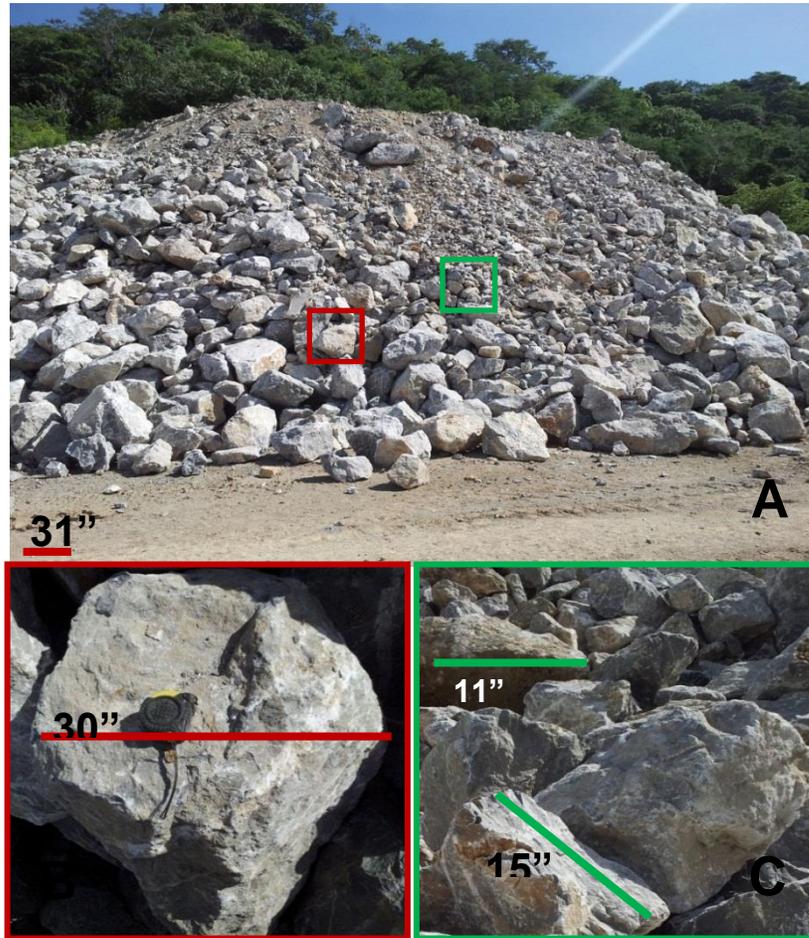


**Figura 5.7** – Operaciones de la planta de Carbonato, A) Trituradores de Impacto secundaria en paralelo, B) Criba Vibratoria, C.1) Separadores Isodrómicos parte superior, C.2) Separadores Isodrómicos parte inferior, D) Trituradora de Impacto terciaria, E) Silos de Almacenamiento Malla 20 y Malla 200.

Dentro de este circuito existe adicional a la trituradora de impacto terciaria un molino de bolas que se encuentra deshabilitado, por falta de mantenimiento. Lo que funcionó como una trituración terciaria en paralelo, ahora solo es manejada por el Impactador terciario.

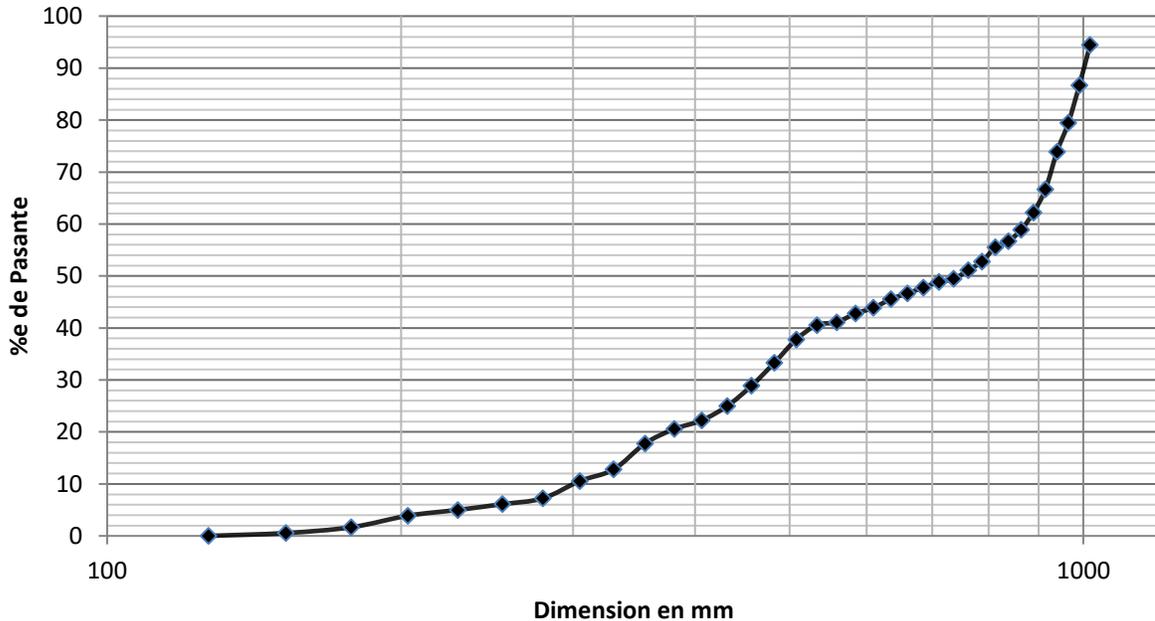
### 5.1.2 Dimisiones del material de alimentación de la planta

La alimentación de la planta de beneficio mineral de Agua Viva II está ligada al acarreo de un camión CAT 775D, estos descargan en una pila pulmón que alimenta la trituradora primaria de mandíbula.



**Figuras 5.8** – Distribución de tamaño de la pila de alimentación, A) Pila Pulmón B) Bloques Grandes C) Bloques medianos

Al utilizar el software libre de definición de dimensiones digitales, obtenemos la siguiente distribución en la figura 5.9.



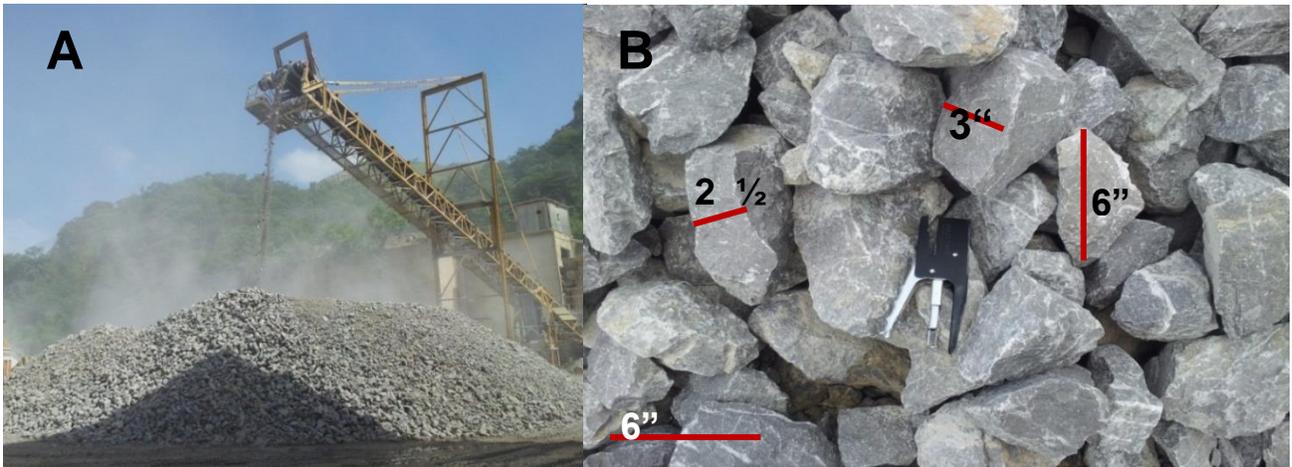
**Figura 5.9** – Distribución granulométrica para la pila pulmón material de alimentación

Aquí se puede observar que el  $D_{80}$  está acorde con la abertura de entrada de la mandíbula 42"x47" (1066 mm x 1193 mm), sin embargo, existe una cantidad importante correspondiente a un 40 % de la distribución en la alimentación que corresponde a granulometría a menor dimensión.

## 5.2 Distribución granulométrica actual de los equipos de trituración de tamaño de la planta de beneficio mineral

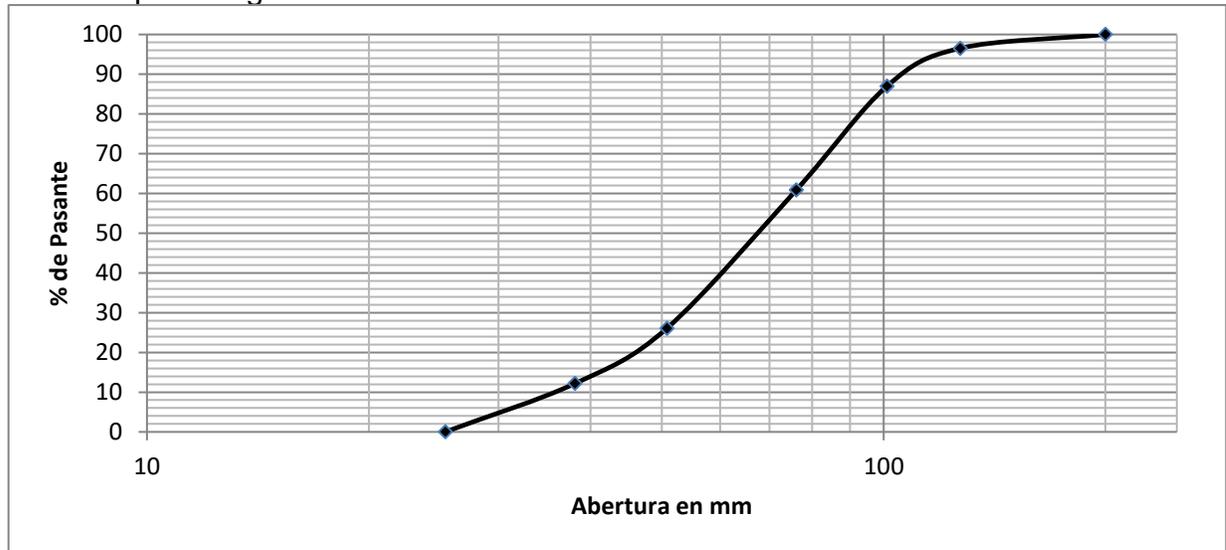
### 5.2.1 Circuito I

La descarga de la trituradora de mandíbula principal corresponde a la pila de pulmón material, que alimenta a los circuitos aguas abajo. En la figura 5.9 veremos la pila de material y una muestra fotográfica de los bloques que contienen en un 60% esta pila de material (ver figura 5.9 B)



**Figura 5.10** – Granulometría de entrada del material circuito II, A) Pila de material B) Mediciones de bloques en la pila

De igual forma al usar la herramienta computarizada para el desarrollo de la granulometría se obtuvo la siguiente distribución para esta granulometría esta dado por la siguiente curva



**Figura 5.11** – Granulometría de la Pila generada por la trituración primaria

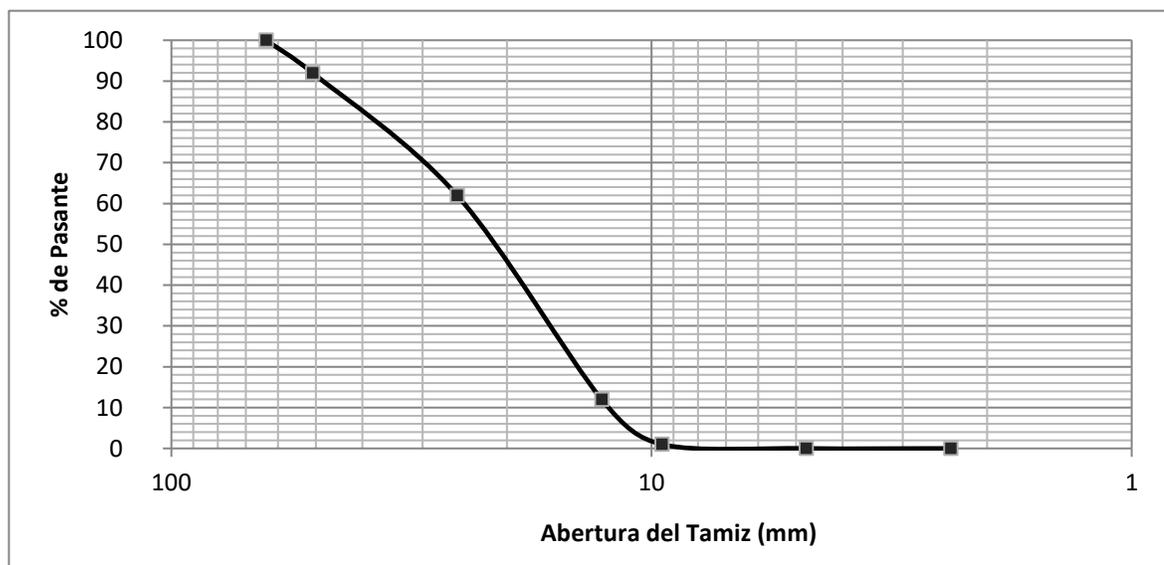
Para la figura 5.11 para el  $D_{80}$  en el porcentaje de pasante está definida por 5", aquí las partículas iguales a 2" representa un 34% de la distribución, la cual es el mayor porcentaje de material existente en el muestreo.

### 5.2.2 Circuito II

Este circuito tiene una trituración secundaria tipo mandíbula, para este equipo ingresan bloques provenientes de la pila pulmón material como resultado del circuito en la tabla 5.8 la distribución la trituradora de mandíbula obtiene un 3% en materiales iguales 2", mientras que su  $D_{80}$  está ubicado entre 2" y 1" (ver figura 5.10) lo que deja a las partículas entre 1" y 3/8" en el restante 74%, esta mandíbula está generando material para los productos comerciales, piedra 1" y arrocillo. Dado estos números para este equipo no existe una generación de partículas menores a malla 4 mm

**Tabla 5.8** - Distribución granulométrica. Descarga de la mandíbula, circuito II

Malla		Retenido			Pasante
Nº	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
2"	50,8	80	8	8	92
1"	25,4	300	30	38	62
1/2"	12,7	500	50	88	12
3/8 "	9,51	110	11	99	1
4	4,76	10	1	100	0



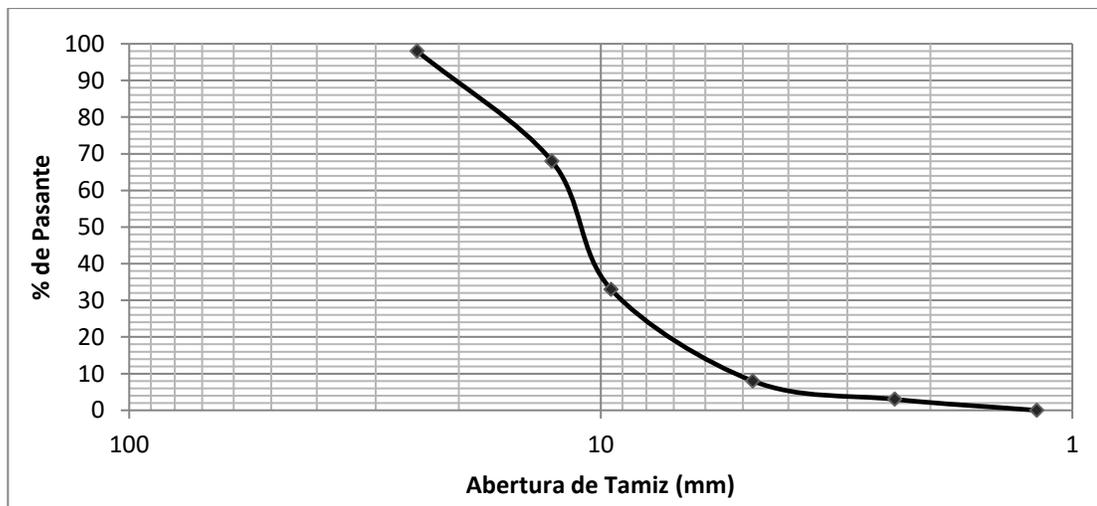
**Figura 5.10** – Gráfica granulométrica de la descarga de la mandíbula circuito II

### 5.2.3 Circuito III

Para la trituración en este circuito se tiene un cono hidráulico, que funciona como generador de agregados en la planta de este circuito, según la tabla 5.9 la generación de partículas menores a 2,38 mm representa, para este caso, un 8%, que contrarrestando el 80% de material comprendido entre 12,7 mm y 4 mm, entonces se considera un porcentaje despreciable de partículas generadas por este equipo

**Tabla 5.9** – Distribución Granulométrica descarga Cono circuito III

Malla		Retenido			Pasante
Nº	(mm)	g	%	% Acumulado	%Acumulado
1"	24,5	20	2	2	98
1/2"	12,7	300	30	32	68
3/8 "	9,51	350	35	67	33
4	4,76	250	25	92	8
8	2,38	50	5	97	3
16	1,19	30	3	100	0



**Figura 5.11** – Distribución Granulométrica de la descarga del cono hidráulico. Circuito III.

Por otra parte al observar la figura 5.11 el  $D_{80}$  no logra alcanzar granulometrías de 1", es aquí donde notamos la diferencia entre las plantas de agregados, además de su porcentaje de 80% de pasante, en el circuito III se genera un polvillo que es un producto distinto, que entra dentro del agregado fino, pero que no llega a dimensiones menores a 1 mm.

Con esto aseguramos que para los circuitos que generan agregados como producto comercial, no existe la presencia de partículas menores a 75  $\mu\text{m}$ , dentro de sus operaciones de trituración.

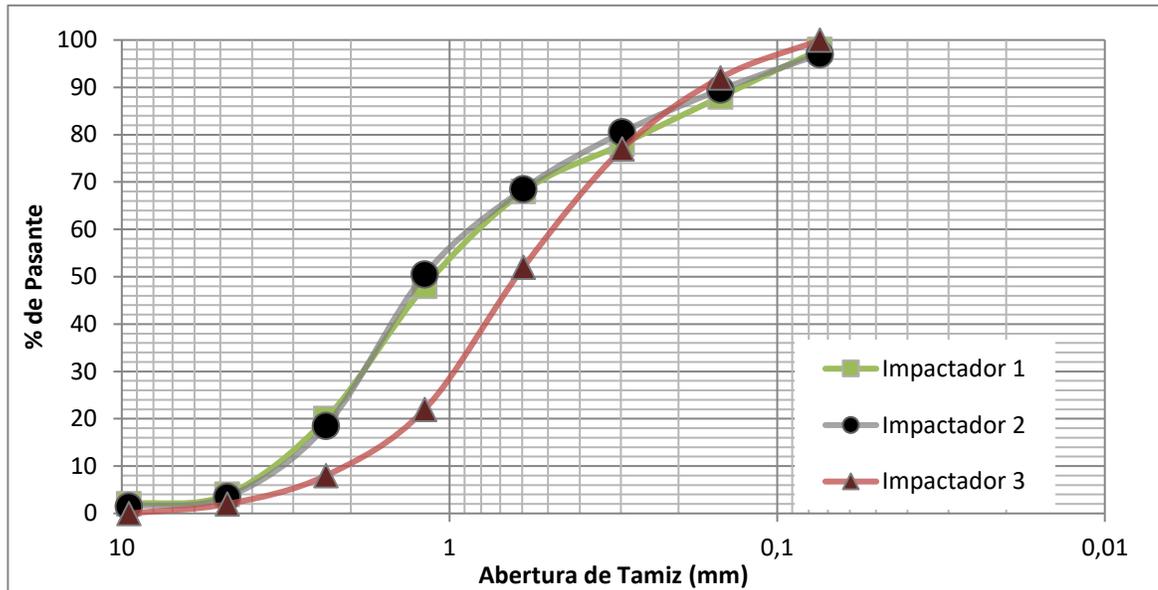
#### **5.2.4 Circuito IV**

La planta de carbonato está compuesta por tres trituradores de impacto, dos de ellas en paralelo al inicio del circuito y la última se utiliza como una trituración terciaria. La forma de ingreso del material para los equipos en paralelo viene desde el silo 1, mientras que para la terciaria viene de un ducto que funciona por gravedad.

Para los trituradores de impacto que trabajan en paralelo, su distribución es la similar ya que es el mismo equipo, tal y como lo vemos en la gráfica 5.12. Uno de los aspectos importantes a señalar para ambas curvas es la presencia de partículas menores a 0,595 mm, que abarca más del 50% de su curva aproximadamente, y se empieza a tener registro de partículas de 75  $\mu\text{m}$ , pero además existe entre 2% y 5% la presencia de partículas aun de menor dimensión a la antes mencionada.

Por último tenemos a la fragmentación terciaria, que es realizada por otro triturador de impacto, de acuerdo a esta distribución este equipo genera un porcentaje de partículas mayores a 1,19 mm correspondiente al 22%, mientras que el resto de las partículas que van desde 0,595 mm hasta menores de 75  $\mu\text{m}$  comprenden el restante 78%. Estos dos números nos indican que existe un 22% de las partículas que deberían ser trituradas a un menor tamaño, y

que al ingresar nuevamente a la criba harán el recorrido hacia esta trituradora, mientras que dentro del 78% restante no hay registro de partículas menores a 75  $\mu$ m.



**Figura 5.12** – Distribución granulométrica de los equipos de trituración del circuito IV

Recordamos que en este circuito se tienen 4 equipos de trituración, pero el molino de bolas está inhabilitado por falta de mantenimiento. Solo dos de los equipos operativos ellos generan los finos menores a 75  $\mu$ m, los que están ubicados al inicio del circuito y trabajan en paralelo, estos finos pasan directo por la malla de las cribas y son dirigidos hacia los separadores isodrómicos.

## **5.3 Calcular la eficiencia de los equipos de clasificación por obstáculos e isodrómicos**

### **5.3.1 Análisis de la distribución granulométrica**

#### **5.3.1.1 Circuito II**

Para la criba de agregados del circuito II, encontramos un alto porcentaje de partículas que van desde los 10 mm hasta los 100mm aproximadamente, estas curvas corresponden a la granulometría de los productos comerciales generados por este circuito.

La importancia de que estas mallas sean eficientes está relacionada con la calidad granulométrica de los productos comerciales, al pasar por cada salida notamos que por ejemplo para el producto comercial de 2" el  $D_{80}$  se ve representado por 1 ½", seguidamente para el arrocillo el  $D_{80}$  lo marca la medida de ½ ", y por último el polvillo grueso corresponde a 2,38 mm. Sin embargo dentro de las características de los productos comerciales según la empresa las dimensiones antes descritas están consideradas dentro de los productos comerciales.

A este punto la eficiencia del cribado para estos agregados, se está viendo afectado por el porcentaje de partículas que recirculan las operaciones, hasta que las mismas logran bien sea fracturarse, o acertar la probabilidad de paso por la malla en la que se ubique. Al momento del cálculo de la eficiencia se verán reflejados estos valores.

**Tabla 5.10** – Distribución granulométrica del material de alimentación de la criba de agregados

<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>Nº</b>	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
<b>6</b>	200	0	0	0,0	100,0
<b>5</b>	127	200	3,33	3,3	96,7
<b>4</b>	101	550	9,17	12,5	87,5
<b>3</b>	76,1	1500	25,00	37,5	62,5
<b>2</b>	50,8	2000	33,33	70,8	29,2
<b>1 1/2</b>	38,1	800	13,33	84,2	15,8
<b>1"</b>	25,4	700	11,67	95,8	4,2
<b>1/2"</b>	12,7	200	3,33	99,2	0,8
<b>3/8 "</b>	9,51	30	0,50	99,7	0,3
<b>4</b>	4,76	20	0,33	100,0	0,0

**Tabla 5.11** – Distribución granulométrica del material retenido Malla 4"

<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>Nº</b>	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
<b>6</b>	152	0	0	0	100
<b>5</b>	127	2000	40	40	60
<b>4</b>	101	1500	30	70	30
<b>3</b>	76,1	1300	26	96	4
<b>2</b>	50,8	200	4	100	0
<b>1 1/2</b>	38,1	0	0	100	0

**Tabla 5.12** – Distribución granulométrica del material retenido malla 2"

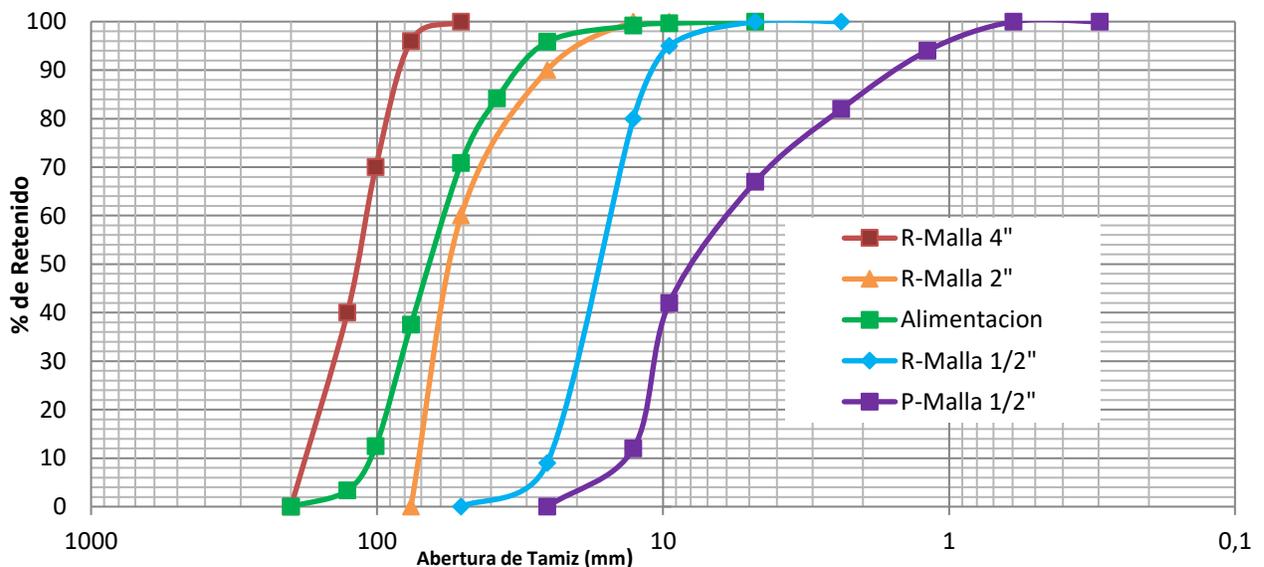
<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>Nº</b>	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
<b>3</b>	76,1	0	0	0	100
<b>2"</b>	50,8	600	60	60	40
<b>1"</b>	25,4	300	30	90	10
<b>1/2"</b>	12,7	100	10	100	0
<b>3/8 "</b>	9,51	0	0	100	0

**Tabla 5.13–** Distribución granulométrica del material retenido malla 1/2"

Malla		Retenido			Pasante
Nº	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
2"	50,8	0	0	0	100
1"	25,4	90	9	9	91
1/2"	12,7	710	71	80	20
3/8 "	9,51	150	15	95	5
4	4,76	50	5	100	0

**Tabla 5.14 –** Distribución granulométrica del material pasante malla 1/2"

Malla		Retenido			Pasante
Nª	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
1"	25,4	0	0	0	100
1/2"	12,7	120	12	12	88
3/8 "	9,51	300	30	42	58
4	4,76	250	25	67	33
8	2,38	150	15	82	18
16	1,19	120	12	94	6
30	0,595	60	6	100	0



**Figura 5.13 –** Distribución granulométrica de la criba de la planta de agregados I

### 5.3.1.2 Circuito III

Ya que en esta planta de agregados los productos corresponden a piedra 1", arrocillo y el polvillo, podemos ver en sus distribuciones granulométricas que el  $D_{80}$  para la salida de 1" sería de  $\frac{1}{2}$ ", mientras que para el arrocillo fino el valor está en una dimensión menor a  $\frac{1}{2}$ " y para el polvillo este valor es de  $\frac{3}{8}$ ", todos estos valores podemos apreciarlos en la tablas figura 5.13, ubicando todas las curvas en una gráfica. Además, podremos notar a partir de la tabla 5,18 hasta la 5.21 las distribuciones en donde corroboramos lo antes descrito.

**Tabla 5.15** –Distribución granulométrica de la Alimentación de la Criba de Agregados

Malla		Retenido			Pasante
N <sup>a</sup>	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
2"	50,8	0	0	0	100
1"	24,5	350	35	35	65
1/2"	12,7	350	35	70	30
3/8 "	9,51	250	25	95	5
4	4,76	50	5	100	0

**Tabla 5.16** – Distribución granulométrica del material retenido Malla 1"

Malla		Retenido			Pasante
N <sup>a</sup>	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
1"	25,4	120	12	12	88
1/2"	12,7	780	78	90	10
3/8 "	9,51	100	10	100	0
4	4,76		0	100	0

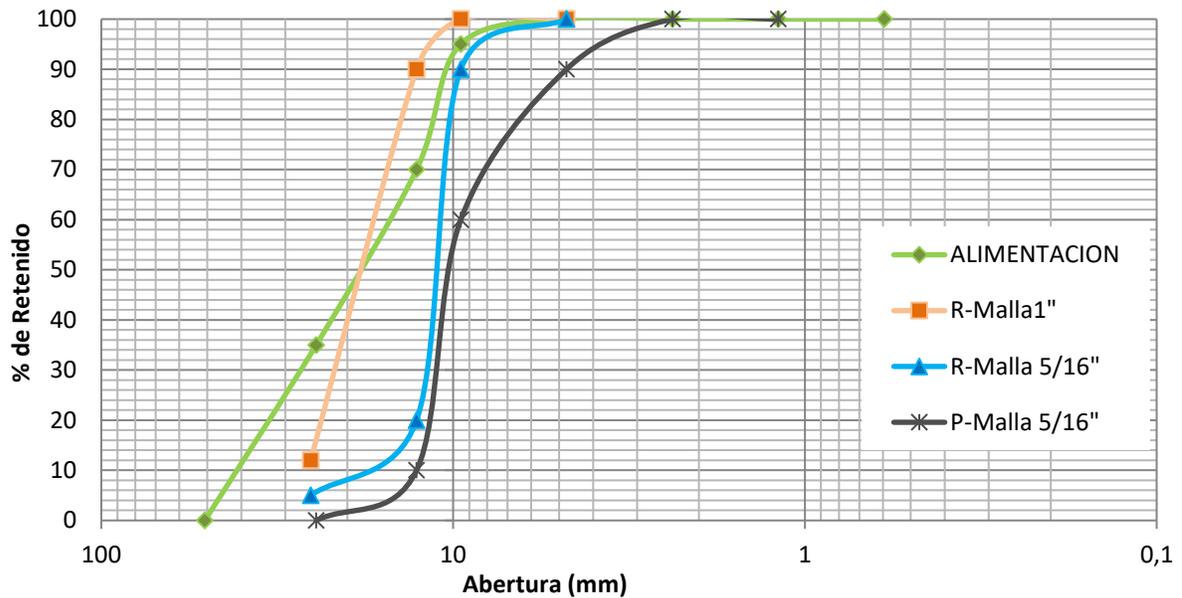
**Tabla 5.17 – Distribución granulométrica del material retenido Malla 5/16”**

<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>N<sup>a</sup></b>	<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>1"</b>	25,4	50	5	5	95
<b>1/2"</b>	12,7	150	15	20	80
<b>3/8 "</b>	9,51	700	70	90	10
<b>4</b>	4,76	100	10	100	0
<b>8</b>	2,38		0	100	0

**Tabla 5.18 – Distribución granulométrica del material pasante Malla 5/16”**

<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>N<sup>a</sup></b>	<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>1"</b>	24,5	0	0	0	100
<b>1/2"</b>	12,7	100	10	10	90
<b>3/8 "</b>	9,51	500	50	60	40
<b>4</b>	4,76	300	30	90	10
<b>8</b>	2,38	100	10	100	0
<b>16</b>	1,19	0	0	100	0

La particularidad de este cribado está en que la alimentación viene por medio de un silo de almacenamiento, enumerado como silo 9, mientras que la anterior proviene directo de la fragmentación de la trituradora de mandíbula en circuito cerrado. Este silo al ser alimentado desde la criba que previamente describimos como “criba principal” asegura que no existan tamaños mayores a 2”, dentro de la distribución de alimentación



**Figura 5.14** – Distribución granulométrica para la criba de agregados en el circuito III

### 5.3.1.3 Circuito IV

La planta de carbonato tiene los equipos de clasificación, trabajando en paralelo tanto los isodrómicos como los de obstáculos. Aquí previamente señalamos como los equipos de trituración secundaria generaban partículas menores a  $75\mu\text{m}$ , y al observar las tablas desde la tabla 5.22 hasta la 5.24 y la 5.25 hasta 5.27 correspondientes a ambas la criba 1 y a la criba 2 respectivamente notamos estos finos pertenecen al porcentaje de pasante de la malla 16. Para ambas cribas existe un pasante de  $75\mu\text{m}$  de aproximado de 20%.

**Tabla 5.19** – Distribución granulométrica de la alimentación de la Criba 01

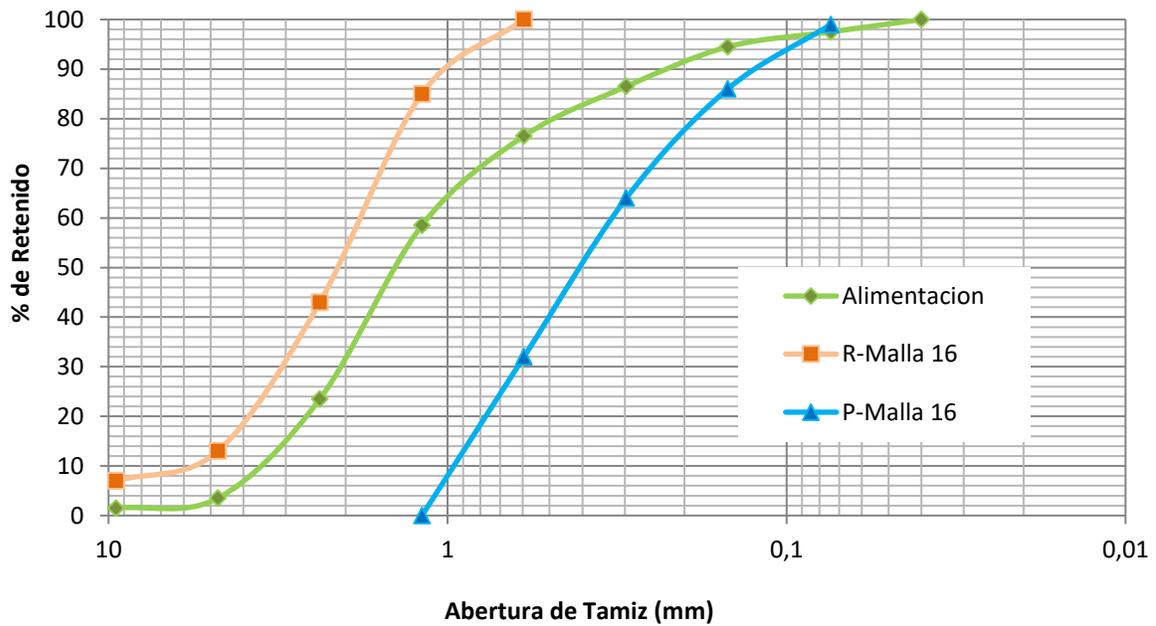
<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>Nº</b>	<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>3/8</b>	9,51	15	1,5	1,5	98,5
<b>4</b>	4,76	20	2	3,5	96,5
<b>8</b>	2,38	200	20	23,5	76,5
<b>16</b>	1,19	350	35	58,5	41,5
<b>30</b>	0,595	180	18	76,5	23,5
<b>50</b>	0,297	100	10	86,5	13,5
<b>100</b>	0,149	80	8	94,5	5,5
<b>200</b>	0,074	30	3	97,5	2,5
		25	2,5	100	0

**Tabla 5.20** – Distribución granulométrica del retenido Malla 16 para la Criba 01

<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>Nº</b>	<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>3/8</b>	9,51	70	7	7	93
<b>4</b>	4,76	60	6	13	87
<b>8</b>	2,38	300	30	43	57
<b>16</b>	1,19	420	42	85	15
<b>30</b>	0,595	150	15	100	0

**Tabla 5-21** – Distribución granulométrica del pasante Malla 16 para la Criba 01

<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>Nº</b>	<b>mm</b>	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>% Acumulado</b>	<b>% Acumulado</b>
<b>30</b>	0,595	320	32	32	68
<b>50</b>	0,297	320	32	64	36
<b>100</b>	0,149	220	22	86	14
<b>200</b>	0,074	130	13	99	1
		10	1	100	0



**Figura 5.15–** Distribución granulométrica Criba vibratoria 1

**Tabla 5.22 –** Distribución granulométrica de la alimentación de la Criba 02.

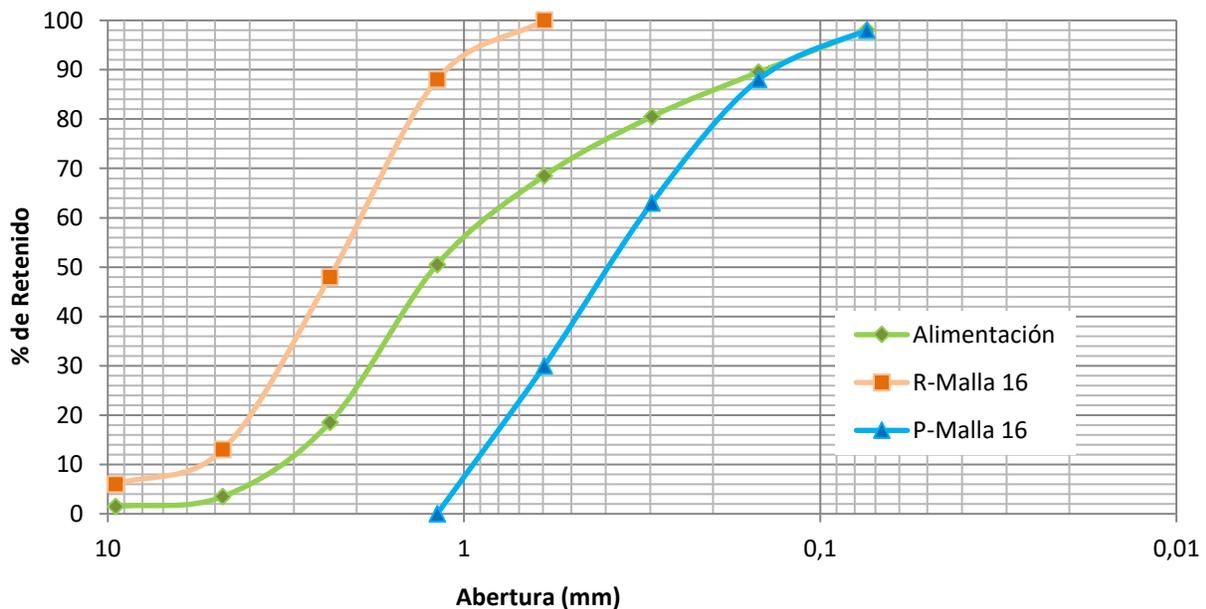
Malla		Retenido		Pasante
Nº	mm	g	%	% Acumulado
3/8	9,51	15	1,5	98,5
4	4,76	20	2	96,5
8	2,38	150	15	81,5
16	1,19	320	32	49,5
30	0,595	180	18	31,5
50	0,297	120	12	19,5
100	0,149	90	9	10,5
200	0,074	85	8,5	2
		20	2	0

**Tabla 5.23** – Distribución granulométrica del retenido malla 16 para Criba 2

Malla		Retenido		Pasante	
Nº	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
3/8	9,51	60	6	6	94
4	4,76	70	7	13	87
8	2,38	350	35	48	52
16	1,19	400	40	88	12
30	0,595	120	12	100	0

**Tabla 5-24** – Distribución granulométrica del pasante malla 16 para Criba 2

Malla		Retenido		Pasante	
Nº	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
30	0,595	300	30	30	70
50	0,297	330	33	63	37
100	0,149	250	25	88	12
200	0,074	100	10	98	2
		20	2	100	0



**Figura 5.16** – Distribución granulométrica Criba vibratoria 2

Por otra parte, en los separadores isodrómicos conocemos que la alimentación corresponde a la distribución del pasante de la malla 16, de la criba que le corresponde, seguido de sus salidas internas y externas. Notamos que en la salida externa la tabla 5.27 y 5.29 la distribución es notablemente pasante partículas menores a la malla 200, por lo que no podemos desarrollar una curva de distribución en ningún caso

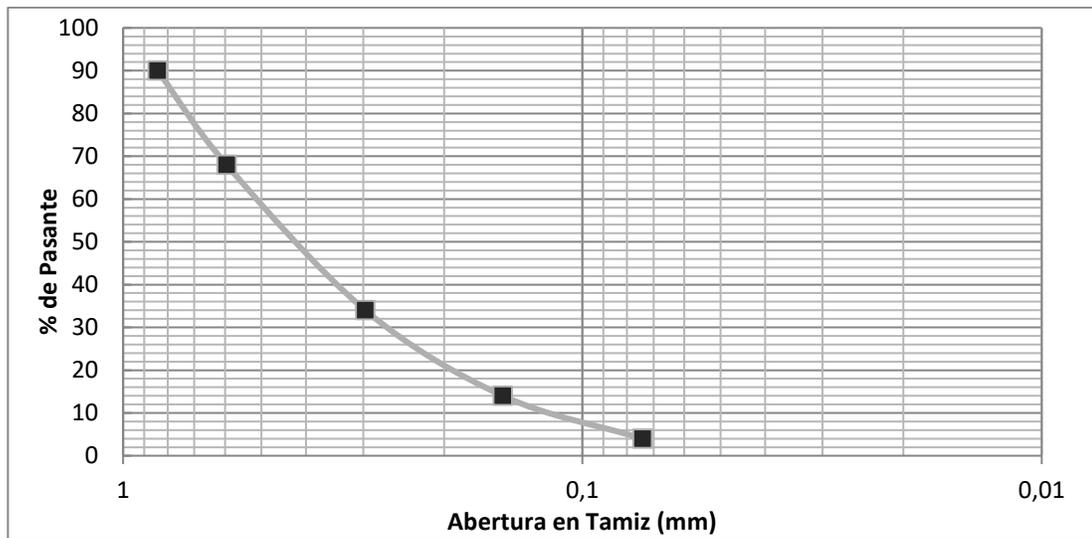
Aunado a esto en las tablas 5.26 y 5.28 y en las figuras 5.17 y 5.18 correspondiente a los separadores 1 y 2 respectivamente tablas y gráficas, nos muestran que en su  $D_{80}$  se ve reflejado el tamaño de malla 20, que corresponde para ambos casos a la dimensión del producto comercial de carbonato de calcio que ofrece la empresa.

**Tabla 5.25** – Distribución granulométrica del separador 1 salida interna

<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>Nº</b>	mm	g	%	% Acumulado	%Acumulado
<b>16</b>	1,19		0		
<b>20</b>	0,841	120	12	12	88
<b>30</b>	0,595	140	14	26	74
<b>50</b>	0,297	400	40	66	34
<b>100</b>	0,149	220	22	88	12
<b>200</b>	0,074	120	12	100	0

**Tabla 5.26** - Distribución granulométrica Separador 1 Salida Externa

<b>Malla</b>		<b>Retenido</b>			<b>Pasante</b>
<b>Nº</b>	mm	g	%	% Acumulado	% Acumulado
<b>200</b>	0,074	20	7	7	93
		280	93	100	0



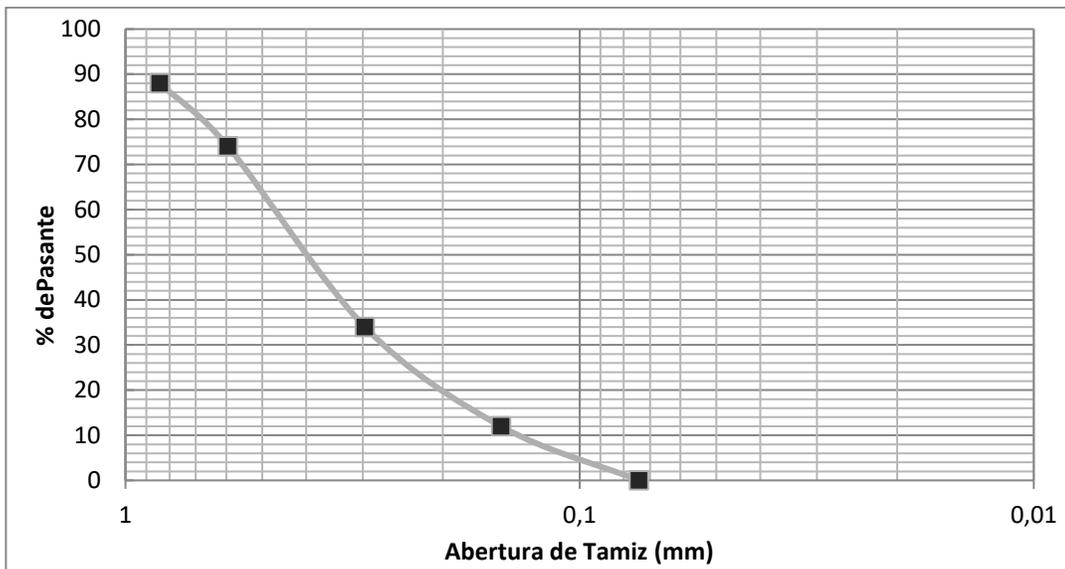
**Figura 5.17** – Distribución granulométrica de la salida interna separador 1

**Tabla 5.27** - Distribución granulométrica Separador 2 Salida interna

Malla		Retenido		Pasante
Nº	mm	g	%	% Acumulado
20	0,841	120	12	12
30	0,595	140	14	26
50	0,297	400	40	66
100	0,149	220	22	88
200	0,074	120	12	100

**Tabla 5.28** - Distribución granulométrica Separador 2 Salida Externa

Malla		Retenido		Pasante
Nº	mm	g	%	% Acumulado
100	0,149	0	0	0
200	0,074	60	6	20
		240	24	80



**Figura 5.18** –Distribución granulométrica de la salida interna separador 2

Para el segundo producto comercial de este circuito, el cual es malla 200 con una dimensión de 75  $\mu\text{m}$ , la distribución es realmente alarmante, en donde un 80% de pasante corresponde a la granulometría menor a esta malla, lo que no corresponde a las características comerciales del producto que genera la empresa.

### 5.3.2 Calculo de la eficiencia de los equipos

Para la eficiencia utilizamos las formulas IV y VII y obtuvimos el siguiente cuadro

**Tabla 5.29** – Eficiencia de los equipos de clasificación

Circuito	Equipo	Eficiencia
<b>Agregados I</b>	Criba Vibratoria	78%
<b>Agregados II</b>	Criba Vibratoria	65%
	Criba Vibratoria 01	69%
	riba Vibratoria 02	75%
<b>Carbonato</b>	Separador isodrómico 01	66%
	Separador isodrómico 02	77%

La eficiencia para los separadores por obstáculos se basa en el porcentaje de retenido de la masa a clasificar, entonces en base a esto existe la posibilidad que existan factores como obstrucción, las características del material o el movimiento de la criba estén afectando la efectividad de las cribas para considerar un valor de mínimo 80% de eficiencia.

Seguidamente en los separadores isodrómicos existe aún otro aspecto, ya que está involucrada la influencia factores como la viscosidad, la temperatura y la altura a la que se alimenta el gas que realiza la separación, en todas estas existe una mayor fuerza de arrastre mayor que se debe ejercer sobre la partícula para ser clasificada. Por otra parte al existir partículas de menor granulometría a la debida según el producto comercial, la densidad de las partículas de menor dimensión aumenta, lo que ayuda en la separación de estas partículas más pequeñas, encontrando todas estas partículas menores e iguales a 75µm presentes en el producto comercial malla 200.

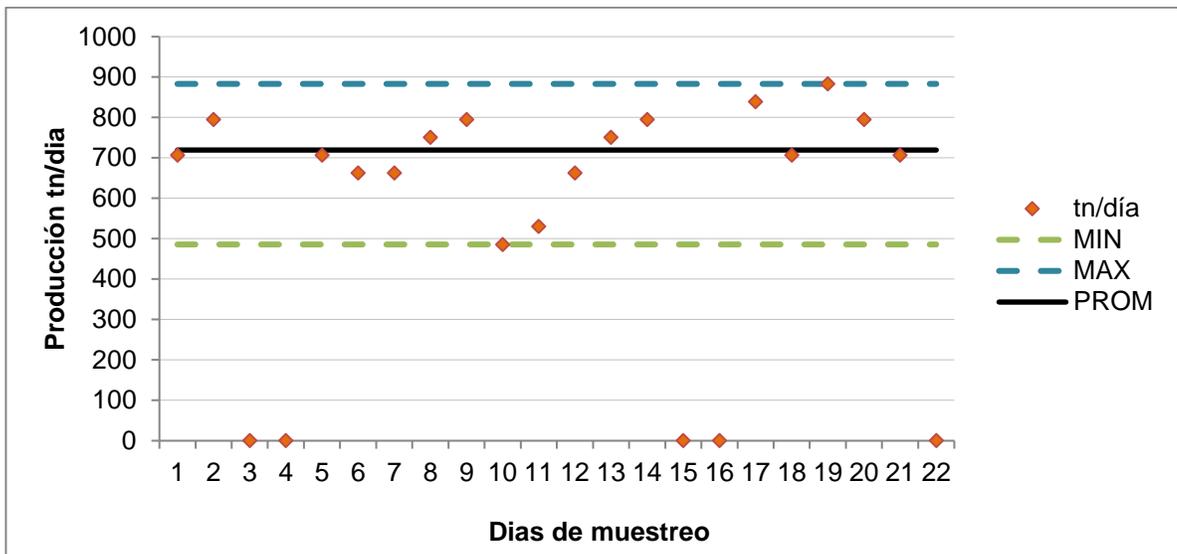
## 5.4 Balance de masa de la planta de beneficio mineral

### 5.4.1 Alimentación del Balance de Masas

Para iniciar el balance de masa se tiene la tabla 5.30, la cual nos muestra el flujo de material previamente descrito, se observa que la alimentación fue realizada por un camión roquero marca Caterpillar modelo 775D, con una capacidad aproximada de 33 m<sup>3</sup>.

**Tabla 5.30** – alimentación de la planta. Agua Viva II

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Alimentación (tn)	706,50	794,81	0,00	0,00	706,50	662,34	662,34	750,65	794,81	485,72	529,87
Día	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Alimentación (tn)	662,34	750,65	794,81	0,00	0,00	838,96	706,50	883,12	794,81	706,50	0,00



**Figura 5.19** – Grafico de control de la alimentación de la planta

Dentro de los días de muestreo la planta presento 5 paradas por mantenimiento (ver gráfica 5.19), lo que represento un 20% de los días muestreados, sin embargo a efectos de este trabajo, estos días no fueron tomados en cuenta en el promedio, o en los valores mínimos de la planta para la gráfica de control en la figura 5.19 ya que nos interesan los días en que la planta produjo material, para realizar los cálculos y evaluaciones respecto al balance de masas.

### 5.4.3 Desarrollo del Balance de Masas

El balance de masa permite saber el comportamiento del flujo másico en el recorrido del circuito completo. Este balance empieza en lo que llamamos circuito I, con la descarga del material por camiones roqueros CAT 775D, para este balance se mostrará la alimentación aproximado de 700 tn/día, con un promedio de 16 camiones por día. La figura 5.20 muestra los primeros tres circuitos de la planta que solo trabajan en turno diurno. Las siguientes figuras 5.21 y 5.22 serán la planta de carbonato (circuito IV) en sus turnos diurno y nocturno respectivamente.

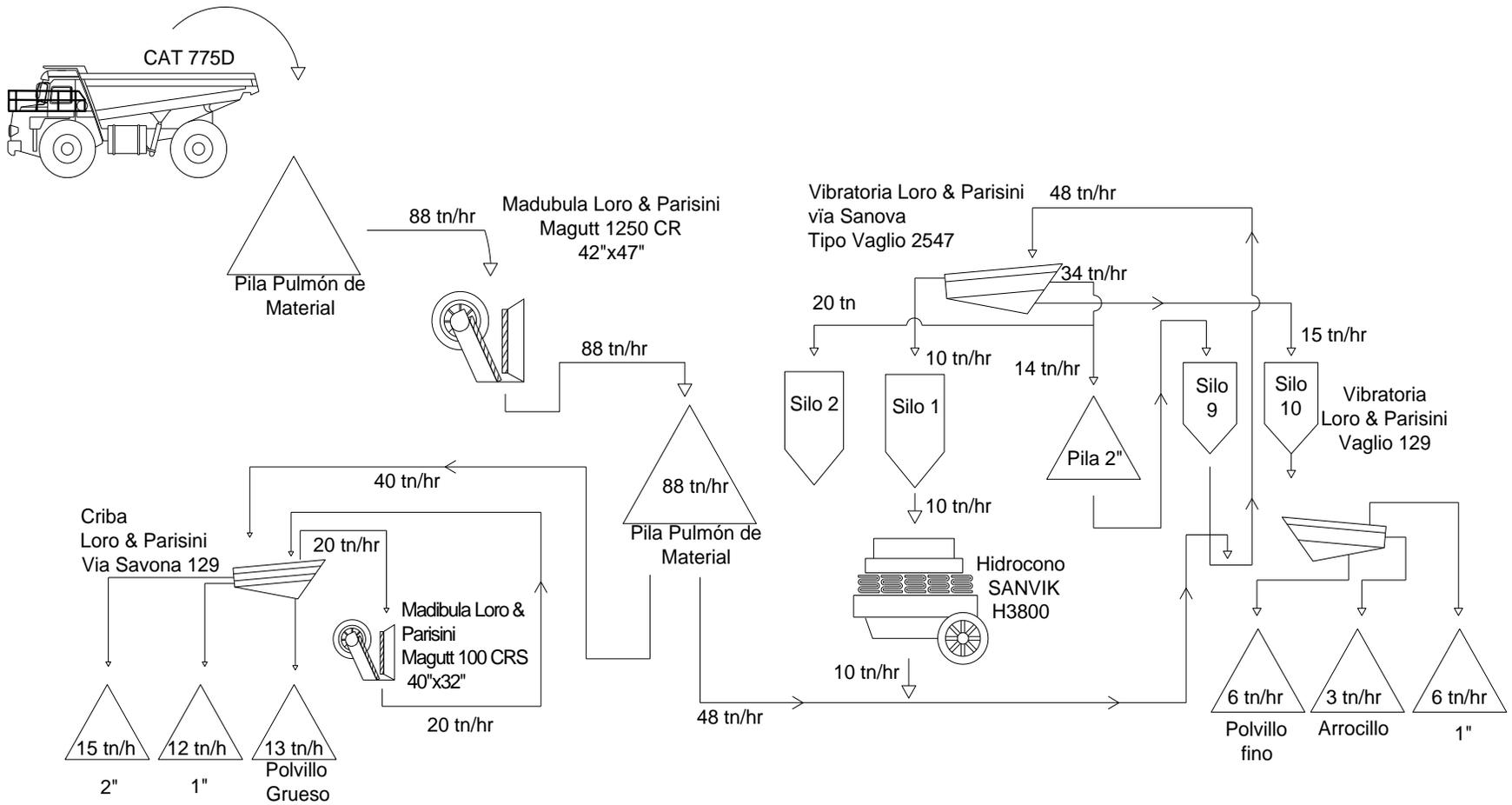
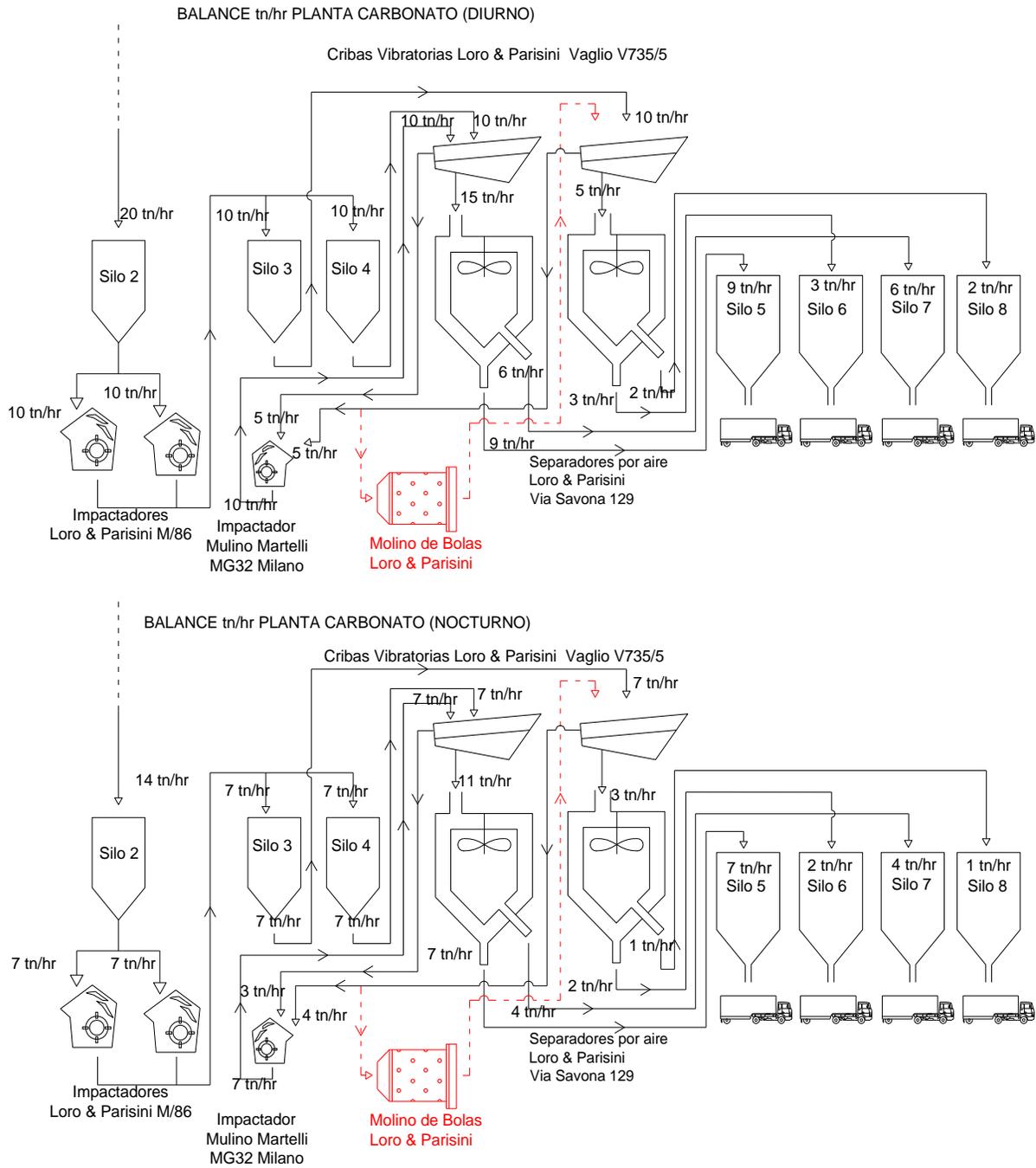


Figura 5.20 –Balance de Masas. Circuito I, II y III



**Figura 5.21 – Balance de Masas, Circuito IV turno diurno y nocturno**

De los flujos másicos presentados en las figuras 5.20, 5.21 y 5.22 se obtiene la siguiente distribución granulométrica

<b>Producción tn/día</b>					
<b>Piedra 2"</b>	Piedra 1"	Arrocillo	Polvillo	Malla 20	Malla 200
118,125	139,16	22,33	147,035	106,26	167,08

Regresando al balance de masa de la planta podemos señalar que para la figura 5.20 tenemos a 3 circuitos que trabajan a partir de una pila pulmón de material. Allí se observa que el circuito II (agregados I) recibe menos material en tn con 315 tn, respecto al circuito II (agregados II) con 385 tn. Debido a que el circuito II está dirigido a los productos comerciales, mientras que el tercero alimenta a su vez a al circuito IV (planta de carbonato).

Seguidamente estos circuitos II y III sin importar su alimentación son plantas de agregado dentro de la empresa, con la gran diferencia del sentido del flujo que los alimenta, para el II, el flujo tiene una alimentación directa, tiene un circuito cerrado con una trituradora de mandíbula. Sin embargo, para el tercero, no existe este flujo directo entre la alimentación y los productos comerciales.

Posteriormente se tiene la planta de carbonato, que presenta 2 balances según el turno, aquí existen 2 silos de almacenamiento previo a la clasificación de material y 4 silos de almacenamiento para su futura comercialización, además estos silos están en paralelo con los equipos que los alimentan y a los cuales alimentan.

Finalmente podemos señalar que el equipo que se encuentra desactivado, (molino de bolas) hace que el material retenido de la criba 02, se dirija hacia la trituración terciaria de la criba 01 desequilibrando el balance que viene empieza en paralelo. Esto afecta a la capacidad de trituración terciaria general

de la planta de carbonato limitándose a un equipo, para una alimentación de dos cribas

### **5.5 Evaluar los puntos críticos de las operaciones de reducción y clasificación de tamaño.**

A partir del balance de masa de la planta se obtuvieron los puntos críticos que afectan la producción en cantidad y calidad, los cuales se originan por diferentes motivos, como el uso incorrecto de un equipo, hasta una manipulación errónea del material, es por ello que se englobaron en tres grandes puntos que serán desarrollados a continuación:

- Características del material de alimentación
- Elemento accesorios
- Manejo de Material

En la figura 5.23 señalamos los puntos críticos antes mencionados dentro de la planta de beneficio. En el circuito I tenemos como aspecto fundamental la alimentación, para el circuito III observamos que se señala una pila de material y un silo, que tomaremos como elementos accesorios, y por último tenemos el circuito IV, en donde incluiremos el molino de bolas dentro de la alimentación, seguidamente se encierran los silos 3 y 4 y los silos de almacenamiento de malla 20 y malla 200 se lo adjudicaremos a manejo de materiales

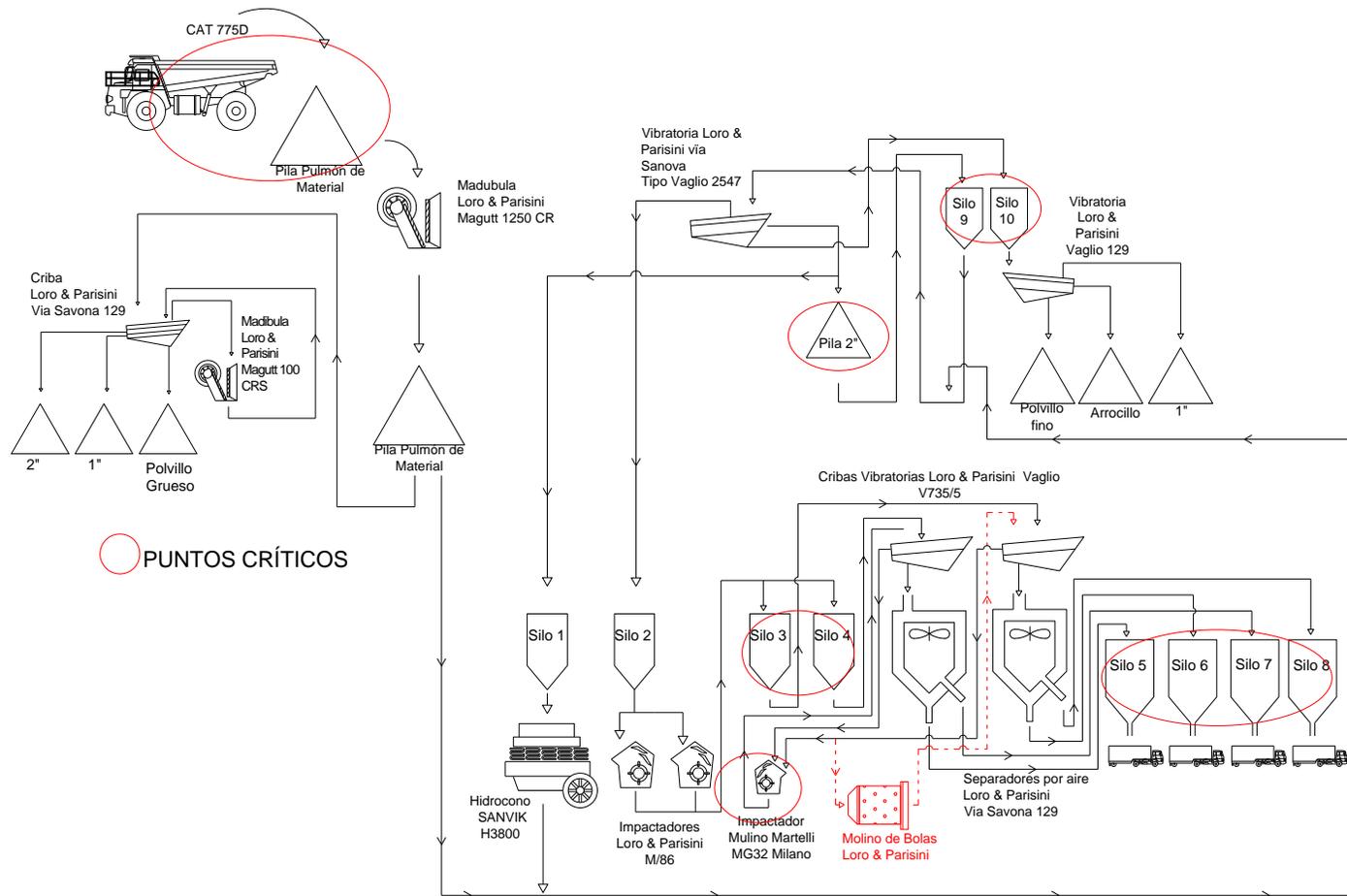


Figura 5.23 – Puntos críticos de la planta de procesamiento mineral, Agua Viva II

### 5.5.1 Características del material de alimentación

La alimentación de la planta se puede definir como irregular y descontrolada. Ya que:

#### 1. Cantidad en la alimentación

Esta planta inicia con una trituradora mandíbula que tiene una capacidad instalada entre 2000 tn/día y 2500 tn/día, sin embargo, esta planta presenta en los días de muestreo una alimentación mínima de 450 tn/día, que representa un 21% del límite inferior de la capacidad instalada. Así mismo alimentar la planta a valor promedio de 700 tn/día constituye no más que un 35%, y aun colocando el valor de mayor alimentación registrado de aproximadamente 883 tn/día solamente simboliza un 44% del límite inferior a este límite inferior.

Sin embargo, la cantidad en la alimentación de la planta está atada a otro punto la capacidad instalada de los circuitos los cuales alimenta, para el circuito I donde se tiene como resultado una pila pulmón material que por condiciones de geometría y espacio no puede ser mayor a 1500 tn/día, seguidamente para el circuito II la capacidad es de 800 tn/día, para el circuito III la capacidad es de 600 tn/día y para el circuito IV equipo de menor dimensión de la planta de carbonato corresponde al triturador de impacto terciario, este equipo puede procesar 800 tn/día

Dado lo anterior si aumentamos la alimentación a la capacidad mínima de la trituradora de mandíbula primaria, la trituración terciaria en el circuito IV, que está siendo ejecutada por un solo equipo, se vería afectada directamente, lo que no sería conveniente para el equilibrio en las operaciones de la planta.

Por otra parte, se registró una necesidad de aumentar la producción, que se puede ver reflejado en la tabla 5.31, donde se muestra la diferencia entre lo producido y lo despachado por día de muestreo. Aquí observamos los números en negativo indican la deficiencia de material que existe para algunos

días en ciertos productos, es aquí donde la empresa debe complementar con el despacho con la producción del día anterior.

Tabla 5.31 - Diferencia entre producción y despacho de la cantera para los días de muestreo

	2"	1"	Arrocillo	Polvillo	Malla 20	Malla 200
1	118,50	139,60	22,40	147,51	-1,48	167,62
2	6,18	157,06	-26,64	-56,00	119,93	160,05
3	-123,01	0,00	0,00	-172,62	-66,25	0,00
4	0,00	0,00	0,00	-71,58	-58,56	0,00
5	118,50	139,60	22,40	98,19	74,18	139,29
6	111,10	130,88	21,00	138,29	34,61	157,14
7	111,10	130,88	21,00	138,29	-28,87	157,14
8	0,00	0,00	0,00	-49,32	-69,72	-29,37
9	133,32	157,06	-26,64	-56,00	54,71	188,57
10	81,47	95,97	15,40	-72,57	2,31	115,24
11	88,88	70,26	16,80	84,61	-51,12	72,26
12	111,10	70,53	21,00	138,29	41,01	127,69
13	125,91	59,83	-28,04	32,07	-10,68	178,10
14	133,32	46,25	25,20	139,93	61,15	159,59
15	0,00	-97,39	0,00	0,00	0,00	-29,98
16	0,00	-76,36	0,00	0,00	-66,51	-28,60
17	140,72	88,01	26,60	175,16	-9,29	171,80
18	118,50	84,13	22,40	147,51	34,55	147,35
19	148,13	132,46	28,00	184,38	64,28	209,52
20	133,32	115,01	25,20	139,93	47,83	188,57
21	118,50	118,58	22,40	147,51	-31,69	167,62
22	0,00	0,00	0,00	-12,77	-123,25	-19,56

## 2. Calidad en la alimentación

Dada la cantidad de material fino que está presente en la pila de alimentación, se solicitó el patrón de voladura manejado por la empresa. Lo que se observa en la tabla 5.32.

**Tablas 5.32**–Variables controlables de la voladura. Fuente ARAMICA

Retiro	3,5	Metros
Espaciamiento	4	Metros
Diámetro	4"	Pulgadas
Constante de la Roca	1,15	-
retacado	2,5	Metros
Longitud de la perforación	11,5	Metros
Altura de Banco	10	Metros

Sin embargo, se realizó el cálculo del patrón de voladura por medio de tres métodos de cálculo de variables controlables de la voladura utilizando valores de la roca tomados de la empresa. Dados estos cálculos (ver calculo en apéndice). se obtiene la siguiente tabla

Tabla 5.33 – Variables controlables de la voladura. Fuente Propia

Variables Controlables De La Voladura		
Retiro final	3,50	Metros
Espaciamiento	4,00	Metros
Diámetro de la Perforación	4	Pulgadas
Sobre perforación	1,00	Metros
Retacado	2,00	Metros
Longitud de Barreno	11	Metros
Factor de carga	0,45	Kg/m <sup>3</sup>

Es aquí donde resaltan los valores similares respecto a la malla y el diámetro de la perforación, y se obtiene un factor de carga de 0,45 Kg/m<sup>3</sup>. Al reafirmar los valores en las variables controlables en voladura, sale a relucir un factor importante que puede que esté afectando la voladura, según diversos autores como Konya (1998) y el manual de los españoles en perforación y voladura de

rocas de López J., Lopez E. *et al.* (2006) puede referirse a las características intrínsecas del material lo que nos lleva directamente a la geología del yacimiento y sus condiciones geomecánicas.

### 5.5.2 Elementos Accesorios

La infraestructura de la planta cumple con las características de alimentación promedio de 700 tn/día, que a simple vista hace parecer que algunos elementos, como los silos de almacenamiento y pilas auxiliares de material antes señaladas, luzcan como “elementos accesorios”.

Pero la realidad es que como se dijo en el punto anterior, la planta tiene una capacidad instalada definida para las operaciones que va a realizar, es decir, que al no alimentar adecuadamente las operaciones aguas abajo lucen “innecesarias” para explicar este punto colocaremos 2 tablas, la tabla 5.34 que nos da el valor de los productos generados para una alimentación mínima, promedio y máxima según los días de muestreo y la tabla 5.35 que refiere una proyección dado los porcentajes del balance de masa de cómo sería una producción de 1500 tn/día.

**Tabla 5.34** – Producción de la Cantera Agua Viva II. Para los valores mínimo, máximo y promedio En los días muestreados

Producción tn/día					
Piedra 2"	Piedra 1"	Arrocillo	Polvillo	Malla 20	Malla 200
118,50	139,60	22,40	147,51	106,60	167,62
81,47	95,97	15,40	101,41	73,29	115,24
140,72	165,78	26,60	175,16	126,59	199,05

**Tabla 5.35** – Producción para una alimentación de 1500 tn/día

Producción al tn/día					
2"	1"	Arrocillo	Polvillo	Malla 20	Malla 200
253,13	321,30	59,40	338,18	205,26	322,74

Al ver ambas tablas no existe ningún día en los días muestreados que de cómo resultado un valor similar o cercano a la producción de 1500 tn/día. De igual forma recordamos que la capacidad para cada silo “accesorio” es de 90 tn, lo que demuestra que estos “elementos accesorios” no son innecesarios, si no que al alimentar la pila de material de forma adecuada estos elementos encuentran utilidad dentro del circuito.

### **5.5.3 Manejo de Material**

Para el manejo de los agregados de construcción que contempla la piedra tipo 2”, 1”, ¾”, polvillo o arrocillo basta con ubicar el material en pilas en un patio determinado por la empresa, en el cual se dispone de un equipo de carga, y se procede a su comercialización y despacho.

Pero dentro del manejo de materiales de esta planta destacamos la pila pulmón material ubicada previa a la trituración primaria en el circuito I, que no tiene seguimiento de tn/hr por parte de la empresa, los camiones que realizan el acarreo de la misma no tienen una planificación sobre cuándo deben o no descargar material en esta pila o en la trituradora primaria. De la misma forma la trituradora primaria puede ser alimentada por el camión de acarreo CAT 775D o por el cargador frontal CAT 980H, que representa reafirmando la falta de control en el punto de partida de la planta.

Por otra parte, en el manejo del carbonato de calcio, correspondiente al circuito IV, debe ser riguroso y controlado, ya que estos aspectos no forman parte del día a día de esta planta acarrear ineficiencias fundamentales a nivel operativo, en una planta tan grande y compleja como ésta. Numeraremos los aspectos críticos de la siguiente forma

1. No tiene un flujo continuo y/o definido.
2. El personal no está instruido para el manejo de materiales.
3. Las operaciones de control de almacenamiento son completamente manuales.

4. No existen los equipos adecuados ajustados para almacenar el carbonato en sus presentaciones malla 20 y malla 200.
5. Al no tener los equipos acondicionados apropiadamente, el tiempo en mantenimiento correctivo es mayor.
6. El desgaste de los equipos es mayor cuando existe un “reproceso”, y no existe una planificación de mantenimiento preventivo para ello.
7. No se utilizan los equipos al máximo de su capacidad.
8. No se realizan balances de masas, ni muestreos cada cierto tiempo para medir el rendimiento o la eficiencia de la planta.
9. No existe espacio o estructuras definidas para almacenamiento mayor a 240 tn.

## **5.6 Proponer mejoras a la planta, en función de la evaluación obtenida**

Una vez descrito y desarrollados los puntos críticos de la planta se tienen propuesta de tipo decisiones gerenciales, y propuestas respecto a cambios estructurales. Estas propuestas no son excluyentes una con la otra, bien se podrían tomar puntos de una y/o de otra o bien solo se podría tomar una de las dos, todo será dependiendo de las necesidades que se requieran atender en la empresa para el momento en el que se decida hacer una modificación.

Lo cierto es que se deben tomar decisiones para atender en prontitud estos puntos críticos antes descritos, ya que acarrear consecuencia de tipo operativas que pueden llegar a afectar los niveles de producción esperados por la empresa.

### **5.6.1 Decisiones Gerenciales**

1. Realizar un estudio de la geología local

Dadas las condiciones granulométricas obtenidas de la voladura respecto al yacimiento la empresa debe realizar estudios en la geología local, que incluya ensayos sobre el comportamiento del macizo rocoso.

## 2. Aumentar la alimentación de la planta

Dadas las condiciones de la capacidad instalada de la planta, se recomienda aumentar la cantidad de la alimentación a un máximo de 1500 tn/día

## 3. Instalación de Silos de Carbonato

Se debe agregar silos que compensen el aumento de material que se va a obtener dada la cantidad de material que se estaría produciendo teóricamente sería según la tabla 5.34. Estos silos deben acondicionarse de acuerdo a las características del material. Según la norma ASTM 911-99 hay normas estandarizadas para el almacenamiento del carbonato de calcio para su uso comercial, la que nos interesan para efectos de la investigación son

- Ubicar el silo en un área limpia y seca
- Debe ser un silo hermético y sellado
- Debe tener calentadores vibratorios en las paredes internas del mismo, que garanticen que el material no se adhiera a las paredes causando deterioro de los silos.

Igualmente el silo debe almacenar para la malla 20 de aproximadamente 150 tn, mientras que para la malla 200 de 400 tn aproximadamente (Ver figura 5.24), para cumplir con los requerimientos incluyendo el límite superior de capacidad instalada de la planta. Dentro del mercado industrial estos silos nuevos rondan un valor entre 1500000 Bs y 2800000 Bs. (2000\$ y 4000\$ tasa dicom), Según la red comercial de ventas en línea Alibaba.com.

Sin embargo, esta empresa tiene silos abandonados que fueron utilizados cuando esta planta tenía una planta de Cal, dentro de sus instalaciones que podrían recuperar y/o acondicionar con el fin de utilizarlos para la planta de carbonato.

#### 4. Programa de mantenimiento

Dadas las paradas observadas no planificadas en 1 mes de muestreo, que representan un 20% de los días de muestreo, se presenta como un factor importante operatividad de la planta. Para ello se propone un programa mantenimiento preventivo que se puede implementar, para reducir la cantidad de paradas innecesarias.

Como primer paso, se plantea seguir una planificación de mantenimiento en donde se lleve un control de las horas trabajadas por el equipo, que vaya de la mano con el mantenimiento de limpieza y lubricación. Deben tomarse los tiempos de parada de los equipos, motivo de las paradas, tiempo de reparación y frecuencia de la falla, esto con el fin de prever paradas no planificadas.

De la misma forma esta actividad permitirá planificar la ejecución de trabajos de reparación y sustitución del tipo mecánico y eléctrico. En donde, es importante establecer una comunicación con los entes involucrados como por ejemplo el departamento de almacén, para coordinar los recursos necesarios, personal, repuestos, equipos y materiales. Con paradas de plantas que afecte lo menos posible a la producción, lo que a su vez puede generar una planta eficiente y eficaz.

Así mismo, se debe hacer uso de técnicas analíticas y estadísticas que permitan medir y predecir el desgaste de los elementos de consumibles de los equipos de trituración, paños de las cribas, motores, bandas, entre otros. Bajo programas de trabajo establecidos, para sustituirlos en cuanto muestren síntomas de daño, disminución de espesor de la pieza, disminución de la eficiencia en el cribado, antes de que se susciten las fallas. Las técnicas analíticas mencionadas pueden ser diagnóstico por vibraciones, medidas eléctricas (como el aumento del consumo de un motor), control del espesor de los consumibles a través de métodos no destructivos.

## 5. Capacitación del personal

Dentro de las operaciones en la planta de carbonato existen procedimientos y operaciones que requieren de alto porcentaje de seguimiento y control. El personal que dirige la planta debe planificar y coordinar las operaciones para que entre las operaciones no existan tiempos de espera, debe manejar eficientemente los recursos de la planta para aumentar el rendimiento de los equipos, usando los conceptos de disponibilidad mecánica y confiabilidad de equipos.

El personal gerencial debe manejar los números de producción y el diagrama de la planta con el fin de resolver con prontitud los problemas presenten, de la misma forma debe manejar conocimientos del manejo de carbonato de calcio a esas granulometrías a través de todas sus operaciones, que puede contaminarse por humedad dadas las condiciones de temperatura. Esta información debe ser transmitida al personal obrero, que maneja la planta en horarios diurnos y nocturnos, para tomar en cuenta los posibles factores a mantenerse alerta respecto a la planta, como el llenado de los silos, los equipos de transporte, y la calidad granulométrica de los productos comerciales.

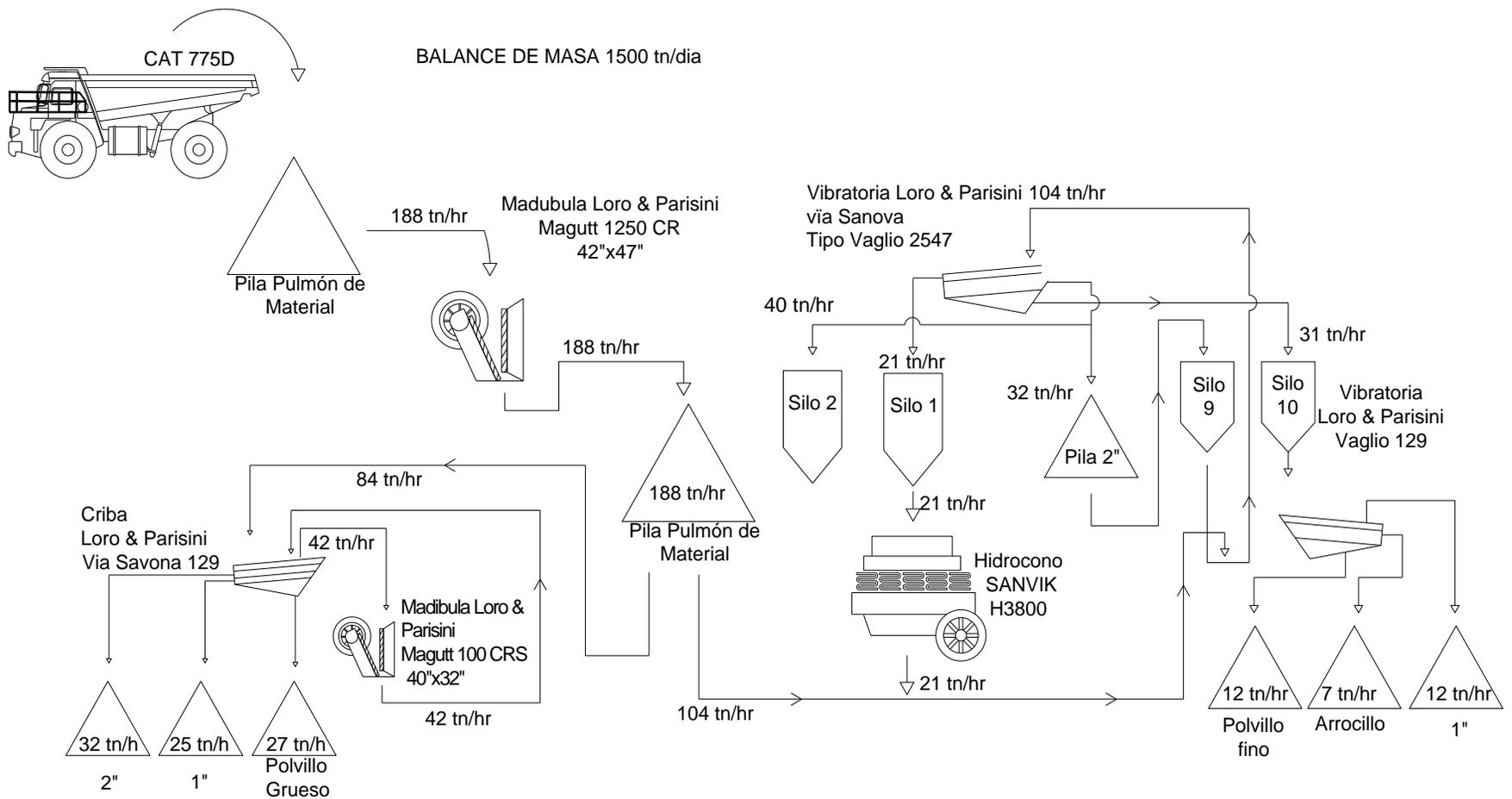
## 6. Automatización de la Planta

Los procedimientos manuales tienen 2 variables importantes a considerar, el primero es que interviene el ser humano y el segundo es el tiempo que tarda el ser humano en la realización de los aspectos a considerar en la planta. La automatización mejoraría considerablemente, los programas de mantenimiento, pero más importante el manejo de materiales.

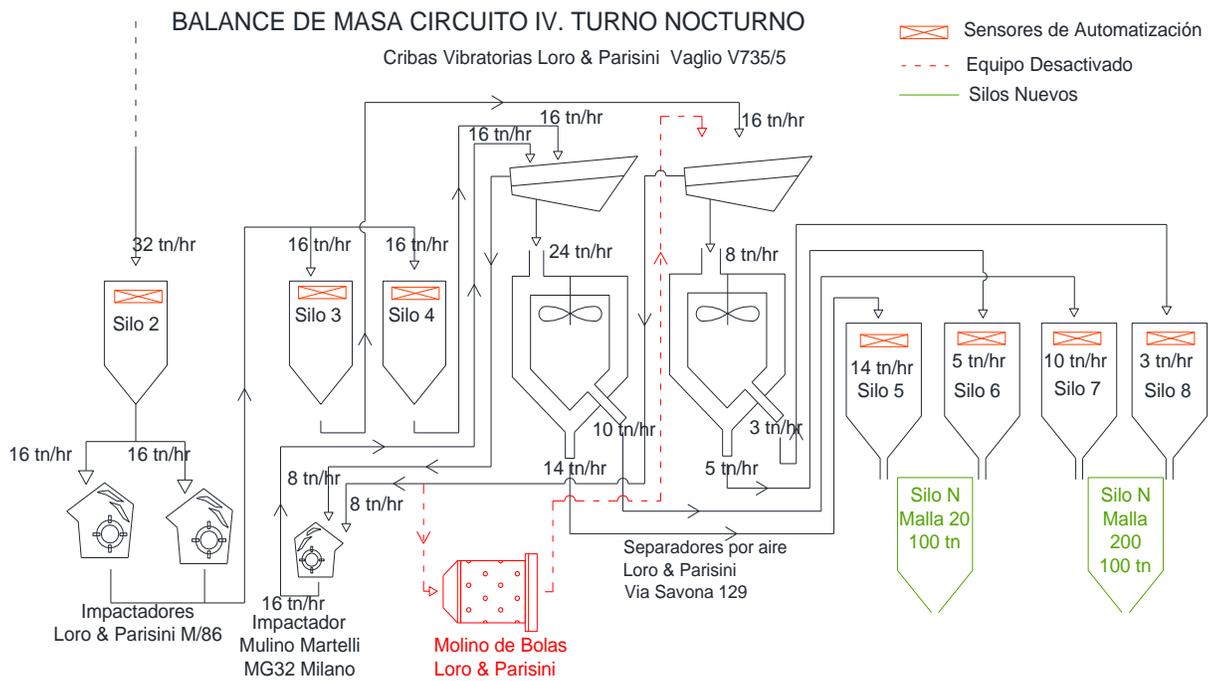
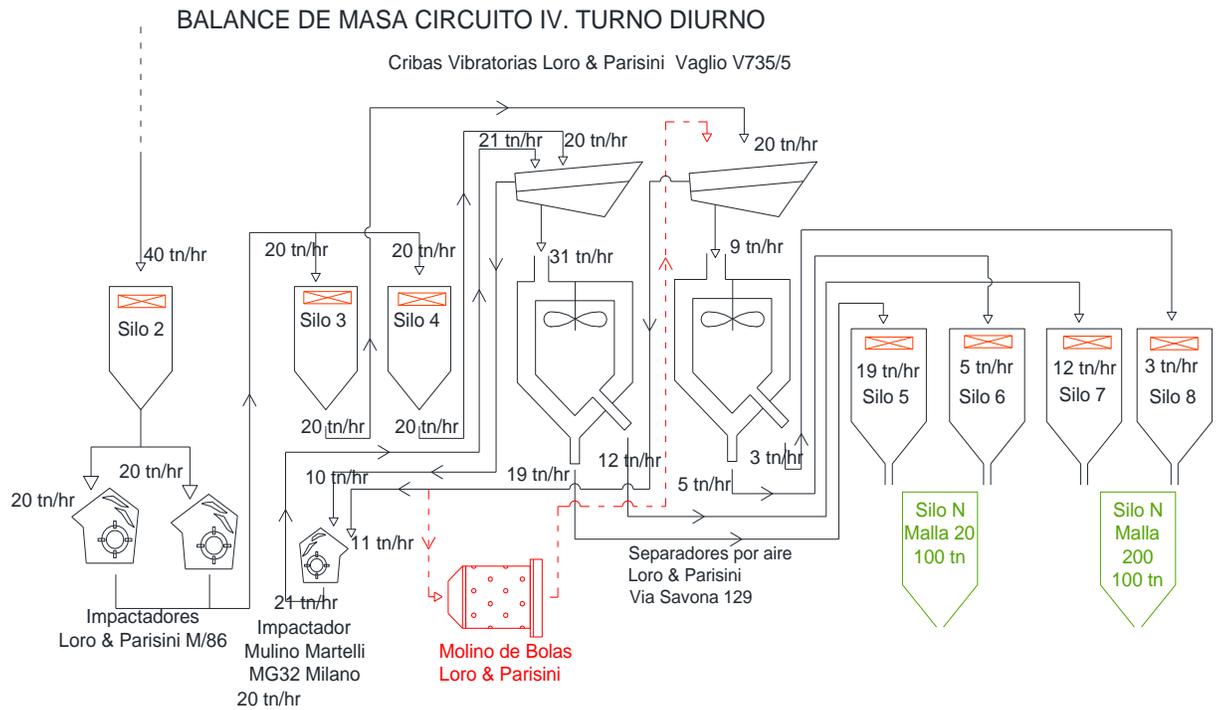
Esta automatización para el manejo de materiales en los silos nos indicara cuando un silo está lleno, cuanto le falta para llenarse, y si debe aplicar una operación adicional para liberar la cantidad de material que ingresa, de la

misma forma indica porque no se está llenando un silo y de donde proviene la falla.

Esta herramienta se puede adaptar hasta los motores de la planta, en donde existiría una sala de control general, de donde se manipularía toda la planta por medio de una computadora universal, existen diversas empresas de automatización que ofrecen desde paquetes simples hasta los más complejos con derechos de programas dados los equipos utilizados.



**Figura 5.24** – Balance de Masas para una alimentación de 2000 tn/día. Circuitos I, II y III



**Figura 5.25 - Balance de Masas para el circuito IV, turno Diurno**

Para la planta de carbonato, las instalaciones nuevas funcionan como soporte para el total que ingresa en este circuito que es de 585 tn/día, la suma de la pila auxiliar y el silo 2. Aquí tenemos números que nos indican que los elementos accesorios se llenan hasta 4 veces en una jornada de trabajo, he aquí la importancia del manejo de materiales, y por ultimo tenemos una generación de carbonato equivalente dada la combinación de toda la planta en paralelo dada la activación del molino de bolas.

### **5.6.2 Cambios Estructurales**

Para los cambios estructurales se plantean modificaciones dentro de la planta que requieren asumir riesgos en costos de mantenimiento en la subutilización de equipos y costos de mantenimiento correctivo y preventivo

#### **1. Trituradora de mandíbula como alimentador**

Dadas las características granulométricas actuales de la entrada del material, se plantea utilizar la trituradora mandíbula como una tolva de alimentación a la planta considerando costos energéticos y de mantenimiento del equipo que está siendo sub utilizado, ya que la granulometría de ingreso no es la adecuada.

El diagrama de flujo para la planta no cambia, ya que se está alimentando con la misma capacidad del estudio (700 tn/día), lo que está cambiando aquí es el uso de un equipo, dadas las condiciones de entrada del material.

#### **2. Acondicionar los silos de carbonato**

Ya que no se está aumentando la producción, la instalación de un silo nuevo puede esperar, pero de igual forma se deben acondicionar lo existentes, una de las razones de parada de la planta fue el mantenimiento de los separadores isodrómicos, ya que el material se adhirió a las paredes del mismo, es por ello que se debe hacer con prontitud la instalación de calentadores vibratorios con el fin de evitar paradas por estas razones repetidas veces.

De la misma forma puede pasar con los silos de almacenamiento, tal y como ocurren en los separadores, los silos no tienen corrientes de aire que mantenga en constante movimiento el flujo de material que ingresa, por lo tanto es importante la instalación de dichos calentadores. Aquí la prontitud es mayor ya que los silos son producto comercial, que es vendido a las distintas industrias del vidrio, o de la cal que no pueden tener grados de humedad dentro de las características del carbonato de calcio.

### 3. Activar equipos inhabilitados

Estos cambios estructurales nos llevan a un equipo inhabilitado en la planta de carbonato, el molino de bolas, que debería estar en paralelo en la trituration terciaria de la planta. Se propone trabajar para activar este equipo, ya que se puede nivelar el balance de masas de la planta.

Pasamos a la figura 5.26 donde observamos cómo quedaría el balance de masas para ambos turnos, en el circuito IV activando el molino de bolas para la trituration terciaria, que estaría en paralelo con el resto de los equipos. Aquí observamos cómo los 4 silos reciben

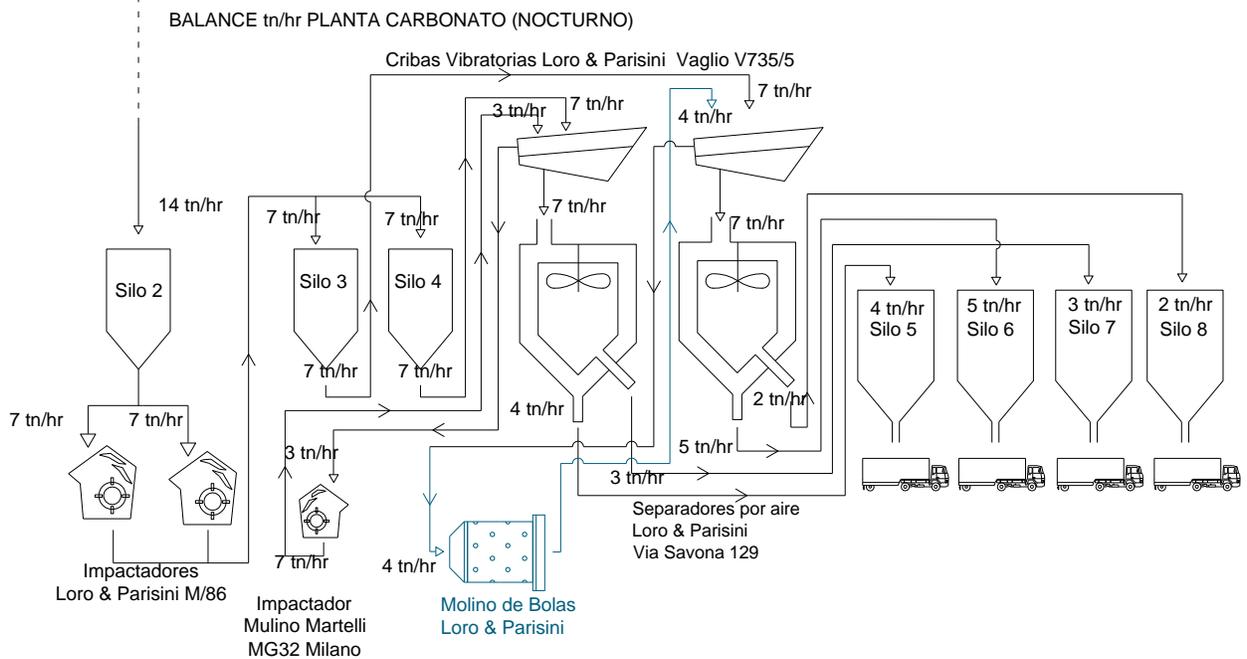
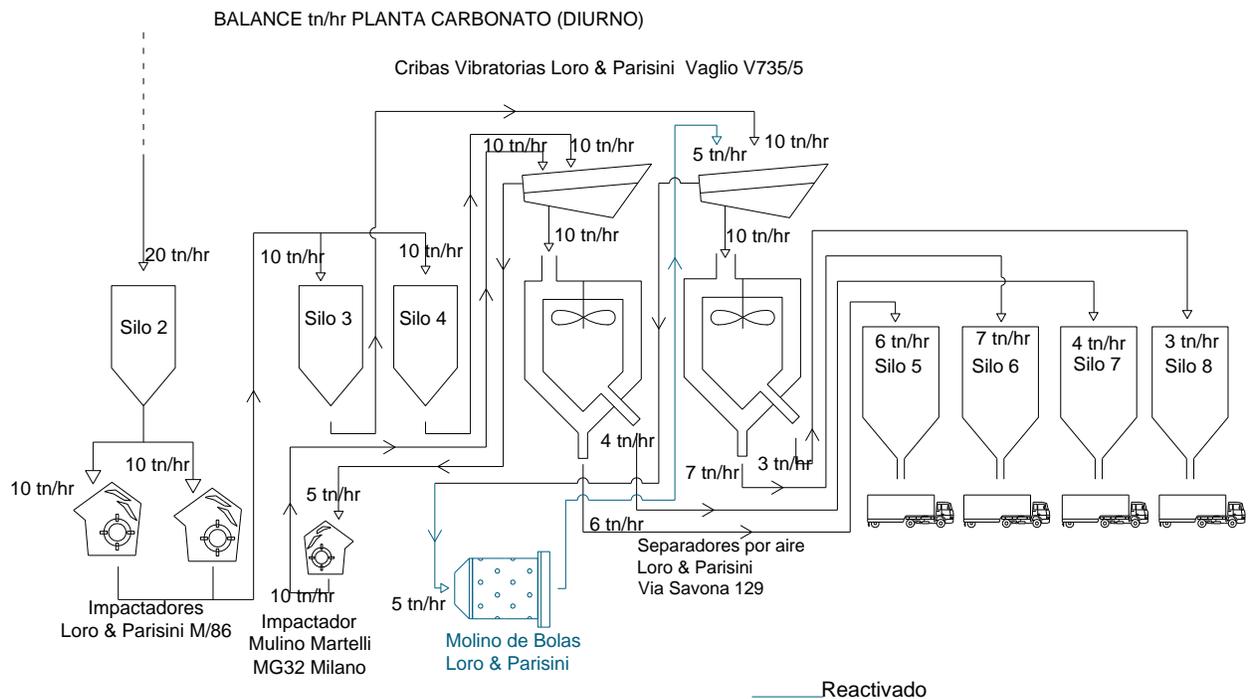


Figura 5.26 – Balance de Masas para el circuito IV, con molino de Bolas

## CONCLUSIONES

- La pila pulmón de alimentación que ingresa a la mandíbula primaria representa el material que ingresa a la planta de procesamiento mineral, esta pila tiene una distribución granulométrica generada por la voladura que a su vez puede estar condicionada a las características geomecánicas del yacimiento.
- Los equipos de reducción de tamaño de la planta se encuentran actualmente, dada la alimentación y el balance de masas desarrollado, trabajando a un 50% de su capacidad, pero para el circuito IV la trituración terciaria está siendo ejecutada por un solo equipo, cuando debería estar en paralelo con un molino de bolas.
- La eficiencia de las operaciones de clasificación se encuentra entre 60% y 70%, lo que se puede adjudicar algún problema operacional, que puede ser causado por falta de mantenimiento tanto a las cribas como a los separadores isodrómicos.
- El balance de masa se convirtió en el aspecto clave para determinar los aspectos fundamentales y críticos dentro de un circuito de procesamiento mineral, para este estudio en particular, se observó que la alimentación es inadecuada, que se sub utilizan equipos y que los rendimientos de los estos equipos no pueden ser evaluados en su totalidad al no estar al menos al 70 u 80% de su capacidad mínima instalada.
- Los puntos críticos obtenidos en esta evaluación fueron las características del material de alimentación, tanto la calidad como la cantidad, los elementos accesorios y el manejo de material de la planta.
- La evaluación de los puntos críticos permitió establecer un grupo de propuestas gerenciales y de tipo estructural de la planta, que se pueden aplicar a los estudios técnicos económicos y financieros.

## **RECOMENDACIONES**

### **Gerenciales**

- Realizar análisis económico de las propuestas, evaluando las características de cada punto tomando en cuenta los puntos críticos señalados en este trabajo y las necesidades actuales en la que se encuentre la empresa.
- Las propuestas planteadas en esta investigación no son excluyentes, es decir, dependiendo de los alcances de la empresa estas propuestas podrán desarrollarse a través del tiempo. Sin embargo, es importante que se tomen acciones respecto el aspecto geológico del yacimiento que se está aprovechando.
- Adicionalmente se recomienda acondicionar la planta garantizando espacio de almacenamiento para aplicar las propuestas de aumento en la producción.

### **Estructural**

- Es sumamente importante colocar la planta en equilibrio, empezando en el circuito IV de esta planta de procesamiento mineral, que representa a la planta de carbonato, habilitando un equipo de trituración terciaria, o reactivando el molino de bolas, que trabaje en paralelo con el triturador de impacto de esta planta.

### **Líneas de Investigación**

- Realizar un estudio en la geología local que incluya ensayos geomecánicos para determinar la calidad del macizo rocoso
- Determinar la eficiencia para la clasificación de material, en el cribado utilizando la metodología de las “curvas de partición”, en donde se toma en cuenta la eficiencia ideal (representada por una línea recta) y la real (representada por la curva de distribución). Mientras que para los separadores isodrómicos, se toma en cuenta el modelo de Plitt para modelar el comportamiento del material respecto al fluido dentro del equipo.

## BIBLIOGRAFIA

- Aragua Minas y Canteras S.A. (ARAMICA S.A.) (2014) Contenido: Empresa, Aragua Venezuela. Recuperado en: <http://www.aramica.gob.ve/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=1>
- Asociación Europea de Agregados (2014) Informe anual de producción de agregados. Recuperado en: <http://www.uepg.eu/statistics/estimates-of-production-data>
- ASTM D75 / D75M-14, Práctica estándar para la toma de muestras de Agregados, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014
- ASTM C50 /C50M-13, Práctica estándar para la toma de muestras, preparación de muestras, empaquetado y marcado de los productos cal y piedra caliza, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013
- ASTM C25-11e2, Métodos de prueba estándar para el análisis químico de la piedra caliza, cal viva y cal hidratada, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011
- ASTM E323-11, Especificación estándar de mallas perforadas para propósitos de Ensayo, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011
- ASTM C911-06 (2011), Especificación estándar para la cal viva, cal hidratada, y la piedra caliza por un químico seleccionado y usos industriales, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011
- Bakke Brian, Sova Ron (2007) "The Importance and Monitoring Requirements of Mass Balance" Water Environment Federation. Estados Unidos.
- Carrero R., Rivero R., (2013) *Caracterización Geológica de Volumen de calizas en una zona ubicada al norte de San Sebastián de los Reyes,*

*Edo Aragua*. (Trabajo de Pregrado) Universidad Central de Venezuela.  
Venezuela

Díaz P. (2014) *Geología de la Región de Belén, San Juan de los Morros y San Sebastián de Los Reyes, en los estados, Carabobo, Guárico y Aragua*. (Trabajo de Pregrado) Universidad Central de Venezuela. Venezuela

Factor de Éxito (2009) *Municipio San Sebastián de Los Reyes Aragua Virtual*, Factor de Éxito, Aragua. Venezuela. Recuperado de: <https://www.araguavirtual.com/informaciones/index/Municipio%20San%20Sebasti%C3%A1n?>

Herrera Y. (2014) *Estudio Diseño de un sistema de clasificación granulométrico para el carbón mineral, empleado en Loma de Níquel, estado Miranda* (Tesis de Pregrado) Universidad Central de Venezuela. Venezuela

Hurtado J. (2007) *Metodología de la Investigación*, quinta edición Caracas. Venezuela Ediciones Quiron-Sypal. Recuperado en: <http://investigacionholistica.blogspot.com/2008/04/algunos-criterios-metodologicos-de-la.html>

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

Konya

López J. Carlos, López Jimeno Emilio, Pernia Llera José María, Ortiz de Urbina Fernando Pla, (2008) *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*, Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España IGME. .

Piña. J y Bucalá V. (2013) *Procesamiento de Sólidos*. Buenos Aires Argentina Universidad Nacional del Sur. Departamento de Ingeniería Química. Programa de la Materia Procesamiento de Alimentos II.

Disponible en: <http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/>

Romero F. y Dricken C. (2010), The importance of Efficient Mass Flow Balance in Crushing and Screening Plants. Telesmith. Estados Unidos

Unión Europea (2011) Extracción Mineral No Energética y Natura 2000. doi: 10.2779/39582

Valencia E, (2013) *Proyecto Para El Incremento De Capacidad De Operación De La Planta De Beneficio, Compañía Minera La Negra, Maconí Querétar* (Tesis Profesional) Universidad Autónoma de México. México.