

**Optimización de sistema de lavado y triturado de materia prima (piedra caliza) en la  
empresa Sibelco Colombia**

**Cristian Camilo Quiceno Higinio**

**Luis Alexander Ciro Jiménez**

**Yhonny Hemir Puerta Ruiz**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)**

**Tecnología en Logística Industrial**

**2020**



**Optimización de sistema de lavado y triturado de materia prima (piedra caliza) en la  
empresa Sibelco Colombia**

**Cristian Camilo Quiceno Higinio**

**Luis Alexander Ciro Jiménez**

**Yhonny Hemir Puerta Ruiz**

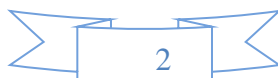
**Trabajo de grados para obtener el título de  
Tecnólogo en Logística Industrial**

**Asesor: Gustavo Andrés Araque González**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)**

**Tecnología en Logística Industrial**

**2020**



## Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	3
Lista de tablas .....	4
Lista de figuras .....	6
Lista de imágenes .....	8
Lista de Anexos .....	9
Glosario .....	10
Resumen .....	11
1. Introducción.....	12
2. Planteamiento del problema .....	16
3. Justificación .....	18
4. Objetivos.....	20
5. Marco teórico y estado del arte.....	21
5.1. Marco referencial.....	21
5.2. Marco Teórico.....	24
5.3. Marco Legal .....	33
6. Diseño metodológico de investigación.....	34
6.1. Tipo de Enfoque: (Cualitativo).....	34
6.2. Tipo de investigación: (Investigación acción) .....	34
6.3. Desarrollo Metodológico del Estudio – fases .....	36
6.4. Herramientas para el trabajo investigativo: .....	77
7. Cronograma de actividades .....	81
8. Análisis de los resultados .....	85
9. Conclusiones.....	97
10. Anexos .....	99
11. Bibliografía.....	106

## Lista de tablas

Tabla 1 Porcentaje de humedad en cada muestra.....	40
Tabla 2. Clasificación de tamices (mallas) por número y/o tamaño de micras (Palacio-León, Chávez-Porras, & Velásquez-Castiblanco, 2017).....	41
Tabla 3. Distribución granulométrica Muestra 1 (1000 g).....	42
Tabla 4. Distribución granulométrica Muestra 2 (3000 g).....	43
Tabla 5. Distribución granulométrica Muestra 3 (5000 g).....	44
Tabla 6. Distribución granulométrica Muestra 4 (7000 g).....	45
Tabla 7. Distribución granulométrica Muestra 5 (2000 g).....	46
Tabla 8. Distribución granulométrica Muestra 6 (8000 g).....	47
Tabla 9. Informe de resultados de pruebas granulométricas. ....	48
Tabla 10. Material retenido Malla 18 libre de humedad (1,00 mm) desechado libre de humedad. ....	49
Tabla 11. Porcentaje de Material Rechazado por Tonelada.....	51
Tabla 12. Cálculo de material rechazado en una jornada de producción normal.....	52
Tabla 13. Costo de mano de obra civil. Valor de las Cotizaciones Seleccionadas Para Equipos de Montaje.....	72
Tabla 14. Costo de mano de obra civil.....	72
Tabla 15. Costo Mano de obra Montaje y Mantenimiento. ....	73
Tabla 16. Costos del proyecto. ....	73
Tabla 17. Distribución Granulométrica en mallas en muestra (2000 g). ....	77
Tabla 18. Cronograma de actividades en el mes 1 (realizar pruebas granulométricas del producto desechado).....	82
Tabla 19. Cronograma de actividades en el mes 2 (determinar los costos del proyecto). ....	82
Tabla 20. Cronograma de actividades en el mes 3 (optimizar y complementar el sistema de clasificación de materia prima desechada).....	83
Tabla 21. Cronograma de actividades en el mes 4 (determinar el impacto que genera la reclasificación y recuperación del material recuperado por medio del proceso de clasificación y recirculación).....	83

Tabla 22. Cálculo de material rechazado antes del proyecto en una jornada de producción normal.  
.....87

Tabla 23. Cálculo de material rechazado después del proyecto.....88

Tabla 24. Costos asociados al proceso de trituración y lavado de piedra caliza antes del proyecto (\$95 / kg). .....89

Tabla 25. Costos asociados al proceso de trituración y lavado de piedra caliza después del proyecto (\$95 / kg) .....90

Tabla 26. Costos y ganancias del proyecto. ....90

Tabla 27. Resultados medición distribución granulométrica. ....91

Tabla 28. Indicador porcentaje de humedad. ....92

Tabla 29. Indicador de Material Triturado por día.....92

Tabla 30. Indicador Costo de Material Triturado por hora .....93

Tabla 31. Gráfica de control % material de desecho después del proyecto (lodos).....94

Tabla 32. Control y porcentaje recuperado después del proyecto.....95

## Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Mapa de procesos de la empresa Sibelco S.A.S.....	13
<i>Figura 2.</i> Rocas de Piedra Caliza (“Significado de la Piedra Caliza”, 2020).....	24
<i>Figura 3.</i> Proceso de Trituración (“Equipo de trituración”, 2013).....	25
<i>Figura 4:</i> Tolva para Depositar Minerales Granulados (“Tolvas Industriales”, 2020).....	26
<i>Figura 5.</i> Sistema de Banda Cadena (“Transportadores y Bandas”, 2016).....	26
<i>Figura 6.</i> Sistema de Lavado (“Zarandas Serie ZC”, s/f).....	27
<i>Figura 7.</i> Pila de Arena (“Arena”, 2019).....	28
<i>Figura 8.</i> Malla de Acero para Zaranda (“Malla Zaranda”, 2014).....	28
<i>Figura 9.</i> Zaranda Vibratoria (“Zaranda vibratoria GIL-0.15 (4 pisos)”, 2020).....	29
<i>Figura 10.</i> Tamiz de análisis (“Tamiz”, 2011).....	29
<i>Figura 11.</i> Recuperación de Materiales (“Sanirent - Succion, limpieza y recuperacion de materiales”, 1992).....	30
<i>Figura 12.</i> Desecho de Materiales (“Con restos de construcciones y de sillar generarán un material similar al cemento”, s/f).....	30
<i>Figura 13.</i> Logística Inversa (Rentero, 2018).....	32
<i>Figura 14.</i> Tornillo Sinfin (“Tornillo sin fin”, 2020).....	32
<i>Figura 15.</i> Muestreo del Material Desechado (“Pila de arena - Foto de stock”, 2020).....	36
<i>Figura 16.</i> Cuarteo tipo Torta (“¿Qué es Cuarteo de suelos?”, s/f).....	37
<i>Figura 17.</i> Gráfica de control pruebas granulométricas tabla 9 (autoría propia).....	49
<i>Figura 18.</i> Gráfica de control de muestra tabla 10 (autoría propia).....	50
<i>Figura 19.</i> Gráfica de control % de material rechazado (autoría propia).....	52
<i>Figura 20.</i> Soporte de Anclaje (autoría propia).....	55
<i>Figura 21.</i> Emparrillado Inferior Para Mortero de Cemento (autoría propia).....	55
<i>Figura 22.</i> Estructura Vertical de Hierro Para Mortero de Cemento (autoría propia).....	56
<i>Figura 23.</i> Valores Iniciales Para Cálculo de Altura de los Soportes Traseros (autoría propia).....	57
<i>Figura 24.</i> Resultado de Cálculo de Altura Cateto Opuesto (Altura Soportes Traseros) (autoría propia).....	58
<i>Figura 25.</i> Medidas de Largo, Ancho y Alto de la Estructura de Soporte de la Zaranda (autoría propia).....	58

<i>Figura 26.</i> Medidas de Platina Base (autoría propia) .....	59
<i>Figura 27.</i> Información Para cálculo de Área de Trabajo de la Zaranda (autoría propia).....	60
<i>Figura 28.</i> Área de Trabajo de la Zaranda (hipotenusa) (autoría propia) .....	60
<i>Figura 29.</i> Embudo de Descarga Superior (Retenido de Malla 18 y Malla 3/8”) (autoría propia). .....	62
<i>Figura 30.</i> Embudo de Descarga Inferior (Lodos y Material de Rechazo) (autoría propia).....	63
<i>Figura 31.</i> Características Banda Lona (autoría propia).....	64
<i>Figura 32.</i> Tambor Motriz. ....	65
<i>Figura 33.</i> Tambor de Arrastre (autoría propia) .....	65
<i>Figura 34.</i> Rodillo Superior (autoría propia).....	66
<i>Figura 35.</i> Partes del Rodillo (autoría propia) .....	66
<i>Figura 36.</i> Rodillo Inferior (autoría propia).....	67
<i>Figura 37.</i> Motor Reductor (Automatización, s.f.) .....	67
<i>Figura 38.</i> Chumacera Pedestal (Quees, 2019).....	68
<i>Figura 39.</i> Chumacera Tensora (“Que es la chumacera”, s/f) .....	69
<i>Figura 40.</i> Estructura del Bastidor de la Banda (autoría propia) .....	69
<i>Figura 41.</i> Encauzado de banda (autoría propia).....	70
<i>Figura 42.</i> Sistema de Lavado, clasificación y Trituración (antes del proyecto) (autoría propia).	74
<i>Figura 43.</i> Sistema de lavado, clasificación y Trituración (después del Proyecto) (autoría propia). .....	74
<i>Figura 44.</i> Balanza Analítica (“Balanza analítica”, s/f).....	78
<i>Figura 45.</i> Tamiz de análisis (“Tamiz”, 2011) .....	78
<i>Figura 46.</i> Estufa Secadora (“Estufa de secado u horno de secado”, s/f).....	79
<i>Figura 47.</i> Pala (“Pala”, s/f).....	80
<i>Figura 48.</i> Pinzas de laboratorio(“Pinza de Crisol”, s/f) .....	80
<i>Figura 49.</i> Elementos de Protección Personal (Brito Lozano, 2012) .....	81
<i>Figura 50.</i> Gráfica de control de desechos. ....	95
<i>Figura 51.</i> Gráfica de control % total de material recuperado en la malla 18 y 3/8. ....	96

## Lista de imágenes

<i>Imagen 1.</i> Producto rechazado (Piedra Caliza y Lodo) (autoría propia).....	76
<i>Imagen 2.</i> Visualización del Producto Rechazado en cada Malla (autoría propia).....	76
<i>Imagen 3.</i> Producto Recuperado Durante el Proceso (autoría propia).....	76
<i>Imagen 4.</i> Entrada al sistema de lavado (autoría propia). ....	102
<i>Imagen 5.</i> Salida del sistema de lavado (autoría propia).....	102
<i>Imagen 6.</i> Recolección del material rechazado (autoría propia). ....	103
<i>Imagen 7.</i> Material de desecho en patios (autoría propia). ....	103
<i>Imagen 8.</i> Material retenido en malla 4 (autoría propia).....	104
<i>Imagen 9.</i> Material retenido en malla 8 (autoría propia).....	105
<i>Imagen 10.</i> Distribución métrica en tamices (autoría propia). ....	105



## Lista de Anexos

Anexo A. Cotización Equipo completo de Zaranda.....	99
Anexo B. Cotización Equipo Completo de Banda Transportadora .....	99
Anexo C. Cotización Insumos para base Concreto Zaranda.....	101
Anexos correspondientes al proceso de lavado:.....	102
Anexo D. Entrada al sistema de lavado.....	102
Anexo E. Salida del Sistema de Lavado .....	102
Anexo F. Recolección del material rechazado .....	103
Anexo G. Material de Desecho en Patios.....	103
Anexo H. Material Retenido en Malla de 3/8 .....	103
Anexo I. Material Retenido en Malla 4.....	104
Anexo J. Material Retenido en Malla 8.....	105
Anexo K. Distribución Granulométrica en tamices .....	105

## Glosario

**Banda Cadena:** sistema de transporte continuo que este compuesto de elementos metálicos que se unen entre sí para trasladar materiales granulados de un punto a otro.

**Tornillo sin fin:** elemento metálico moldeado en forma de hélice tipo sin fin que se convierte en un sistema transportador de materiales.

**Cuarteo tipo torta:** Reducción de tamaño de muestra solida mediante homogenización y mezcla, se distribuye el material en forma circular o de torta, donde se realizan dos cortes en forma de cruz y posteriormente se eliminan dos de sus cuatro lados (opuestos).

**Soporte de anclaje:** Elemento metálico fundido n una placa de concreto para unir y asegurar un equipo mecánico (zaranda vibratoria).

**Rodillo o tambor motriz:** Conjunto de motor con sistema de transmisión de caja reductora de velocidad ya aumento de fuerza según la relación de engranajes empleados.

**Motor reductor eléctrico:** Conjunto de motor con sistema de transmisión de caja reductora de velocidad y aumento de fuerza según la relación de engranajes empleados.

**Chumacera:** carcasa para todo tipo de rodamiento autoalineable utilizada como soporte de un eje de giro continuo.

## Resumen

El sistema integral de una compañía permite innovar continuamente sus procesos erradicando ineficiencias en el sistema de producción (metodología KAIZEN). Tomando este concepto se realiza un estudio aprovechando el material de desecho almacenado por la empresa Sibelco, el cual ha generado pérdidas que se pueden reducir complementando el sistema de trituración. (nace el proyecto). A partir de la investigación inicial se encontró que el material de desecho que pasa por la banda cadena (piedra caliza menor a 25,4mm y lodo) obtenido del lavado de materia prima, aún cumple con especificaciones de calidad. Tras este hallazgo surge una mejora en el proceso de clasificación obteniendo el retorno del producto aplicando un sistema de logística inversa que permite tener una gran reducción de costos en mano de obra, equipos de transporte y capacidad de almacenamiento. (desarrollo del proyecto).

Para el cumplimiento de este proyecto fue necesario dividirlo en cuatro fases de trabajo.

Fase 1: Realizar pruebas granulométricas del producto desechado.

Fase 2: Determinar los costos del proyecto.

Fase3: Optimizar y complementar el sistema de clasificación de materia prima desechada.

Fase 4: Determinar el impacto que genera la clasificación y recuperación del material.

Los análisis anteriormente realizados por la empresa Sibelco arrojan un 6% de pérdidas reflejados en el material de desecho igual a 60 kg por tonelada de piedra alimentada; en los estudios realizados durante el proyecto se recuperan 48 kg del material desechado equivalentes al 80% que cumplen como materia prima.

**Palabras claves:** Piedra caliza, trituración, material de desecho.

## 1. Introducción

La molienda se ha convertido en una fase cuyo control resulta esencial por el impacto favorable que puede tener en factores tan importantes en un proceso productivo como son la calidad del producto terminado, el aumento de la productividad y la disminución de los costos de producción. Además, es un proceso unitario, que implica una transformación física del material, cuya finalidad es la reducción del tamaño de partícula de muestras sólidas sin alterar la naturaleza del producto, (“Molienda - EcuRed”, 2012). Este proceso se realiza con la ayuda de equipos mecánicos (molino de mandíbulas, molino de martillos, molino de rodillos, molino de bolas, entre otros). El proceso de molienda aplicado a minerales comúnmente está acompañado del proceso de lavado, con el cual se pretende eliminar las impurezas que se encuentran en la superficie de las rocas (lodo y material orgánico.), comúnmente se utiliza agua a alta presión como fluido de lavado. (Beneficio y transformación de minerales).

El proceso de trituración y lavado utilizado en la planta de producción de carbonato de calcio, de la empresa Sibelco Colombia S.A.S, consta con dos fases. La primera es de molienda, la cual está compuesta por una tolva que tiene una cama vibrante y un sistema de lavado con rociadores de agua a alta presión. Posteriormente el material sale con medidas aproximadas a 25 cm, el cual es recibido por un sistema de banda cadena que transporta el material hasta una trituradora de mandíbulas para reducir el tamaño a medidas aproximadas de 1 pulgada. De esta manera la materia prima triturada (caliza), se conduce por una banda lona hacia el molino de martillos el cual se encuentra en la fase secundaria del proceso, este cumple con la función de disminuir aún más el tamaño de partículas a una malla 4 (4,76 mm) y posteriormente entregar el material al elevador de cangilones, el cual lo eleva aproximadamente 5 m, donde es entregado a un silo y almacenado como producto terminado para ser dosificado al molino de bolas.

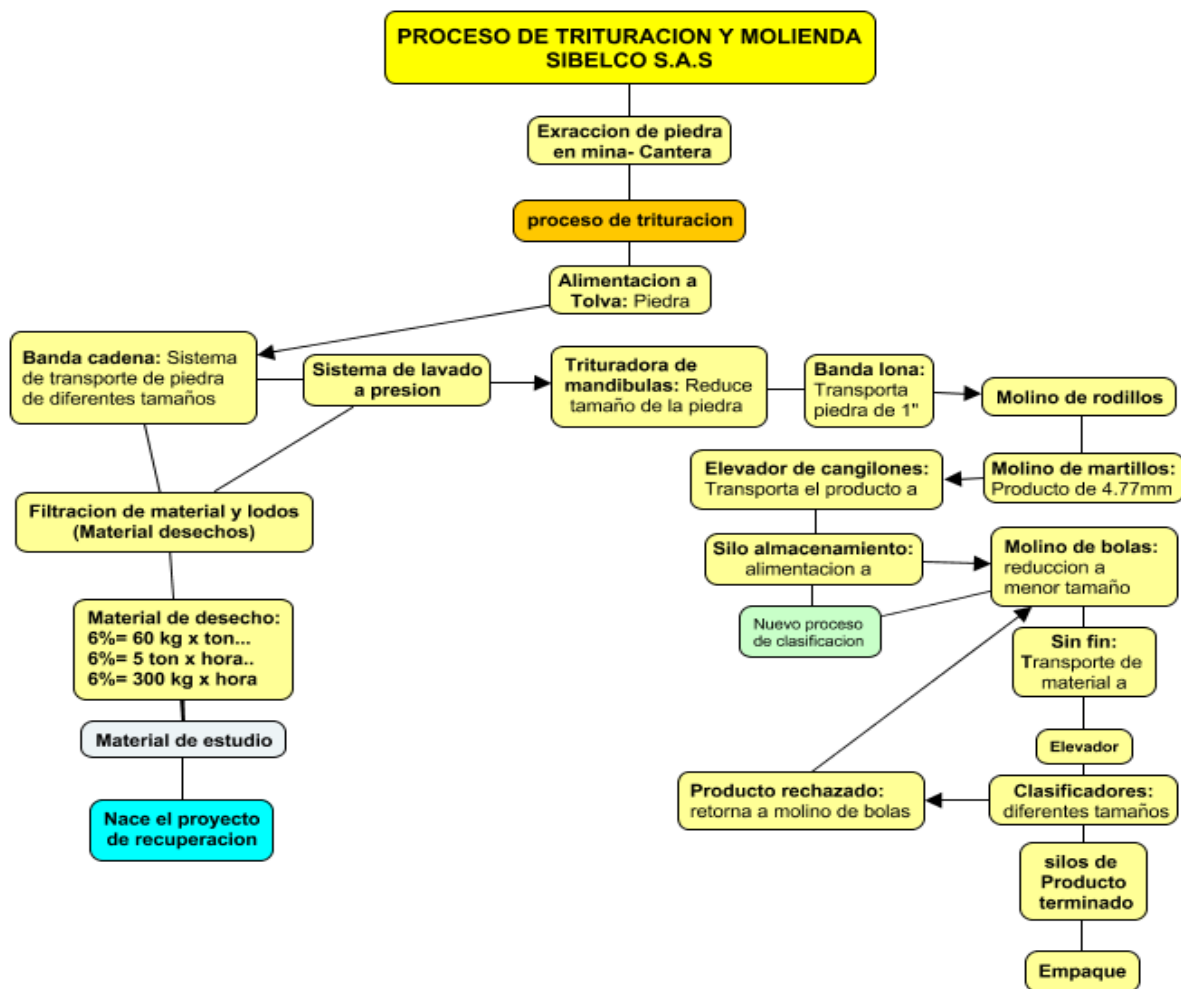


Figura 1. Mapa de procesos de la empresa Sibelco S.A.S.

La importancia de integrar un proceso de clasificación y recirculación de triturado desechado del proceso, radica en el alto contenido de carbonato presente en este material, el cual todavía es apto para la producción de carbonato de calcio. Según datos otorgados por Sibelco Colombia S.A.S, este tipo de desechos presentan una pureza mayor al 90% de carbonato de calcio.

En (Donis Peter, 2013) “se expone la importancia de la reutilización de desechos para la disminución de costos y el impacto ambiental, los cuales son de alta importancia para el sector industrial. Reafirmando así la idea de aprovechar los recursos que se están desechando en el proceso de lavado y trituración de piedra caliza” (Donis Peter, 2013).

Algunas fuentes de base para la implementación de un nuevo sistema eficiente de triturado y lavado de materiales se presentan en los siguientes casos:

- Planta de agregados San Marcos – Argos, planta Valle del Cauca, donde utilizan una técnica mediante usos de zarandas clasificadoras para la producción de agregados y caliza (“Planta de Agregados San Marcos”, 2020).
- Empresas que conforman la federación de áridos de España, quienes usan el mismo principio de lavado y clasificación por zarandas para la producción de áridos para la industria de la construcción (Mancilla, 2012).

Los áridos son materiales indispensables para el sector de la construcción. La producción de áridos consiste básicamente en triturar y clasificar piedras según su tamaño. Sin embargo, en la práctica, el proceso es mucho más complejo, pues se deben obtener áridos homogéneos y de tamaños normalizados (Yepes Piqueras, 2013).

En el estudio que se realizó al proceso de trituración, lavado y clasificación de materia prima (piedra caliza) utilizada en la empresa Sibelco, muestra resultados muy positivos donde se evidencia actividades que generan valor agregado dentro del proceso logístico, que a su vez permiten identificar mejoras que cuantifican el desarrollo del trabajo realizado.

Por medio de la medición y análisis de muestras tomadas de las pilas de material rechazado en los patios de almacenamiento podemos comprobar que, una vez instalado e implementado la propuesta se puede evitar el desperdicio de gran parte del proceso que ha sido considerado como desecho ocupando espacio y tiempo para su disposición. Aplicando la logística inversa dentro de la compañía, se retorna materia prima al proceso recuperando el 80% de producto que cumple con las características de calidad.

Finalmente es realizado un análisis y presentación de la propuesta de valor, simulando los escenarios de producción ideales bajo la implementación la logística inversa como metodología se evidenciaron mejoras de producción y ahorros por un valor total de \$164.626.711 por año, de las propuestas analizadas a partir de una inversión industrial (costo) asociado de \$ 32,365,289 para su correcta implementación y desarrollo.

## 2. Planteamiento del problema

Sibelco Colombia S.A.S. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de minerales industriales no metálicos para la elaboración de productos de sectores industriales de papel, pinturas y plásticos, la materia prima utilizada principalmente es la piedra caliza, que se obtiene mediante la explotación de yacimientos. Esta roca debe de tener pureza de al menos de un 98% de carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ .

La caliza es un mineral de origen sedimentario compuesta en su mayor parte por carbonato de calcio y magnesio de calcio, este mineral es llevado a la empresa como material en bruto y despachado a los clientes como Carbonato de Calcio, el primer proceso que se lleva a cabo con este mineral es un lavado a presión para la limpieza o descontaminación de la roca. Estos residuos se filtran por la malla de la banda cadena y debido a que la reducción de tamaño de la roca no es completamente homogénea genera trozos de diversas formas y medidas, por lo cual el mismo proceso evacua arena y algunas piedras cuyo tamaño cumplen con los requerimientos de calidad para continuar en el proceso de producción.

Tras realizar una caracterización de las fortalezas y debilidades de los procesos, es evidente que se presenta una pérdida notable del material. En busca de una solución viable a esta problemática se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuál puede ser una posible solución para reducir el porcentaje de pérdida de material en el proceso inicial de lavado y triturado de la piedra caliza en la empresa Sibelco Colombia S.A.S.?

Desde su creación la empresa no cuenta con un sistema de recirculación de desechos con alto contenido de carbonato de calcio, lo cual es perjudicial para el sector económico, ya que se está pagando por esta materia prima y es necesario tomar medidas, debido a que la cantidad de material que se acumula en los patios es muy alta y genera costos para la empresa.



En un principio cuando se fundó la compañía, los niveles de producción eran muy bajos y de esta manera se diseñó el sistema de lavado y triturado. Con el pasar de los años, y obviamente con la adquisición de nuevos clientes aumentaron considerablemente las ventas de producto terminado y por ende el consumo de materia prima. A pesar de las anotaciones y sugerencias de personal operativo quienes viven y sufren directamente el tema de evacuación del material desechado, nadie se preocupó por mejorar el diseño del equipo y solo hubo afán por aumentar los niveles de producción. Sin embargo, a la fecha y con el aumento en la demanda de materia prima para consumo, evidentemente surge la necesidad por aplicar un cambio a dicha línea de producción, es por ello que se propone implementar la mejora al sistema de lavado y triturado. Puesto que de no hacerlo es propio aceptar el aumento de las horas trabajadas para cumplir con los programas de producción, y a su vez asumir algunos sobrecostos tales como:

1. Costos de almacenamiento por acumular exceso de material desechado.
2. Aumento en mano de obra.
3. Aumento de materia prima
4. Transporte.
5. Consumos de energía.
6. Mantenimientos de equipos por desgaste.

Con la formulación de este proyecto se busca mitigar el impacto generado por el desperdicio de piedra con alto contenido de carbonato de calcio y beneficiar al sector financiero de la empresa.

### 3. Justificación

Esta investigación nace a partir del contacto constante que teníamos como empleados con el proceso, allí se observa que se tiene un conocimiento claro de las pérdidas producidas en el lavado de la materia prima el cual se toma como desecho, sin embargo, no se busca una solución o razón justificable de dichas pérdidas. A partir de esto nacen interrogantes como ¿cómo se maneja el inventario versus producción? ¿Cómo hacen para aplicar porcentaje de pérdidas del proceso? ¿Se tiene conocimiento del producto desechado?, ¿por qué no buscar razones o justificaciones de la pérdida?, y así seguiríamos buscando interrogantes que nos llevaban a un mismo punto, donde está la pérdida y de que está conformada ésta. A partir de esta investigación se observa que dentro del material desechado aún queda producto que puede ser procesado y aprovechado para mitigar el porcentaje de pérdida que se ha venido presentando.

Con base en datos históricos facilitados por la empresa Sibelco Colombia S.A.S los desechos del proceso, contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio, el cual puede ser reutilizado en el proceso con el fin de disminuir las pérdidas, afectando directamente el sector financiero.

Una vez aplicado y puesta en marcha la idea de mejorar el sistema de lavado, se garantiza la recuperación de por lo menos el 80 %, del material que actualmente se evacua como residuos inservibles (Sibelco S.A.S), sin afectar la calidad del proceso, lo cual es directamente proporcional a una recuperación de dinero tanto en el costo del material que se está reintegrando al sistema, como en los costos de explotación, transporte y maquinaria empleada para dicho fin. Como punto de referencia tomamos integrantes de la federación de áridos de España tales como Arigal, Anefa, Arival, Gremi D'Àrids de Catalunya. Los cuales utilizan esta técnica de lavado y clasificación para producir áridos para la construcción (Mancilla, 2012; Yepes Piqueras, 2013).

Así mismo es evidente el impacto ambiental positivo, ya que se minimiza la cantidad de desechos evacuados y el porcentaje de suelo explotado. Además, es una iniciativa que de una u otra manera incentiva a la empresa y sus colaboradores a innovar y/o rediseñar otros sistemas de la compañía con el fin de optimizar sus procesos y minimizar el impacto socio ambiental.

## 4. Objetivos

### Objetivo general

Diseñar un modelo de logística inversa en el sistema operacional de lavado, clasificación y molienda de piedra caliza para la empresa Sibelco Colombia S.A.S

### Objetivos específicos

1. Caracterizar el nivel de rendimiento de las mallas de la banda cadena por medio de una prueba granulométrica en la empresa Sibelco Colombia S.A.S.
2. Cuantificar la cantidad de material procesado y su respectivo desecho por hora de trabajada.
3. Calcular el presupuesto del sistema de mejora para la recuperación del material desechado que aun cumple con las especificaciones de calidad.
4. Diseñar un sistema de recirculación para el material de desecho aplicando el modelo de logística inversa en el de lavado, clasificación y molienda de piedra caliza.

## **5. Marco teórico y estado del arte**

### **5.1. Marco referencial.**

Buen uso del mineral, la piedra caliza es la materia prima en la producción de carbonato de calcio, los mayores clientes de la empresa son las industrias papeleras, las industrias de pinturas y en la industria del plástico.

Recuperación de mineral, se debe sacar mayor provecho de los materiales extraído desde la mina, tratando de mejorar los procesos para disminuir los residuos generados en ellos. Se deben trabajar sobre cualquier alteración dada sobre un medio ambiente dado, como los bosques, manglares, humedales y ríos.

#### **Antecedentes nacionales:**

##### **Nombre de la investigación.**

La caliza en Colombia. Geología, recursos, calidad y potencial (Servicio Geológico Colombiano, 2012). Investigación realizada para Ingeominas por: Mario Torres Vaca, ingeniería geológica y perforaciones, con la participación de: Giancarlo Renzoni, Inés Vergara Gómez, Luis David Mesa Ríos, Luis Enrique, Farfán Flórez, Lady Patricia Rodríguez, David Gutiérrez, Rubén Teherán; realizado en las zonas del: Putumayo, Meta, Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Cesar, La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Antioquia, Caldas, Quindío, Tolima, Valle del Cauca, Cauca, Huila

La caliza es una roca que, al igual que el carbón y el hierro, ha sido el eje del desarrollo minero e industrial de Colombia y se utiliza ampliamente en numerosos procesos, sobre todo en las industrias siderúrgica, cementera, ornamental y agrícola; sin embargo, su exploración y su explotación se han efectuado de acuerdo con la demanda del mercado y su localización estratégica.

La búsqueda de materias primas para diversos usos en la industria ha sido la justificación general

de las exploraciones sobre los depósitos calcáreos. La biblioteca del Servicio Geológico Colombiano (anteriormente Ingeominas) cuenta con documentación compleja, desde informes preliminares de resultados de visitas a depósitos, para efectuar un reconocimiento geológico y apreciar la magnitud del cuerpo calcáreo, hasta estudios orientados a evaluar los yacimientos con el fin de explotarlos para obtener algún tipo de producto. Es así como, desde hace varias décadas, se organizaron planes de exploración para orientar la ejecución de proyectos en los campos de la industria de la caliza del país. Estos desarrollos fueron posibles gracias a una política de fomento iniciada en 1940, por medio de dos decretos extraordinarios y una escritura pública, dirigida a crear el Instituto de Fomento Industrial (IFI), con el propósito de promover la fundación y el ensanche de compañías dedicadas a la explotación de industrias esenciales que, por iniciativa y capital de particulares, no se hubiesen podido desarrollar satisfactoriamente. Entre sus objetivos establecía "Organizar y promover empresas dedicadas a la exploración, explotación, beneficio y transformación de las minas de propiedad de la nación, en caso de que éstas revistieran una importancia básica para el desarrollo de la economía nacional". Entre las dependencias del IFI estaba el Departamento de Minería, encargado de efectuar los trabajos exploratorios, evaluar los yacimientos descubiertos y realizar la planeación del yacimiento evaluado previamente, indicando los posibles sistemas de explotación, en distintas condiciones de producción, beneficio y mercado; uno de los proyectos mineros llevados a cabo desde su exploración inicial hasta el pleno aprovechamiento industrial de la caliza fue Cementos Paz del Río.

Según Servicio Geológico Colombiano (2012), con el pasar de los años, estas actividades se volvieron casi una exclusividad de la industria privada, pero el Servicio Geológico Nacional (SGN) mantuvo activa la investigación sobre los depósitos calcáreos, razón por la cual se tienen muchos

estudios hechos sobre estos depósitos en la mayor parte del territorio nacional, que conviene presentar en forma actualizada para suscitar el interés del actual inversionista.

De igual manera, entidades de carácter público, como las secretarías de Minas de algunos departamentos y la empresa privada, en especial las siderúrgicas y productoras de cemento, poseen información relevante sobre recursos, reservas, calidad y usos. En los departamentos de Antioquia, Bolívar, Boyacá, Cesar, Caldas, La Guajira y Norte de Santander, así como en las regionales de Servicio Geológico Colombiano de Bucaramanga, Bogotá, Cali, Cúcuta e Ibagué, cursan solicitudes de exploración y explotación para caliza que indican la presencia de yacimientos de este mineral, pero sobre los cuales se hace necesario conocerlos más detalladamente e integrarlos a la información general del país.

Los lineamientos del Documento Conpes 3577, tienen como objetivo “formular estrategias y desarrollar instrumentos para racionalizar el componente de costo de producción asociado a los fertilizantes en el sector agropecuario, con el fin de mejorar la competitividad de la producción y proteger los ingresos de los productores” (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2009). El Servicio Geológico Colombiano, por su parte, establece la necesidad de recopilar, integrar, analizar y evaluar la información existente sobre caliza y mármol como fuente de calcio.

El objetivo general de este estudio es recopilar, revisar, analizar y validar la información técnica existente en las entidades estatales y privadas en Colombia sobre aspectos geológicos, sistema de clasificación de recursos y reservas, cuantificación de recursos y reservas, calidades, mercadeo, infraestructuras, aspectos mineros y ambientales sobre la caliza y mármol (como fuente de calcio), y presentar, en forma resumida, el estado actual del conocimiento geológico y minero en el tema calcáreo para impulsar proyectos de desarrollo y para hacerlo parte del Sistema Nacional de Información Minera (Servicio Geológico Colombiano, 2012).

## 5.2. Marco Teórico

### 5.2.1. Conceptos.

#### *Piedra caliza.*

La piedra caliza “es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente en un 90% por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ , generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ) y otros carbonatos” (“Caliza”, 2020).

Tiene una densidad 2.38 y 2.87 gr/cm, y una dureza entre 3 y 4. la dureza de la caliza se encuentra en la cantidad de Carbonato Calcio  $\text{CaCO}_3$  equivalente. Eso se consigue multiplicando la concentración de Calcio por 2,49 y sumando posteriormente la concentración de Magnesio multiplicada por 4,11. La caliza es una roca con gran valor económico la cual es utilizada como materia prima para la fabricación del cemento, en la industria de las pinturas, alimentos concentrado, jabones y en la construcción y como fundente en la industria siderúrgica.



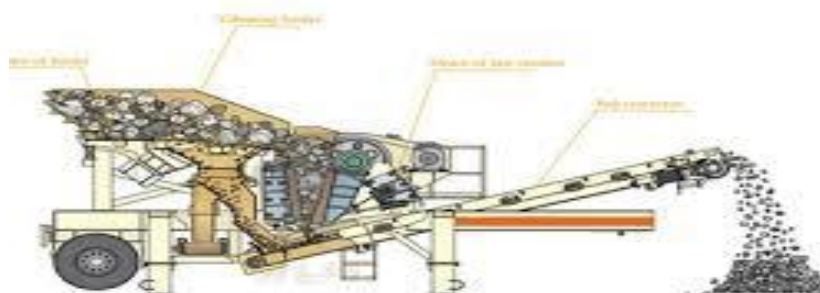
*Figura 2.* Rocas de Piedra Caliza (“Significado de la Piedra Caliza”, 2020).



### ***Trituración.***

“Proceso de transformación física de materiales sólidos utilizado para la reducción de tamaño sin alterar su naturaleza, para lo cual se utilizan diferentes métodos, Proceso de reducción de materiales comprendido entre los tamaños de entrada de un metro a un centímetro (0,01m), diferenciándose en trituración primaria (de 1 m a 10 cm) y trituración secundaria (de 10 cm a 1 cm)” (“Trituración”, 2012).

“La trituración, además, se refiere a la producción de un material homogéneo a través de la mezcla, convirtiendo la producción de residuos de post- consumo en un material a granel (material molido, partículas) lo más homogéneo posible, en este caso se utiliza una trituradora de mandíbulas” (Ramírez, 2011).



*Figura 3.* Proceso de Trituración (“Equipo de trituración”, 2013).

### ***Tolva.***

Recipiente en forma de pirámide o cono invertido tipo embudo de gran tamaño, con una abertura en su parte inferior, donde se pueden depositar minerales ya granulados o pulverizados, que sirve

para hacer que su contenido pase poco a poco a otro lugar o recipiente de boca más estrecha (“Tolva”, s/f).



Figura 4: Tolva para Depositar Minerales Granulados (“Tolvas Industriales”, 2020).

### ***Banda cadena.***

La banda transportadora es un sistema de transporte continuo que está compuesto de elementos metálicos que se unen entre sí formando una cama metálica que se mueve entre dos tambores los cuales giran cumpliendo la función de hacer desplazar en su parte exterior el sistema de banda cadena a través del movimiento del tambor que es su eje giratorio el cual es accionado por un motor (Cambridge Engineered Solutions, s/f).



Figura 5. Sistema de Banda Cadena (“Transportadores y Bandas”, 2016).

### *Sistema de lavado.*

Sistema compuesto por una cama levemente inclinada a la cual se le aplica un sistema de vibración, donde se instalan rociadores de agua a alta presión para el lavado y clasificación de gravas calizas, así como de tratamiento de lodos resultantes, incluyendo el sistema integral de recuperación de agua (“Planta de lavado de rocas calizas”, 2020).

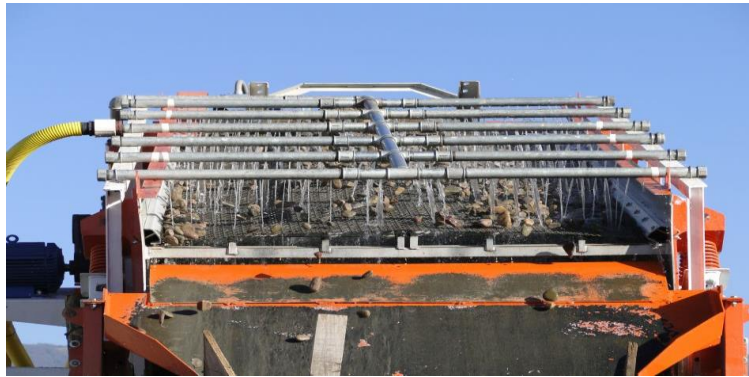


Figura 6. Sistema de Lavado (“Zarandas Serie ZC”, s/f).

### *Arena.*

“Polvo fino no metálico derivado de la trituración de piedra Caliza” (“Arena Caliza”, 2018). Se entiende por arena a los restos de rocas que están fraccionados y que se encuentran en ciertas zonas. Éstas, a su vez, podrían unirse y formar nuevos minerales, que se consolidan con el pasar del tiempo, formando aquellas creaciones llamadas areniscas. El tamaño de cada grano de arena oscila entre los 0,063 y los 2 mm; se pueden clasificar de acuerdo con las dimensiones que presentan, siendo bautizadas como limo y grava, por tener medidas debajo de las medidas establecidas y la segunda por poseer algunas por encima de las mismas (“Arena”, 2019).



*Figura 7. Pila de Arena (“Arena”, 2019).*

### ***Malla.***

La malla zaranda es una malla en alambre de acero de bajo carbono trefilado en húmedo, de buena maleabilidad o ductilidad, y de excelente resistencia a la oxidación expuesto a la intemperie. Es utilizada para la fabricación de tamices y filtros de diversos calibres para la industria de la construcción para cernir arenas granulares y como refuerzo en placas aligeradas, en la industria de clasificación de sólidos de productos granulares (“Malla Zaranda”, 2014).



*Figura 8. Malla de Acero para Zaranda (“Malla Zaranda”, 2014).*

### ***Zaranda vibratoria.***

La zaranda vibratoria se utiliza para la filtración de materiales después del proceso de triturado. Altamente empleada en la industria minera, en los procesos de cribado y clasificación de material en diversos tamaños. Las zarandas vibratorias o criba pueden ser usadas en industrias como la metalúrgica, industria minera de carbón, minería selectiva, construcción, industria química y pulverización (“Fabricación de zarandas vibratoria”, 2017).



*Figura 9.* Zaranda Vibratoria (“Zaranda vibratoria GIL-0.15 (4 pisos)”, 2020).

### ***Tamiz de análisis.***

Cedazo que se utiliza para la separación o clasificación de diferentes tipos de materiales. Utensilio que se usa para separar o clasificar las partes finas de las gruesas de diferentes productos y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro, también es conocido por cedazo o criba (“Tamiz”, 2011).



*Figura 10.* Tamiz de análisis (“Tamiz”, 2011).

### ***Recuperación de materiales***

Cuando se trata de la recuperación de algo material se pretenderá volver a tener aquello que se perdió, se dañó o se desechó, después del concepto recuperar viene el de reutilizar algo que no se tiene claro para que puede servir, que beneficios tiene y después de ser reutilizado se obtienen resultados positivos por su valor agregado (Ucha, 2010).



*Figura 11.* Recuperación de Materiales (“Sanirent - Succion, limpieza y recuperacion de materiales”, 1992).

### ***Desechos de materiales.***

Son aquellos materiales, residuos, sustancias, objetos, que se necesita eliminar porque ya no ostenta utilidad en proceso, aunque, es recurrente que aquello que para uno es un desecho y como tal debe ser eliminado, otro individuo puede considerarlo todavía útil para su vida (Ucha, 2012).



*Figura 12.* Desecho de Materiales (“Con restos de construcciones y de sillar generarán un material similar al cemento”, s/f).

### ***Logística Inversa.***

Son todos los procesos y actividades necesarias para gestionar el retorno y reciclaje de las mercancías en la cadena de suministro. La logística inversa engloba operaciones de distribución, recuperación y reciclaje de los productos donde juega un papel muy importante debido a que obtiene una reducción de contaminación por su impacto ambiental es muy favorable.

“La logística también evoluciona y se adapta a las necesidades que de forma gradual va teniendo el sector. Este tipo de logística nació para ayudar en el cuidado del medio ambiente, una necesidad cada vez más importante en el sector” (Rentero, 2018).

La logística inversa es un proceso que nace debido a la cantidad de desperdicios que se generan de los residuos de productos que pueden ser reciclados de manera más práctica, las empresas se ven involucradas de alguna manera al generar productos que en gran volumen afecta y contamina el medio, es así como se busca dar un mejor ciclo a los residuos que quedan después de haber dado el uso a un producto. Se podría decir que la logística inversa es aquella rama que sirve para disminuir y reutilizar una gran cantidad de desperdicios.

A nivel nacional e internacional tenemos como ejemplo la empresa ARGOS la cual hace cementos y agregados de muy buena calidad, y a su vez cuenta con un excelente programa de logística inversa de sus productos, el cual resulta después de realizarse preguntas como:

¿Cuál es el ciclo de vida de un saco de cemento? ¿Qué pasa con su disposición final? ¿Podemos reutilizarlos en un nuevo proceso industrial? Estas y otras fueron algunas preguntas que llevaron a la compañía a pensar en un esquema de disposición sostenible para los sacos de cemento usados.

El esquema diseñado, exclusivo para clientes de Argos, se basa en un modelo de logística inversa, mediante el cual los sacos de cemento vacíos son limpiados y organizados en las obras, para luego ser recogidos por Argos en el siguiente despacho. Posteriormente, se entregan a

industrias como la de fibrocemento o cartón, donde se utilizan como materia prima. De esta manera se evita el consumo de recursos adicionales y el envío de los sacos a los rellenos sanitarios (“Argos implementa programa de reciclaje pionero en Colombia”, 2014).



Figura 13. Logística Inversa (Rentero, 2018).

### *Sinfín (tornillo).*

Es un elemento metal plano moldeado en forma de hélice de tornillo sin fin que se convierte en un sistema transportador continuo de residuos sólidos diseñados para mover materiales a granel en cualquier dirección, su diseño permite transportar y mezclar al mismo tiempo, tan solo con pequeñas variaciones en el tipo de hélice (“Transportadores de tornillo sin fin”, 2020a).

Esta rota alrededor del eje longitudinal y transporta el material en una artesa o tubo en reposo en dirección axial que a su vez sirve como elemento portante posibilitando el transporte del material horizontal, vertical o en un plano inclinado (“Transportadores de tornillo sin fin”, 2020b).

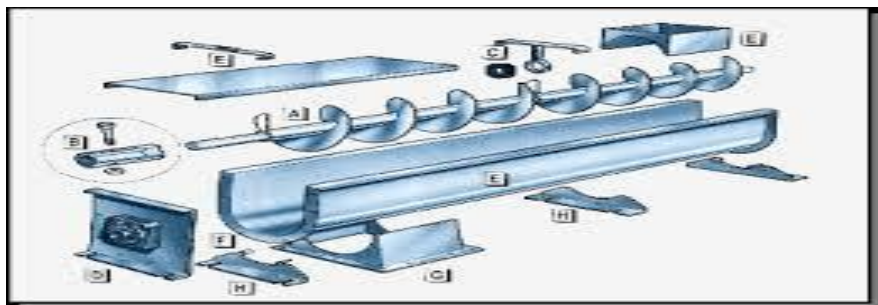


Figura 14. Tornillo Sinfín (“Tornillo sin fin”, 2020).



### 5.3. Marco Legal

Constitución Política de Colombia

Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

Artículo 330. Parágrafo: La explotación de los recursos naturales en los territorios indígenas se hará sin desmedro de la integridad cultural, social y económica de las comunidades indígenas. En las decisiones que se adopten respecto de dicha explotación, el Gobierno propiciará la participación de los representantes de las respectivas comunidades.

## **6. Diseño metodológico de investigación**

### **6.1. Tipo de Enfoque: (Cualitativo)**

Tiene como objetivo la descripción de las cualidades de un fenómeno busca un concepto que pueda abarcar una parte de la realidad. No se trata de probar o de medir en qué grado se encuentra cierto acontecimiento dado, sino de descubrir tantas cualidades como sea posible de esta forma podemos encontrar como características principales de esta metodología algunas como:

1. La investigación cualitativa es inductiva.
2. Tiene una perspectiva holística, esto es que considera el fenómeno como un todo.
3. Se trata de estudios en pequeña escala que solo se representan a sí mismos.
4. Hace énfasis en la validez de las investigaciones a través de la proximidad a la realidad empírica que brinda esta metodología.
5. En general no permite un análisis estadístico.
6. Se pueden incorporar hallazgos que no se habían previsto
7. Los investigadores cualitativos participan en la investigación a través de la interacción con los sujetos que estudian, es el instrumento de medida.
8. Analizan y comprenden a los sujetos y fenómenos desde la perspectiva de los dos últimos; debe eliminar o apartar sus prejuicios y creencias.

### **6.2. Tipo de investigación: (Investigación acción)**

El término "investigación acción" proviene del autor Kurt Lewin. Rodríguez García et al. (2011) afirman que “fue utilizado por primera vez en 1944. Describía una forma de investigación que podía ligar el enfoque experimental de la ciencia social con programas de acción social que respondiera a los problemas sociales principales. Mediante la investigación – acción, Lewin argumentaba que se podía lograr en forma simultáneas avances teóricos y cambios sociales” (p.2).

Según Lomax (1990) define “la investigación-acción como «una intervención en la práctica profesional con la intención de ocasionar una mejora». La intervención implica una indagación disciplinada” (Rodríguez García et al., 2011, p.3).

Tomando la teoría de Lomax, implica al investigador a ejercer un rol ya sea de forma directa o indirecta en la investigación que busca la mejora a través de la intervención y tomar parte dentro de la misma; además genera teorías de la práctica, teniendo en cuenta que ésta a su vez brinda el criterio de la verdad más profunda y decisiva en el conocimiento.

### **Técnicas.**

#### ***Observación.***

Es un proceso cuya función inmediata es recoger información directa sobre hechos y realidades del medio o de las actividades que desarrolla la gente empleando los sentidos; esta recogida implica una actividad de codificación para ser transmitida y para ello se debe tener en cuenta: describir y explicar, datos adecuados y fiables y conductas perfectamente identificadas.

#### ***Mediante pruebas granulométricas.***

Es hacer pasar una muestra por varios tamices con diferentes dimensiones y ensamblado en una columna, el material retenido en cada malla se debe registrar y calcular para obtener el porcentaje sobre cada una de ellas y determinar qué tan fino o grueso es la muestra analizada.

### 6.3. Desarrollo Metodológico del Estudio – fases

#### Para el cumplimiento del objetivo 1.

Para lograr caracterizar el nivel de rendimiento de las mallas de la banda cadena por medio de una prueba granulométrica en la empresa Sibelco Colombia S.A.S se aplicó el siguiente procedimiento.

#### *1. Muestreo del material de desecho (piedra caliza y lodos).*

recolección de muestra equivalente a 100 kg, Conformada por 10 muestras de 10 kg cada una tomada de diferentes puntos alrededor y alto de la pila de almacenamiento.



*Figura 15.* Muestreo del Material Desechado (“Pila de arena - Foto de stock”, 2020).

#### *2. Preparar la muestra para realizar análisis.*

Se mezclan las muestras recolectadas hasta conseguir un producto homogéneo y se procede a realizar cuarteo tipo torta hasta reducir la muestra a 10 kg o menos, dependiendo del tamaño de la muestra a analizar en las pruebas granulométricas. Se realizan 6 muestreos y análisis independientes de diferentes pilas de material almacenado.



Figura 16. Cuarteo tipo Torta (“¿Qué es Cuarteo de suelos?”, s/f).

### 3. *Determinar humedad.*

Basados en el procedimiento descrito en la norma técnica colombiana NTC 1776 para determinar el porcentaje de humedad en agregados, realizamos análisis de contenido de humedad a cada una de las 6 muestras recolectadas en el paso anterior, para lo cual seguimos los pasos descritos a continuación (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1994).

- Medir una muestra de 10g en balanza analítica en un recipiente (crisol metálico) previamente tarado.
- Llevar la muestra a una estufa de secado a 110 °C durante 1 hora.
- Trascorrida la hora, llevar la muestra a un frasco desecador con sílica gel hasta conseguir temperatura ambiente.
- Pesarse el crisol más muestra seca y realizar cálculos de la siguiente manera:

Se debe realizar el cálculo por medio de la siguiente fórmula, según la norma técnica 1776 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1994), que es la que rige el porcentaje de humedad (%)

$$W = \frac{100(H - S)}{S} \quad (1)$$

Donde:

W = Contenido de humedad de la muestra, en porcentaje.

H = Masa inicial de la muestra en gramos.

S = Masa de la muestra seca en gramos.

Luego se hace la operación de la fórmula teniendo los resultados de las muestras secas

**Muestra 1.** Peso muestra húmeda 10,0004 (g), peso muestra seca 9,5569 (g)

$$W = \frac{100(H - S)}{S}$$
$$W = \frac{100(10,0004 - 9,5569)}{9,5569}$$
$$W = \frac{(44,35)}{9,5569}$$
$$W = 4,64$$

**Muestra 2.** Peso muestra húmeda 10,0002 (g), peso muestra seca 9,5665 (g)

$$W = \frac{100(H - S)}{S}$$
$$W = \frac{100(10,0002 - 9,5665)}{9,5665}$$
$$W = \frac{(43,37)}{9,5665}$$
$$W = 4,53$$

**Muestra 3.** Peso muestra húmeda 10,0005 (g), peso muestra seca 9,5452 (g)

$$W = \frac{100(H - S)}{S}$$

$$W = \frac{100(10,0005 - 9,5452)}{9,5452}$$

$$W = \frac{(45,53)}{9,5452}$$

$$W = 4,76$$

**Muestra 4.** Peso muestra húmeda 10,0014 (g), peso muestra seca 9,4479 (g).

$$W = \frac{100(H - S)}{S}$$

$$W = \frac{100(10,0014 - 9,4479)}{9,4479}$$

$$W = \frac{(55,35)}{9,4479}$$

$$W = 5,85$$

**Muestra 5.** Peso muestra húmeda 10,0021 (g), peso muestra seca 9,5553 (g).

$$W = \frac{100(H - S)}{S}$$

$$W = \frac{100(10,0021 - 9,5553)}{9,5553}$$

$$W = \frac{(44,68)}{9,5553}$$

$$W = 4,67$$

**Muestra 6.** Peso muestra húmeda 10,0013 (g), peso muestra seca 9,5264 (g).

$$W = \frac{100(H - S)}{S}$$

$$W = \frac{100(10,0013 - 9,5264)}{9,5264}$$

$$W = \frac{(47,49)}{9,5264}$$

$$W = 4,98$$

Con el resultado obtenido del porcentaje de la humedad en cada muestra podemos realizar la siguiente tabla

Tabla 1 Porcentaje de humedad en cada muestra

Numero de muestra	Masa del crisol (g)	Masa de la muestra (g)	Masa de la muestra seca (g)	Masa crisol + Masa muestra seca (g)	% Humedad
Muestra 1	45,7535	10,0004	55,3104	9,5569	4,64
Muestra 2	45,7535	10,0002	55,32	9,5665	4,53
Muestra 3	45,7535	10,0005	55,2987	9,5452	4,76
Muestra 4	45,7535	10,0014	55,2014	9,4479	5,85
Muestra 5	45,7535	10,0021	55,3088	9,5553	4,67
Muestra 6	45,7535	10,0013	55,2799	9,5264	4,98
Promedio					4,90

En la tabla 1 se anexan los resultados obtenidos del porcentaje de humedad de las 6 muestras que se analizaron según el proceso del punto 3 Determinar Humedad (autoría propia). Después de tener el resultado del análisis hecho en la estufa de secado, (muestra seca) se hacen los cálculos por medio de la fórmula para obtener el porcentaje de humedad realizados según el procedimiento descrito en la norma técnica colombiana 1776, determinación de porcentaje de humedad de los agregados (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1994). Estos valores arrojan resultados bastante estables, y a su vez se presenta su respectivo valor promedio para las muestras analizadas. Dichos resultados son los que se utilizaron para realizar el cálculo real de la cantidad de material



desperdiciado que aún cumple las especificaciones requeridas por la empresa Sibelco, puesto que es necesario tener en cuenta la cantidad de agua que se le incorpora al producto durante el proceso de lavado y que no corresponde a la masa o cantidad de producto real (Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1994).

#### ***4. Realizar análisis de granulometría.***

Realizar análisis de distribución de material (curva granulométrica), con el fin de conocer el comportamiento de los diferentes tamaños de partículas del material de las diferentes muestras recolectadas y así determinar cuantitativamente la cantidad de material que se está desechando, y que aún cumple con los requerimientos y especificaciones de la empresa Sibelco. Todo esto se realiza mediante el uso de tamices de 30 cm de diámetro con tamaño de orificios conocidos y certificados los cuales se ilustran y ordenan de forma descendente en la siguiente tabla:

Tabla 2. Clasificación de tamices (mallas) por número y/o tamaño de micras (Palacio-León, Chávez-Porras, & Velásquez-Castiblanco, 2017)

N° de Malla	Tamaño de malla en Micras ( $\mu$ )	Tamaño de malla en Milímetros (mm)
3/8	9525	9,5
4	4760	4,76
8	2380	2,38
16	1190	1,19
18	1000	1,00

En la tabla 2 se ilustra la forma correcta y ordenada de instalar los tamices para realizar las pruebas o análisis de granulometría de cada una de las muestras recolectadas (autoría propia).

Cuantificar porcentualmente el producto retenido en las distintas mallas anteriormente descritas en la tabla 2. Para lo cual se realizan 6 muestreos y análisis independientes de diferentes pilas de material almacenado, de los cuales se toman muestras aleatorias de los siguientes tamaños:

Tabla 3. Distribución granulométrica Muestra 1 (1000 g)

Muestra Inicial (g)	Nº Malla	Tamaño de Malla ( $\mu$ )	Tamaño de Malla (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado
1000	3/8	9525	9,5	135,55	13,56	13,56
	4	4720	4,76	352,02	35,20	48,76
	8	2360	2,38	153,72	15,37	64,13
	16	1180	1,19	96,35	9,64	73,76
	18	1000	1	143,75	14,38	88,14
	Colector			118,61	11,86	100,00
Total				1000	100	

En la tabla 3 podemos evidenciar los resultados de la primera muestra de 1000g analizada en el proceso de distribución granulométrica mencionado anteriormente, en la cual, en la Malla 18 se resalta con un retenido acumulado del 88,14 % de material para control en el proceso de lavado, clasificación y molienda de caliza con especificaciones que aún cumplen con los requerimientos de calidad por la empresa Sibelco, el cual se puede reincorporar al proceso. La Malla 18 es la que da el resultado para la viabilidad del proyecto en estudio (autoría propia).

Tabla 4. Distribución granulométrica Muestra 2 (3000 g)

Muestra Inicial (g)	N° Malla	Tamaño de Malla ( $\mu$ )	Tamaño de Malla (mm)	de Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado
3000	3/8	9525	9,5	300,85	10,03	10,03
	4	4720	4,76	781,45	26,05	36,08
	8	2360	2,38	532,58	17,75	53,83
	16	1180	1,19	578,95	19,30	73,13
	18	1000	1	351,45	11,72	84,84
	Colector			454,72	15,16	100,00
Total				3000	100	

En la tabla 4 podemos evidenciar los resultados de la segunda muestra de 3000g analizada en el proceso de distribución granulométrica mencionado anteriormente, en la Malla 18 se resalta con un retenido acumulado del 84,84 % de material para control en el proceso de lavado, clasificación y molienda de caliza con especificaciones que aún cumplen con los requerimientos de calidad por la empresa Sibelco, el cual se puede reincorporar al proceso. La Malla18 es la que da el resultado para la viabilidad del proyecto en estudio (autoría propia).

Tabla 5. Distribución granulométrica Muestra 3 (5000 g).

Muestra Inicial (g)	N° Malla	Tamaño de Malla ( $\mu$ )	Tamaño de Malla (mm)	Retenido Gramos (g)	% Retenido	% Acumulado
5000	3/8	9525	9,5	595,77	11,92	11,92
	4	4720	4,76	1008,72	20,17	32,09
	8	2360	2,38	886,20	17,72	49,81
	16	1180	1,19	911,32	18,23	68,04
	18	1000	1	852,68	17,05	85,09
	Colector			745,31	14,91	100,00
Total				5000	100	

En la tabla 5 podemos evidenciar los resultados de la tercera muestra de 5000g analizada en el proceso de distribución granulométrica mencionado anteriormente, en la Malla 18 se resalta con un retenido acumulado del 85,09 % de material para control en el proceso de lavado, clasificación y molienda de caliza con especificaciones que aún cumplen con los requerimientos de calidad por la empresa Sibelco, el cual se puede reincorporar al proceso. La Malla18 es la que da el resultado para la viabilidad del proyecto en estudio (autoría propia).

Tabla 6. Distribución granulométrica Muestra 4 (7000 g).

Muestra Inicial (g)	N° Malla	Tamaño de Malla ( $\mu$ )	Tamaño de Malla (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado
7000	3/8	9525	9,5	1004,12	14,34	14,34
	4	4720	4,76	1398,50	19,98	34,32
	8	2360	2,38	1422,58	20,32	54,65
	16	1180	1,19	1165,02	16,64	71,29
	18	1000	1	902,21	12,89	84,18
	Colector			1107,57	15,82	100,00
Total				7000	100	

En la tabla 6 podemos evidenciar los resultados de la cuarta muestra de 7000g analizada en el proceso de distribución granulométrica mencionado anteriormente, en la Malla 18 se resalta con un retenido acumulado del 84,18 % de material para control en el proceso de lavado, clasificación y molienda de caliza con especificaciones que aún cumplen con los requerimientos de calidad por la empresa Sibelco, el cual se puede reincorporar al proceso. La Malla18 es la que da el resultado para la viabilidad del proyecto en estudio (autoría propia).

Tabla 7. Distribución granulométrica Muestra 5 (2000 g).

Muestra Inicial (g)	N° Malla	Tamaño de Malla ( $\mu$ )	Tamaño de Malla (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado
2000	3/8	9525	9,5	235,20	11,76	11,76
	4	4720	4,76	422,10	21,11	32,87
	8	2360	2,38	349,91	17,50	50,36
	16	1180	1,19	507,33	25,37	75,73
	18	1000	1	192,27	9,61	85,34
	Colector			293,19	14,66	100,00
Total			2000		100	

En la tabla 7 podemos evidenciar los resultados de la quinta muestra de 2000g analizada en el proceso de distribución granulométrica mencionado anteriormente, en la Malla 18 se resalta con un retenido acumulado del 85,34 % de material para control en el proceso de lavado, clasificación y molienda de caliza con especificaciones que aún cumplen con los requerimientos de calidad por la empresa Sibelco, el cual se puede reincorporar al proceso. La Malla18 es la que da el resultado para la viabilidad del proyecto en estudio (autoría propia).

Tabla 8. Distribución granulométrica Muestra 6 (8000 g).

Muestra Inicial (g)	N° Malla	Tamaño de Malla ( $\mu$ )	Tamaño de Malla (mm)	Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado
8000	3/8	9525	9,5	811,98	10,15	10,15
	4	4720	4,76	1431,53	17,89	28,04
	8	2360	2,38	2265,54	28,32	56,36
	16	1180	1,19	1438,91	17,99	74,35
	18	1000	1	906,45	11,33	85,68
	Colector			1145,59	14,32	100,00
Total				8000	100	

En la tabla 8 podemos evidenciar los resultados de la sexta muestra de 8000g analizada en el proceso de distribución granulométrica mencionado anteriormente, en la Malla 18 se resalta con un retenido acumulado del 85,68 % de material para control en el proceso de lavado, clasificación y molienda de caliza con especificaciones que aún cumplen con los requerimientos de calidad por la empresa Sibelco, el cual se puede reincorporar al proceso. La Malla18 es la que da el resultado para la viabilidad del proyecto en estudio (autoría propia).

Tabla 9. Informe de resultados de pruebas granulométricas.

Numero de muestra	Retenido acumulado enmalla 18
Muestra 1	88,14
Muestra 2	84,84
Muestra 3	85,09
Muestra 4	84,18
Muestra 5	85,34
Muestra 6	85,68
Promedio	85,55

En la tabla 9 podemos ver los resultados de los análisis realizados a cada una de las muestras, donde se evidencia que con el material desechado se está evacuando un promedio de 85,55% de material retenido en (Malla 18 = 1,00mm) que aún cumple con las especificaciones necesarias para reincorporarse al proceso de producción. De esta manera se puede concluir que, con los estudios realizados anteriormente, la malla que cumple para lograr el objetivo del proyecto es la Malla 18, la cual nos arroja un porcentaje que garantice la viabilidad del proyecto el cual oscila en un 80 % que es el ideal por lo que estos datos pueden variar todos los días de trabajo, así como se observa en la siguiente gráfica (autoría propia):



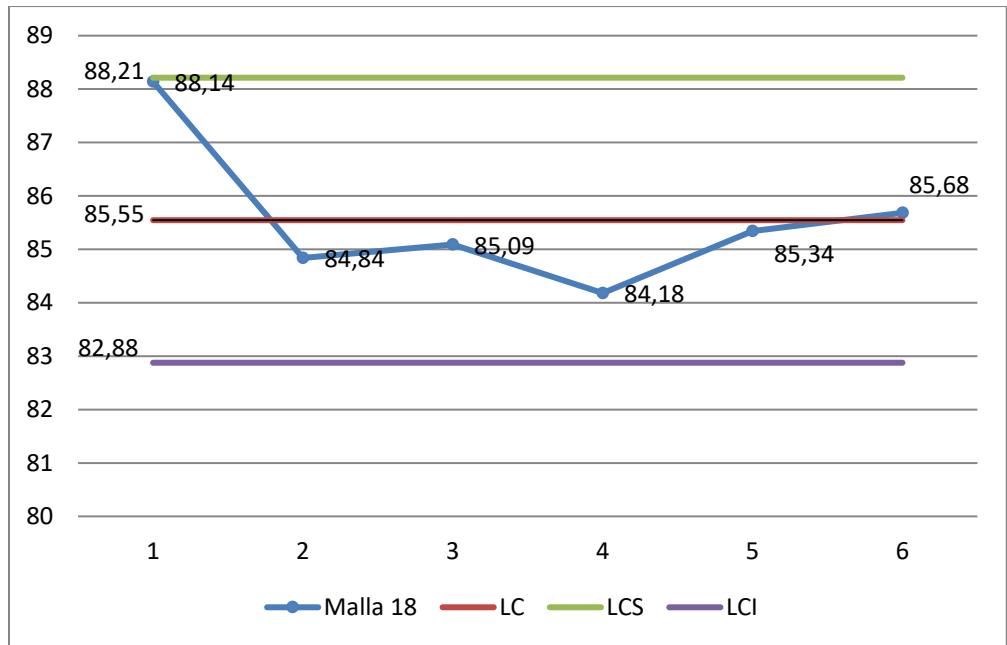


Figura 17. Gráfica de control pruebas granulométricas tabla 9 (autoría propia).

Tabla 10. Material retenido Malla 18 libre de humedad (1,00 mm) desechado libre de humedad.

Numero de muestra	Retenido acumulado en Malla 18	% Humedad	Retenido acumulado muestra seca
Muestra 1	88,14	4,64	83,50
Muestra 2	84,84	4,53	80,31
Muestra 3	85,09	4,77	80,32
Muestra 4	84,18	5,86	78,32
Muestra 5	85,34	4,68	80,66
Muestra 6	85,68	4,99	80,69
<b>Promedio</b>	<b>85,55</b>	<b>4,91</b>	<b>80,64</b>

En la tabla 10 podemos analizar 2 variables fundamentales para la toma de decisiones en la implementación del proyecto, las cuales se comparan de la siguiente manera: El análisis de

humedad realizado a cada una de las muestras arroja como resultado un promedio de 4,91 %, el cual al ser aplicado al porcentaje de material retenido acumulado en la malla 18 (promedio 85.55%), deja como resultado un promedio de 80,64 % de material libre de humedad (autoría propia).

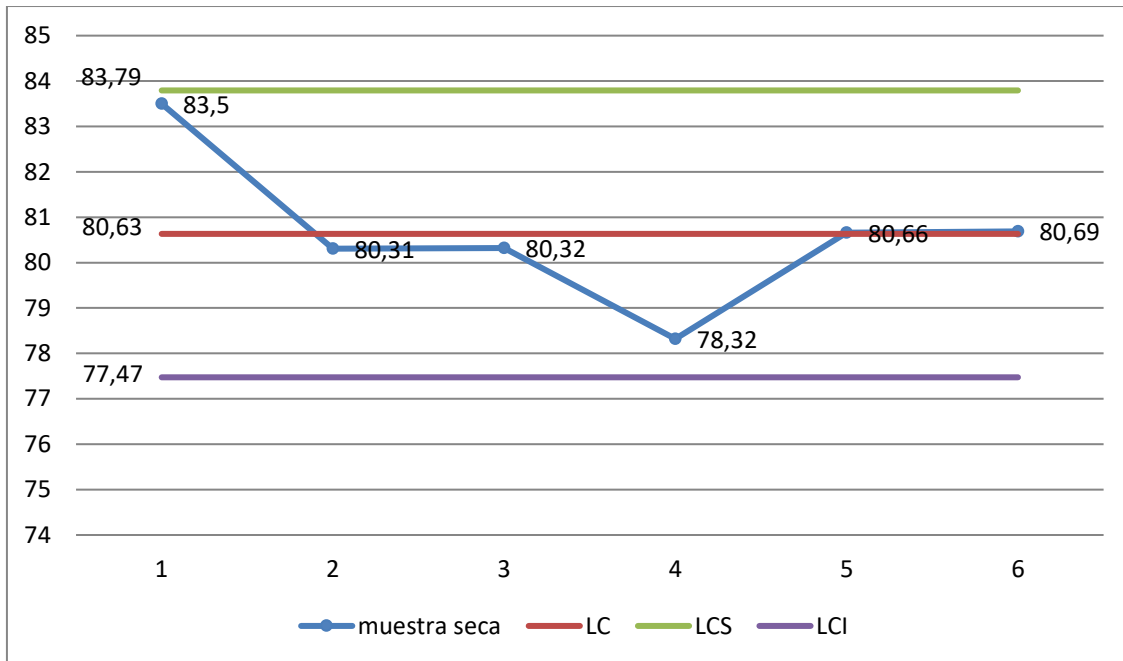


Figura 18. Gráfica de control de muestra tabla 10 (autoría propia).

**Para el cumplimiento del objetivo 2.** Para cuantificar la cantidad de material procesado y su respectivo desecho por hora trabajada se realizan 2 estudios complementarios de la siguiente manera:

**1. Análisis de porcentaje de material rechazado.**

Con los datos suministrados por parte de la empresa Sibelco S.A.S, el material desechado

equivale al 6% de la materia prima que es ingresada a la tolva de trituración en forma de piedra caliza (rajón), lo que corresponde a 60 kg por tonelada de piedra alimentada; adicional a esto se realizan 10 pruebas por separado donde se obtienen valores muy similares a los datos entregados por la empresa Sibelco s.a., así como se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 11. Porcentaje de Material Rechazado por Tonelada.

	Masa de la muestra en kg	Masa de material rechazado kg	% de material rechazado
Muestra 1	1000	61,3	6,13
Muestra 2	1000	58,8	5,88
Muestra 3	1000	63,1	6,31
Muestra 4	1000	57,5	5,75
Muestra 5	1000	60,8	6,08
Muestra 6	1000	60	6
Muestra 7	1000	60,2	6,02
Muestra 8	1000	59,5	5,95
Muestra 9	1000	58,9	5,89
Muestra 10	1000	59	5,9
<b>Promedio</b>		59,91	<b>5,991</b>

En la tabla 11 se evidencia que el análisis de porcentaje de material desechado por cada tonelada de material procesado realizado a las 10 muestras nos brinda un resultado promedio de 5,991 %, el cual es muy similar al valor suministrado por la empresa 6 % de material de rechazo (autoría propia).

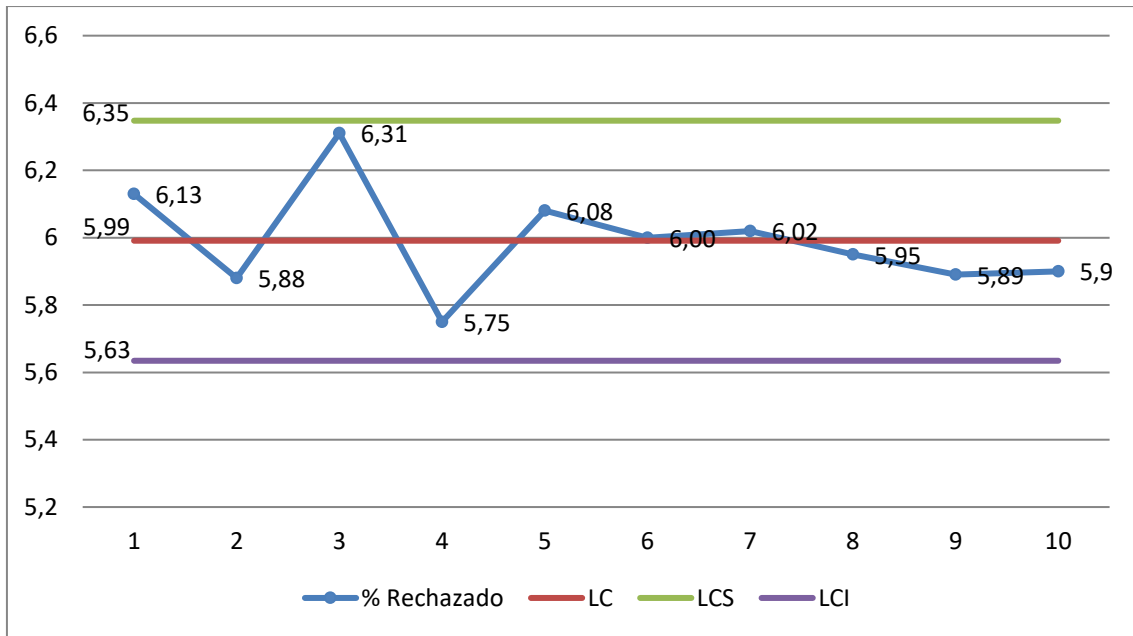


Figura 19. Gráfica de control % de material rechazado (autoría propia).

## 2. Análisis de cantidad de material rechazado en una jornada de producción normal.

Información suministrada por la empresa Sibelco S.A.S, nos permite conocer que en una jornada de producción normal de 24 horas se consume 120.000 kg de materia prima caliza (rajón), lo que a su vez corresponde a un consumo de 5.000 kg por hora de trabajo. De esta manera se toma tal información para cuantificar la cantidad de material rechazado en una jornada de producción continua y normal teniendo en cuenta que el porcentaje de pérdida o material de rechazo es de 6%.

Tabla 12. Cálculo de material rechazado en una jornada de producción normal.

	Materia prima (Caliza) triturado kg	Material rechazado kg
Día	120.000	7.200
Hora	5.000	300

En la tabla 12 se ilustra los resultados de la cantidad de material desechado por cada hora de trabajo (autoría propia). De acuerdo con estos análisis vemos que, en una jornada de trabajo normal, la cantidad de material que pasa a través de la banda cadena y que a su vez es rechazada, corresponde a 300 kg por hora de trabajo. Valores muy significativos que nos llevan a tomar decisiones sobre las necesidades de implementación en el sistema de lavado y clasificación de la empresa Sibelco S.A.S.

**Para el cumplimiento del objetivo 3:** Para calcular el presupuesto del sistema de mejora para la recuperación del material desechado que aun cumple con las especificaciones de calidad, se realizan análisis de humedad y pruebas granulométricas al interior de las instalaciones de la planta de producción de carbonato de calcio de la empresa Sibelco S.A.S ubicada en Puerto Berrio – Antioquia. Los resultados de estas pruebas son fundamentales para tomar acciones de mejora de acuerdo al tamaño de partícula que cumpla las especificaciones, con la finalidad de no afectar la calidad del producto terminado. Para ello seguimos el siguiente procedimiento:

**1. Diseñar el sistema de optimización de materia prima rechazada en el proceso de lavado, clasificación y molienda de piedra caliza.**

Después de una análisis complejo y detallado de la información recolectada mediante pruebas y ensayos realizados tanto al material en proceso como al material rechazado y almacenado en forma de pilas en los patios de almacenamiento, se concluye que la manera más eficiente de recuperar dicho material rechazado es la instalación de un sistema de clasificación adicional por medio de una zaranda o tamiz vibratorio de 2 niveles de malla (malla 3/8 de pulgada y malla 18) respectivamente. Donde el pasante de malla 18 (1,0 mm) es descargado en el sinfín que transporta los lodos, el cual ya estaba en el proceso. Los retenidos de ambas mallas son descargados en una banda transportadora que es el sistema encargado de llevar el material en proceso hasta la banda

principal, la cual recibe el material triturado de similares características para ser llevado hasta un molino de martillos quien se encarga de reducir y garantizar que todo el material cumpla con las especificaciones requeridas por la empresa las cuales indican que todo el material debe presentar un tamaño de partícula menor que malla 4 (4,76mm).

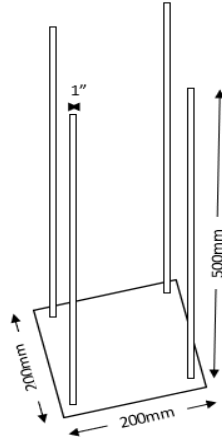
## **2. Identificar el tipo de materiales a utilizar.**

Por lo anteriormente mencionado, se describe con detalles las características de cada uno de los nuevos equipos y montajes que se adicionan al actual diseño del sistema de lavado, clasificación y molienda de caliza, así como otros materiales requeridos:

### ***Mortero de cemento y pernos de anclaje.***

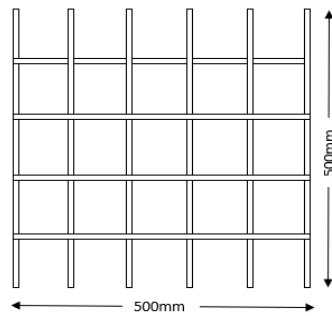
Para fundir el mortero de cemento, es necesario conocer las medidas precisas y exactas de donde quedará ubicada la zaranda y luego proceder de la siguiente manera con cada uno de las 4 ubicaciones donde se instalarán los soportes de la zaranda:

Soportes de anclaje: mediante uso de una platina cuadrada de 200mm x 200mm calibre de ½”, sobre la cual se soldarán de manera precisa y exacta 4 pernos roscados de 1” de diámetro y una longitud de 500mm ubicados uno en cada lado a una distancia de 40mm de la esquina hasta el centro del perno en sentido diagonal.



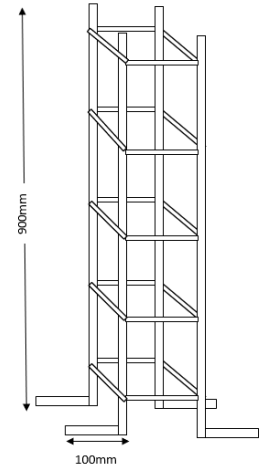
*Figura 20.* Soporte de Anclaje (autoría propia).

Emparrillado y estructura metálica: Posterior a ello, se rompe el piso en las cuatro esquinas donde quedarán ubicados los soportes (patas) de la zaranda a una profundidad de 1000mm y un ancho de 500mm por cada lado y en el fondo se ubica un emparrillado plano en varilla de 1" con 10 trozos de 500mm de longitud cada uno soldados entre sí, tal y como se ilustra a continuación:



*Figura 21.* Emparrillado Inferior Para Mortero de Cemento (autoría propia).

En sentido vertical, se debe instalar una estructura metálica cuadrada de 300mm x 300mm formada por varillas de 1" con una altura de 900mm y un doblé en la parte inferior de 100mm formando escuadra en cada varilla de la estructura. Además, se insertan 5 estribos doblados en forma de cuadros de 300mm x 300mm con varilla de ½" tal y como se representa en la siguiente figura



*Figura 22.* Estructura Vertical de Hierro Para Mortero de Cemento (autoría propia).

Una vez instalada y asegurada la estructura metálica al interior del hueco, se inserta el soporte de anclaje que se había ilustrado anteriormente, teniendo en cuenta ubicarlo de manera exacta y a una profundidad de 400mm tal y que nos quede 100mm de perno expuesto sobre el piso al momento de vaciar el mortero de concreto para sujetar la estructura de la zaranda.

### ***Zaranda vibratoria.***

Tal y como se mencionó anteriormente, se requiere de una zaranda de 2 niveles de malla, donde en la parte superior se debe instalar una malla de 3/8 de pulgada y en su parte inferior una malla 18. Además, debe tener una inclinación de 25° y una estructura modesta pero resistente elaborada de la siguiente manera:

Estructura (bases y soportes): Los soportes (patas), serán fabricados en tubo metálico cuadrado de 4''x 4'' calibre de 1/4'' cuya altura será de 500mm para los soportes delanteros y 1440mm para los traseros con el fin de conservar el ángulo de inclinación de 25° teniendo en cuenta la longitud de la zaranda. Además, debe llevar soportes horizontales del mismo material tanto en la parte alta como en la parte baja de los soportes alrededor de toda la estructura incluyendo el extremo superior de los soportes traseros. En la base de cada soporte debe instalarse una platina de 200mm x 200mm



calibre de ½ con 4 orificios de 1”, uno en cada lado a una distancia de 40mm de la esquina hasta el centro del orificio en sentido diagonal, y un soporte tipo bocín en forma de cilindro de un diámetro interno de 4” y de calibre 3/8” en donde irán soportados los espirales de amortiguación de la zaranda. (toda esta información se ilustra a continuación en forma de gráficas.

Valores iniciales para conocer el alto de los soportes traseros y conservar el ángulo de inclinación de la zaranda el cual se indicó que es de 25°.

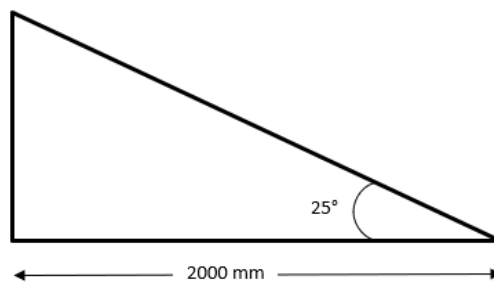


Figura 23. Valores Iniciales Para Cálculo de Altura de los Soportes Traseros (autoría propia).

Para calcular el alto de los soportes traseros aplicamos razones trigonométricas básicas de la siguiente manera (“Razones trigonométricas en triángulos rectángulos”, s/f):

$$\text{Tan } \alpha = \frac{\text{Cateto Opuesto}}{\text{Cateto adyacente}} \quad (2)$$

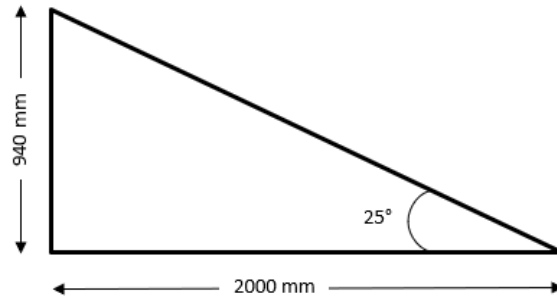
Despejando la fórmula:

$$\text{Cateto Opuesto} = (\text{Cateto adyacente})(\text{Tan } \alpha)$$

$$\text{Cateto Opuesto} = (2000\text{mm})(\text{Tan } 25)$$

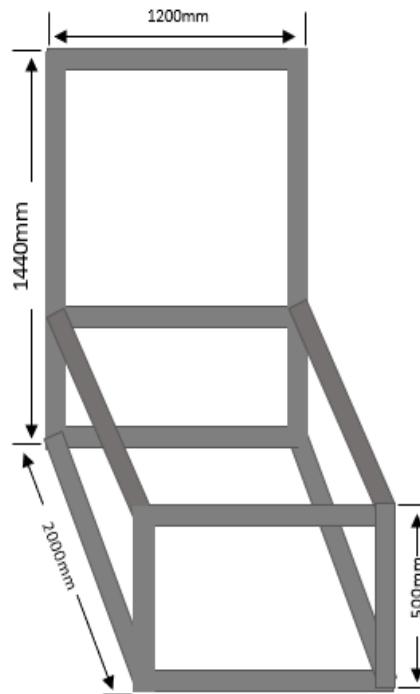
$$\text{Cateto Opuesto} = (2000\text{mm})(0,47)$$

$$\text{Cateto Opuesto} = 940 \text{ mm}$$



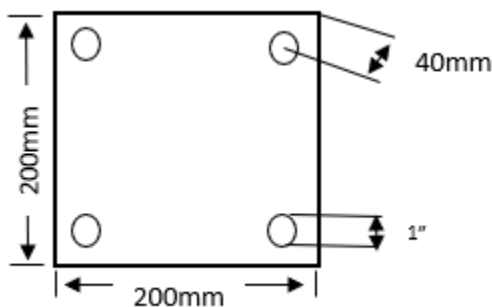
*Figura 24.* Resultado de Cálculo de Altura Cateto Opuesto (Altura Soportes Traseros) (autoría propia).

A este valor le sumamos la altura del soporte delantero (500 mm) consiguiendo como resultado una altura total de 1440 mm.



*Figura 25.* Medidas de Largo, Ancho y Alto de la Estructura de Soporte de la Zaranda (autoría propia).

**Platinas de anclaje:** Ahora compartimos figura con los datos y medidas requeridas para la platina de anclaje que está sujeta a los soportes y la cual una vez instalado será asegurada con pernos o tornillos fundidos en la placa de concreto donde se instalará la zaranda.



*Figura 26.* Medidas de Platina Base (autoría propia).

Adicionalmente y para efectos de claridad en la cotización, realizamos cálculo del área real de trabajo de la zaranda el cual corresponde al valor de la hipotenusa para lo cual aplicamos el teorema de Pitágoras de la siguiente manera:

#### Teorema de Pitágoras

El lado más largo del triángulo se llama "hipotenusa", así que la definición formal es: En un triángulo rectángulo el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los otros dos lados (llamamos "triángulo rectángulo" a un triángulo con un ángulo recto) ("Teorema de Pitágoras", 2020).

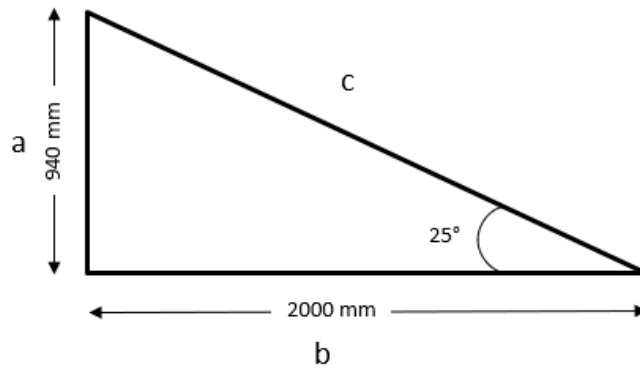


Figura 27. Información Para cálculo de Área de Trabajo de la Zaranda (autoría propia).

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (3)$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c = \sqrt{940^2 + 2000^2}$$

$$c = \sqrt{883600 + 4000000}$$

$$c = \sqrt{4883600}$$

$$c = 2210$$

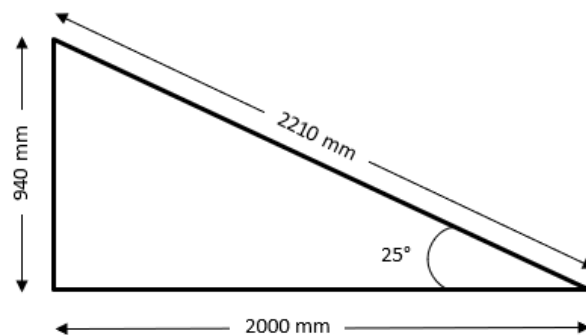


Figura 28. Área de Trabajo de la Zaranda (hipotenusa) (autoría propia).

Tal y como se puede apreciar tanto en los cálculos como en la figura, podemos observar que a pesar que la distancia horizontal de la Zaranda es de 2000mm, gracias a la inclinación de 25° que presenta, el área de trabajo de las mallas se ve aumentada a 2210mm, cosa que nos favorece por

tener un aumento en el área de trabajo que aumenta capacidad de tamizaje del material para clasificar.

### ***Estructura de la zaranda (cajón).***

Cajón fabricado el lamina de 3/16" con soportes en forma de marco con ángulos metálicos de 2,5" x 2,5" calibre ¼" en todas las esquinas. Además, se requiere de cuadrante en ángulos del mismo calibre y medidas al interior de la estructura donde se soportará cada uno de los 2 niveles de mallas. Dicha estructura debe tener unas dimensiones de 2210mm de largo, 1200mm de ancho y una altura de 600mm con el fin de instalar los niveles de malla cada 200mm a lo alto de la estructura. Instalar un tubo metálico con diámetro interno de 4" de calibre ¼" a lo ancho y en el centro de la estructura de la zaranda, es decir, ubicado a una distancia de 1105mm a lo largo y 300mm a lo alto de la estructura, con el fin tanto de proteger el eje de transmisión como darle rigidez a la estructura.

También se debe instalar en las 4 esquinas de la estructura, un soporte tipo bocín en forma de cilindro de 100mm de alto, un diámetro interno de 4" y de calibre 3/8" en donde irán soportados los espirales de amortiguación de la zaranda. Dichas espirales serán de acero templado con diámetro externo de 4", calibre ¾" y una longitud de 300mm.

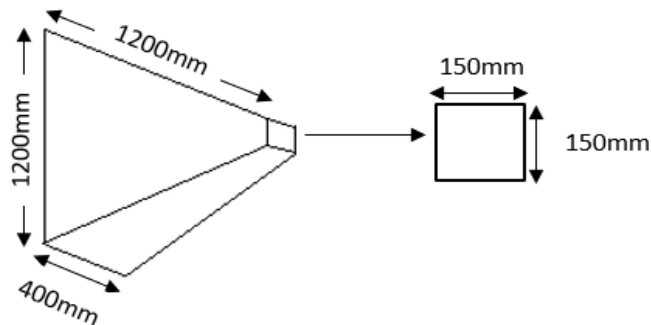
### ***Transmisión.***

Instalar eje de transmisión, el cual debe ser en acero templado de 3" de diámetro y una longitud de 1700mm el cual reposa en chumaceras de pared para eje de 3" instaladas en los costados de la estructura. En uno de los extremos del eje debe instalarse una contrapesa y en el otro extremo, se instalará tanto la contrapesa como una polea en v de 6" de diámetro. Así mismo, se debe instalar un motor eléctrico de 4 hp (caballos de fuerza) y su respectivo soporte con guías y tensores para

dar ajuste a las correas de tracción. Se instalará una caja de control de arranque y parada del equipo con parada de emergencia y un variador de velocidades siemens micromaster 420 (Siemens, 2001). Con el cual se dará ajuste y regulación a la velocidad o revoluciones del eje de la zaranda.

### ***Descarga de material clasificado.***

Fabricar en lámina de 1/8" equipo de descarga de material clasificado apto para el proceso, el cual consta de un cajón en forma de embudo el cual recibe el retenido de ambas mallas, es decir, debe tener una altura de 400mm (cubriendo descarga de los 2 niveles de malla) la cual se va reduciendo gradualmente a lo largo del embudo hasta terminar en un cuadrante de 150mm por cada lado, en donde posterior al montaje se debe instalar ductos bajantes en forma de tubo cuadrado de 150mm x 150mm, encargados de llevar el material hasta la banda transportadora. La longitud del embudo deberá ser de 1200mm.



*Figura 29.* Embudo de Descarga Superior (Retenido de Malla 18 y Malla 3/8") (autoría propia).

Para la descarga de material de desecho (partículas de tamaño menor que malla 18 y lodos), se debe instalar un embudo similar, pero con una altura inicial de 200 mm, ya que este solo recibe material del fondo de la zaranda y de igual manera, se va reduciendo gradualmente a lo largo del embudo hasta terminar en un cuadrante de 150mm por cada lado, en donde posterior al montaje se debe instalar ductos bajantes en forma de tubo cuadrado de 150 mm x 150mm, encargados de

transportar el material de rechazo hasta el tornillo sinfín de lodos. La longitud del embudo deberá ser de 900 mm.

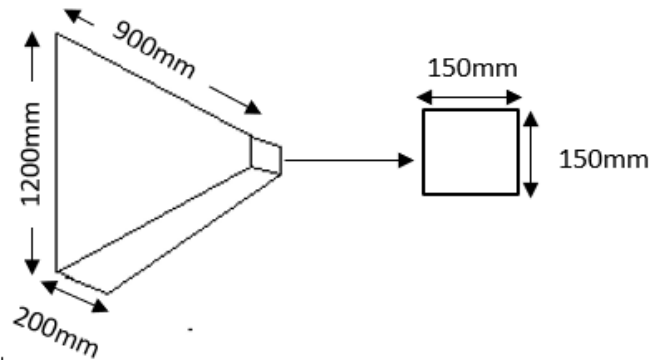


Figura 30. Embudo de Descarga Inferior (Lodos y Material de Rechazo) (autoría propia).

### ***Banda transportadora en lona.***

Para la implementación del proyecto es necesario el montaje de una banda transportadora de lona lisa la cual es arrastrada por la fricción de dos rodillos medianos tipo tambor, que deben estar ubicados en cada extremo con chumaceras tipo pedestal uno de ellos es accionado por la fuerza que ejerce un motor y una cadena metálica el otro gira libre en forma de retorno, la banda trabaja de forma circular y secuencial, que puede ser tensionada según la necesidad por un tornillo tensor que hace temple para la fricción y arrastre del conjunto de rodillos que mueven y soportan el sistema de transporte para el material que se necesita mover de un lado a otro, todos estos elementos van ensamblados en una estructura metálica con la inclinación a  $25^\circ$  necesaria para tal fin.

Es necesario que la banda transportadora de neopreno tenga un ancho de 500mm y una distancia entre sus extremos de 4 metros para ambos lados, más la mitad del perímetro del rodillo principal de transmisión (400 mm) y el rodillo de cola (28 mm) obteniendo un total de 8680 mm de longitud hasta su empalme (el empalme se hace entre extremos de  $45^\circ$ ) en su forma de circulación , su

espesor es de 3/8 con 3 capas de neopreno (caucho) por 2 capas de fibras poliéster laminada la cual garantiza resistencia a la elongación y vulcanizada.

Medida de la banda transportadora: 8680 mm (8,68 m) de longitud al límite de empalme por 500 mm de ancho con un espesor de 3/8.

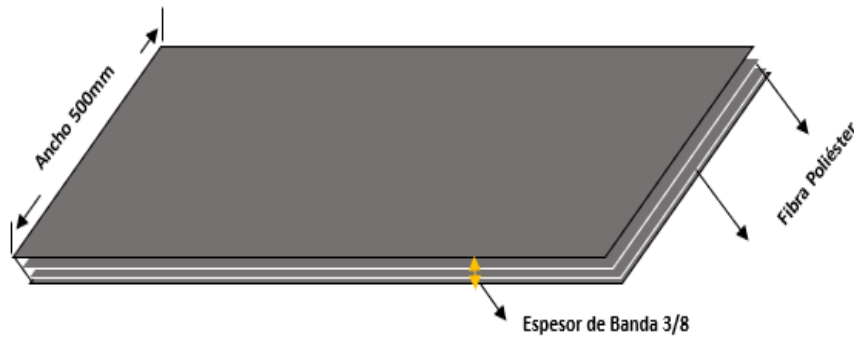


Figura 31. Características Banda Lona (autoría propia).

### ***Rodillo o tambor motriz.***

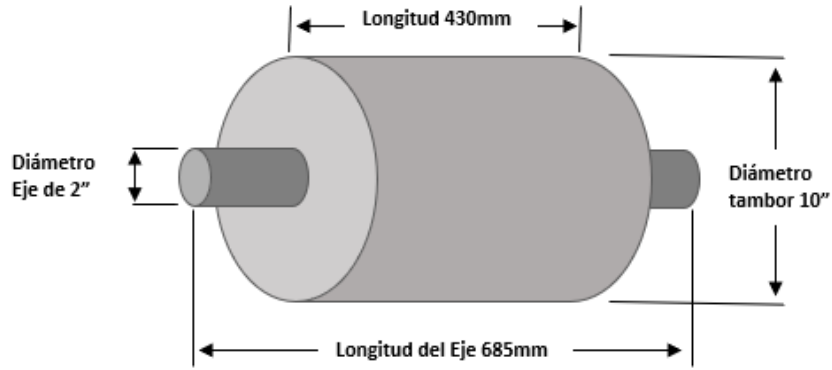
Está situado en la cabeza de la cinta al lado opuesto del tambor de reenvío, siendo el encargado de transmitir el movimiento de traslación a la cinta, tiene una cubierta engomada de manera que pueda favorecer el contacto entre el tambor y la banda con el objetivo de evitar resbalamiento de ésta sobre la superficie del tambor.

El tambor motriz lo complementa un eje el cual es accionado por un motorreductor eléctrico a través de una transmisión de poleas para su respectivo movimiento.

Medida del tambor motriz: 430mm de longitud por 10” de diámetro

Medida del eje del tambor motriz: 685mm de longitud por 2” de diámetro.

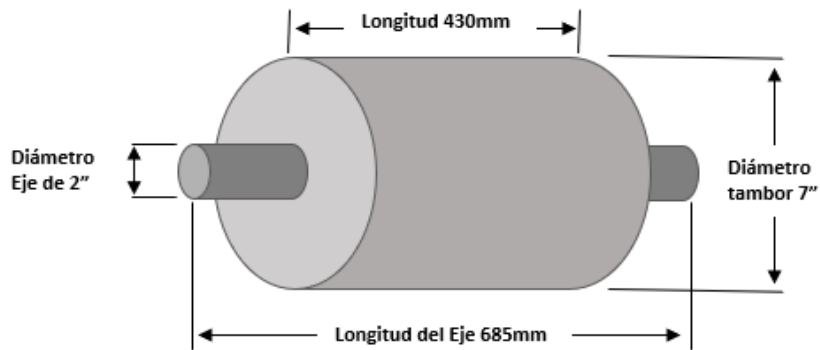




*Figura 32. Tambor Motriz.*

Medida del tambor de arrastre: 430mm de longitud por 7" diámetro (autoría propia).

Medida del eje del tambor de arrastre: 685mm de longitud por 2" de diámetro



*Figura 33. Tambor de Arrastre (autoría propia).*

### ***Rodillos metálicos.***

Los rodillos metálicos soportan el peso de la banda que al estar montados sobre rodamientos giran automáticamente al movimiento de la cinta facilitando su desplazamiento. Dentro de su función como soportes de apoyo se distribuyen en conjunto y por estaciones según la distancia, que para este caso son 4 metros de desplazamiento posicionados a un metro de distancia por artesa compuesta por dos rodillos formando una V con un ángulo de 20°

Dependiendo de la posición que ocupen los rodillos en la cinta, éstos pueden ser de distintos tipos acorde a la función que van a desempeñar, en este caso para el sistema que se va a montar es necesario 6 rodillos superiores en tres artesas de soporte, en la parte baja se van a utilizar 3 rodillos inferiores donde la banda se asienta y ayuda a su desplazamiento, cada rodillo está compuesto por un eje y dos rodamientos a cada extremo.

Medida del rodillo superior: 230mm de longitud por 4,5" de diámetro

Medida del eje rodillo superior: 330mm de longitud por 3/4" de diámetro

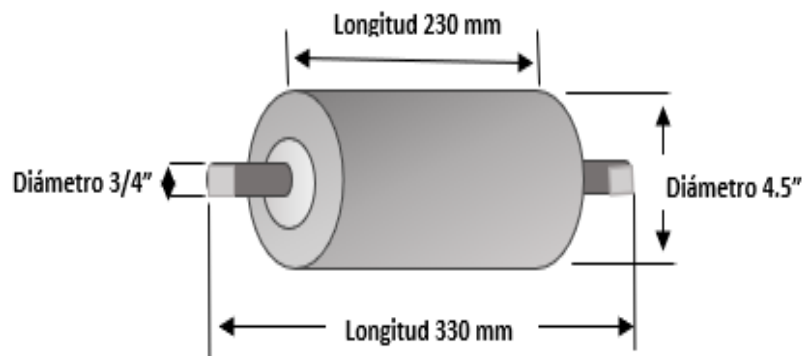


Figura 34. Rodillo Superior (autoría propia).

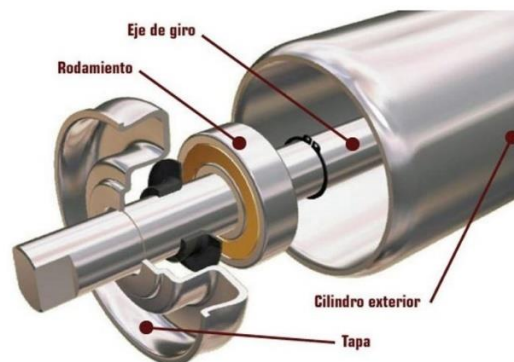


Figura 35. Partes del Rodillo (autoría propia).

Medida del rodillo inferior: 430mm de longitud por 4,5" de diámetro

Medida del eje rodillo superior: 685mm de longitud por 1" de diámetro.

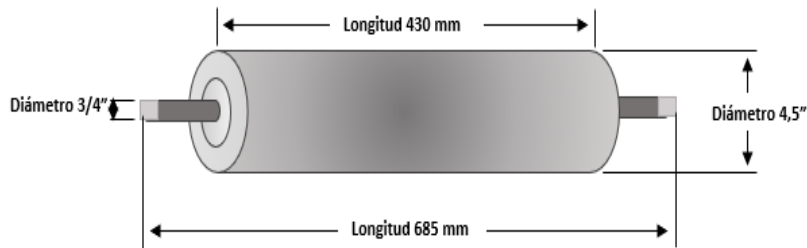


Figura 36. Rodillo Inferior (autoría propia).

### ***Motor reductor eléctrico.***

Para el accionamiento del tambor motriz que mueve la cinta, se suele emplear un motor eléctrico dotado de un reductor de velocidad cuyo eje de salida engrana con el eje del tambor motriz de la cinta. Como toda instalación eléctrica, se hace necesario dotar al sistema del correspondiente cableado eléctrico que conecte con la fuente de alimentación y sirva de conexión entre todos los componentes eléctricos que forman el sistema, como son los pulsadores de marcha y parada, además de los dispositivos de mando y protección necesarios para que la instalación sea segura. El motorreductor que utilizaremos es de 1.5 HP de baja velocidad.

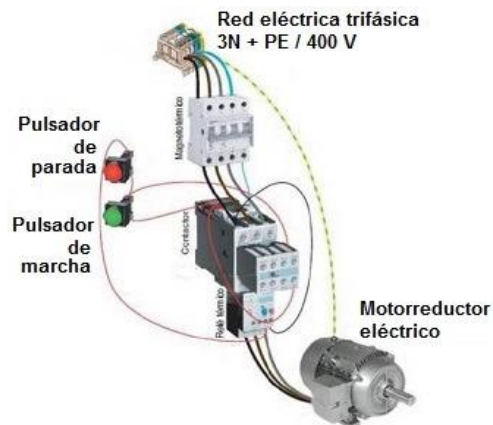


Figura 37. Motor Reductor (Automatizaciòn, s.f.).

### ***Chumacera.***

Es un elemento que es fabricado en hierro fundido o en otro caso acero inoxidable son conocidas como carcasas las cuales cumplen la función de soportes quienes junto con todo tipo de rodamiento autoalineable forma lo que conocemos como chumacera. Existen varios tipos de chumaceras, para este estudio se utilizarán chumaceras de tipo P y de tipo T (“Chumaceras, Carcasas y Tipos de Chumaceras”, 2020).

### ***Chumacera tipo P (pedestal).***

conocida como chumacera pedestal es una de las más usada para transmitir el movimiento entre diferentes componentes mecánico ubicada en la parte superior de la bancada o cinta transportadora. Este tipo de chumacera es la que soporta el tambor motriz, para este estudio se utiliza esta chumacera con eje de 2” (“Chumaceras, Carcasas y Tipos de Chumaceras”, 2020).

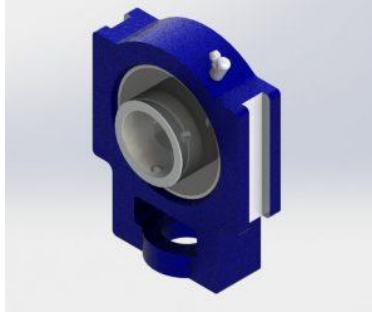


*Figura 38.* Chumacera Pedestal (Quees, 2019).

### ***Chumacera tipo T (Tensora).***

Estas se utilizan para la alineación de ejes suelen traer un tornillo provisto de una tuerca que permiten ajustar la tensión de la cadena o banda transportadora donde se ha de usar permitiendo el ajuste de ella (“Que es la chumacera”, s/f).

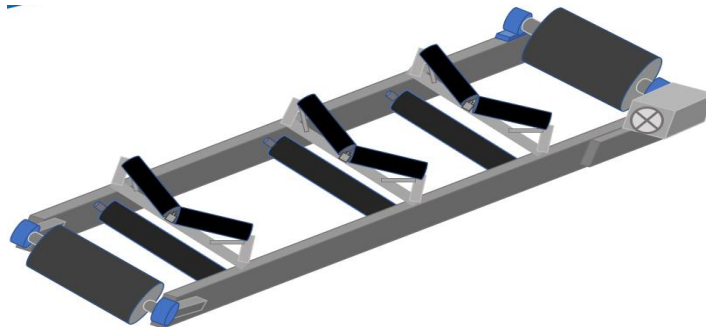
Para este estudio se utiliza esta chumacera con eje de 2”.



*Figura 39.* Chumacera Tensora (“Que es la chumacera”, s/f).

### ***Estructura del bastidor.***

El bastidor lo constituye el entramado metálico de perfiles estructurales, generalmente de acero, que sostiene a la cinta transportadora y a todos los demás elementos y componentes que constituyen el sistema entre el punto de alimentación y el de descarga del material. Se compone de los rodillos, ramales superiores e inferior y de la propia estructura soporte (“Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras”, s/f).



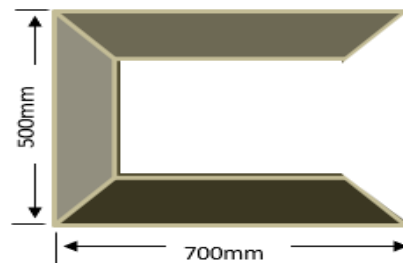
*Figura 40.* Estructura del Bastidor de la Banda (autoría propia).

### ***Elementos de encauzado.***

Son laminas conjuntas en forma de embudo o diagonal que encausan el material evitando que salga de la cinta transportadora, siendo ubicadas alrededor de la parte inicial de la banda al momento de la descarga del producto que está en proceso (bajante de la zaranda) que es donde más riesgo se tiene de derrame. Este elemento se encuentra unido directamente al bastidor de la banda transportadora con el fin de impedir pérdidas de material por los laterales de la cinta (“Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras”, s/f).

La platina para formar la zona de encauzado como complemento en el bastidor es de calibre de 3/16.

Dos platinas con medidas de 700mm de longitud por 300 mm de ancho y una platina con 500mm de longitud por 300 mm de ancho todas unidas a un ángulo de 45° formando un embudo tipo U.



*Figura 41.* Encauzado de banda (autoría propia).

### ***Láminas e insumos.***

Adicional a los equipos descritos anteriormente, se requiere de algunas láminas y otros insumos menores con el fin de dar los ajustes requeridos al montaje como lo es la construcción de morteros de concreto, bajantes metálicas, tapas laterales para acople entre banda cadena y zaranda. Por lo tanto, a continuación, describimos materiales e insumos básicos para cada proceso.

***Insumos para morteros de concreto.***

**Varilla roscada 1”:** Se requiere para la elaboración de los 4 soportes de anclaje, para los cuales se requiere de 4 trozos de varilla de una longitud 0,5m. Para un total de 8 metros

Platina de hierro ½” = 4 cuadros de 200mm x 200mm

**Platina ½”:** Se requieren para la elaboración de 4 soportes de anclaje para la estructura de la zaranda cada uno con una dimensión de 200mm x 200mm calibre ½”.

**Varilla corrugada de 1”:** Se requieren para la elaboración de emparrillado y estructura metálica para dar firmeza y mayor resistencia a las bases donde se instalará la zaranda vibratoria, donde cada hueco requiere de 9m, para un total requerido de 36m de varilla.

**Varilla corrugada de ½”:** Se requiere para la elaboración de la estructura metálica de cada hueco una cantidad de 5 estribos para soportar las varillas verticales y amarrar el concreto, los cuales se fabrican en forma cuadrada de 300mm x 300mm con dobles en los extremos para ser ubicados alrededor del cuadrado de las varillas verticales. Cada estribo requiere de 1,3 m de longitud para formar la figura, es decir, en total se requieren 20 estribos.

Después de hacer un estudio detallado de los equipos a utilizar en el proyecto como lo son la zaranda, la banda transportadora y la base de concreto que se necesita se debe enviar a cotizar todos los materiales a diferentes proveedores para luego tomar decisiones.

- a- Analizar y tomar la mejor opción de compra (cotización de equipos)

Con la idea de buscar la mejor opción para el estudio realizado se hizo la selección a la mejor propuesta de las cotizaciones poniendo en marcha la continuidad del proyecto, con estos valores se pueden hacer los cálculos necesarios.

Tabla 13. Costo de mano de obra civil. Valor de las Cotizaciones Seleccionadas Para Equipos de Montaje.

Equipo Cotizado	Empresa	Valor cotización \$
Zaranda vibratoria	Diseños y Montajes S.A.S	\$ 15,555,204
Banda transportadora	Bandas & Estructuras	\$ 13,741,397
Insumos vaciados de concreto	Central de materiales	\$ 798,148

En la tabla 13 se puede ver el valor de las cotizaciones seleccionadas para cada uno de los equipos, para los cuales se adjunta constancia al final del documento como anexo (autoría propia).

Para completar el presupuesto que se necesita, se debe realizar los costos de mano de obra los cuales son asumidos parte la empresa sibelco con el personal que tiene en operación en el área de mantenimiento y obra civil.

Tabla 14. Costo de mano de obra civil.

Perfil de cargo	N. de personas	Valor /día \$	Tiempo (días)	Sub total \$
Maestro de obra (oficial)	1	70,000	3	210,000
Ayudantes	2	50,000	3	300,000
Total \$				510,000

En la tabla 14 se evidencia el costo para el vaciado de concreto que se necesita como base para la zaranda, donde se requiere un maestro de obra y dos ayudantes durante un periodo de tres días que es el tiempo requerido para esta labor, lo cual suma un valor total de \$ 510,000 (autoría propia).



Tabla 15. Costo Mano de obra Montaje y Mantenimiento.

Perfil de cargo	N. Personas	Valor /día \$	Tiempo (días)	Sub total \$
Mecánico-soldador	2	70,000	8	1,120,000
Auxiliar mantenimiento	2	40,000	8	640,000
Total				1,760,000

En la tabla 15 se evidencia que para el montaje de los equipos de zaranda y banda transportadora se necesita del personal de mantenimiento de la empresa Sibelco S.A., dos mecánico-soldador y dos auxiliares de mantenimiento durante ocho días que es el tiempo requerido para esta labor, según la tabla se describen los costos del personal utilizado para la obra por un total de \$ 1,760,000 equivalente a los 8 días presupuestados para este montaje (autoría propia).

Con los resultados obtenidos se hacen los costos que tiene el proyecto consolidados en la siguiente tabla:

Tabla 16. Costos del proyecto.

Descripción	Subtotal \$
Equipo completo zaranda dos cuerpos	15,555,204
Equipo completo Banda transportadora	13,741,937
Base Concreto zaranda	798,148
Mano de obra Civil	510,000
Mano de obra Montaje y Mantenimiento	1,760,000
Total \$	<b>32,365,289</b>

En la tabla 16 se discrimina el presupuesto total del estudio realizado, donde antes se hicieron cotizaciones y cálculos de los costos de equipos y mano de obra necesario para dar cumplimiento al proyecto presentado a la empresa Sibelco S.A.S por un valor de \$ 32,365,289 (autoría propia).

#### Para el cumplimiento del objetivo 4.

Se debe realizar el montaje de equipos para la optimización del proceso y para tener una mejor percepción del montaje a realizar se mostrará en las siguientes imágenes cómo es el proceso de la empresa Sibelco antes y después del proyecto.

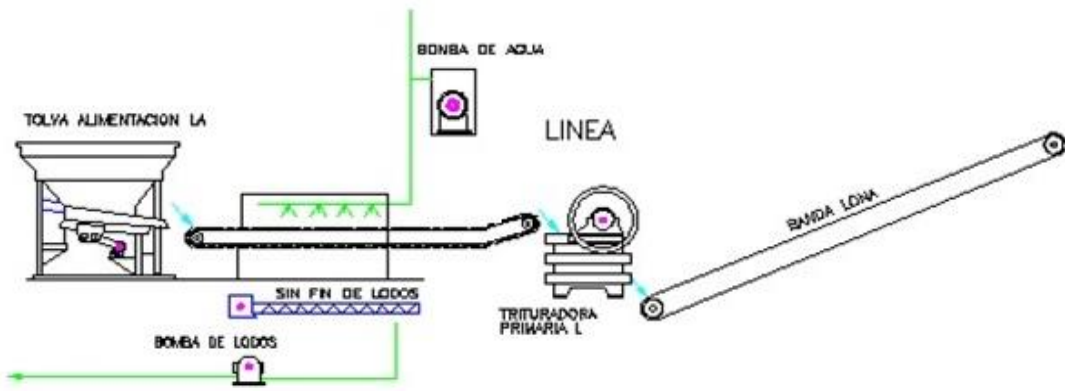


Figura 42. Sistema de Lavado, clasificación y Trituración (antes del proyecto) (autoría propia).

En la siguiente imagen se puede ver cómo queda el proceso del sistema de lavado, clasificación y molienda de la empresa Sibelco S.A.S tras la implementación del proyecto.

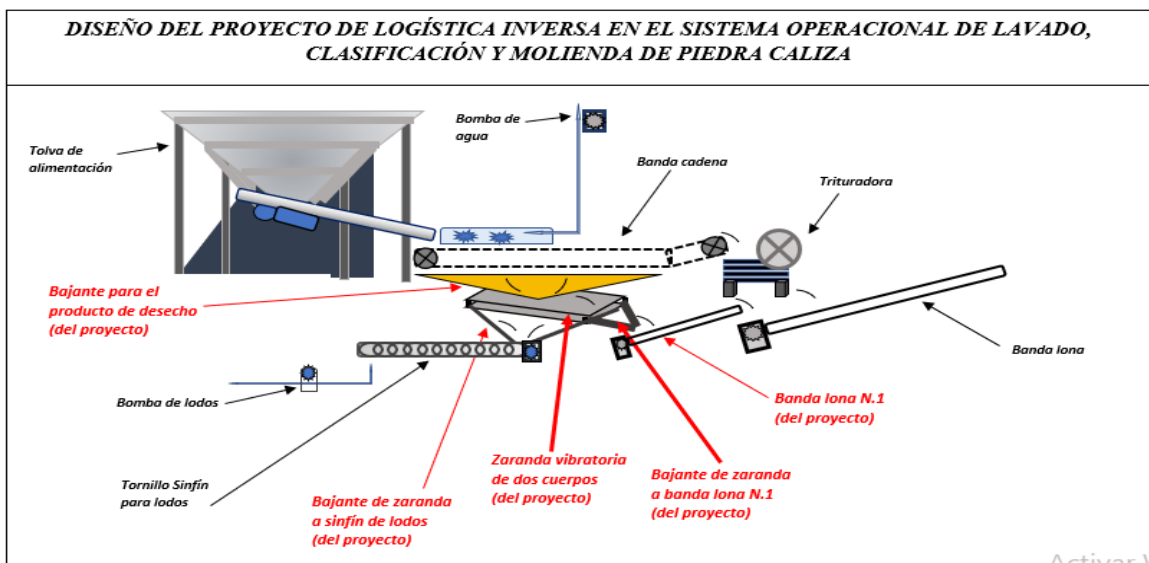


Figura 43. Sistema de lavado, clasificación y Trituración (después del Proyecto) (autoría propia).

Todas las líneas y nombres que están color rojo en la imagen anterior muestran todos los equipos que conforman el complemento al sistema de lavado y clasificación del proyecto.

La empresa Sibelco S.A.S es la encargada de realizar el montaje de los equipos que componen el proyecto con mano de obra del personal de mantenimiento y obra civil, después de estar listo se deben hacer pruebas en cada fase del proceso con el fin de encontrar fallas las cuales hacen parte del estudio como complemento para ir mejorando poco a poco el sistema de clasificación de materia prima desechada.

De esta manera se deben seguir protocolos para optimizar y complementar el sistema realizando ajustes con los ensayos para el funcionamiento de los equipos iniciando en la zaranda que es el primer equipo que recibe el producto de rechazo, ajustar el movimiento de zarandas y bajantes para que la descarga que hacen sea en el lugar exacto y no hayan regueros de producto, seguidamente esta la identificación de estos errores donde se minimizan ajustando movimientos y puntos de precisión mejorando la optimización del proceso, teniendo esto en el punto deseado se realizan los análisis del producto que antes era desechado y ahora pasa a la fase de recuperación de material que es donde se genera el proceso óptimo del estudio donde se verifica que el porcentaje de material de desecho da los resultados obtenidos inicialmente.

1. Realizar pruebas del montaje de optimización:
2. Identificar errores en el montaje de optimización.
3. Tomar acciones de mejora sobre el montaje de optimización.
4. Realizar nuevamente pruebas del funcionamiento del montaje de optimización.
5. Verificar que el producto recuperado no afecte las características de calidad del producto terminado.



*Imagen 1.* Producto rechazado (Piedra Caliza y Lodo) (autoría propia).



*Imagen 2.* Visualización del Producto Rechazado en cada Malla (autoría propia).



*Imagen 3.* Producto Recuperado Durante el Proceso (autoría propia).

Tabla 17. Distribución Granulométrica en mallas en muestra (2000 g).

Muestra Inicial (g)	N° Malla	Tamaño de Malla ( $\mu$ )	Tamaño de Malla (mm)	Retenido Gramos (g)	% Retenido	% Acumulado
2000	3/8	9525	9,5	235,20	11,76	11,76
	4	4720	4,76	422,10	21,11	32,87
	8	2360	2,38	349,91	17,50	50,36
	16	1180	1,19	507,33	25,37	75,73
	18	1000	1	192,27	9,61	85,34
	Colector			293,19	14,66	100,00
Total				2000	100	

En la tabla 17 se toma como muestra un peso de 2000 g para el análisis y control después de montado el sistema de zaranda para la clasificación y recuperación del producto que se estaba desechando, se hace toma granulométrica en los tamices usados en el estudio y se puede comprobar que un 85% del producto que cae a la banda está en óptimas condiciones de calidad para entrar al proceso (autoría propia).

## 6.4. Herramientas para el trabajo investigativo:

### 6.4.1. Balanzas de precisión y analíticas

La balanza es un instrumento que mide la masa de un cuerpo o sustancia, utilizando como medio de comparación la fuerza de la gravedad que actúa sobre el cuerpo. Dependiendo del trabajo que se quiera realizar, se selecciona el tipo de balanza más adecuada en cuanto a sensibilidad y rapidez en la pesada. La sensibilidad de una balanza depende de su capacidad: una balanza diseñada para pesar kilogramos difícilmente tendrá la sensibilidad necesaria para tener reproducibilidad en pesadas de miligramos. En el laboratorio se utiliza la balanza para efectuar actividades de control de calidad –con dispositivos como las pipetas-, para preparar mezclas de componentes en

proporciones predefinidas y para determinar densidad o pesos específicos (“Balanza analítica”, s/f).



*Figura 44.* Balanza Analítica (“Balanza analítica”, s/f).

#### **6.4.2. Tamiz de análisis**

Tamices de 30 cm de diámetro con las siguientes mallas: (Malla 3/8, Malla 4, Malla 8, Malla 16 y Malla 18). Cedazo que se utiliza para la separación o clasificación de diferentes tipos de materiales. “Utensilio que se usa para separar o clasificar las partes finas de las gruesas de diferentes productos y que está formado por una tela metálica o rejilla tupida que está sujeta a un aro, también es conocido por cedazo o criba” (“Tamiz”, 2011).



*Figura 45.* Tamiz de análisis (“Tamiz”, 2011).

### 6.4.3. Estufa secadora (horno):

El horno de laboratorio es un tipo de horno comúnmente usado para deshidratar reactivos de laboratorio o secar instrumentos. El horno aumenta su temperatura gradualmente conforme pase el tiempo así como también sea su programación, cuando la temperatura sea la óptima y se estabilice, el térmico mantendrá la temperatura; si esta desciende volverá a activar las resistencias para obtener la temperatura programada; posee un tablero de control que muestra el punto de regulación y la temperatura real dentro del horno, está montada al frente para su fácil lectura, aunque algunos modelos anteriores no lo tienen, estos cuentan con una perilla graduada la cual regula temperatura del horno (“Estufa de secado u horno de secado”, s/f).



*Figura 46.* Estufa Secadora (“Estufa de secado u horno de secado”, s/f).

### 6.4.4. Palas

Una pala es una herramienta de mano utilizada para excavar o mover materiales con cohesión relativamente pequeña. Consta, básicamente, de una lámina plana con una ligera curvatura y de un mango de metal o madera con el que se maneja. La parte plana suele ser metálica y el mango remata en un asidero que puede ser recto o curvo, para poder ejercer mayor fuerza con una de las manos (“Pala”, s/f).



*Figura 47.* Pala (“Pala”, s/f).

#### **6.4.5. Pinzas de laboratorio.**

Las pinzas de Crisol son una herramienta utilizada en laboratorios que sirve para sostener y manipular objetos de laboratorio evitando el contacto directo con el cuerpo. Son especialmente útiles como medida de seguridad cuando estos objetos son calentados o tienen algún grado de peligrosidad (“Pinza de Crisol”, s/f).



*Figura 48.* Pinzas de laboratorio (“Pinza de Crisol”, s/f).

#### **6.4.6. Elementos de protección personal:**

“El elemento de Protección Personal (EPP), es cualquier equipo o dispositivo destinado para ser utilizado o sujetado por el trabajador, para protegerlo de uno o varios riesgos y aumentar su seguridad o su salud en el trabajo” (Brito Lozano, 2012).





Figura 49. Elementos de Protección Personal (Brito Lozano, 2012).

## 7. Cronograma de actividades

A continuación se presenta un cronograma donde se detallan mes a mes las actividades para el desarrollo del proyecto, el cual consiste en diseñar el sistema de lavado y molienda de piedra caliza mediante el proceso de clasificación y recirculación aplicando el modelo de logística inversa al producto desechado, mediante la instalación de un tamiza vibratorio con 2 niveles de mall 3/8” y malla 18 respectivamente ubicado debajo de la banda cadena, el cual hará una mejor separación de materiales enviando los retenidos de ambas mallas a través de bajantes construidas en lámina hasta una banda transportadora en lona, que a su vez la llevará hasta la siguiente banda donde se mezcla con el material que sale de la trituradora de mandíbulas logrando así que esta reforma implementada disminuya el porcentaje de pérdida generada por el desecho de material.

Por medio de las siguientes tablas se describen las actividades del proceso por cada fase:

Tabla 18. Cronograma de actividades en el mes 1 (realizar pruebas granulométricas del producto desechado)

Fase	Actividad
1	Muestreo del material de desecho (piedra caliza y lodos).
2	Preparar la muestra para realizar análisis (secado).
3	Determinar humedad
4	Realizar distribución por mallas.
5	Cuantificar porcentualmente el producto retenido en las distintas mallas.
6	Informar resultados.
7	Tomar acciones de mejora, de acuerdo con el tamaño de partícula adecuado y que cumpla las especificaciones, con la finalidad de no afectar la calidad del producto terminado

En la tabla 18 se describe las actividades que se realizaron en el primer mes, detallado en 7 fases que se realizaron anteriormente desde el muestreo del material de desecho en patios para los análisis y obtener resultados para tomar las acciones de mejora (autoría propia).

Tabla 19. Cronograma de actividades en el mes 2 (determinar los costos del proyecto).

Fase	Actividad
1	Diseñar el sistema de optimización de materias primas desechas en el proceso de lavado y trituración de piedra caliza.
2	Identificar el tipo de materiales a utilizar.
3	Realizar cotizaciones a diferentes proveedores
4	Analizar y tomar la mejor opción de compra
5	Realizar el montaje para la optimización del proyecto

En la tabla 19 se describe las actividades del segundo mes el cual fue fundamental porque se organizan los estudios para determinar los costos que con lleva la ejecución del proyecto donde se

analizan diferentes propuestas de proveedores tomado la mejor opción para la compra y montaje de equipos (autoría propia).

Tabla 20. Cronograma de actividades en el mes 3 (optimizar y complementar el sistema de clasificación de materia prima desechada).

Fase	Actividad
1	Realizar pruebas del montaje de optimización.
2	Identificar errores en el montaje de optimización
3	Tomar acciones de mejora sobre el montaje de optimización.
4	Realizar nuevamente pruebas del funcionamiento del montaje de optimización.
5	Verificar que el producto recuperado no afecte las características de calidad del producto terminado.

En la tabla 20 se describe las actividades del tercer mes el cual consiste en hacer las pruebas y ensayos del montaje del proyecto para identificar fallas e ir ajustando a los lineamientos del proceso, luego se compara los análisis para que el producto cumpla con los requerimientos de calidad para su optima función en el sistema (autoría propia).

Tabla 21. Cronograma de actividades en el mes 4 (determinar el impacto que genera la reclasificación y recuperación del material recuperado por medio del proceso de clasificación y recirculación).

Fase	Actividad
1	Cuantificar los kg de desechos producidos por tonelada de rajón de piedra caliza alimentada (Antes de la implementación del proyecto). Estos afectan directamente la parte económica y ambiental de la empresa.
2	Cuantificar los kg de desechos producidos por tonelada de rajón de piedra caliza alimentada (Después de la implementación del proyecto). Estos se refleja directamente la parte económica y ambiental de la empresa, mediante la reducción de costos y disminución de desechos arrojados al medio ambiente.

En la tabla 21 se describe las actividades del cuarto mes el cual consiste en cuantificar los kg de desechos producidos por tonelada antes y después de cada fase en esta última es donde se refleja la parte económica y ambiental mediante la reducción de los costos (autoría propia).

## 8. Análisis de los resultados

El estudio realizado al producto desechado en los patios de la empresa Sibelco S.A.S, constan en hacer análisis granulométricos de calidad usando tamices de diferentes mallas (malla 3/8, 4, 8, 16 y 18) arrojando resultados muy positivos en la recuperación del material, de esta manera se puede determinar que el 6% de material que es desechado y almacenado en patios equivale a 60 kg por tonelada, esto quiere decir que si en una hora la empresa tritura 5 toneladas de piedra caliza, en material de desecho salen 300 kg. Con estos datos se hacen pruebas y cálculos para justificar la viabilidad del proyecto trabajando con un porcentaje ideal que oscila entre un 75 y 80% en la cantidad de material recuperado el cual cumple con las especificaciones de calidad necesarias.

1 tonelada triturada = 60 kg Material de desecho...% ideal 80 = 48 kg M. recuperado...12 kg desechados

5 toneladas x hora= 300 kg Material de desecho...% ideal 80 =240 kg M. recuperado...60 kg desechados

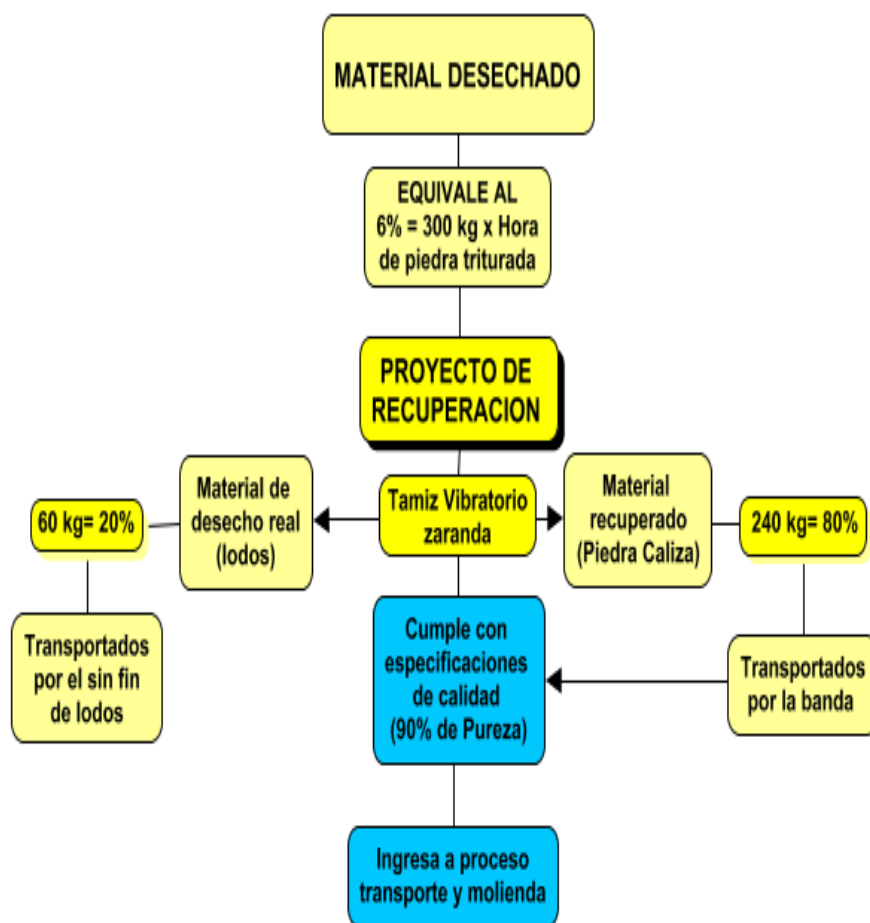
Tomando como base los 300 kg de desecho en un tiempo de una hora el estudio arroja un porcentaje ideal para el proyecto, de esta forma se recupera 240 kg equivalentes al 80% y el 20% sería material real de desecho (lodo) que equivale a 60 kg por hora para un total de 300kg, se debe tener en cuenta que el proceso de recuperación puede tener una variación por debajo o por encima del porcentaje ideal, así serían dos puntos importantes para el proyecto en el proceso, el primero es la cantidad recuperada y el segundo la pureza del material que también se miden en porcentaje.

Para Sibelco la materia prima (piedra caliza) recuperada debe tener una de pureza del 90% y este material de desecho siendo recuperado lo cumple.

Lo que significa que se hacen cálculos para justificar un proyecto de mejora para realizar un diseño en el modelo de logística inversa en el sistema operacional de lavado, clasificación y molienda de piedra caliza, donde se obtienen beneficios que favorecen en lo económico a recuperar

un producto desechado, generando gran impacto ambiental en su programa de gestión lo cual resulta muy eficiente en cuanto a certificaciones que generan confianza y aprovechamiento de espacios y recursos.

El proceso anteriormente descrito se puede ver reflejado en el siguiente mapa conceptual:



Con los datos recolectados durante las pruebas realizadas se puede determinar que el material de desecho después de implementado el proyecto (Tamiz vibratorio o zaranda de dos cuerpos con malla de 3/8 y malla 18 al final) clasificara el producto (piedra caliza en menor tamaño) que oscila

aproximadamente en un 80% en una hora de trabajo (240 kg) ese material recuperado que cumple con las especificaciones de calidad pasa a ser transportado por una banda y es ingresado al proceso de molienda por otro lado el 20 % equivalente a (60kg) aproximadamente del material que filtra por la malla 18 pasa como desecho real o lodos a ser transportado por un sinfín.

Determinar el impacto que generara la reclasificación y recuperación del material recuperado por medio del proceso de clasificación y recirculación.

1. Cuantificar los kg de desechos producidos por tonelada de rajón de piedra caliza alimentada (Antes de la implementación del proyecto). Estos afectan directamente la parte económica y ambiental de la empresa.

Tabla 22. Cálculo de material rechazado antes del proyecto en una jornada de producción normal.

	Materia prima (Caliza) triturado kg	Material rechazado kg
Día	120.000	7.200
Hora <sup>a</sup>	5.000	300

En la tabla 22 podemos evidenciar que, en una jornada de trabajo normal, la cantidad de material que pasa a través de la banda cadena y que a su vez es rechazada, corresponde a 300 kg por hora de trabajo (autoría propia). Valores muy significativos que nos llevan a tomar decisiones sobre las necesidades de implementación en el sistema de lavado y clasificación de la empresa Sibelco S.A.S.

Cuantificar los kg de desechos producidos por tonelada de rajón de piedra caliza alimentada (Después de la implementación del proyecto). Estos se refleja directamente la parte económica y

ambiental de la empresa, mediante la reducción de costos y disminución de desechos arrojados al medio ambiente.

Durante el análisis de la implementación del proyecto se obtuvo un 6% de desecho por tonelada producida de caliza en el proceso, después de la implementación del proyecto se puede reducir los desechos a 1.2 %

Tabla 23. Cálculo de material rechazado después del proyecto.

Fecha	Producción triturada (kg)	Material desechado antes del proyecto, kg	Material desechado después del proyecto, kg	Recuperación del material desechado kg,
Hora	5.000	300	60	240
Día	120.000	7.200	1.440	5.760
Mes	3.600.000	216.000	43.200	172.800
Año	43.200.000	2.592.000	518.400	2.073.600

En la tabla 23 se registran estudios donde se evidencia que, para un día de trabajo normal cuyo consumo de materia prima caliza es de 120.000 kg y a su vez al llevarlo a una hora de trabajo que corresponde 5.000 kg, la cantidad de material de desecho era de 300 kg/hora y con la puesta en marcha del proyecto se puede ver que el material de desecho se reduce a 60 kg/hora, es decir, se está recuperando 240 kg/hora de producto que cumple con las especificaciones de calidad para entrar en proceso (autoría propia). Así mismo, se representan estos datos de manera exponencial hasta un año de trabajo para ver el impacto real que alcanza a generar. Por lo tanto y para explicar mejor esta fase, podemos analizar que el material de desecho producido en planta en una hora de trabajo es de 300 kg lo que corresponde al 6%, de esta manera se puede decir que si se recupera el 80% (dato que se comprueba en los análisis realizados anteriormente) sería igual a 240 kg por hora, que en un día sería 5.760 kg, en un mes 172.800 kg y al año 2.073.600 kg, de esta manera se puede



decir que:

1. El material desechado después del proyecto es del 1.2% por hora equivalente a 60 kg.
2. Se recupera un 4.8% del 6% del material desechado, aportando solo 1.2 % en la parte ambiental.

La producción de desechos durante el proceso de producción de carbonato de calcio presenta un costo el cual se puede disminuir dependiendo la cantidad de desechos de piedra caliza que se puedan reintegrar al proceso. La implementación de este proyecto genera una disminución de \$16.416.000 por mes, lo cual impacta positivamente la parte económica de la empresa, además de que se disminuyen los desechos arrojados al medio ambiente.

El precio del kg de piedra caliza puesta en planta es de \$ 95 debido a la distancia entre las minas hasta la planta Sibelco S.A.S. Realizando cálculos de costos por material de desecho y recuperado tenemos:

Tabla 24. Costos asociados al proceso de trituración y lavado de piedra caliza antes del proyecto (\$95 / kg).

Tiempo Trabajado	Trituración kg	Material Desechado kg	Costo Material Desechado \$
Hora	5.000	300	28.500
Día	120.000	7.200	684.000
Mes	3.600.000	216.000	20.520.000
Año	43.200.000	2.592.000	246.240.000

En la tabla 24 se puede evidenciar la trituración de la piedra caliza en kg por hora, día, mes y año, la cantidad de material de desecho y cuál es el costo de una hora hasta un año, antes del proyecto (autoría propia).

Tabla 25. Costos asociados al proceso de trituración y lavado de piedra caliza después del proyecto (\$95 / kg)

Tiempo Trabajado	Trituración kg	Recuperación		Costo		Ahorro (Ganancia)
		Material Desechado (80%)	kg	Costo Material Recuperado	Material Desechado (20%)	
Hora	5.000	240		\$ 22.800	\$ 5.700	\$ 22.800
Día	120.000	5.760		\$ 547.200	\$ 136.800	\$ 547.200
Mes	3.600.000	172.800		\$ 16.416.000	\$ 4.104.00	\$ 16.416.000
Año	43.200.000	2.073.600		\$ 196.992.000	\$ 49.248.000	\$ 196.992.000

En la tabla 25 se puede evidenciar la trituración de la piedra caliza en kg por hora, día, mes y año, la cantidad de material de desecho y cuál es el costo a favor de una hora hasta un año, después del proyecto (autoría propia).

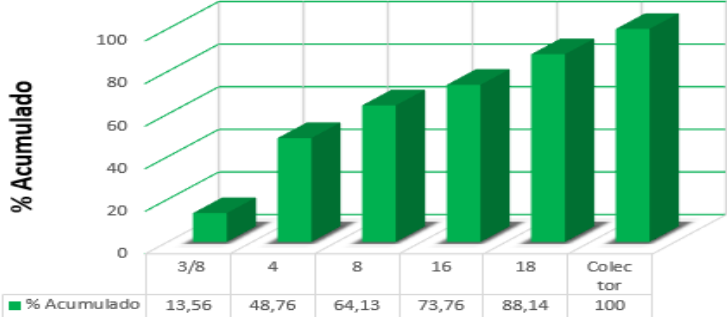
Tabla 26. Costos y ganancias del proyecto.

Descripción	Valor \$	Subtotal \$
Inversión del proyecto	\$ 32.365.289	\$ 32.365.289
Costo recuperación al mes	\$ 16.416.000	\$ 16.416.000
Costo recuperación al año	\$ 196.292.000	\$ 196.992.000
Ganancia neta al año		\$ 164.626.711

En la tabla 26 se puede evidenciar que el costo del proyecto se puede librar en solo dos meses, debido a que en un mes se tienen valores por \$16.416.000, lo que quiere decir que en la recuperación del producto se obtiene ganancias netas por un valor de \$164.626.711 al cabo de un año (autoría propia).

La aplicación de este proyecto beneficia a la planta de producción de carbonato de calcio, perteneciente a la empresa Sibelco S.A.S en el ámbito económico y ambiental. A continuación, se da a conocer los resultados esperados con una herramienta de medición eficaz como lo son los indicadores.

Tabla 27. Resultados medición distribución granulométrica.

Descripción resultado esperado	Indicador														
Mediante el sistema de control por mallas, (granulometría) se garantiza que el 80% del material desechado cumpla con las especificaciones de calidad para continuar en el proceso de producción.	<p style="text-align: center;"><b>Distribucion granulometrica</b></p>  <table border="1" data-bbox="673 976 1323 1039"> <thead> <tr> <th>% Acumulado</th> <th>3/8</th> <th>4</th> <th>8</th> <th>16</th> <th>18</th> <th>Colec tor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>13,56</td> <td>48,76</td> <td>64,13</td> <td>73,76</td> <td>88,14</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>Numero de Malla utilizada</b></p>	% Acumulado	3/8	4	8	16	18	Colec tor		13,56	48,76	64,13	73,76	88,14	100
% Acumulado	3/8	4	8	16	18	Colec tor									
	13,56	48,76	64,13	73,76	88,14	100									

En la tabla 27 se observa la medición por medio de indicadores de los estudios realizados en la toma de muestras realizadas anteriormente, dichos resultados se obtienen de la Tabla 3 (autoría propia). Distribución granulométrica de la Muestra 1, con un porcentaje del 88,14 % en la malla 18 que acumula la cantidad de material para ser recuperado en óptimas condiciones para entrar en proceso.

Tabla 28. Indicador porcentaje de humedad.

Descripción	Resultado Esperado	Indicador																					
Mediante el estudio realizado se hace análisis de porcentaje de humedad del producto en una muestra de 10 (g)		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Muestra 4</th> <th>Muestra 5</th> <th>Muestra 6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masa muestra seca (g)</td> <td>9,5569</td> <td>9,5665</td> <td>9,5452</td> <td>9,4479</td> <td>9,5553</td> <td>9,5264</td> </tr> <tr> <td>% Humedad</td> <td>4,64</td> <td>4,53</td> <td>4,76</td> <td>5,85</td> <td>4,67</td> <td>4,98</td> </tr> </tbody> </table>		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Masa muestra seca (g)	9,5569	9,5665	9,5452	9,4479	9,5553	9,5264	% Humedad	4,64	4,53	4,76	5,85	4,67	4,98
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6																	
Masa muestra seca (g)	9,5569	9,5665	9,5452	9,4479	9,5553	9,5264																	
% Humedad	4,64	4,53	4,76	5,85	4,67	4,98																	

En la tabla 28 se muestra el indicador del porcentaje de humedad realizado en 6 muestras analizadas anteriormente con un peso de 10 (g) cada una (autoría propia).

Tabla 29. Indicador de Material Triturado por día.

Descripción	Resultado Esperado	Indicador										
Cálculo de Material de Desecho antes y Después del Proyecto por un día de trabajo (24 horas)		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Valor (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Producción triturada</td> <td>120.000</td> </tr> <tr> <td>Material desechado antes del proyecto</td> <td>7.200</td> </tr> <tr> <td>Material desechado después del proyecto</td> <td>1.440</td> </tr> <tr> <td>Recuperación del material desechado</td> <td>5.760</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Valor (kg)	Producción triturada	120.000	Material desechado antes del proyecto	7.200	Material desechado después del proyecto	1.440	Recuperación del material desechado	5.760
Categoría	Valor (kg)											
Producción triturada	120.000											
Material desechado antes del proyecto	7.200											
Material desechado después del proyecto	1.440											
Recuperación del material desechado	5.760											

En la tabla 29 se observa los cálculos hechos en un día (24 horas) de trabajo donde se trituran 120.000 kg, y se sacan los porcentajes de material desechado antes del proyecto (7.200 kg), después del proyecto (1.440 kg) y la cantidad de producto recuperado en un día de trabajo (5.760 kg), de esta manera se calcula por un mes y por un año sucesivamente (autoría propia).

Tabla 30. Indicador Costo de Material Triturado por hora

Descripción	Resultado	Indicador												
Esperado														
Costo de material por hora, el kg tiene un valor de (\$95) por kilo		<table border="1"> <caption>Costo Material triturado por hora</caption> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Cantidad en Kg</th> <th>Precio de material por kg (\$ 95)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Trituración kg</td> <td>5.000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Recuperación Material Desechado kg (80%)</td> <td>240</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Costo Material Recuperado \$</td> <td></td> <td>22.800</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Cantidad en Kg	Precio de material por kg (\$ 95)	Trituración kg	5.000		Recuperación Material Desechado kg (80%)	240		Costo Material Recuperado \$		22.800
Categoría	Cantidad en Kg	Precio de material por kg (\$ 95)												
Trituración kg	5.000													
Recuperación Material Desechado kg (80%)	240													
Costo Material Recuperado \$		22.800												

En la tabla 30 se observa el indicador del costo del material recuperado en una hora de trabajo, la cantidad de material desechado es del 80%, es decir 240 kg por hora con un valor de \$ 95 por kg, realizando los cálculos este en una hora de trabajo se recuperan \$ 22.800 kg por hora trabajada en el proceso de la empresa Sibelco S.A.S (autoría propia).

## **Análisis y control del proceso de trituración después del proyecto**

Después de la implementación del proyecto se tomaron muestras aleatorias del proceso de trituración para sus respectivos análisis y encontramos que: Se tomaron 6 muestras durante los primeros tres días en la jornada de la mañana y en la tarde para calcular el porcentaje de material de desecho real (lodo), es decir ese 20% que se calcula al inicio del proyecto tiene un variación entre 16,5% y el 21,68 % lo que quiere decir que el material contaminante de la piedra caliza durante el proceso y que pasa a convertirse en lodo después de pasar por la malla 18, es un porcentaje más favorable, con los ensayos y producción normal después del proyecto se obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 31. Gráfica de control % material de desecho después del proyecto (lodos).

Muestra realizada	% Material de desecho
# 1	16,5 %
# 2	19,69 %
# 3	19,68 %
# 4	21,68 %
# 5	19,34 %
# 6	19,31 %

En la tabla 31 se puede apreciar el porcentaje de las 6 muestras tomadas durante tres días, las cuales oscilan entre 16,5% y 21,68% siendo el máximo porcentaje en los análisis, esto quiere decir que sí se está cumpliendo proporcionalmente con el porcentaje inicial antes del proyecto (el 20%) (autoría propia)

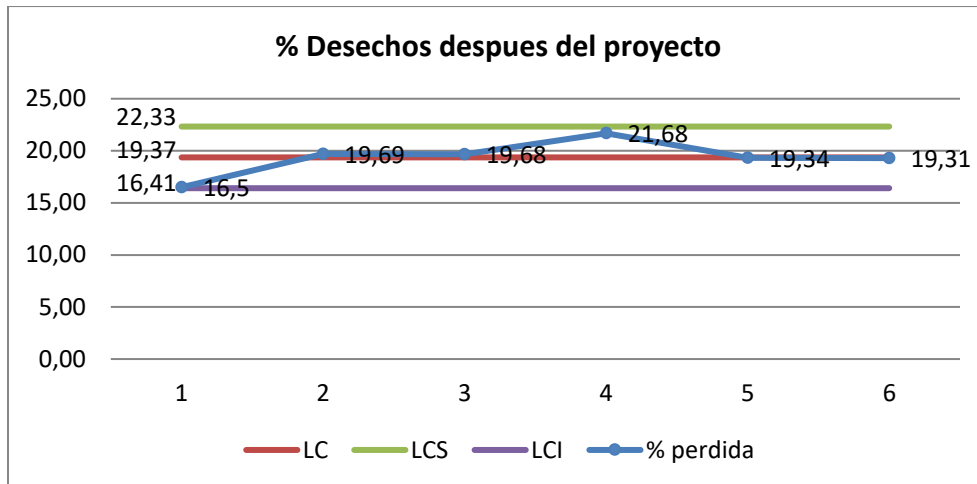


Figura 50. Gráfica de control de desechos.

Tabla 32. Control y porcentaje recuperado después del proyecto.

Día	# de muestra por día	% retenido en malla de 3/8	% retenido en malla 18	% total de material recuperado en las mallas
	1	14,28	65,07	79,35
1	2	9,58	70,27	79,85
	3	16,09	64,36	80,45
	1	12,80	67,21	80,01
2	2	13,70	66,91	80,61
	3	16,18	64,73	80,91
	1	11,1	68,88	79,98
3	2	16,87	63,51	80,38
	3	15,18	64,70	79,88

En la tabla 32 se muestra el porcentaje de retenido obtenido en las mallas utilizadas para el proyecto que son la malla 3/8 y la malla 18, estos porcentajes se obtienen mediante pruebas

realizadas después del montaje del tamiz vibratorio para comprobar si es viable el proyecto, se realizaron 3 muestras diarias durante 3 días aleatorios obteniendo resultados que oscilan entre el 79,35 % siendo el resultados menor y 80,91 siendo el resultado mayor, de esta manera se puede hacer seguimiento constante al producto que se recupera (autoría propia).

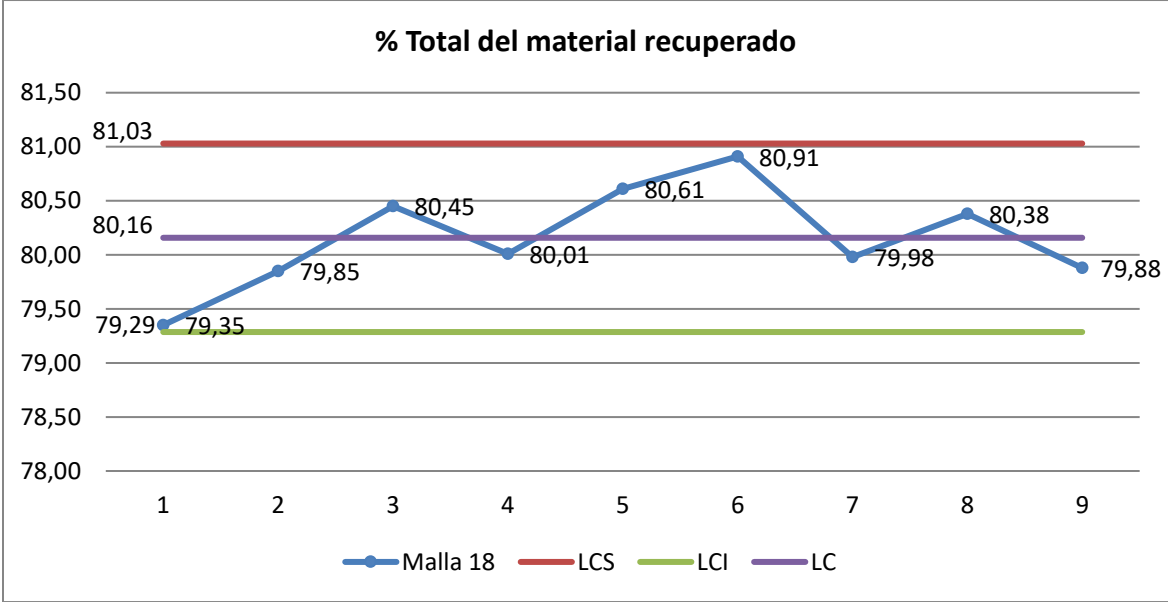


Figura 51. Gráfica de control % total de material recuperado en la malla 18 y 3/8.



## 9. Conclusiones

1. Con la realización de este proyecto se pudo encontrar en cada uno de nosotros la importancia de nuestra labor como estudiantes en el entorno de la ingeniería industrial, donde se encuentran soluciones que demuestran la lógica de los procesos renovables en busca de la mejora continua como opción en el ámbito empresarial, es así que por medio de estudios se comprueba que la logística inversa es el proceso más adecuado para la recuperación de productos.

2. Al finalizar este proyecto se logró realizar un proceso de recirculación de material con alto contenido de carbonato de calcio que anteriormente era desechado y por medio de pruebas se pudo comprobar una recuperación equivalente a 48 kg por tonelada de piedra alimentada (80% del material desechado). De esta manera se organiza un proyecto muy ambicioso e interesante para la investigación y preparación de estudiantes en el campo de la ingeniería industrial.

3. La puesta en marcha del proyecto ayuda al mejoramiento continuo en la empresa Sibelco S.A.S. Gracias a la optimización del sistema se obtienen beneficios en el sector financiero que es uno de los puntos más positivos en una empresa por lo que se logra una disminución a los costos asociados por pérdidas de materia prima (piedra caliza) durante el proceso.

4. Queda demostrado una vez más que la metodología de la logística inversa en estudios de proyectos de recuperación es de gran importancia en los procesos industriales por el impacto ambiental sostenible que le da a una empresa, siendo uno de los factores que más influyen dentro de la contaminación que generan los residuos que no tienen disposición final.

5. Los análisis y cálculos realizados a lo largo del proyecto evidencian los beneficios económicos generados a la empresa Sibelco S.A.S con ahorros mensuales de \$16.416.000 en material que antes era desechado, así mismo, se recupera la inversión total del proyecto (\$32.365.289) en tan solo 2

meses. De esta manera se presenta una ganancia neta en el primer año equivalente a \$164.626.711 y en los años siguientes equivalente a \$196.992.000 puesto que el costo del montaje del proyecto solo se debe asumir en el primer año.

## 10. Anexos

### Anexo A. Cotización Equipo completo de Zaranda

#### **Diseños y Montajes s.a.s**

Nit: 891.435.625-9

Cr:53 25-13 Medellín

Tel: 3259542

Cotización: Sibelco s.a.s

DESCRIPCION PRODUCTO	CANTIDAD	V/UNITARIO	SUBTOTAL
Estructura bases y soporte para zaranda en tubo cuadrado de 4 x 4, Cal1/4	1	2.935.800,00	2.935.800,00
Zaranda de dos cuerpos 1200mm x 2000mm	1	4.434.000,00	4.434.000,00
Bajante zaranda lamina 1/8	3	395.800,00	1.187.400,00
Equipo de transmisión completa	1	3.455.800,00	3.455.800,00
Malla mesh en acero inoxidable Cal.304 N.18	1	432.700,00	432.700,00
Malla mesh en acero inoxidable Cal.304. 3/8	1	625.900,00	625.900,00
		SUBTOTAL	13.071.600,00
		% IVA	2.483.604,00
OBSERVACIONES: Valores discriminados en equipo solicitado según medidas y requerimientos solicitados por el cliente, de ser aprobado acuerdo de pago		TOTAL	15.555.204,00

*Siempre a su servicio...*

---

### Anexo B. Cotización Equipo Completo de Banda Transportadora

# Bandas & Estructuras

Soluciones Integrales para el manejo de materiales

NIT 891.500.564-9  
Carrera 8 No. 64 N 99  
PBX:(2)8246647  
Popayán - Colombia

CANTIDAD/QUANTITY		DESCRIPCION/DESCRIPTION	PRECIO METRO PRICE PER METER	PRECIO UNITARIO UNIT PRICE	VALOR TOTAL AMOUNT
MTS	UNIDADES				
9,7		BANDA X 3 LONAS X 500MM X 12MM	167,820,00		1,678,554,00
	1	TAMBOR 430MM X 10" CON EJE 685MM X 2"		555,720,00	555,720,00
	1	TAMBOR 430MM X 7" CON EJE 685MM X 2"		485,672,00	485,672,00
	6	RODILLO DE 230MM X 4,5" CON EJE DE 330MM X 1/2"		109,312,00	655,872,00
	3	RODILLO DE 430MM X 4,5" CON EJE DE 685MM X 1/2"		292,872,00	878,616,00
	1	MOTOREDUCTOR 1.5 HP SIEMENS		642,500,00	642,500,00
	2	CHUMACERA P EJE DE 2"		180,150,00	360,300,00
	2	CHUMACERA T EJE DE 2"		184,500,00	369,000,00
	2	PIÑON 16 DIENTES TIPO B PASO 60 SENCILLO		65,670,00	131,340,00
4		EXTRUCTURA PARA BANDA BASTIDOR		5,790,273,00	5,790,273,00
			VALOR BRUTO/VALUE \$		11,547,847,00
			DESCUENTO/DISC. %		0
			SUB-TOTAL \$		11,547,847,00
			I.V.A %		2,194,090,00
			VALOR NETO/VALUE \$		13,741,937,00

Señores PROMINERALES s.a.s anexo cotización de la banda industrial solicitada

## Anexo C. Cotización Insumos para base Concreto Zaranda



Central de Materiales  
*La solución para su construcción*

NIT 890927428-7 Régimen común  
Cra. 51 No. 778 - 22  
TEL: 355 80 60 Itagüí - Antioquia

Señores Prominerales s.a.s

Anexamos cotización según lo acordado:

### COTIZACION

DESCRIPCION PRODUCTO	UND	CANTIDAD	V/UNITARIO	SUBTOTAL
Varilla rosada de 1" x 1 metro		8	24.350,00	194.800,00
Platina de 200mm x 200mm x 1/2, perfo.1"		4	33.250,00	133.000,00
Varilla corrugada 1" x 6 mts		6	28.350,00	170.100,00
Estribo corrugado de 1/2" x 300mm x 300mm		20	2.355,00	47.100,00
Alambre quemado	kg	1	24.350,00	24.350,00
Aditivo acelerante concreto x 5 kg Sika	kg	1	93.800,00	93.800,00
			SUB TOTAL	663.150,00
			Valor del I.V.A	125.998,00
OBSERVACIONES: (Retenciones)			GRAN TOTAL	798.148,00

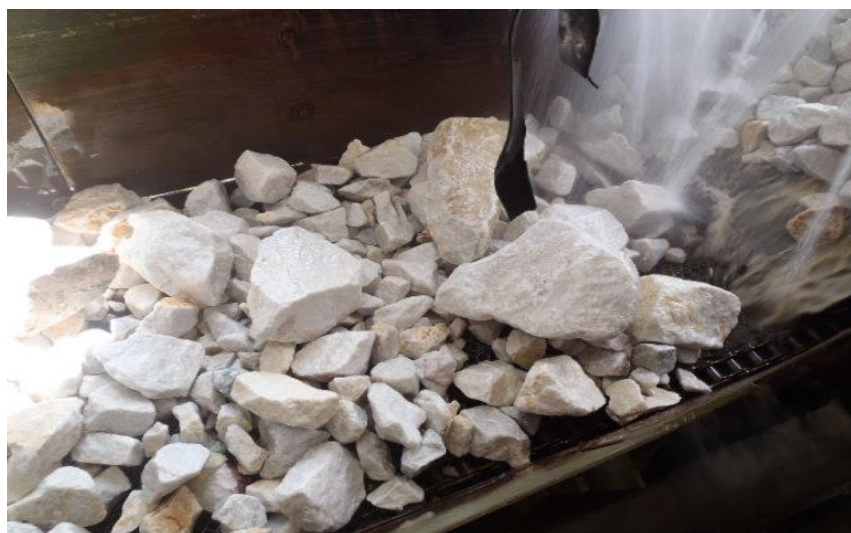
## **Anexos correspondientes al proceso de lavado:**

### **Anexo D. Entrada al sistema de lavado**



*Imagen 4.* Entrada al sistema de lavado (autoría propia).

### **Anexo E. Salida del Sistema de Lavado**



*Imagen 5.* Salida del sistema de lavado (autoría propia).

## **Anexo F. Recolección del material rechazado**



*Imagen 6.* Recolección del material rechazado (autoría propia).

## **Anexo G. Material de Desecho en Patios**



*Imagen 7.* Material de desecho en patios (autoría propia).

## **Anexo H. Material Retenido en Malla de 3/8**



#### **Anexo I. Material Retenido en Malla 4**



*Imagen 8. Material retenido en malla 4 (autoría propia).*



## **Anexo J. Material Retenido en Malla 8**



*Imagen 9. Material retenido en malla 8 (autoría propia).*

## **Anexo K. Distribución Granulométrica en tamices**



*Imagen 10. Distribución métrica en tamices (autoría propia).*

## 11. Bibliografía

- ¿Qué es Cuarteo de suelos? (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Cueva del Ingeniero Civil: <https://www.cuevadelcivil.com/2010/01/cuarteo-de-suelos.html>
- Arena. (2019). Recuperado el 17 de agosto de 2020, de ConceptoDefinición: <https://conceptodefinicion.de/arena/>
- Arena Caliza. (2018). Recuperado el 31 de agosto de 2020, de Ávalos Rubio Grupo Industrial: <https://calcioymarmolinas.com/producto/arena-caliza-agricultura/>
- Argos implementa programa de reciclaje pionero en Colombia. (2014). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Grandes Realidades Argos: <http://grandesrealidades.argos.co/argos-implementa-programa-de-reciclaje-pionero-en-colombia/>
- Balanza analítica. (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Balanza\\_analitica](https://www.ecured.cu/Balanza_analitica)
- Brito Lozano, J. (2012). Elementos de Protección Personal. Recuperado el 27 de julio de 2020, de <http://josebritolozano.blogspot.com/2012/08/elementos-de-proteccion-personal.html>
- Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras. (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Ingemecánica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html>
- Caliza. (2020). Recuperado el 31 de agosto de 2020, de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Caliza>
- Cambridge Engineered Solutions. (s/f). *Bandas Metálicas*. Recuperado de <https://cambridge-es.com/sites/default/files/CES-bandas-metalicas-espanol.pdf>
- Chumaceras, Carcasas y Tipos de Chumaceras. (2020). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de S&R: <https://www.solucionamosyrepresentamos.com/producto/carcasas-para-chumaceras/>
- Con restos de construcciones y de sillar generarán un material similar al cemento. (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de <https://ucsp.edu.pe/saladeprensa/informa/con-restos-de-construcciones-y-de-sillar-generaran-un-material-similar-al-cemento/>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2009). *Documento Conpes 3577*. Bogotá. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/b527d0c9-e862-4c26-8347-e5076fd9b1a9/2009CP3577.aspx>
- Donis Peter, J. R. (2013). *Optimización del proceso de deshidratación de lodos en la trituración de agregados en una cantera de piedra caliza* (trabajo de graduación de maestría).

Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de [http://www.repositorio.usac.edu.gt/4605/1/Juan Rodolfo Donis Peter.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/4605/1/Juan_Rodolfo_Donis_Peter.pdf)

Equipo de trituración. (2013). Recuperado el 25 de julio de 2020, de Trituraciones América: <http://www.trituracionesamerica.com/equipo-trituracion.php>

Estufa de secado u horno de secado. (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Equipos y Laboratorio de Colombia: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/estufa-de-secado-u-horno-de-secado>

Fabricación de zarandas vibratoria. (2017). Recuperado el 12 de mayo de 2020, de Cromang Ingeniería: <http://cromangingenieria.com/zaranda-vibratoria.html>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1994). *Norma Técnica Colombiana NTC 1776*. Bogotá. Recuperado de [https://kupdf.net/download/ntc-1776-metodo-de-ensayo-para-determinar-por-secado-el-contenido-total-de-humedad-de-los-agregados\\_59c852ad08bbc576186872b1\\_pdf](https://kupdf.net/download/ntc-1776-metodo-de-ensayo-para-determinar-por-secado-el-contenido-total-de-humedad-de-los-agregados_59c852ad08bbc576186872b1_pdf)

Malla Zaranda. (2014). Recuperado el 31 de agosto de 2020, de MAELSA: <https://www.mallasmaelsa.com/malla-zaranda.html>

Mancilla, R. (2012). planta procesadora y de lavado de aridos ARIMAQ - YouTube. Recuperado el 25 de agosto de 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=nrAgCFWsJus&feature=youtu.be>

Molienda - EcuRed. (2012). Recuperado el 25 de agosto de 2020, de EcuRed: <http://www.ecured.cu/Molienda>

Pala. (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pala>

Palacio-León, Ó., Chávez-Porras, Á., & Velásquez-Castiblanco, Y. L. (2017). Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. *Tecnura*, 21(53), 96–106. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.3.a06>

Pila de arena - Foto de stock. (2020). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de <https://www.istockphoto.com/es/foto/pila-de-arena-gm185279448-19738356#/close>

Pinza de Crisol. (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Materiales de laboratorio: <https://materialesdelaboratorio.info/pinza/de-crisol>

Planta de Agregados San Marcos. (2020). Recuperado el 25 de agosto de 2020, de Argos Colombia: <https://colombia.argos.co/Acerca-de-Argos/Plantas-en-Colombia/Planta-Agregados-San->

Marcos

Planta de lavado de rocas calizas. (2020). Recuperado el 1 de febrero de 2020, de TH Company:

<https://www.thprocess.com/es/proyectos/planta-lavado-rocas-calizas>

Que es la chumacera. (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de

<https://quees.jmactualidades.com/que-es-la-chumacera/>

Ramírez, N. (2011). Trituración. Recuperado el 31 de agosto de 2020, de ProIndustriales:

<http://proindustriales.blogspot.com/2013/05/trituracion.html>

Razones trigonométricas en triángulos rectángulos. (s/f). Recuperado el 1 de septiembre de 2020,

de <https://es.khanacademy.org/math/geometry/hs-geo-trig/hs-geo-trig-ratios-intro/a/finding-trig-ratios-in-right-triangles>

Rentero, A. (2018). La logística inversa: ¿qué es y para qué sirve? Recuperado el 1 de septiembre

de 2020, de Hiberus Tecnología: <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/la-logistica-inversa-que-es-y-para-que-sirve/>

Rodríguez García, S., Herráiz Domingo, N., Prieto De La Higuera, M., Martínez Solla, M., Picazo

Zabala, M., & Castro Peláez, I. (2011). *Investigación Acción*.

Sanirent - Succion, limpieza y recuperacion de materiales. (1992). Recuperado el 1 de septiembre

de 2020, de <https://www.espacios.com/empresa/sanirent1/sanirent-succion-limpieza-y-recuperacion-de-materiales>

Servicio Geológico Colombiano. (2012). Geología de los depósitos de caliza y mármol. En *La*

*caliza en Colombia. Geología, recursos, calidad y potencial* (Primera Ed). Bogotá: Imprenta

Nacional de Colombia. Recuperado de

<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Caliza-en-Colombia-geologia.PDF>

Significado de la Piedra Caliza. (2020). Recuperado el 31 de agosto de 2020, de Significado de

Piedras: <https://significadodelaspiedras.com/semipreciosas/caliza/>

Tamiz. (2011). Recuperado el 30 de julio de 2020, de EcuRed: <https://www.ecured.cu/Tamiz>

Teorema de Pitágoras. (2020). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de

<https://www.disfrutalasmaticas.com/geometria/teorema-pitagoras.html>

Tolva. (s/f). Recuperado el 31 de agosto de 2020, de Lexico:

<https://www.lexico.com/es/definicion/tolva>

Tolvas Industriales. (2020). Recuperado el 31 de agosto de 2020, de MAFITEL S.A.C.:

<https://mafitelsac.com/sistemas-pesaje-peru/tolvas-industriales-peru/>

Tornillo sin fin. (2020). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Alnicolsa del Perú S.A.C.:  
<http://taninos.tripod.com/tornillo.html>

Transportadores de tornillo sin fin. (2020a). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Dimont Ltda.: <http://dimontltda.com/transportadores-de-tornillo-sin-fin/>

Transportadores de tornillo sin fin. (2020b). Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de Schrage conveying Systems: <https://www.schrage.de/es/schrage-informa/diccionario-tecnico/transportadores-de-tornillo-sin-fin.html>

Transportadores y Bandas. (2016). Recuperado el 1 de agosto de 2020, de [https://www.dirind.com/dim/transportadores\\_bandas1.html](https://www.dirind.com/dim/transportadores_bandas1.html)

Trituración. (2012). Recuperado el 31 de agosto de 2020, de EcuRed: <https://www.ecured.cu/Trituración>

Ucha, F. (2010). Definición de Recuperación-DefiniciónABC. Recuperado el 31 de agosto de 2020, de <https://www.definicionabc.com/general/recuperacion.php>

Ucha, F. (2012). Definición de Desechos-DefiniciónABC. Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de <https://www.definicionabc.com/social/desechos.php>

Yepes Piqueras, V. (2013). Producción de áridos. Recuperado el 25 de agosto de 2020, de Universitat Politècnica de València: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/05/31/produccion-de-aridos/>

Zaranda vibratoria GIL-0.15 (4 pisos). (2020). Recuperado el 31 de agosto de 2020, de Itomak Latinoamérica: <http://itomakla.com/producto/zarandas-vibratorias/zaranda-vibratoria-gil-0-15-4-pisos/>

Zarandas Serie ZC. (s/f). Recuperado el 27 de julio de 2020, de Agretec: <http://www.agretec.com/es/Productos-2/EQUIPOS-COMPLEMENTARIOS-8/Zarandas-Serie-ZC-P-22>