

**ESTUDIO PARA EL MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA  
PARA EL BENEFICIO DEL MINERAL DE ORO EN LA ZONA DE RESERVA  
ESPECIAL MINERA DEL MUNICIPIO DE QUINCHIA RISARALDA**

**YONATHAN ERLEY HEREDIA ARICAPA**

**WALTER ANDRÉS ZAPATA QUINTERO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PEREIRA**

**2015**

**ESTUDIO PARA EL MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UNA PLANTA  
PARA EL BENEFICIO DEL MINERAL DE ORO EN LA ZONA DE RESERVA  
ESPECIAL MINERA DEL MUNICIPIO DE QUINCHIA RISARALDA**

**YONATHAN ERLEY HEREDIA ARICAPA**

**WALTER ANDRES ZAPATA QUINTERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero  
Mecánico**

**Director**

Ing. Manuel Pinzón Candelario

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA  
2015**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Pereira, febrero de 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que todo damos gracias a Dios por darnos la capacidad de realizar este trabajo.

A nuestros padres por el apoyo incondicional durante todo nuestro proceso de educación, por la gran ayuda que nos han brindado y el gran esfuerzo que hicieron por ayudarnos a lograr nuestros sueños.

A nuestras hermanas por comprendernos, ayudarnos y por todos los consejos brindados durante nuestro proceso de formación, y a todas las personas que aportaron al desarrollo de esta etapa de nuestra vida.

A todos los Ingenieros de la F.I.M. por brindarnos sus conocimientos durante la carrera, y al Ingeniero Manuel Pinzón por el acompañamiento en la realización de este trabajo.

A todo el personal de CORPOARE por su ayuda y apoyo incondicional, en especial a Roberto Lema Castro por confiar en nosotros, y brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1 JUSTIFICACIÓN	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo general	17
1.2.2 Objetivos específicos.	17
2 MARCO REFERENCIAL	18
2.1 MARCO LEGAL	18
2.2 MARCO HISTÓRICO	21
2.2.1 Recorrido cronológico por la tecnología minera.	22
2.2.2 Conformación de CORPOARE.	23
2.3 MARCO GEOGRÁFICO	23
2.4 MARCO CONCEPTUAL	25
2.5 MARCO TEÓRICO	30
2.5.1 Caracterización del mineral	30
2.5.2 Propiedades físicas de los minerales.	30
2.5.3 Equipos utilizados en el beneficio de minerales.	33
3 RECURSOS DISPONIBLES.	99
3.1 MATERIA PRIMA.	99
3.2 MANO DE OBRA.	99
3.3 FUENTES DE AGUA.	99
3.4 INSUMOS.	99
3.5 SUMINISTRO DE ENERGÍA.	99
4 DESCRIPCION DEL PROCESO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE CORPOARE.	100
4.1 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS PROYECTADOS EN CADA ETAPA DE BENEFICIO	104
4.1.1 Tolva de almacenamiento del mineral extraído de la mina	104
4.1.2 Banda transportadora	107
4.1.3 Trituración primaria	116
4.1.4 Trituración secundaria	121
4.1.5 Molienda primaria	123
4.1.6 Molienda secundaria	126
4.1.7 Concentración gravimétrica.	129
4.1.8 Flotación de minerales.	131

4.1.9	Circuito de cianuración.	132
5	PLAN DE MANTENIMIENTO	135
5.1	TIPOS DE MANTENIMIENTO.	135
5.1.1	Mantenimiento correctivo (CM = Corrective Maintenance).	135
5.1.2	Mantenimiento programado.	135
5.1.3	Mantenimiento preventivo (PM = Preventive Maintenance).	136
5.1.4	Mantenimiento predictivo (PdM = Predictive Maintenance).	136
5.1.5	Mantenimiento continuo.	136
5.1.6	Mantenimiento analítico (PaM = Proactive Maintenance)	137
5.1.7	Mantenimiento productivo total (T.P.M.).	137
5.1.8	Mantenimiento basado en la condición (CBM = Condition Based Maintenance)	137
5.1.9	Mantenimiento basado en la fiabilidad (R.C.M. = Reliability Based Maintenance).	137
5.2	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CORPOARE	138
5.2.1	Empadronamiento de la maquinaria.	138
5.2.2	Ventajas del mantenimiento preventivo.	140
5.2.3	Codificación de la maquinaria.	141
5.3	FORMATOS NECESARIOS PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO	143
5.3.1	Tarjeta maestra.	143
5.3.2	Ficha técnica de los equipos.	145
5.3.3	Revisión del estado de los equipos.	151
5.3.4	Solicitud de servicio.	152
5.3.5	Ordenes de trabajo (OT).	153
5.4	GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO.	155
5.4.1	Indicadores de gestión.	156
5.4.2	Indicadores de gestión del mantenimiento.	156
5.4.3	Costos del plan de mantenimiento.	158
5.4.4	Recomendaciones para ejecutar el plan de mantenimiento.	159
6	ESTUDIO ORGANIZACIONAL	160
6.1	RAZÓN SOCIAL	160
6.2	MISIÓN	160
6.3	VISIÓN	160
6.4	POLÍTICAS	160
6.4.1	Políticas de personal.	160
6.4.2	Políticas de compra.	161
6.4.3	Políticas de venta.	161

6.5	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	162
6.5.1	Descripción de los departamentos.	162
6.5.2	Manual de funciones y perfil de cargos.	164
7	ESTUDIO FINANCIERO DEL PROYECTO	172
8	DISTRIBUCIÓN DE PLANTA	178
	CONCLUSIONES	182
	RECOMENDACIONES	183
	BIBLIOGRAFIA	184

## LISTA DE FIGURAS

	Pág	
Figura 1	Localización del polígono del A.R.E de Quinchía	24
Figura 2	Esquema básico de una banda transportadora	37
Figura 3	Ángulo de reposo y sobrecarga del mineral en la banda	39
Figura 4	Ángulo de sobrecarga, reposo y fluidez del material	40
Figura 5	Velocidad de la banda	41
Figura 6	Capacidad de transporte volumétrica de la banda transportadora	42
Figura 7	Factor de inclinación K	43
Figura 8	Paso de las estaciones de la banda	45
Figura 9	Distancia de transición	45
Figura 10	Coeficiente de resistencias fijas	47
Figura 11	Coeficiente resistencias pasivas	47
Figura 12	Coeficiente de rozamiento interior	48
Figura 13	Tensiones en la banda	49
Figura 14	Factor de abrazamiento	50
Figura 15	Factor de choque	52
Figura 16	Factor de servicio	52
Figura 17	Factor ambiental	53
Figura 18	Factor de participación	53
Figura 19	Factor de velocidad	54
Figura 20	Diámetros mínimos recomendados de los tambores	55
Figura 21	Corte esquemático de la trituradora de doble efecto	56
Figura 22	Corte de una trituradora de simple efecto	57
Figura 23	Medidas de la boca de alimentación	58
Figura 24	Reglaje de una trituradora	59
Figura 25	Equipo de fragmentación indirecta y equipo de fragmentación directa	61
Figura 26	Corte esquemático de un molino de impacto	62
Figura 27	Molino de impacto de eje vertical Rotomil	63
Figura 28	Principio de funcionamiento de un triturador de impacto vertical roca-roca	64
Figura 29	Trituradora de martillos de doble rotor	64
Figura 30	Esquema de trabajo de un molino de martillos	66
Figura 31	Molino de barras y componentes constitutivos	68
Figura 32	Molino de bolas y sus elementos constitutivos	71
Figura 33	Capas al interior de un Jig	79
Figura 34	Mesa concentradora por vibración	80



Figura 35	Espirales ya montados	83
Figura 36	Concentrador centrífugo Knelson	84
Figura 37	Concentrador Falcon: C4000 y SB2500	87
Figura 38	El hidrociclón	88
Figura 39	El hidrociclón de Rietema	89
Figura 40	Representación esquemática de la recuperación de minerales por el sistema Merrill Crowe	93
Figura 41	Esquema sistema Merrill Crowe	95
Figura 42	Número de potencia para el impulsor	97
Figura 43	Medidas principales de la tolva	104
Figura 44	Valor de n (r.p.m)	117
Figura 45	Coeficiente de utilización	119
Figura 46	Datos técnicos de la trituradora de martillos	123
Figura 47	Celdas de flotación	132
Figura 48	Ciclo de gestión del mantenimiento	155
Figura 49	Organigrama	162
Figura 50	Precio del oro hoy en Colombia	176
Figura 51	Distribución de planta	179
Figura 52	Flujo de proceso	180
Figura 53	Vista superior de las secciones del proceso	181

## LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Escala de dureza de Mohs de minerales	31
Tabla 2	Ángulo de rozamiento de algunos materiales	34
Tabla 3	Constante de alimentación	43
Tabla 4	Formato de los revestimientos de la trituradora según dureza del mineral	57
Tabla 5	Coefficiente K para bolas de acero	74
Tabla 6	Distribución de carga de bolas, porcentaje en peso	75
Tabla 7	Valor de la constante f	117
Tabla 8	Datos técnicos de la trituradora	120
Tabla 9	Equipos que componen la planta	139
Tabla 10	Clasificación por sección	141
Tabla 11	Clasificación por equipo	142
Tabla 12	Clasificación por componente	142
Tabla 13	Indicadores de gestión de mantenimiento	157
Tabla 14	Salarios y aportes legales	171
Tabla 15	Inversiones fijas	172
Tabla 16	Costos variables	174
Tabla 17	Estructura de financiación	175
Tabla 18	Estado de resultados	177

## LISTA DE CUADROS

		Pág
Cuadro 1	Factor de tamaño	130
Cuadro 2	Formato de la tarjeta maestra	144
Cuadro 3	Ficha técnica molino de bolas	146
Cuadro 4	Ficha técnica de la trituradora	147
Cuadro 5	Ficha técnica de la banda transportadora	148
Cuadro 6	Ficha técnica hidrociclón	149
Cuadro 7	Ficha técnica celdas de flotación	150
Cuadro 8	Formato de inspección de los equipos	151
Cuadro 9	solicitud de servicio	152
Cuadro 10	Formato orden de trabajo	154

## RESUMEN

El objetivo fundamental de este proyecto es dar a conocer a la corporación Área de Reserva Especial Minera de Quinchía (CORPOARE), una propuesta de diseño de planta, teniendo en cuenta los principios técnicos y teóricos básicos del dimensionamiento y selección de los equipos necesarios para el montaje de la planta de beneficio de minerales; y principalmente la distribución de planta para un mejor desempeño del personal que está laborando.

Con el estudio técnico y de viabilidad financiera del montaje de esta planta se presenta una visión futura de lo que podría ser este proyecto, teniendo así una proyección de lo que se quiere lograr y de los beneficios que se obtendrán.

La selección de equipos se basa en la producción esperada por la mina, según los estudios de la Universidad de Caldas y el área de exploración asignada a CORPOARE por la Agencia Nacional de Minería, se estima que podría lograr una producción de 60 ton/día, con este valor se inicia la selección de cada uno de los equipos que componen esta etapa productiva.

También se lleva a cabo el desarrollo teórico de lo que compone la implementación del plan de mantenimiento para así prolongar la vida útil de los equipos y evitar las paradas en el proceso por daños inesperados.

Teniendo en cuenta la necesidad de saber el presupuesto de inversión y conocer el tiempo de recuperación de la inversión se lleva a cabo la distribución de planta y la evaluación financiera del proyecto.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo se realiza con el fin de dar a CORPOARE<sup>1</sup> los lineamientos básicos que se deben tener en cuenta para el montaje de una planta industrial, aplicando los conocimientos de Ingeniería para la elaboración de los diseños, selección de equipos y distribución de planta.

Con los diferentes métodos y teorías utilizados para la selección de los equipos de trituración, molienda, clasificación granulométrica y otros, se pretende transmitir mayor conocimiento sobre la operación de estos equipos para así lograr el óptimo desempeño de cada uno de ellos, logrando una mayor recuperación de los metales preciosos y otros minerales, y una mayor eficiencia en el proceso de beneficio de estos minerales.

En el municipio de Quinchía existen muy pocas plantas de beneficio de estos minerales, con esto se pretende llevar a cabo parámetros de diseño, selección y montaje de los equipos, para brindar a la corporación los datos técnicos y financieros para que sean tomados en cuenta en la apertura de la planta, e iniciar labores en el montaje.

La elaboración del estudio, para el montaje de la planta, tiene como finalidad el aporte al crecimiento de las prácticas mineras a gran escala en la región, en una forma donde se reduzca el impacto ambiental que estas prácticas generan.

CORPOARE plantea un proyecto de producción a gran escala, siendo esta corporación un ejemplo a nivel nacional, al estar clasificados como agro mineros, convirtiéndose en el único proyecto en Colombia con esta clasificación.

También se plantea una ayuda para el progreso y crecimiento en el sector minero de la región, teniendo así un mejor sustento económico, mayor generación de empleo en este sector y mejores condiciones de vida para la región. Teniendo en cuenta que esta Corporación está creada por personas pertenecientes a este municipio, y con un gran sentido de pertenencia por la región.

---

<sup>1</sup> CORPOARE: Corporación área de reserva especial minera de Quinchía

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad minera en el municipio de Quinchía ha aumentado en los últimos años, y se ha convertido en una de las actividades económicas más importantes de la región, en este municipio se encuentran yacimientos importantes que aún no han sido explotados, CORPOARE es una corporación que está iniciando sus actividades mineras en la zona con el fin de explotar el mineral de una manera en la cual se disminuya el impacto ambiental, que esta actividad ocasiona, también favorecer la región y las personas que habitan en sus alrededores. Esta corporación fue creada en los últimos años pensando en el bien y desarrollo de la región, por este motivo los socios son personas que han vivido en la zona y han tenido como parte de su sustento el recurso minero.

Quinchía es una población con fuerte vocación agrícola y minera ubicada en la zona montañosa al nororiente del departamento. En este municipio algunas multinacionales, han querido obtener derecho de explotación en la zona: como lo son Batero Gold y Mineros Quinchía; aunque su razón social se relaciona con los nombres de la zona sus títulos los poseen personas foráneas al municipio. En el año 2007 la sociedad Kedahda S.A. filial de la Anglo Gold Ashanti (AGA), amparada en la legislación minera de la nación, ingreso al municipio con el fin de explorar sus territorios, realizando estudios y muestreos de la producción de oro que se puede obtener en estas tierras tratando de realizar una negociación con los pequeños mineros del municipio pero aún no han llegado a un acuerdo.

Existen alrededor de 5027 hectáreas libres para la explotación minera. CORPOARE, una corporación de origen regional que logró la consecución de 585 hectáreas para la explotación, delimitando así este territorio llamado “área de reserva especial minera”. Este terreno ha sido poco explorado debido a que la extracción de oro, se realiza de una manera muy artesanal, o como comúnmente se le llama “barequeo<sup>2</sup>”.

Las asociaciones mineras comenzaron a disminuirse desde 2007 hasta el 2011, se han reducido en más de un 50%.<sup>3</sup>

Se lleva a cabo la minería artesanal, por parte de un gran número de personas, las cuales no tienen o no siguen un reglamento para realizar esta labor. Debido a que en la mayoría de los casos no es controlada por el Estado, ya que muchas de estas asociaciones no poseen los requisitos necesarios para realizarla.

---

<sup>2</sup> Barequeo: es la actividad en la cual se realiza el lavado de arenas mediante medios artesanales, sin la utilización de maquinaria y medios químicos para la extracción del mineral. Esta labor se realiza generalmente a orillas de los ríos, no genera impacto ambiental.

<sup>3</sup> Encuestas: Alcaldía municipal de Quinchia.

CORPOARE reúne 7 asociaciones de la zona para conformarse en una sola entidad en la cual deben cumplir con los requisitos legales exigidos por la norma, causando el menor impacto ambiental posible; Esta corporación nace como una necesidad creada entre pequeñas asociaciones de mineros con el fin de legalizar su labor y obtener el tan deseado “título minero<sup>4</sup>”. La lucha, por parte de los voceros de la corporación, lleva más de 15 años.

Las multinacionales han mostrado su interés por el título minero conseguido por la corporación; pero debido a los estudios realizados en la zona, estos terrenos prometen muy buena producción; además se garantiza el sustento económico para las familias vinculadas a este. Pensando en las comunidades, CORPOARE ha decidido que este título no tiene ningún valor comercial hasta el momento.

Actualmente se cuenta con una minería poco industrializada, es poca la maquinaria presente en este territorio comparada con el gran potencial minero que hay en el municipio, por lo tanto, de la roca extraída en la mina no se explota la mayor cantidad de oro presente en ésta, debido a la falta de un buen proceso de beneficio del material.

En la región se cuenta con muy poca presencia de la Universidad Tecnológica de Pereira, para el acompañamiento de proyectos mineros: Se pretende, que la universidad pueda seguir apoyando estos proyectos, debido a que la minería está comenzando su auge en el departamento, y a la falta de capacitaciones.

La realización de este estudio nace como necesidad de la corporación CORPOARE, en la consolidación de esta, para así lograr obtener un proceso productivo eficiente, que cumpla con los objetivos planteados al momento de la solicitud del título minero, teniendo en cuenta todos los lineamientos exigidos por las normas en el montaje de la planta para el procesamiento y extracción de minerales preciosos.

El área de reserva especial minera cuenta con la necesidad de una línea de proceso en el cual involucre una buena selección de equipos, y recomendaciones en el programa de mantenimiento que se le debe realizar a éstos, ya que se quiere obtener una planta modelo en este sector.

---

<sup>4</sup> Título minero: <<Es el acto administrativo escrito (documento) mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo minero de propiedad de la Nación.>> [www.ingeo-minas.gov.co](http://www.ingeo-minas.gov.co)

## 1.1. JUSTIFICACIÓN

Quinchía se ha destacado por ser un importante productor de oro y en menor escala de carbón. Por este motivo, el mayor interés de CORPOARE y de su representante legal Roberto Elías Lema Castro, uno de los habitantes de esta zona, es llevar a cabo este proyecto como un ejemplo a nivel nacional de lo que se puede lograr con la unión de los intereses de las personas convertidos en un solo objetivo, ya que está catalogado como un proyecto agro-minero.

Se espera que la puesta en marcha de este proyecto tenga un gran impacto en la región, siendo un modelo a seguir, cumpliendo con los parámetros exigidos de desarrollo y así demostrando que con unión de pequeñas asociaciones y las ganas de salir adelante, se pueden obtener grandes logros.

El desarrollo de este trabajo relaciona todos los aspectos técnicos, administrativos, organizacionales, financieros y de viabilidad económica para dar a CORPOARE las pautas necesarias para que pueda iniciar el montaje de su proceso productivo con los recursos propios y los que se logren obtener con otras entidades; por lo tanto, el impacto generado con este proyecto, es que a futuro se podrá realizar el montaje de la planta con una capacidad en su proceso de 3 Ton/h, dando así el rendimiento esperado.

Desde el punto de vista académico universitario, se pretende la aplicación de los conceptos adquiridos durante el programa de Ingeniería Mecánica, llevando a cabo el estudio para el montaje de la planta; también compartiendo conocimientos en el trabajo conjunto con otros profesionales vinculados en el proyecto. Y adquiriendo experiencia en el ámbito laboral, mejorando notablemente la formación profesional.



## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general.**

Realizar el estudio del montaje de una planta para el beneficio del mineral de oro en la zona de reserva especial del municipio de Quinchía.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Analizar la capacidad de los equipos requeridos para una producción determinada.
- Elaborar la distribución de la planta.
- Elaborar el programa de mantenimiento de los equipos utilizados en el proceso productivo.
- Realizar el estudio administrativo de la planta.
- Establecer los costos del montaje y evaluación financiera del proyecto.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. MARCO LEGAL

Las actividades exploratorias realizadas en el municipio de Quinchia dentro del Área de Reserva especial minera, están respaldadas y sujetas a la normatividad minera y ambiental, exigidas para el cumplimiento de las labores de exploración y explotación de minerales preciosos. Algunas de estas leyes y decretos son:

**Ley 685 de 2001. Código de Minas, Art. 31.** Reservas Especiales:

“El gobierno Nacional por motivos de orden social o económico determinados en cada caso, de oficio o por solicitud expresa de la comunidad minera, en aquellas áreas en donde existan explotaciones tradicionales de minería informal, delimitará zonas en las cuales temporalmente no se admitirán nuevas propuestas, sobre todos o algunos minerales. Su objeto será adelantar estudios geológico-mineros y desarrollar proyectos....En todo caso, estos estudios geológico-mineros....no podrán tardar más de dos años. ....La concesión se otorgará a las mismas comunidades.....” Concordancias: Artículos 16, 49, 248 y 332 literal g del C.M.

**Decreto 535 de 2006.** Por la cual se delimita una zona de reserva especial, de conformidad con lo estipulado en el artículo 31 de la Ley 685 de 2001. **Art. 1.**

Delimitar como área de reserva especial para adelantar estudios geológicos – mineros y desarrollar proyectos mineros estratégicos para el país, de conformidad con el artículo 31 del Código de Minas, la que se alindera a continuación: “Quinchía: el área se reserva para un yacimiento de oro y metales preciosos y se localiza en jurisdicción del Municipio de Quinchía, Departamento de Risaralda, la conforma (1) área y (1) exclusión. Esta área se enmarca dentro de las siguientes coordenadas.....”

**Decreto 247 de 2008.** Por el cual se modifica un área de reserva especial. “**Art. 1:** **Adicionar** al Área de Reserva Especial localizada en jurisdicción del Municipio de Quinchía, Departamento de Risaralda, declarada mediante Decreto 535 de 2006 para un yacimiento de oro y metales preciosos. El área que **se adiciona** corresponde al Título Minero N° 058-93M, **terminado** mediante Resolución 0103 de 2007, confirmada por acto administrativo DSM 777 de 2007, alinderada por las siguientes coordenadas..... **Art. 2: Excluir**, por la no presencia de mineros y la baja potencialidad de reservas, una zona ubicada hacia la parte Este del Área de Reserva Especial de Quinchía, la cual se encuentra alinderada por las siguientes coordenadas....”

**Decreto 2218 de 2008.** Por el cual se modifica el Decreto 247 de 2008. Que mediante Decreto 247 de 2008, se modifica un área de reserva especial en

jurisdicción del Municipio de Quinchía, Departamento de Risaralda. Que no fue posible la inscripción del área de reserva especial mediante el citado Decreto en el Registro Minero Nacional por el Instituto Colombiano de Minería y Geología – INGEOMINAS – debido a inconsistencia en la alinderación de las áreas que se delimitaron como reserva especial, toda vez que al transcribir las coordenadas se invirtieron, colocando las Este como Norte y las Norte como Este. Teniendo en cuenta lo anterior se decreta: **Art. 1:** "Modificar el artículo 2° del Decreto 247 del 31 de Enero de 2008, el cual quedará así: ....".

**Ley 685 de 2001. Código de minas, Art. 42.** El Estado, a través de la Universidad de Caldas y en consideración al interés público que otorga a la investigación del subsuelo, llevó a cabo los estudios geológico-mineros dentro del Área de Reserva Especial, mediante Convenio Interadministrativo Especial inscrito en el BPIN del Departamento Nacional de Planeación:

"Es de interés público que el Estado, a través del Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear, Ingeominas, o de **centros de educación superior** y de investigación científica y tecnológica, adelanten trabajos de investigación regional o global del subsuelo,...."

Concordancias: Art 13 del C.M.

**Ley 685 de 2001. Código de minas, Arts. 78 a 81.** Para dar cumplimiento a lo establecido en los artículos referidos, las labores de exploración Fase I y II objeto del convenio interadministrativo fueron ejecutadas por un equipo técnico conformado por dos geólogos, un ingeniero ambiental, un ingeniero de minas, un ingeniero geólogo y una profesional en desarrollo familiar, todos de reconocida idoneidad y experiencia en su campo y amparados por matriculas profesionales.

**Ley 685 de 2001, C.M. Art. 84, Item 6.**

**6. Plan Minero de Explotación, que incluirá la indicación de las guías técnicas que serán utilizadas".**

La elaboración del Plan Minero de Explotación, tomó como referencia las siguientes Guías:

- **Resolución 180-859 de 2002.** Términos de Referencia para los trabajos de exploración ( **LTE** ) y Elaboración del Programa de Trabajos y Obras (**PTO**).
- **Resolución 180-861 de 2002.** Guías Minero Ambientales, Exploración-Explotación-Beneficio.
- **Decreto 3290 de 2003.** Normas Técnicas Oficiales.
- **Resolución 6 0351 de 1993.** Requisitos para Planos y Registros Relacionados con Minería.
- **Decreto 2191 de 2003.** Glosario Técnico Minero.
- **Guías Minero Ambientales para el Cierre y Abandono de Minas.** Convenio Universidad de Caldas – CVC. En revisión.

**Resolución 180-859 y 180-861. Términos de Referencia para Exploración y Guías Minero Ambientales.** Las labores de exploración geológico-mineras en su Fase I, se llevaron a cabo con sujeción a lo establecido en estas normas. En lo

referente a los permisos, autorizaciones y concesiones para el aprovechamiento de los recursos naturales renovables durante la exploración, la Guía establece: “cuando en desarrollo de los trabajos de exploración se requiera usar en forma ocasional o transitoria, recursos naturales renovables de la zona explorada, se solicitará la correspondiente autorización a la autoridad ambiental competente.” Concordancias: Ley 99/94; Art. 81 del C.M.

**Decreto 2811 de 1974. Código de Recursos Naturales.** Normatiza lo atinente a los Recursos Naturales Renovables, su protección y conservación. De relevancia para el objeto que nos ocupa son sus Decretos reglamentarios 1541 de 1978 sobre el recurso agua, 02 de 1982 sobre emisiones atmosféricas.

**Decreto 1541 de 1978,** el interesado requiere **concesión (de aguas superficiales)**, para obtener el derecho a aprovecharlas cuando se trate de fines **industriales y de explotación minera** (artículo 36, literales d y f, Decreto 1541/78). Las obligaciones a que está sujeto el solicitante para este tipo de uso, están establecidas en los artículos 86 y s.s.; 146 y 147 del Código de Recursos Naturales y en el artículo 36 y s.s. del Decreto 1541/78. El montaje de la planta de beneficio diseñada para el proyecto requiere la captación de un caudal aproximado de 4.5 m<sup>3</sup>/h tomados de la Quebrada Juan Tapado.

**Permiso de Ocupación de Cauce.** Cuando el proyecto requiera intervenir el cauce de alguna fuente con obras como: Cobertura, canalizaciones, desvíos, dragados, puentes y obras de protección (muros de contención, espolones etc), requerirá de este permiso. Su marco normativo es el Decreto 2811/74, artículo 102; el Decreto 1541/78, artículos 104, 184, inciso 3°, 188 y 192. Durante las labores de exploración se verificó la existencia de una pequeña represa ubicada 100 m aguas arriba del sitio del túnel exploratorio de Mina Rica; se pretende hacer uso de ella para la toma del agua requerida para la operación de perforación en húmedo y operación de la planta de beneficio.

**Resolución 8321 de 1983, Art 42:** no se permite ningún tipo de exposición a ruido continuo o intermitente por encima de 115 dB (A) de presión sonora.

**Resolución 8321 de 1983, Art. 49:** los empleadores, propietarios o personas responsables de establecimientos, áreas o sitios en donde se realice cualquier tipo de trabajo productor de ruido, están en la obligación de mantener niveles sonoros seguros para la salud y la audición de los trabajadores.

**Ley 1021 de 2006, Artículo 20, Permiso de Aprovechamiento Forestal.** Si dentro de las actividades de exploración o explotación se requiere el uso de este recurso, se debe solicitar permiso. El planeamiento minero realizado para el Área de Reserva Especial, basado en la evaluación del componente biótico (flora), no contempla el uso de este recurso de la zona por no existir oferta; el aprovisionamiento de madera deberá lograrse por intermedio de distribuidores autorizados.

**Ley 99 de 1994. Crea el Ministerio del Medio Ambiente.** Establece la obligatoriedad de obtener Licencia ambiental para obras, industrias o actividades susceptibles de causar deterioro a los recursos naturales renovables, al medio ambiente o al paisaje (**artículo 49**) y da facultades a las Corporaciones Autónomas Regionales (**artículo 53**), para otorgar o negar licencia ambiental a los

proyectos u obras contempladas en el Decreto 1892/99, el cual incluye la pequeña minería. De relevancia es su Decreto 948 de 1995 sobre recurso aire.

**Ley 21 de 1991. Convenio 169 de la OIT sobre pueblos indígenas y tribales.**

**Ley 70 de 1994. Ley de Negritudes.** Según el censo poblacional 2005, el 33.6% de la población del Municipio se identifica como Indígena del cual se reconoce la Parcialidad Carambá; sin embargo, no existen dentro del A.R.E de Quinchía conglomerados de población organizados como resguardos o parcialidades. Efectivamente, la determinación del Área de la Reserva no detectó la existencia de Entes Territoriales de esta etnia. Igualmente, la población negra que representa el 0.1% de la población según la misma fuente, no tiene Territorios de Comunidades Negras establecidos a la luz del Decreto 1745 de 1995.

**Ley 388 de 1997. Ordenamiento Territorial.** El Municipio de Quinchía, con una población menor a 40.000 habitantes (31.996 según censo de 2005), cuenta con un Plan Básico de Ordenamiento Territorial **-PBOT-**, donde contempla la actividad minera como un renglón tradicional de su economía y cita proyectos de colaboración a tres núcleos mineros de la región. Según el Informe sobre POT de los municipios de la Secretaria de Planeación de Risaralda, fechado en enero de 2005, donde se hace un diagnóstico situacional de los mismos, el Municipio manifiesta que el aspecto de uso de suelo y minería requiere de ajustes.

## 2.2. MARCO HISTÓRICO

La minería es una labor que toma sus inicios desde épocas ancestrales, los pueblos precolombinos empiezan la labor de minería de una manera en la cual se tiene cierta complejidad, según las necesidades del pueblo antioqueño, uno de los departamentos donde inicio el proceso de industrialización de la minería, labor que toma sus inicios en el siglo XIX.

En esta época un obrero ingles con conocimientos en mecánica construye uno de los primeros molinos para la pulverización del material extraído de los yacimientos, debido a que este molino era poco eficiente, grandes cantidades de oro eran perdidas en este sistema, más adelante se lleva a cabo mejoras a este molino por ingleses, los cuales llevan a cabo el perfeccionamiento de este, evitando las pérdidas de oro posible para la extracción.

La minería en Antioquia fue uno de los principales motores para comenzar con los procesos de industrialización de este departamento, trayendo consigo nuevos sistemas de procesos, nueva maquinaria y la visita de grandes ingenieros como:

Boussingault<sup>5</sup> (1825), Moore<sup>6</sup> (1829), Walker<sup>7</sup> (1825), Nisser<sup>8</sup>, Paschke, De Greiff (1826), y Johnson (1835), entre otros, estos ingenieros también dieron a conocer en el territorio nuevas ciencias como la mineralogía, geología, hidráulica, mecánica aplicada, entre otras.

### **2.2.1. Recorrido cronológico por la tecnología minera.**

En 1825 el ingenio francés Boussingault tras su visita a las minas de Antioquia, monta los primeros molinos de arrastre en Titiribí, Buriticá y Supia.

En 1826 se monta el primer molino de pisones por iniciativa de Moore, luego se le efectúan algunas modificaciones a este y da origen al molino antioqueño.

En 1828 se realiza por primera vez el uso de la amalgamación en el municipio de Marmato Caldas.

En 1829 Moore monta en Marmato los primeros molinos de pisones de pisones con piezas metálicas y accionados por energía hidráulica.

En 1860 se realiza la construcción de los primeros hornos de viento para la fundición de oro.

En 1870 se inicia la utilización de bombas para sacar el agua de las minas, estas eran movidas a mano o por energía hidráulica.

En 1881 llegan los primeros molinos californianos a Sonsón, traídos por los hermanos Gouzy

Entre 1905 y 1925 se inicia la implementación de mesas Wilfley, celdas de flotación y motores eléctricos

En 1930 se introducen las primeras bombas centrifugas para extraer cascajos y arenas de las minas.

---

<sup>5</sup> Boussingault: nació en París en 1802. Recibe una amplia educación en ciencias naturales, minería y química, en 1882 fue contratado para venir a Bogotá a fundar una enseñanza de ingenieros civiles y militares.

<sup>6</sup> Moore: Empresario inglés (Londres, 1803 Bogotá, 1881). Tyrell Stewart Moore estudió matemáticas y ciencias "especulativas" y aplicadas en Londres, y continuó su educación en Suiza y Alemania. Sobresalió como mecánico, metalurgista y minero. Llegó a Colombia en 1829 contratado por la compañía inglesa que explotaba las vetas de Marmato. Luego pasó a Antioquia y trabajó en minas en Santa Rosa, Anorí y Amalfi, productivos distritos auríferos

<sup>7</sup> Walker: Ingeniero de minas, vino a Colombia en 1825 a las minas de Supía y Marmato, casado en Sonsón con Januaria Robledo Martínez, vecina de Sonsón, hija de Gregorio Francisco José Robledo Moreno y María Antonia Martínez Cataño.

<sup>8</sup> Nisser: Ingeniero Sueco. Nació en 31 de octubre de 1799, visito a Colombia en una expedición en busca de oro con un gran número de mineros del continente.

En el 2006 Colombia se ubica en el puesto 20 como productor de oro a nivel mundial.

En Colombia desde los inicios de la industrialización de la minería, se ha llevado a cabo consigo el progreso y avances tecnológicos en muchas áreas.

### **2.2.2. Conformación de CORPOARE.**

CORPOARE (Corporación área de reserva especial minera de Quinchía), nace por la necesidad de conformarse un grupo en el cual hicieran parte todas aquellas personas que han sido pequeños mineros, y han trabajado durante mucho tiempo en esta labor, además de realizar otras labores agropecuarias.

En el año 1998 nace la idea de conformar una corporación, debido a la necesidad de la comunidad de obtener un título y además de esto obtener ayudas y beneficios que brinda el estado, los cuales no son dados a pequeños mineros.

Debido al esfuerzo realizado por una de estas asociaciones por obtener un título y a los pocos resultados de esto, decidieron la agrupación de los pequeños mineros que hacían parte de este territorio, para la conformación de la corporación. Estas asociaciones son: Mina santa, El Triunfo, La Soledad, La Camelia, La Peña, Pomecia y La Carmelita, agrupándose un total de 87 socios en la corporación.

Después del esfuerzo realizado durante varios años, se logra la realización de los estudios geológico mineros realizado mediante un convenio interadministrativo entre el ministerio de minas y energía y la Universidad de Caldas en el periodo comprendido entre Febrero del 2007 y Diciembre del 2008, así inicia el proceso de legalización de la corporación.

A finales del 2012 se realiza la entrega oficial del título minero a la corporación, en el municipio Quinchía Risaralda, este título da a la corporación el derecho de poder ejercer labores de explotación en la zona de reserva especial, en Febrero del 2013 se realiza la entrega de los documentos donde se reflejan todos los estudios geológicos de la zona, dando las garantías requeridas para el proceso de explotación del mineral (oro).

### **2.3. MARCO GEOGRÁFICO**

La planta quedará ubicada en la vereda Mina rica a tres kilómetros al oriente del Municipio de Quinchía sobre el flanco oriental de la Cordillera occidental y al





## 2.4. MARCO CONCEPTUAL

- **Accesos:** Labores mineras subterráneas que comunican el cuerpo mineralizado con la superficie, para facilitar su explotación. Los accesos pueden ser: 1. Túneles de acceso (o socavones). 2. Chimeneas. 3. Rampas (o inclinados).
- **Acopio:** Se define como la acción y el efecto de acopiar o reunir. 2. Se entiende como el sitio donde se ubican los minerales que se extraen.
- **Ambiente:** Entorno en el que opera una organización, que incluye aire, suelo, agua, recursos naturales, seres humanos y su interrelación.
- **Aluvial.** Dícese de las formaciones geológicas resultantes de procesos de depósito de Aluviones.
- **Aluvi3n.** Dep3sitos dejados por las corrientes fluviales. Ocurren cuando la corriente pierde capacidad de carga de sedimentos y no los puede transportar y los deposita. Cubre todos los tama3os de grano. La acumulaci3n puede ocurrir dentro o fuera del cauce.
- **Bandeja:** Recipiente de acero inoxidable que sirve para secar el precipitado en los secadores.
- **Barequeo:** es la actividad en la cual se realiza el lavado de arenas mediante medios artesanales, sin la utilizaci3n de maquinaria y medios qu3micos para la extracci3n del mineral. Esta labor se realiza generalmente a orillas de los r3os, no genera impacto ambiental.
- **Ciclo minero:** Diferentes fases que ocurren durante el desarrollo de un proyecto minero, definidas en el "Plan Nacional de Desarrollo Minero" del Ministerio de Minas y Energ3a, que abarcan desde la gestaci3n de un proyecto hasta su cierre. El Ciclo minero tiene las siguientes cinco (5) fases: Gestaci3n del proyecto, Exploraci3n, Desarrollo Minero, Producci3n y Desmantelamiento.
- **Cierre:** Terminaci3n de actividades mineras o desmantelamiento del proyecto originado en renuncia total, caducidad o extinci3n de los derechos del titular minero. Es la 3ltima etapa del desarrollo de una mina y se presenta cuando los

márgenes de rentabilidad no son los adecuados por los bajos tenores o agotamiento de las reservas que no la hacen competitiva con otras minas.

- **Cono mezclador:** Equipo mecánico formado por la unión de dos conos truncados que sirve para el homogenizado del precipitado seco y el mezclado con los fundentes.

- **Costo ambiental:** Son los gastos necesarios para la protección, la conservación, el mejoramiento y la rehabilitación del medio ambiente. Es el valor económico que se le asigna a los efectos negativos de una actividad productiva para la sociedad.

- **Costo de inversión:** Costo equivalente a los intereses correspondientes al capital invertido en una maquinaria, equipo o en cualquier actividad que conlleve a una mejora en la producción.

- **Costo de operación:** Es el total que se deriva de las erogaciones que hace el contratista por concepto del pago de salarios al personal y de todos los otros gastos relacionados con el desarrollo de la operación.

- **Depósito mineral:** Concentración natural de sustancias minerales útiles, la cual bajo circunstancias favorables puede ser extraída con beneficio económico.

- **Desarrollo improductivo (minería subterránea):** Cuando el avance se realiza en estéril (cruzadas).

- **Desarrollo minero:** Fase del Ciclo Minero que empieza desde la confirmación de la existencia de los depósitos minerales hasta el comienzo de su explotación. Comprende el conjunto de actividades que permiten el acceso al yacimiento y el establecimiento de la infraestructura del proyecto para asegurar la rentabilidad de la mina en concordancia con la legislación vigente. Incluye la adquisición de derechos y permisos para iniciar la explotación, el diseño detallado y la construcción de las obras de infraestructura, el diseño y el planeamiento detallado de la explotación, la selección de zonas para botaderos y manejo de estériles, la compra de equipos y materiales, la preparación de presupuestos y la financiación del proyecto, entre otros.

- **Explotación (industria minera).** Proceso de extracción y procesamiento de los minerales, así como la actividad orientada a la preparación y el desarrollo de las áreas que abarca el depósito mineral.
- **Flotación.** Proceso físico químico cuyo objeto es la separación de especies de minerales valiosas de las no valiosas, a través del uso de burbujas de aire y activos químicos.
- **Fundentes:** Insumos químicos de forma sólida granular que sirven para fundir y oxidar los acompañantes del oro en el precipitado durante la fusión, además dan fluidez a la carga para separar la parte valiosa de lo estéril.
- **Fundición:** Proceso de fusión del precipitado a alta temperatura, 1100 °C.
- **Ley de Precipitado:** Contenido de oro y plata en porcentaje en peso en el precipitado.
- **Lixiviación (beneficio).** Proceso hidrometalúrgico mediante el cual se realiza la disolución selectiva de los diferentes metales que contiene una mena, por medio de una solución acuosa que contiene un reactivo químico apropiado.
- **Malla.** Se refiere al tamaño de abertura de un tamiz, expresado en pulgadas, micrones o mm.
- **Mena.** Mineral de base del que es posible extraer otro mineral de mayor pureza e importancia económica.
- **Muestra:** Porción de material tomado de una gran cantidad, con el propósito de estimar sus propiedades o su composición mediante análisis de laboratorio.
- **Obras de construcción minera:** Son las obras civiles de infraestructura indispensables para el funcionamiento normal de las labores de apoyo y administración de la empresa minera y las que se requieran para ejercitar las servidumbres de cualquier clase a que tiene derecho el minero.
- **Obras de montaje minero:** El montaje minero consiste en la preparación de los frentes mineros y en la instalación de las obras, servicios, equipos y maquinaria

fija, necesarios para iniciar y adelantar la extracción o la captación de los minerales, su acopio, su transporte interno y su beneficio.

- **Peso específico:** Relación existente entre el peso de un volumen determinado de una sustancia y el de igual volumen de agua destilada a la temperatura de 4°C. La determinación del peso específico o densidad solamente es posible mediante aparatos de precisión. Tratándose de minerales metalíferos o feldespatos, el peso específico puede determinarse por tanteo, sopesándolos con la mano o por comparación. En alguna nomenclatura utilizan el término "densidad relativa" para designar el peso específico, especialmente en líquidos.
- **Plan de desmantelamiento y clausura de la mina:** Plan que se pone en marcha tras finalizar la vida productiva de las explotaciones mineras, el cual incluye el desmantelamiento y la demolición de las instalaciones que no cumplen ninguna función, el acondicionamiento de las bocaminas y los tambores de ventilación, y la restauración de los depósitos de estériles, con miras a eliminar posibles fuentes de contaminación de las aguas, riesgos de accidentes, erosión de los terrenos, entre otros.
- **Plan minero:** Es el prediseño de la distribución detallada, principales carreteras y vías, y frentes de trabajo de una mina o un grupo de minas. El esquema usualmente incluye la introducción de equipo minero para las actividades de minería y transporte del carbón o mineral explotado. La selección de métodos y maquinaria minera apropiadamente adaptados a las condiciones locales son parte del plan minero.
- **Precipitación:** Operación que consiste en recuperar el oro, disuelto en una solución acuosa (Cianurada), en forma sólida, mediante la intervención de un agente reductor (Zn en polvo).
- **Precipitado:** También conocido como cemento, mezcla sólida de elementos metálicos valiosos y no metálicos, obtenidos luego de un proceso de precipitación y filtración (Au, Ag, Zn, Pb, Cu, Fe, SiO<sub>2</sub>).
- **Pulpa.** Mezcla de mineral molido o pulverizado con agua o una solución acuosa.
- **Rango granulométrico:** Variación del tamaño de grano.

- **Recuperación Total:** Se refiere al contenido de oro recuperado con respecto al contenido de oro inicialmente alimentado.
- **Recuperación en Fundición:** Se refiere al contenido de oro recuperado en el proceso de fundición directa.
- **Regalía:** Compensación por el uso de la propiedad ajena basada sobre un porcentaje acordado de los ingresos resultantes de su uso. Por ejemplo, un fabricante por el uso de su maquinaria en la fábrica de otra persona. Generalmente, las regalías se asocian con la actividad extractiva, más especialmente con la actividad petrolera.
- **Reserva explotable:** Es aquella parte de las reservas básicas medidas, que son extraíbles económicamente, en el momento de la clasificación y la evaluación, con la consideración de todas las limitaciones técnicas, legales y ambientales. Son recursos para los cuales se ha establecido el más alto grado de certeza geológica y mediante un estudio de factibilidad, el más alto grado de aprovechamiento.
- **Reservas:** Cantidad (masa o volumen) de mineral susceptible de ser explotado, incluida la dilución, y a partir de la cual se pueden recuperar, económicamente, minerales valiosos o útiles, bajo condiciones reales, asumidas al momento de la cuantificación. Aunque la cantidad a nivel global de un recurso mineral puede ser grande o inmensa, existe un límite de lo que se puede considerar como reserva (recurso explotable).
- **Tamiz.** Es una superficie perforada que permite efectuar la separación por tamaños de partículas sólidas.
- **Título minero:** Es el acto administrativo escrito (documento) mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo minero de propiedad de la Nación.
- **Tolva:** Sitio de almacenamiento temporal utilizado en la minería, se puede construir en madera o en metal.
- **Tonelada métrica:** Unidad de peso equivalente a 1.000 kg ó 2.205 libras.

- **Tonelada métrica húmeda:** Cuando está referida a concentrados, no excluye el contenido de agua en el concentrado. TMH.
- **Transporte (minería):** Término con el que se designa el transporte vehicular (automotores), transporte hidráulico y transporte por correas transportadoras. También se utiliza en términos combinados, tales como: transporte de sedimentos y transporte de masa.
- **Tenor:** Porcentaje neto de mineral económicamente recuperable de una mena.

## 2.5. MARCO TEÓRICO

### 2.5.1. Caracterización del mineral.

Las propiedades físicas y mecánicas de los minerales extraídos para un previo proceso, son muy importantes para el desarrollo y clasificación en el beneficio del material en la planta.

Las propiedades que se tienen en cuenta para el proceso son; las fuerzas de compresión, fuerzas de impacto, exfoliación, etc. Estas fuerzas se analizan en los procesos de reducción de tamaño del mineral (trituration y molienda).

### 2.5.2. Propiedades físicas de los minerales:

- **Dureza:** Es la resistencia que ofrece la superficie lisa de un mineral a ser rayada. Depende de la cohesión, de la estructura y de la composición química. La dureza varía con la dirección. Su determinación exacta es difícil. Para indicar la dureza sigue siendo válida la escala de Mohos. Esta escala toma como referencia 10 minerales a los cuales se les asigna un número entero. Comparando sus durezas se puede determinar la de cualquier mineral.

La valoración del grado de dureza de los cristales depende en mucho de los métodos de medición. En la práctica mineralógica corriente se emplea el método más sencillo de determinación de la dureza, estableciendo la dureza relativa (método del rayado). Si un cristal raya a otros, es decir, se deja en él una huella, el primer cristal es más duro que el segundo.

La dureza se puede clasificar en 4 grupos:

- **Dureza baja:** Si se raya con la uña.

- **Dureza media:** Si se puede rayar con moneda de cobre pero no se raya con la uña (en este caso la dureza estará comprendida entre 2,5 y 5,5).
- **Dureza alta:** Si no se puede rayar con un trozo de vidrio (la dureza del mineral será en este caso mayor que la del vidrio que es de 5,5).
- **Dureza muy alta:** Si no se puede rayar con un trozo de cuarzo (la dureza será entonces mayor que 7).

**Tabla 1. Escala de dureza Mohs de minerales**

GRADO DE LA DUREZA	MINERAL Y SU FORMULA
1	Talco $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$
2	Yeso $Ca(SO_4) \cdot 2H_2O$
3	Calcita $Ca(CO)_3$
4	Fluorita $CaF_2$
5	Apatito $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl)$
6	Ortosa $K(AlSi_3O_8)$
7	Cuarzo $SiO_2$
8	Topacio $Al_2(SiO_4)O$
9	Corindón $Al_2O_3$
10	Diamante $C$
<b>Fuente. Propiedades de los minerales, Ostrooumov M. Fundamentos de Mineralogía.</b>	

- **Tenacidad:** La Tenacidad es la resistencia que opone un sólido a ser roto. Esta propiedad no tiene ninguna relación con la dureza (por ejemplo el diamante es el mineral más duro que se conoce pero debe tratarse con cuidado para evitar que se fragmente por un golpe).
- **Fractura Y Exfoliación:** La rotura de un mineral a lo largo de una superficie irregular se denomina fractura. Se llama exfoliación cuando un mineral se rompe a favor de alguna de sus caras planas. Esta propiedad está íntimamente ligada a la estructura cristalina. Los planos de exfoliación representan las direcciones en las que los enlaces que unen a los átomos son relativamente débiles. Existen unas cuantas reglas acerca de la exfoliación, una es que es reproducible, esto es que un cristal se podrá romper una y otra vez a lo largo de planos paralelos a los de

exfoliación. Otra es que todo plano de exfoliación debe de ser paralelo a caras reales o posibles del cristal. También podemos establecer que los mismos minerales presentarán siempre la misma exfoliación.

- **Densidad:** La densidad relativa de las sustancias cristalinas depende ante todo de la composición química, del tipo de la estructura atómica (empaquetamiento), del peso atómico de los elementos constituyentes, sus dimensiones y valencias. La densidad real de los cristales habitualmente es menor que la densidad ideal de los mismos. Esta diferencia es la consecuencia de la presencia de los defectos estructurales en las redes de los cristales reales. La densidad de las sustancias naturales (minerales) medida en unidades de masa por unidad de volumen ( $\text{g/cm}^3$ ), oscila dentro de amplios límites de 1 a  $23 \text{ g/cm}^3$  (minerales del grupo de platino). Los minerales más difundidos en la corteza terrestre, por ejemplo, los silicatos (componentes de las rocas más comunes y abundantes) tienen una densidad de 2,5 a  $3,5 \text{ g/cm}^3$ .

- **Beneficio:** El beneficio de los minerales consiste en el proceso de separación, molienda, trituración, lavado, concentración y otras operaciones similares, a que se somete el mineral extraído para su posterior utilización o transformación.

### **Etapas.**

- Tolva de almacenamiento de gruesos.
- Trituración del mineral extraído de la mina, se realiza en dos operaciones, trituración primaria y trituración secundaria.
- Molienda realizada en dos procesos, molienda primaria y secundaria
- Concentración gravimétrica del cual se selecciona el material rico, quedando como residuo las colas o mineral de baja concentración de oro.
- Flotación en el cual se recupera las partículas de minerales ricos por medio de la adición de agentes químicos, dando como residuos las colas de flotación.
- Cianuración: Proceso en el cual se disuelve el oro, dando como resultado la solución rica y los residuos o lodos; estos son enviados a los posos (relaveras).
- Sistema Merrill Crowe, pero medio de filtración de la solución rica se recupera los minerales (precipitado), dando como residuo la solución estéril o barren
- Fundición del precipitado.
- Disposición de residuos, los cuales son llevados a las relaveras para su posterior proceso de neutralización.



### 2.5.3. Equipos utilizados en el beneficio de minerales.

En el proceso de beneficio de minerales se utilizan diversos equipos los cuales son seleccionados según la estructura y la composición de la roca extraída de la mina.

Equipos utilizados en una planta de beneficio con sus características técnicas y principios de diseño y selección.

#### Tolva de almacenamiento de gruesos.

La tolva principal de almacenamiento es utilizada para almacenar una gran cantidad de material para su previo proceso, en este caso esta tolva se utiliza para almacenar la piedra extraída de la mina, este material en su tiempo de residencia dentro de la tolva de almacenamiento genera una presión interna sobre las paredes del cuerpo y la parte inferior de la tolva, provocando sobre esfuerzos que debilitan las paredes conduciendo a la falla.

Para el diseño se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

Volumen total.

Densidad del mineral.

Ángulo de rozamiento interno y ángulo de rozamiento con la pared.

Material de construcción de la tolva.

Presiones ejercidas en las paredes del cuerpo y la tolva.

Para calcular las presiones que ejerce el mineral sobre la pared de la tolva y sobre el fondo, se debe tener en cuenta que las presiones no son constantes, esta varía con la altura del material, basados en las siguientes fórmulas que tienen en cuenta la carga dinámica debido al vaciado y la carga estática de almacenamiento del mineral.

La presión lateral sobre la pared del cuerpo cilíndrico a una profundidad Z, está representada por la siguiente expresión:

$$P_z = P_{max} * \left(1 - \left(\frac{Z}{A} + 1\right)^{-2}\right) \quad (1)$$

$$P_{max} = \frac{\gamma * D}{4 * \tan \varphi'} \quad (2)$$

$P_z$ : Presión lateral a la profundidad Z (kg/m<sup>2</sup>)

$P_{max}$  : Presión lateral máxima (kg/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  : Densidad aparente del material (kg/m<sup>3</sup>)

D: Diámetro interno de la sección del cuerpo cilíndrico (m)

$\varphi'$ : Ángulo de fricción del material con la pared del tanque (°)

A: abscisa característica para un tanque cilíndrico (m)

$$A = \frac{D}{4 \tan \varphi' * \tan^2\left(\frac{\pi - \varphi_0}{4}\right)} - \frac{h}{3} \quad (3)$$

h : altura del cono del material almacenado (m)

$$h = \frac{D}{2} \tan \varphi_0 \quad (4)$$

$\varphi_0$ : Ángulo mínimo de fricción interna del material (°)

Para el cálculo de la presión máxima se tendrá en cuenta la presión ejercida en la mayor profundidad del cuerpo cilíndrico, tomando el valor de  $Z = 3m$

**Tabla 2. Ángulo de rozamiento de algunos materiales.**

Material	Ángulo de rozamiento con las paredes		Ángulo de rozamiento interno	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Harina	30°	40°	35°	45°
Cemento	22,5°	29°	30°	40°
Cenizas	36°	40°	35°	40°
Coque	25°	36°	37°	41°
Mineral De Hierro	36°	40°	43°	46°
Arena Seca	27°	38°	38°	45°
Piedra Machacada	27°	38°	40°	45°

**Fuente. Teoría, investigación y construcción de silos, Juan Ravenet, 1977.**

La presión vertical ejercida sobre el fondo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$q_z = \gamma * \left( Z * \left( \frac{Z}{A} + 1 \right)^{-1} + \frac{h}{3} \right) \quad (5)$$

El espesor de las paredes de la tolva se calcula con la siguiente expresión:

$$t = \frac{N * P_z * r}{s_y * \Phi} \quad (6)$$

t : Espesor de la placa en mm.

$\Phi$ : Coeficiente de soldadura, 0,6

r : Radio del cilindro.

$s_y$ : Esfuerzo de fluencia del material.

N: Factor de seguridad, 1,25.

Teniendo en cuenta que el material está sometido a corrosión el espesor total será:

$$t_{total} = t_0 + t_{corrosión} \quad (7)$$

• **Diseño de la tolva.** En la parte inferior de la tolva (cono), sometida a la presión interna del material almacenado en ella, y debido a su ángulo de inclinación las fuerzas están divididas en laterales y verticales.

Para determinar el valor de estas fuerzas, se define una longitud efectiva tomada desde la parte superior hasta el centroide del cono.

$$Z_t = Z + \frac{h}{3} \quad (8)$$

$Z_t$  : Altura efectiva (m)

Z: altura del material almacenado por encima de la tolva (m)

h: altura del cono truncado que forma la tolva (m).

La fuerza vertical y lateral ejercida sobre el cono se calcula mediante la siguiente expresión:

La presión lateral.

$$P_l = q_z * \sin \beta \quad (9)$$

La presión vertical.

$$P_v = q_z * \cos \beta \quad (10)$$

$\beta$ : Ángulo que forma la horizontal con la pared de la tolva.

El espesor del cono se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{N * P_l * r}{S_y * \cos \beta} + t_{\text{corrosión}} \quad (11)$$

• **Diseño de las Bandas transportadoras.**

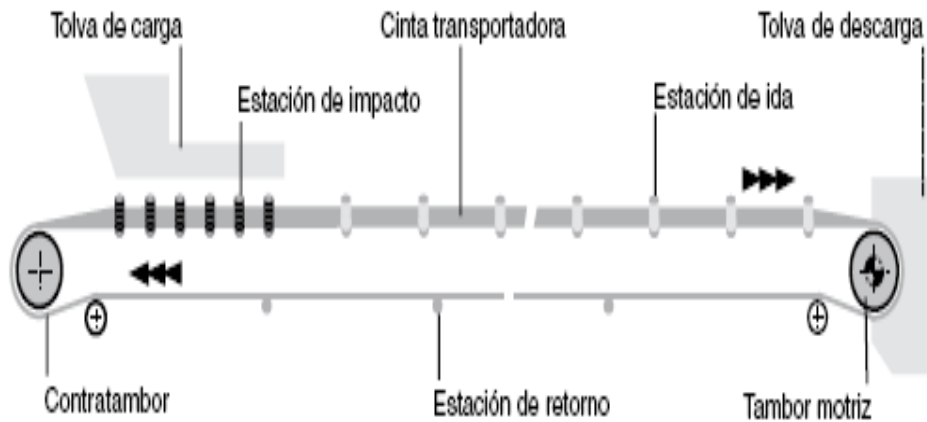
El mineral que sale de la segunda etapa de trituración es llevado mediante una banda transportadora diseñada para tal fin, hacia la tolva de finos.

Las bandas transportadoras en la industria minera son una de las máquinas de menor importancia técnica, esto se debe a que en esta industria se da más importancia a las etapas de trituración y molienda del mineral, además no son consideradas como tecnología de punta y su mantenimiento y reparación no necesitan de una mano de obra calificada.

Aunque se tienen estas consideraciones acerca de las bandas transportadoras, refiriéndose al transporte del material, es una forma muy económica y sencilla, debido a esto el uso de las bandas ha aumentado, y se adaptan a cualquier tipo de ambiente. Además, tienen otras ventajas como lo son:

- Menor número de operarios.
- Consumo energético limitado.
- Mantenimiento programable con largos intervalos
- Independencia de los sistemas vecinos
- Costes de funcionamiento reducidos.
- Transporte continuo, en distancias variables.

**Figura 2 Esquema básico de una banda transportadora.**



**• Componentes de una banda transportadora.**

- Cabeza motriz.
- Tambor motriz.
- Contratambores.
- Tambores de desviación y de inflexión.
- Rodillos.
- Estaciones superiores portantes y de retorno.
- Tensores.
- Tolva de carga.
- Dispositivos de limpieza.
- Cubierta.

**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca.**

**• Tipos de bandas transportadoras:** La clasificación de las bandas transportadoras se debe a su sistema de apoyo y a determinadas aplicaciones especiales.

Por su sistema de apoyo:

- Bandas fijas.
- Bandas semifijas.
- Bandas móviles sobre rodajes.

Como aplicaciones especiales:

- Bandas giratorias (stakers).
- Bandas ripables.
- Bandas con tripper,
- Bandas elevadoras flexowell.
- Bandas de sección tubular.
- Bandas para tuneladoras.
- Bandas con curvatura cóncava o convexa.
- Bandas reversibles.
- Bandas desplazables.
- Bandas atirantadas.
- Bandas con inclinación variable.
- Bandas con curvas horizontales.

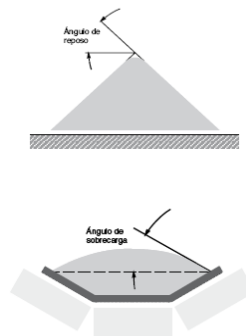
• **Criterios de diseño de la banda transportadora.** Para la selección y el correcto funcionamiento de una banda transportadora, se tiene que tener en cuenta las principales características de diseño y los requerimientos del proceso. Los factores de diseño que influyen en el dimensionamiento de una banda transportadora son: a) Capacidad de transporte, b) Granulometría, c) Características fisicoquímicas del material a transportar, d) perfil altimétrico del recorrido.

• **Características del material a transportar y de la instalación.**

- Tipo de material.
- Densidad.
- Tamaño.
- Distancia entre centros.
- Desnivel.
- Inclinación.
- Jornadas de trabajo.
- Capacidad de transporte.







- **Diseño de la banda transportadora.**
- **Ángulo de reposo o ángulo de rozamiento natural:** Es el ángulo que la superficie de amontonamiento forma respecto al plano horizontal.
- **Angulo de sobrecarga:** Es el ángulo que forma la superficie del material a transportar respecto al plano horizontal con la banda en movimiento.

**Figura 3. Angulo de reposo y sobrecarga del mineral en la banda.**



**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las bandas transportadoras, Rulmeca.**

**Figura 4. Ángulo de sobrecarga, de reposo y fluidez del material.**

Fluidez					Perfil en la banda plana
Muy elevada	Elevada	Media	Baja		
<b>Ángulo de sobrecarga <math>\beta</math></b>					
5°	10°	20°	25°	30°	$\beta$
					
<b>Ángulo de reposo</b>					
0-19°	20-29°	30-34°	35-39°	40° y más	otros
<b>Características del material</b>					
Dimensión uniforme, particular redondas muy pequeñas, muy húmedas, o muy secas como arena silícea seca, cemento y hormigón húmedo, etc.	Particular redondeadas, secas y lisas, con peso medio como, por ejemplo, semillas de cereales, trigo y judías.	Material irregular, granular en tamaño de peso medio, como, por ejemplo, carbón de antracita, harina de semillas de algodón, arcilla, etc.	Materiales típicos comunes, como, por ejemplo, carbón bituminoso, grava, la mayor parte de los minerales, etc.	Material irregular, viscoso, fibroso y que tiende a entrelazarse (virutas de madera, bagazos exprimidos), arena de fundición, etc.	Pueden incluir material con cualquier característica indicada a continuación en la Tab.2.

**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las bandas transportadoras, Rulmeca.**



- Velocidad de la banda.

Figura 5. Velocidad de la banda transportadora.

**Velocidades máximas aconsejables**

Tamaño dimensiones máximas		Banda ancho min	velocidad max			
uniforme hasta mm	mixto hasta mm	mm	A m/s	B	C	D
50	100	400	2.5	2.3	2	1.65
75	150	500				
125	200	650	3	2.75	2.38	2
170	300	800	3.5	3.2	2.75	2.35
250	400	1000	4	3.65	3.15	2.65
350	500	1200				
400	600	1400	4.5	4	3.5	3
450	650	1600				
500	700	1800	5	4.5	3.5	3
550	750	2000				
600	800	2200	6	5	4.5	4

**A** - materiales ligeros deslizables, no abrasivos, peso específico de 0,5÷1,0 t/m<sup>3</sup>  
**B** - materiales no abrasivos de tamaño medio, peso específico de 1,0÷1,5 t/m<sup>3</sup>  
**C** - materiales medianamente abrasivos y pesados, peso específico de 1,5÷2 t/m<sup>3</sup>  
**D** - materiales abrasivos, pesados y cortantes > 2 t/m<sup>3</sup>

Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las bandas transportadoras, Rulmeca.

- Capacidad de transporte volumétrica.

$$L_M = \frac{L_V}{q_S} \quad [m^3/h] \quad (12)$$

$L_V$  = capacidad de transporte de la banda (t/h)

$q_S$  = peso específico del material. (ton/m<sup>3</sup>)

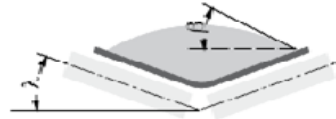
Redefiniendo la velocidad de la banda

$$L_{VT} = \frac{L_M}{v} \quad [m^3/h] \quad (13)$$

**Figura 6. Capacidad de transporte volumétrica de la banda transportadora.**

**Capacidades de transporte volumétricas**  
con estaciones de 2 rodillos para  $v = 1 \text{ m/s}$

Ancho banda mm	Ángulo de sobrecarga $\beta$	$l_{VT} \text{ m}^3/\text{h}$ $\lambda = 20^\circ$
300	5°	17.6
	10°	20.5
	20°	28.8
	25°	32.0
	30°	36.3
400	5°	34.5
	10°	41.4
	20°	55.8
	25°	63.7
	30°	72.0
500	5°	57.6
	10°	68.7
	20°	92.8
	25°	105.8
	30°	119.8
650	5°	102.9
	10°	123.1
	20°	165.9
	25°	189.3
	30°	214.5
800	5°	175.6
	10°	192.9
	20°	260.2
	25°	296.6
	30°	336.2



**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca.**

- **Capacidad de transporte volumétrica corregida:** Para el caso de las bandas inclinadas, su capacidad de transporte se tiene que corregir según la siguiente relación.

$$L_{VM} = L_{VT} * K * K_1 \tag{14}$$

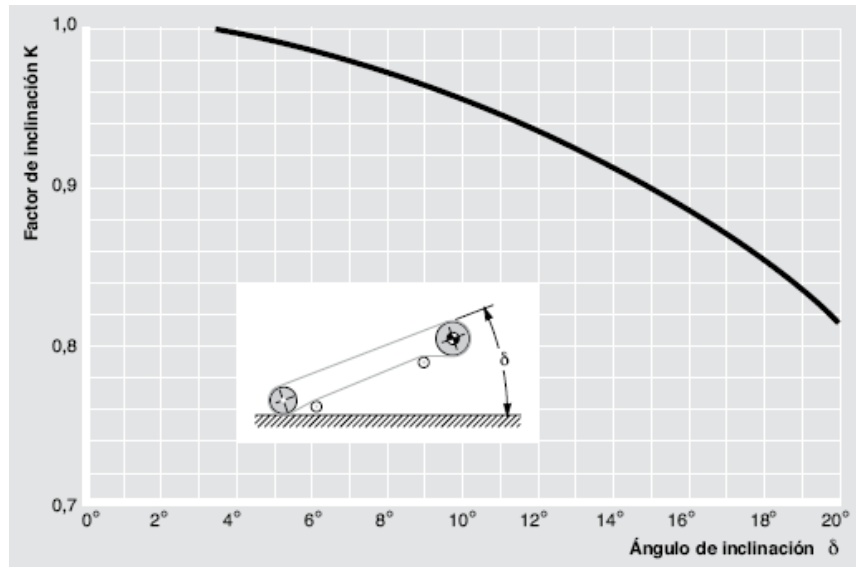
$L_{VM}$  = Capacidad de transporte volumétrica corregida en relación con la inclinación y con la irregularidad de alimentación en  $\text{m}^3/\text{h}$  con  $v = 1 \text{ m/s}$

$L_{VT}$  = Capacidad de transporte teórica en volumen para  $v = 1 \text{ m/s}$

$K$  = Factor de inclinación

$K_1$  = Factor de corrección debido a la irregularidad de alimentación

**Figura 7. Factor de inclinación K.**



**Fuente. Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmecca.**

**Tabla 3. Constante de alimentación.**

TIPO DE ALIMENTACIÓN	$K_1$
Alimentación regular	1
Alimentación poco regular	0,95
Alimentación muy irregular	0,9 - 0,8

**Fuente. Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmecca.**

Capacidad de transporte volumétrica efectiva a la velocidad deseada.

$$L_M = L_{VM} * v \quad (15)$$

Para la aplicación de la banda transportadora, se debe cumplir la relación que existe entre el ancho de la banda y el tamaño máximo del material

Ancho de la banda > 2.5 tamaño de alimentación.

- **Cantidad de material por metro lineal.**

$$q_G = \frac{Lv}{0,36*v} \text{ [kg/m]} \quad (16)$$

$Lv$  = Capacidad de transporte de la banda (ton/h).

$V$  = Velocidad de la banda (m/s)

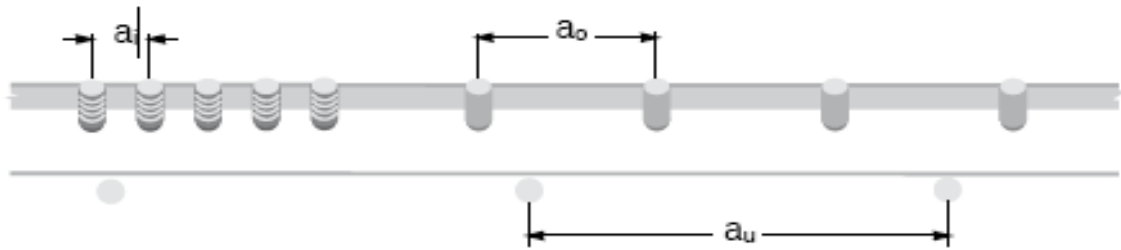
- **Configuración de las estaciones, paso y distancias de transición:** Las estaciones de la banda transportadora es la combinación de los rodillos con el correspondiente bastidor de soporte fijo, se conocen dos tipos de estaciones, las portantes de ida las cuales sostienen la banda con carga, y las inferiores que sostienen la banda en su retorno.

Las estaciones de ida fijas forman generalmente dos configuraciones, con uno o dos rodillos planos, o con dos, tres o más rodillos en artesa; y las estaciones de retorno pueden ser, con uno o dos rodillos y en artesa con dos rodillos.

- **Paso de las estaciones:** El paso de cada estación (**ao**) más utilizado en las bandas transportadoras es de un metro, y para el retorno es de tres metros (**au**). La flexión en una banda entre las dos estaciones no debe exceder el 2% del paso, si esto excede este valor, conlleva a grandes problemas en su funcionamiento como lo son la pérdida de material, sobreesfuerzos y desgaste de la banda, entre otras.

En la tolva de alimentación de la banda, el paso de las estaciones es generalmente la mitad o menos del paso normal de la banda, para disminuir los sobreesfuerzos en esta.

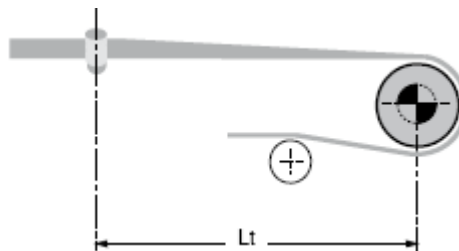
**Figura 8. Paso de las estaciones de la banda**



**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca.**

- **Distancia de transición  $L_t$ :** La distancia de transición se denomina al espacio que existe entre la última estación de rodillos adyacente al tambor de cabeza o de cola de la banda transportadora.

**Figura 9. Distancia de transición.**



**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca.**

Para bandas cortas la distancia de transición puede ser considerada hasta la primera estación de rodillos, variando la inclinación de estos entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$ ,

- **Esfuerzo tangencial, potencia motriz, resistencias pasivas, peso de la banda, tensiones y controles:** Las bandas transportadoras están sometidas a diferentes esfuerzos en cada sección de su recorrido, por lo tanto es necesario analizarlos para calcular la potencia absorbida por esta.

Estos esfuerzos se analizan en particular para bandas que presenten las siguientes características:

- Inclinación superior a 5°.
- Recorrido descendente.
- Perfil altimétrico variado.

• **Esfuerzo tangencial:** Para el cálculo de la fuerza tangencial en la periferia del tambor motriz, se tienen que tener en cuenta todas las resistencias que se oponen al movimiento, este está constituido por los siguientes esfuerzos:

Esfuerzo necesario para mover la banda descargada: Tiene que vencer los rozamientos que se oponen movimiento de la banda causado por las estaciones portantes y de retorno, por los contratambores y desviador, etc.

Esfuerzo necesario para vencer las resistencias que se oponen al desplazamiento horizontal del material.

Esfuerzo necesario para elevar el material hasta la cota deseada (en caso de bandas descendentes, la fuerza generada por la masa total transportada se convierte en motriz).

Esfuerzos necesarios para vencer las resistencias secundarias debidas a la presencia de accesorios (descargadores móviles “Tripper”, limpiadores, raspadores, rebabas de retención, dispositivos de inversión, etc.).

El esfuerzo tangencial en la periferia del tambor motriz está dado por:

$$F_u = (L * C_q * C_t * f * (2 * q_b + q_c + q_{RU} + q_{RO}) \pm (Q_G * H)) * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (17)$$

L = Distancia entre ejes del transportador (m).

$C_q$  = Coeficiente de las resistencias fijas (accesorios banda).

**Figura 10. Coeficiente de resistencias fijas.**

Coeficiente de las resistencias fijas	
Distancia entre ejes	
m	Cq
10	4.5
20	3.2
30	2.6
40	2.2
50	2.1
60	2.0
80	1.8
100	1.7
150	1.5
200	1.4
250	1.3
300	1.2
400	1.1
500	1.05
1000	1.03

**Fuente. Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca.**

$C_t$  = Coeficiente resistencias pasivas.

**Figura 11. Coeficiente resistencias pasivas.**

Coeficiente de las resistencias pasivas debidas a la temperatura							
Temperatura °C		+ 20°	+ 10°	0	- 10°	- 20°	- 30°
Factor	$C_t$	1	1,01	1,04	1,10	1,16	1,27

**Fuente. Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca.**

$f$  = Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias (estaciones).

**Figura 12. Coeficiente de rozamiento interior.**

Coeficiente de rozamiento interior $f$ del material y de los elementos giratorios						
Cintas transportadoras horizontales, ascendentes o ligeramente descendentes	velocidad m/s					
	1	2	3	4	5	6
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores estándares	0,0160	0,0165	0,0170	0,0180	0,0200	0,0220
Elementos giratorios y material con rozamientos interiores altos en condiciones de trabajo difíciles	desde 0,023 hasta 0,027					
Elementos giratorios de cintas transportadoras descendentes con motor freno y/o generador	desde 0,012 hasta 0,016					

**Fuente. Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmecca.**

$q_b$  = Peso de la banda por metro lineal en Kg/m, (suma de los revestimientos y del peso del núcleo)

$q_G$  = Peso material transportado por metro lineal Kg/m

$q_{RU}$  = Peso partes giratorias inferiores, en Kg/m.

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u} = \frac{2,6}{3} = 0,87 \text{ kg/m} \quad (18)$$

$P_{pri}$  = peso de las partes giratorias inferiores

$a_u$  = paso estaciones de retorno

$q_{RO}$  = Peso partes giratorias superiores, Kg/m.

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_0} = \frac{3,4}{0,9} = 3,78 \text{ kg/m} \quad (19)$$

$P_{prs}$  = peso de las partes giratorias superiores.



$a_0$  = paso estaciones de ida.

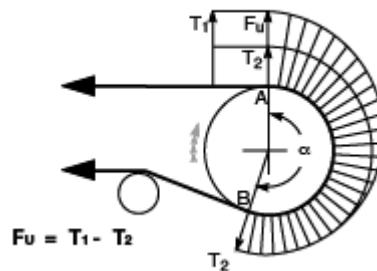
H = Desnivel de la cinta transportadora.

- **Potencia motriz:** La potencia mínima requerida para la banda debe ser calculada por la siguiente expresión, teniendo en cuenta la eficiencia del reductor, la velocidad de la banda y la fuerza en la periferia del tambor motriz.

$$P = \frac{F_u * v}{100 * \eta} [kW] \quad (20)$$

- **Tensión de la banda:** El esfuerzo tangencial total  $F_u$  en la periferia del tambor motriz corresponde a la diferencia de las tensiones  $T_1$  (lado tenso) y  $T_2$  (lado lento). Esto se deriva del par motriz necesario para que se mueva la banda y transmitido por el motor.

**Figura 13. Tensiones en la banda.**



**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca**

$$T_1 = F_u + T_2 \quad (21)$$

$$T_2 = F_u * C_w \quad (22)$$

$C_w$ : Factor de abrazamiento de la banda.

El valor de  $C_w$  se obtiene en función del ángulo de abrazamiento.

**Figura 14. Factor de abrazamiento.**

Factor de abrazamiento $C_w$					
Tipo de motorización	Ángulo de abrazamiento $\alpha$	tensor de contrapeso tambor		tensor de tornillo tambor	
		sin revestimiento	con revestimiento	sin revestimiento	con revestimiento
	180°	0.84	0.50	1.20	0.80
	200°	0.72	0.42	1.00	0.75
	210°	0.66	0.38	0.95	0.70
	220°	0.62	0.35	0.90	0.65
	240°	0.54	0.30	0.80	0.60
	360°	0.23	0.11	-	-
	420°	0.18	0.08	-	-

**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca**

Tensiones en otras zonas críticas de la banda.

$T_3$ : Correspondiente al tramo lento del contra tambor, La tensión  $T_3$  que se genera al acercarse al contra tambor viene dada por la suma de la tensión  $T_2$  y de los esfuerzos tangenciales  $F_r$  correspondientes a cada uno de los tramos de retorno de la banda.

$$F_r = (L * C_q * C_t * f * (q_b + q_{Ru}) \pm (q_b * H)) * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (23)$$

$F_r$  = esfuerzo tangencial para mover la banda en cada uno de los tramos de retorno

$$T_3 = T_2 + F_r \quad (24)$$

La tensión  $T_0$ :

La flexión de la banda entre dos estaciones consecutivas no debe superar el 2% del paso de las estaciones mismas. Esto sirve para evitar desbordamientos de

material de la banda y excesivas resistencias pasivas, causadas por la dinámica del material con el paso por las estaciones.

La tensión  $T_0$  mínima necesaria para mantener un valor de flecha del 2% viene dada por la siguiente expresión.

$$T_0 = 6,25 * (q_b + q_G) * a_0 * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (25)$$

Para la elección de la banda analizando en el punto de tensión máxima  $T_1$ , se calcula la tensión unitaria en el punto así:

$$T_{Umax} = \frac{T_{max} * 10}{N} \left[ \frac{N}{mm} \right] \quad (26)$$

La carga de ruptura de la banda se calcula multiplicando la tensión máxima por un factor de 10 para bandas reforzadas con elementos textiles, para este caso si cumple para este diseño.

• **Selección del diámetro de los rodillos en relación a la velocidad:** Tomando como referencia un diámetro de los rodillos de 89 mm, tomado de la tabla de fabricantes y teniendo en cuenta el ancho de la banda, se obtiene la velocidad de estos con la siguiente relación.

$$n = \frac{v * 1000 * 60}{D * \pi} [rpm] \quad (27)$$

• **Elección en relación con la carga:** Una vez definido el diámetro del rodillo en relación con la velocidad y con el número de revoluciones, se determina la carga estática en las estaciones de ida, con las siguientes fórmulas:

$$C_e = a_0 * \left( q_b + \frac{l_v}{3,6 * v} \right) * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (28)$$

La carga dinámica sobre los rodillos se obtiene utilizando los siguientes factores de funcionamiento:

$$C_d = C_e * F_d * F_s * F_m \quad (29)$$

$F_d$ : Factor de choque.

**Figura 15. Factor de choque.**

Factor de choque $F_d$							
Tamaño del material	Velocidad de la banda m/s						
	2	2.5	3	3.5	4	5	6
0 ÷ 100 mm	1	1	1	1	1	1	1
100 ÷ 150 mm	1.02	1.03	1.05	1.07	1.09	1.13	1.18
150 ÷ 300 mm en estrato de material fino	1.04	1.06	1.09	1.12	1.16	1.24	1.33
150 ÷ 300 mm sine estrato de material	1.06	1.09	1.12	1.16	1.21	1.35	1.50
300 ÷ 450 mm	1.20	1.32	1.50	1.70	1.90	2.30	2.80

**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca**

$F_s$ : Factor de servicio.

**Figura 16. Factor de servicio.**

Factor de servicio	
Duración	$F_s$
Menos de 6 horas al día	0.8
De 6 a 9 horas al día	1.0
De 10 a 16 horas al día	1.1
Más de 16 horas al día	1.2

**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca**

$F_m$ : Factor ambiental.

**Figura 17. Factor ambiental.**

Factor ambiental	
Condiciones	Fm
Limpio y con mantenimiento regular	0.9
Con presencia de material abrasivo o muy corrosivo	1.0
Con presencia de material muy abrasivo o corrosivo	1.1

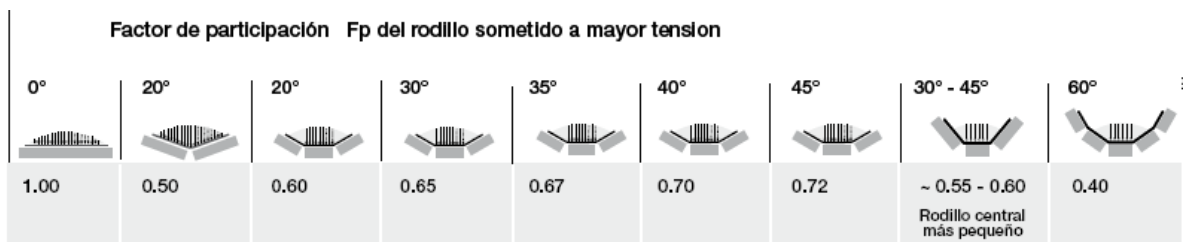
**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca**

Para obtener la carga del rodillo sometido a mayor esfuerzo se aplica la siguiente relación:

$$C_{d1} = C_d * F_p \quad (30)$$

$F_p$ : Factor de participación.

**Figura 18. Factor de participación.**



**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca**

Al no estar presente el material en las estaciones de retorno la carga estática se obtiene mediante la siguiente relación:

$$C_r = a_u * q_b * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (31)$$

La carga dinámica en la estación de retorno será:

$$C_{dr} = C_r * F_s * F_m * F_v \quad (32)$$

$F_v$ : Factor de velocidad.

**Figura 19. Factor de velocidad.**

Factor de velocidad $F_v$							
Velocidad banda m/s	Diámetro de los rodillos mm						
	60	76	89-90	102	108-110	133-140	159
0.5	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
1.0	0.92	0.87	0.85	0.83	0.82	0.80	0.80
1.5	0.99	0.99	0.92	0.89	0.88	0.85	0.82
2.0	1.05	1.00	0.96	0.95	0.94	0.90	0.86
2.5			1.01	0.98	0.97	0.93	0.91
3.0			1.05	1.03	1.01	0.96	0.92
3.5					1.04	1.00	0.96
4.0					1.07	1.03	0.99
4.5					1.14	1.05	1.02
5.0					1.17	1.08	1.00

**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmecca.**

- Diámetro de los tambores.

**Figura 20. Diámetros mínimos recomendados de los tambores.**

Diámetros mínimos recomendados de los tambores						
Carga de rotura de la banda N/mm	Bandas reforzadas con productos textiles DIN 22102			Bandas reforzadas con elementos metálicos ST DIN 22131		
	Ø tambor motriz mm	contra-tambor	desviador	Ø tambor motriz mm	contra-tambor	desviador
200	200	160	125	-	-	-
250	250	200	160	-	-	-
315	315	250	200	-	-	-
400	400	315	250	-	-	-
500	500	400	315	-	-	-
630	630	500	400	-	-	-
800	800	630	500	630	500	315
1000	1000	800	630	630	500	315
1250	1250	1000	800	800	630	400
1600	1400	1250	1000	1000	800	500
2000	-	-	-	1000	800	500
2500	-	-	-	1250	1000	630
3150	-	-	-	1250	1000	630

**Fuente: Informaciones técnicas y criterios de diseño de las cintas transportadoras, Rulmeca**

- **Equipos para Trituración.**

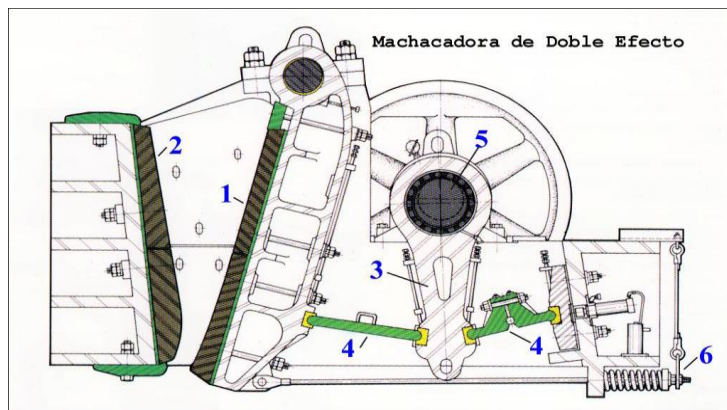
Esta etapa inicia el proceso de beneficio del material. Se debe tener en cuenta una correcta selección de la trituradora, ya que debido al tamaño de grano obtenido en la trituración será la eficiencia de la molida.

Los parámetros principales que se deben tener en cuenta en la selección de la trituradora son: el tamaño máximo de entrada del mineral y la capacidad proyectada para la planta.

Existen varios tipos de trituradoras: de mandíbulas de simple efecto, de mandíbulas de doble efecto y de impacto.

- **Trituradoras de doble efecto:** Son los equipos de trituración más antiguos, tienen la capacidad de triturar materiales de gran tamaño y dureza.

**Figura 21. Corte esquemático de la Trituradora de doble efecto.**



**Componentes:**

1. Mandíbula móvil.
2. Mandíbula fija.
3. Biela.
4. Placas de articulación.
5. Excéntrica.
6. Varilla y resortes de recuperación.

**Fuente: Tecnología de los Aparatos de Fragmentación y de clasificación Dimensional” - E. C. Blanc – Colección rocas y minerales.**

El funcionamiento de esta trituradora se basa en el movimiento de la biela la cual hace que la mandíbula móvil se acerque y aleje de la mandíbula fija, variando el tamaño de la abertura de salida triturando así el material.

El resorte de recuperación mantiene el sistema de articulaciones en su posición durante el proceso de trituración. El movimiento al sistema se proporciona a través de una volante de acero fundido, accionado por motores eléctricos y correas trapezoidales, también posee una volante de inercia para equilibrar las fuerzas en el proceso. En las mandíbulas están los revestimientos, que son placas normalmente de acero al manganeso para reducir el desgaste de la mandíbula. Dependiendo de la dureza del material a triturar estas pueden ser:



**Tabla 4. Forma de los revestimientos de la trituradora según dureza del mineral.**

FORMA	DUREZA DEL MATERIAL
Dientes en forma de pico	Dureza media
Dientes ondulados	Duros
Revestimiento liso	Extremadamente duros

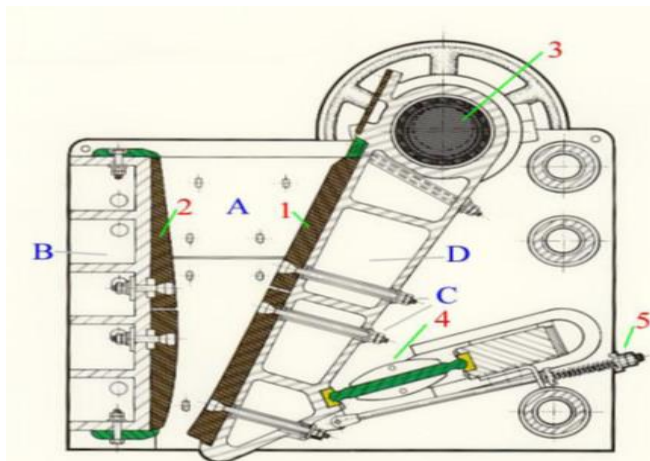
**Fuente. Operaciones de preparación. Reducción de tamaño-trituración, 2012.**

Otras variaciones o versiones de trituradoras de doble efecto son: Trituradora tipo "Kue-Ken", Trituradora de accionamiento directo, Trituradora de cámara inclinada y Trituradora Dodge.

• **Trituradoras de simple efecto:** Estas trituradoras aparecieron 25 años después que las nombradas anteriormente, y ha aumentado su utilización debido a grandes ventajas que estas presentan en relación a las anteriores.

En la parte superior de la cámara de trituración cerca a el eje excéntrico sucede un movimiento circular de la pieza porta mandíbulas, el cual efectúa la trituración por fuerzas de compresión, y en la parte inferior, cerca de la salida del material el movimiento es elíptico sucediendo así la trituración por fuerzas de fricción, evitando que el material del proceso se atasque en la trituradora.

**Figura 22. Corte de una trituradora de simple efecto.**



**Componentes:**

1. Revestimiento de la mandíbula móvil
2. Revestimiento de la mandíbula fija.
3. Eje excéntrico.
4. Placa de articulación.
5. Resorte de recuperación.
- A. Cámara de trituración.
- B. Pieza porta mandíbulas fija.
- C. Elementos de fijación.
- D. Pieza porta mandíbula móvil.

**Fuente. Tecnología de los Aparatos de Fragmentación y de clasificación Dimensional” - E. C. Blanc – Colección rocas y minerales.**

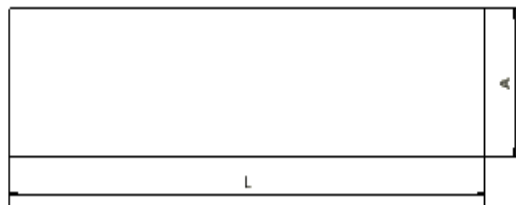
Las trituradoras de simple efecto son máquinas de menor costo y mayor capacidad de producción.

- **Dimensionamiento de la trituradora de mandíbulas de simple efecto.**

Los principales requerimientos para la selección de la trituradora son los siguientes:

- $D_{\text{máx.}}$  y Boca de Admisión.
  - Capacidad y Reglaje.
  - Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.
  - Potencia absorbida y Potencia motor.
- **$D_{\text{MÁX.}}$  y boca de alimentación:** Para evitar inconvenientes en la entrada del material se debe tener en cuenta que el tamaño máximo del mineral debe estar limitado a la dimensión de la boca de alimentación de la trituradora.

**Figura 23. Medidas de la boca de alimentación.**



**Fuente. Los autores.**

$$D_{MAX.} = (0.8 - 0.85)A \quad (33)$$

La relación entre el largo y ancho de la boca de alimentación debe cumplir la siguiente expresión.

$$L = (1.5 - 2)A \quad (34)$$

Teniendo en cuenta un tamaño máximo de entrada de mineral de 6 pulg de diámetro se tiene que:

$$A = \frac{D_{MAX.}}{0.825} \quad (35)$$

- **Capacidad y reglaje:** El reglaje es la abertura de la boca de la salida de la trituradora en posición abierta.

**Figura 24. Reglaje de una trituradora.**



**Fuente: Tecnología de los Aparatos de Fragmentación y de clasificación Dimensional” - E. C. Blanc – Colección rocas y minerales.**

S = Boca de salida en posición cerrada.

t = recorrido.

r = reglaje

$$r = s + t \quad (36)$$

$$t = 0,06 * A^{0,85} \quad (37)$$

A: Ancho de la boca de alimentación (m).

- **Capacidad de la trituradora:** Una de las fórmulas más utilizadas en el cálculo de la capacidad de la trituradora es la de **gieskieng**.

$$T = f * \rho_a * w * r * t * n * a * u \quad (38)$$

T: capacidad de la maquina (Ton/h).

f: coeficiente que se obtiene según su naturaleza de alimentación (valor obtenido de tablas).

$\rho_a$ : Densidad aparente, se toma  $0,6\rho_r$  (densidad real).

w: Ancho de la cámara de trituración (cm).

r: Reglaje.

t: Recorrido

n = Número de oscilaciones por minuto. Su valor depende del ancho de la boca de alimentación y se halla por medio de gráficas.

a = Coeficiente que depende del ángulo que forman las mandíbulas en posición cerrada.

$$a = 1 + 0,03 * (26 - \alpha) \quad (39)$$

$\alpha$  = Angulo q forman las mandíbulas en la entrada, en posición cerradas.

u = Coeficiente de utilización

• **Potencia requerida:** La potencia requerida para el proceso de trituración se calculara por la siguiente expresión propuesta por Bond.

$$P = K * W_i * \frac{Q}{\Omega} \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \quad (40)$$

P = Potencia requerida.

$W_i$  = Índice de Bond (kW-h/ton).

Q = Capacidad de trituración.

$\Omega$  = Eficiencia mecánica.

$P_{80}$  = Dimensiones de salida del material.

$F_{80}$  = Dimensiones de alimentación del material.

Las dimensiones de salida y alimentación del material deben estar en micras

• **Trituradoras de impacto:** Este tipo de triturador genera un choque brusco entre el material a triturar y el triturador, aprovechando así la energía cinética del cuerpo en movimiento.

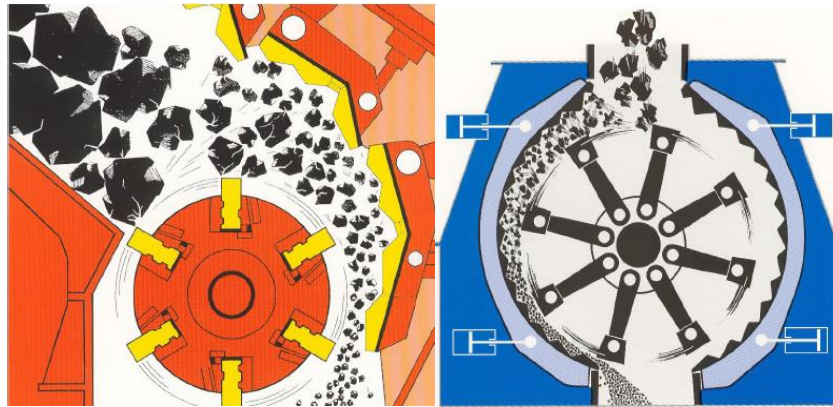
$$E_{cinética} = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (41)$$

Dicha energía se va a transformar durante el choque en energía de deformación o rotura. Afectando de diferente manera a los minerales y a las piezas de desgaste.

En este caso que será utilizada para la trituración secundaria, y las partículas son relativamente pequeñas se puede manejar velocidades altas en el proceso.

En el caso de las trituradoras de impacto la fragmentación se puede realizar de manera indirecta, donde las partículas a triturar son lanzadas a altas velocidades contra los elementos trituradores o, directa donde las partículas son alimentadas a bajas velocidades y los elementos trituradores las golpean cuando estos giran a altas velocidades.

**Figura 25. Equipo de fragmentación indirecta y equipo de fragmentación directa.**



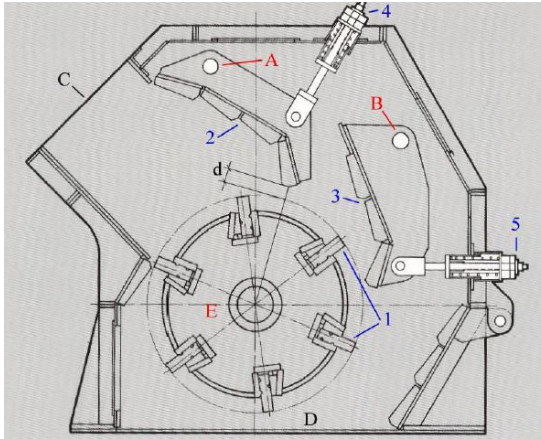
**Fuente: Tema 3, operaciones de preparación. Reducción de tamaño-trituración. (Cortesía Aubema – Sandvik).**

Este tipo de máquinas están constituidos por rotores que contienen útiles de choque fijos o móviles que giran a grandes velocidades alrededor de un eje horizontal o vertical, en el interior de una cámara blindada cuya parte inferior puede estar cerrada con una parrilla o no.

Las herramientas de choque pueden fijarse de forma rígida sobre el rotor o bien pueden estar unidos al rotor de forma articulada.

- Trituradoras de impacto de eje horizontal.

**Figura 26. Corte esquemático de un molino de impacto.**



**Componentes:**

1. Barras de impacto
2. Placas de impacto
3. Placas de impacto
4. Tornillo de regulación reglaje
5. Tornillo de regulación reglaje
- A. Eje (pivote)
- B. Eje (pivote)
- C. Alimentación (entrada)
- D. Salida del producto

**Fuente: Tema 3, operaciones de preparación. Reducción de tamaño-trituración. (Cortesía Aubema – Sandvik).**

Estas máquinas están constituidas básicamente por un rotor (E) de acero fundido o electrosoldado de forma cilíndrica, sobre el cual van fijadas las barras de impacto (1) que golpearán el material fragmentándolo.

Los fragmentos de mineral lanzados por las barras de golpeo contra las placas de impactos (2) se volverán a fragmentar para a continuación volver a ser lanzados por las barras del rotor contra las placas de impactos (3).

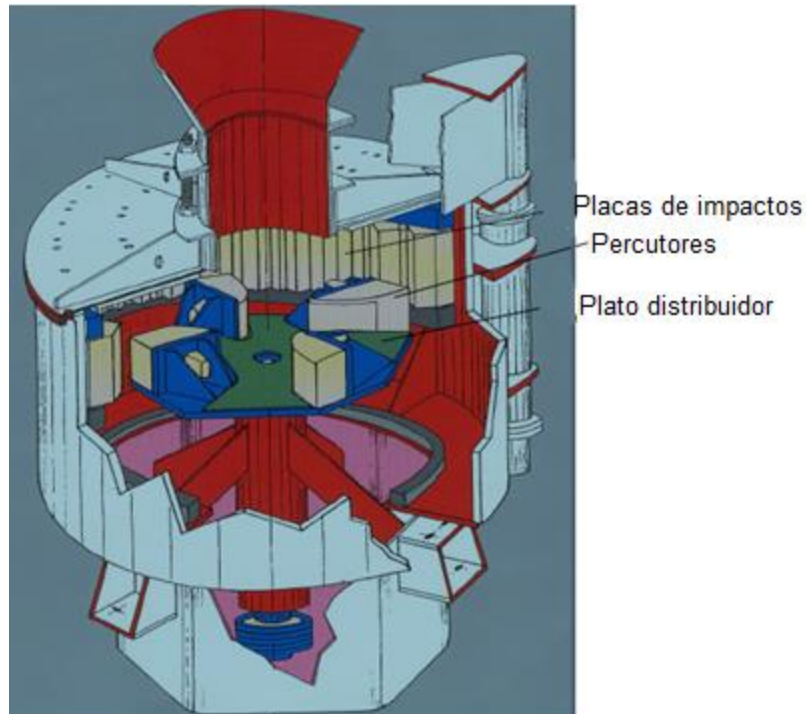
El reglaje o regulación del tamaño de salida se realiza a través de los tornillos (4) y (5) o de forma hidráulica. Siendo el reglaje la distancia mínima entre el extremo del percutor y la superficie externa de la placa de impactos (d).

Las placas (2) y (3), pueden girar alrededor de los ejes (A) y (B), pero sólo se podrán levantar ante una fuerza superior a la estimada para un esfuerzo normal de fragmentación. La alimentación se produce por la abertura de entrada (C) y la salida del producto por (D). El rotor gira en el interior de una carcasa o bastidor fabricado por chapas laminadas de gran espesor y reforzada por la parte exterior a través de nervios. El interior va forrado de chapas de acero al manganeso atornilladas para su fácil sustitución.

- **Trituradoras de impacto de eje vertical:** En estos equipos el rotor portapercutores gira en un plano horizontal a través de un eje vertical; existen dos tipos en los cuales se realizan dos procesos diferentes, trituración roca-metal y

trituration roca-roca. En la trituration roca-metal el material de alimentacion es lanzado en el interior de la trituradora contra las placas de impacto hasta que se logre su tamaño deseado, este proceso ocasiona un gran desgaste en las partes de la trituradora lo cual no es muy conveniente.

**Figura 27. Molino de impacto de eje vertical Rotomill.**



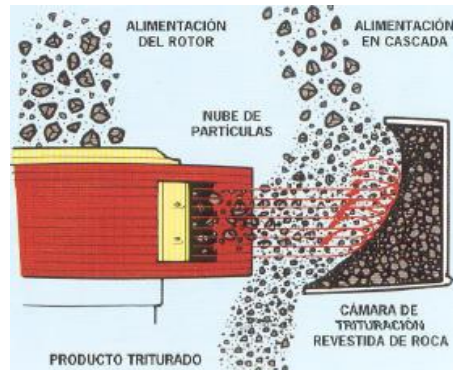
**Fuente: Tema 3, operaciones de preparación. Reducción de tamaño-trituration. (Cortesía de Dragon Babbittless).**

La trituration roca-roca da solución al excesivo desgaste de los equipos de trituration roca-metal.

La fragmentación produce como consecuencia de los choques entre los fragmentos de material, protegiendo a las partes metálicas del equipo con lechos o depósitos de material gracias a la disposición de unos resaltes realizados para tal efecto.

Debido a un cierto movimiento del material estático y de la poca masa relativa de los fragmentos, las velocidades que deben alcanzar los granos deben ser elevadas (60-70 m/s). Lo que conlleva un aumento en el consumo de energía.

**Figura 28. Principio de funcionamiento de un triturador de impacto vertical roca-roca**

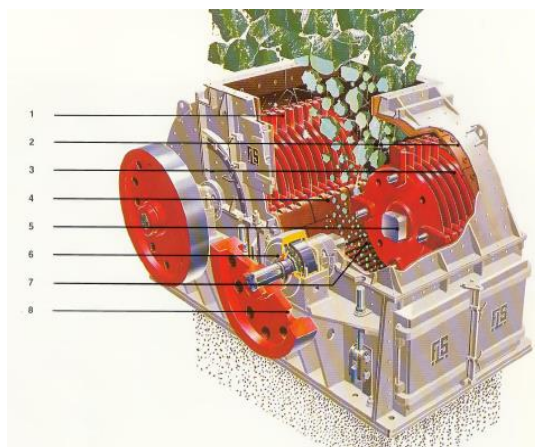


**Fuente: Tema 3, operaciones de preparación. Reducción de tamaño-trituración. (Cortesía de Svedala).**

- **Trituradoras de martillos:** Este tipo de trituradora utiliza el mismo principio que los trituradores de impacto. Emplean un rotor de eje horizontal que gira a gran velocidad en el interior de una cámara formada por el bastidor blindado.

El rotor está constituido por una serie de discos robustos a los cuales están unidos los martillos de forma que puedan girar sobre el eje de dicha unión (martillos articulados).

**Figura 29. Trituradora de martillos de doble rotor.**



1. Martillo.
2. Placas de desgaste.
3. Disco porta-martillos.
4. Yunque.
5. Eje del rotor.
6. Parrilla para la salida de los productos.
7. Volante de transmisión.

**Fuente: Tema 3, operaciones de preparación. Reducción de tamaño-trituración. (Cortesía de F.L.Smidth).**



Algunas de las ventajas de las trituradoras de impacto y percusión son:

Elevada relación de reducción (10:1.-40:1.).

Trituración más selectiva (mejor liberación).

Da un producto con un buen factor de forma (mejor cubicidad).

• **Dimensionamiento de la trituradora de impacto.** Los parámetros de selección para la trituradora utilizada en la segunda etapa de este proceso, son los siguientes:

- $D_{max.}$  y Diámetro del Rotor.
- Capacidad y Reglaje.
- Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.
- Potencia absorbida y Potencia motor.

•  **$D_{max.}$  y Diámetro del Rotor:** Para el caso de la trituración secundaria el diámetro del rotor se calcula mediante la siguiente relación, en la cual se tiene en cuenta el tamaño de entrada del mineral.

$$0,35\phi_{rotor} \approx D_{max.} \quad (42)$$

• **Capacidad y reglaje:** en estos equipos la capacidad depende de las propiedades físicas de los minerales, por lo tanto no hay fórmulas para su cálculo.

En este tipo de equipos el **Reglaje** es la distancia mínima ente el extremo del percutor o barrote y las placas de impactos.

La eficiencia, o el porcentaje de paso está estimado según Nordberg entre 50 y 80%.

**Potencia absorbida:** Según la ecuación de bond, la potencia absorbida viene dada por:

$$P_a = 10 * w_i * \frac{1}{0,907} * \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) * Q \quad (43)$$

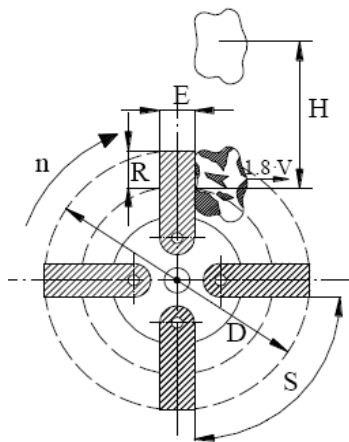
Donde Q es la capacidad de la trituradora.

La potencia del motor que se requiere para la trituradora es:

$$P_m = 1.5 * P_a \quad (44)$$

- **Determinar de la altura de alimentación de la trituradora de martillos:** La altura de alimentación ideal (H) es aquella para la cual los fragmentos consiguen penetrar hasta media altura (R) de la cara activa de los martillos o percutores, esta altura se calcula con el fin de que el fragmento de roca penetre entre dos percutores y así impedir que llegue al rotor para evitar su desgaste.

**Figura 30. Esquema de trabajo de un molino de martillos.**



**Componentes:**

R = Penetración ideal = ½ altura del percutor.

D = Diámetro exterior de la trayectoria del percutor.

n = r.p.m.

t = Tiempo transcurrido entre el paso de dos percutores consecutivos.

S = Separación entre percutores.

E = Ancho del martillo o percutor.

**Fuente: Reducción de tamaño-trituración. Manual de trituración y cribado – Metso.**

Para hallar el valor de S tenemos.

$$S = s' - \frac{E}{2} - \frac{E}{2} \quad (45)$$

Según el número de percutores se tiene que:

$$s' = \frac{D * \pi}{N} \quad (46)$$

Reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$S = \frac{D * \pi - N * E}{N} \quad (47)$$

Expresando la velocidad en rpm se obtiene:

$$v = \frac{\pi * D * n}{60} \quad (48)$$

El tiempo que transcurre para que el percutor se desplace un espacio S es:

$$t = \frac{S}{v} = \frac{60 * (\pi * D * n)}{\pi * D * n * N} \quad (49)$$

La velocidad que debe llevar el fragmento de mineral para que penetre el 50% del percutor debe ser:

$$v = \frac{R}{t} = \frac{R * \pi * D * n * N}{60 * (\pi * D - N * E)} \quad (50)$$

Reemplazando estas fórmulas se obtiene la altura de caída de la partícula, o altura de alimentación.

$$H = \frac{v^2}{2 * g} * C = \frac{(R * \pi * D * n * N)^2}{3600 * (\pi * D - N * E)^2 * 2 * g} * C \quad (51)$$

Para caída libre C toma el valor de 1.

- **Equipos para molienda.**

La molienda consta de dos operaciones en las cuales se lleva a cabo al final de la reducción de tamaño del mineral, con el fin de liberar la mayor parte de partículas del metal precioso.

Para la molienda se requieren molinos de barras y de bolas.

- **Clasificación de los molinos:** La clasificación de los molinos se realiza según los elementos internos o cuerpos moledores que estos poseen: molinos de barras y molinos de bolas.

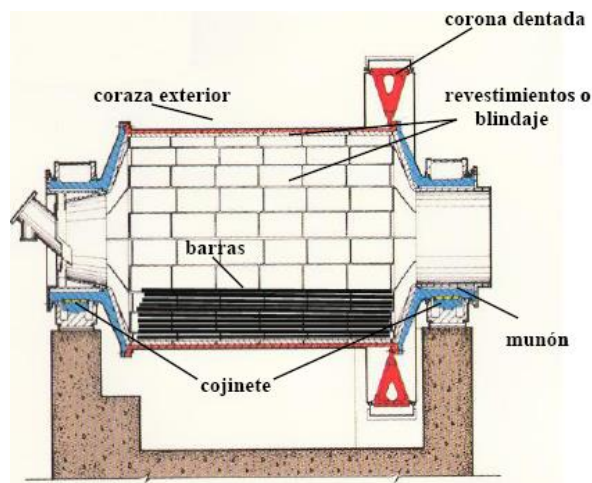
- **Molinos de barras:** Los molinos de barras son tambores cilíndricos ubicados horizontalmente sobre apoyos o rodamientos, están protegidos por placas metálicas para reducir el desgaste, estas placas son intercambiables.

Para el funcionamiento adecuado de los molinos de los molinos de barras se deben tener en cuenta ciertos parámetros técnicos que garantizan su correcto funcionamiento, logrando así obtener su mayor eficiencia, algunos de estos parámetros son:

- Velocidad crítica.
- Volumen de carga.
- Tamaño de alimentación.
- Tamaño del producto.
- Cociente de reducción.
- Relación de diámetro y longitud.
- Longitud de las barras.
- Numero de elevadores.

Según el tipo de alimentación y descarga los molinos de barras se clasifican en: a) Molino de descarga por rebose, b) Molino de descarga periférica extrema, c) Molino de descarga periférica central, d)

**Figura 31. Molino de barras y componentes constitutivos.**



**Fuente: Manual de preparación de Minerales – Taggart.**

• **Dimensionamiento de un molino de barras.**

• **Velocidad Crítica:** Es aquella velocidad de giro mínima alcanzada por el molino, la velocidad de operación no debe superar este valor.

$$v_{critica} = \frac{42,3}{\sqrt{D_M}} \text{ (rpm)} \quad (52)$$

$D_M$ : Diámetro del molino,  $m$ . (medido entre los revestimientos internos).

Los molinos de barras trabajan con velocidades comprendidas entre **62-68 %** de la velocidad crítica.

- **Volumen de la Carga:** es el volumen que ocupa la carga de barras en el interior del molino, teniendo en cuenta los vacíos que se forman entre las barras y viene expresado en (%) respecto al volumen total del molino.

$$V_{carga} = 113 - 126 * \frac{H_c}{D_M} \quad (53)$$

$H_c$  = Distancia interior máxima entre la parte superior del revestimiento y la parte superior de la carga en reposo.

$D_M$  = Diámetro interior del molino.

Los molinos de barras trabajan con un grado de llenado comprendido entre en **35-40 %**.

- **Relación entre diámetro y longitud:** Para evitar fallas de operación e impedir que las barras se crucen, los molinos de barras deben construirse según la siguiente relación:

Para molinos pequeños ( $D_M < 1,5 \text{ m}$ )

$$L = 2 - 2.5 D_M \quad (54)$$

Para molinos grandes ( $D_M > 1,5 \text{ m}$ )

$$L = 1.5 - 2 D_M \quad (55)$$

- **Longitud de las barras:** Las barras deben conservar una medida entre 10 y 15 cm menos que la medida del interior del molino.

- **Potencia útil.**

$$P = M_C * (1.752 * D^{0.34} (6,3 - 5,4 * V_p) * C_S) \quad [\text{Kw}] \quad (56)$$

$M_C$  = Peso de la carga de barras (ton.).

$D$  = Diámetro interior entre revestimiento (m.).

$V_p$  = Volumen de carga ocupado por las barras (%).

$C_S$  = Porcentaje de la velocidad crítica.

• **Diámetro máximo de las barras:** para obtener el diámetro máximo de las barras para la carga inicial se emplea la siguiente expresión:

$$D_{barras} = \left( \frac{D_{80}^{0,75}}{160} * \sqrt{\frac{w_i * S_g}{(\%C_S) * \sqrt{3,281 * D_M}}} \right) * 25,4 \quad (57)$$

$D_{barras}$  = Diámetro máximo de las barras (mm).

$D_{80}$  = Dimensión de la abertura de malla para un 80 % de paso de la alimentación ( $\mu\text{m}$ ).

$w_i$  = Índice de Bond (kWh/t).

$S_g$  = Peso específico del mineral (gr/cm<sup>3</sup>).

$C_S$  = Porcentaje de la velocidad crítica.

$D_M$  = Diámetro interior de los revestimientos (m).

• **Molino de bolas:** Los molinos de bolas tienen algunas semejanzas a los de barras; una de las variaciones son los cuerpos moledores, en este caso son bolas de acero al manganeso, u otras aleaciones resistentes a las fuerzas de impacto, fricción y desgaste que se generan. Los parámetros de funcionamiento de los molinos de bolas son los siguientes:

- Velocidad crítica.
- Volumen de carga.
- Tamaño de alimentación.
- Tamaño del producto.
- Cociente de reducción.
- Relación de diámetro y longitud.
- Tipo de alimentador.

Según el tipo de descarga los molinos de bolas se clasifican en: a) Descarga por rebose y, b) Descarga por rejilla.

Para el caso de los minerales polimetálicos se lleva a cabo la molienda en húmedo, para lograr la mayor recuperación y liberación de los metales preciosos, del mineral al que están asociados.

Los molinos de bolas, como se les llama cotidianamente, trabajan en circuito cerrado; en la boca de salida se encuentra una rejilla que impide la salida de los cuerpos moledores, también posee una malla clasificadora para seleccionar el mineral de mayor tamaño, o el que no ha alcanzado el tamaño de molienda requerido retornando este de nuevo al proceso.

Existen dos clasificaciones del tamaño de salida (descarga) del mineral, según Hukky son:

Molienda gruesa: 1mm

Molienda fina: 100  $\mu\text{m}$

Molienda ultra fina: 10  $\mu\text{m}$

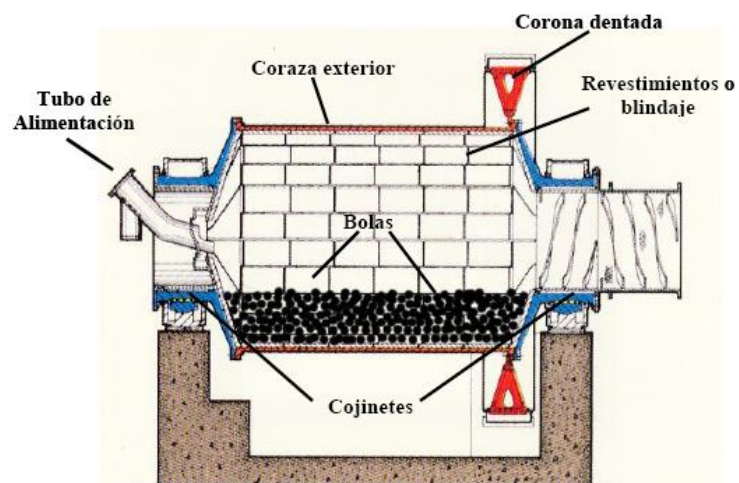
Según el tamaño de salida del mineral:

Molienda gruesa: 1- 2 mm.

Molienda media: 200 – 500  $\mu\text{m}$ .

Molienda fina: 50 – 100  $\mu\text{m}$ .

**Figura 32. Molino de bolas y sus elementos constitutivos.**



**Fuente. Tema 4, operaciones de preparación. Molienda I. (ETSIM, 1969).**

- **Dimensionamiento del molino de bolas.** Los molinos rotatorios se diseñan para dar una acción combinada de esfuerzos de impacto y de cizalla sobre las partículas bajo altas unidades de presión.

Los principales parámetros para el dimensionamiento del molino de bolas son; el diámetro y la longitud del molino. Granulometría del producto, potencia absorbida y tamaño de las bolas.

- **Diámetro y longitud:** El diámetro y la longitud para molinos pequeños (diámetros menores de 1,5 m), conserva una relación que varía entre:

$$L = 2 * D, \text{ hasta } L = 2,5 * D.$$

- **Razón de circulación:** La razón de circulación del molino es la cantidad de solido que retorna al molino (S) desde el clasificador y la cantidad del solido nuevo (A) que entrega la tolva al sistema de molienda.

$$R_C = \frac{S}{A} \quad (58)$$

- **Velocidad del molino:**

$$V_C = \frac{42,3}{\sqrt{D_M}} \quad (59)$$

Dónde:

$D_M$  =Diámetro interno del molino medio entre los revestimientos internos

$V_C$  = Velocidad critica

- **Velocidad optima de giro.** Magnitud de giro teórica definida por la siguiente ecuación:

$$N_{opt} = 36,4 - 40 \log D \quad (60)$$

- **Fracción optima de velocidad.**

$$f_{Copt} = \sqrt{D} * (0,86 - 0,95 * \log D) \quad (61)$$



- **Velocidad de trabajo.**

$$N_{trabajo} = N_{\text{óptima}} * f_{c\text{opt}} \quad (62)$$

- **Volumen de carga:** Indica el volumen que ocupa la carga de bolas en el interior del molino, considerando los vacíos existentes entre las bolas y esta expresado en (%) respecto al volumen total del interior.

$$V.C (\%) = 113 - 126 * \frac{H_c}{D_M} \quad (63)$$

Hc = Distancia interior máxima entre la parte superior del revestimiento y la parte superior de la carga en reposo. (0,45)

- **Tamaño de alimentación:** Según la ecuación propuesta por Allis Chalmers el tamaño óptimo de alimentación debe ser:

$$D_{80} = 4000 * \sqrt{\frac{13}{w_i}} \quad (64)$$

$D_{80}$  = Abertura de la malla por la que pasa el 80 % de la alimentación, en micras.

$w_i$  = Índice de Bond; kWh/ton

Según Nordberg el tamaño producido del producto se encuentra en el siguiente intervalo:

$$0,420 \text{ mm} < \text{Tamaño del producto} < 10 \text{ } \mu\text{m}$$

- **Distribución del tamaño de la bola:** Las bolas o cuerpos molidores son los encargados de la reducción de tamaño, generalmente los diámetros de bolas más utilizados están entre 25 mm y 90 mm de diámetro. Las bolas que alcanzan el tamaño menor de 20 mm deben ser sacadas del sistema.

El material recomendado para las bolas es acero al carbono, al manganeso o al cromo.

La carga de bolas para el molino se puede hallar mediante la siguiente ecuación:

$$CB = \frac{V * \rho * 0,2044}{1000} \quad (65)$$

Donde

$CB$  = carga de bolas (kg)

$V$  = volumen del molino ( $cm^3$ )

$\rho$  = densidad del material de las bolas (para las bolas de acero  $7,85 g/cm^3$ )

Uno de los parámetros en la eficiencia de la etapa de molienda es el área superficial del medio, por lo tanto la distribución del tamaño de bola es principal, para obtener una mayor área superficial en la molienda

$$D_{bola} = \left( \sqrt{\frac{D_{80}}{K}} * \sqrt[3]{\frac{w_i * S_g}{\%C_s * D_M^{0,5}}} \right) * 25,4 \quad (66)$$

$D_{bola}$  = Diámetro máximo de las bolas (mm).

$D_{80}$  = Dimensión de la abertura de malla para un 80 % de paso de la alimentación ( $\mu m$ ).

$w_i$  = Índice de Bond (kWh/t).

$S_g$  = Peso específico del mineral ( $g/cm^3$ ).

$C_s$  = Porcentaje de la velocidad crítica.

$D_M$  = Diámetro interior del molino en pie

$K$  = Coeficiente para bolas de acero

**Tabla 5. Coeficiente K para bolas de acero.**

<b>Tipo de molino y circuito de molienda</b>	<b>Bolas de acero K</b>
Rebose húmedo, circuito abierto	350
Rebose húmedo, circuito cerrado	350
Parrilla húmeda, circuito abierto	330
Parrilla húmeda, circuito cerrado	330
Parrilla seca, circuito abierto	335
Parrilla seca, circuito cerrado	335
<b>Fuente. Tema 4, operaciones de preparación. Molienda I. (ETSIM, 1969).</b>	

Hallando el tamaño máximo de bola se obtiene la distribución de carga de la siguiente tabla, donde se encuentra el porcentaje de carga para cada tamaño máximo de bola.

**Tabla 6. Distribución de la carga de bolas. Porcentaje en peso.**

Distribución de la carga inicial de bolas (pulg/mm)	Distribución de la carga para cada diámetro máximo de bolas (% en peso de la carga)						
	4.5" / 115	4" / 100	3.5" / 90	3" / 75	2.5" / 65	2" / 50	1.5" / 40
4.5" / 115	23						
4" / 100	31	23					
3.5" / 90	18	34	24				
3" / 75	15	21	38	31			
2.5" / 65	7	12	20,5	39	34		
2" / 50	3,8	6,5	11,5	19	43	40	
1.5" / 40	1,7	2,5	4,5	8	17	45	51
1" / 25	0,5	1	1,5	3	6	15	49
<b>% Total</b>	10						
<b>(peso de la carga)</b>	0	100	100	100	100	100	100
<b>Fuente. Tema 4, operaciones de preparación. Molienda I. (ETSIM, 1969).</b>							

- **Potencia útil del molino:** La potencia del molino es uno de los principales parámetros de su dimensionamiento, este se puede obtener mediante fórmulas empíricas, ábacos o tablas de fabricantes.

Potencia útil de un molino de bolas de descarga por rebose (vía húmeda); según Nordberg:

$$P = M_C \left( 4,879 * D_M^{0,3} (3,2 - 3 * V_p) * C_S * \left( 1 - \frac{0,1}{2^{9-10 * C_S}} \right) \right) + S_S \quad (67)$$

P= Potencia del molino (kW.)

Mc = Peso de la carga de bolas (ton.).

DM = Diámetro interior entre revestimiento (m.).

Vp = Volumen de carga ocupado por las bolas (%).

Cs = Porcentaje de la velocidad crítica.

$S_s$  = Factor de tamaño de las bolas (kW/ton. bolas).

El factor de tamaño de las bolas se calcula para los molinos con un diámetro mayor a 3,3 m entre los revestimientos.

- **Equipos para concentración gravimétrica.**

Algunos equipos utilizados para este fin son los siguientes:

- Concentrador centrífugo Knelson.
- Concentrador centrífugo Falcón.
- Jig centrífugo Kelsey.
- El Separador de Gravedad Múltiple (MGS) Mozley.
- Mesas vibratorias.
- Espirales.
- Jigs..

- **Criterios de concentración.** El criterio de concentración utilizado para la separación gravimétrica es el siguiente.

$$C_c = \frac{D_h - D_l}{D_l - D_f} \quad (68)$$

Dónde:

$D_h$  = densidad relativa del mineral pesado (denso).

$D_l$  = densidad relativa del mineral liviano.

$D_f$  = densidad relativa del medio fluido.

Cuando este criterio es mayor que 2,5 ya sea positivo a negativo, el proceso de separación es relativamente fácil, a medida que este valor disminuye la eficiencia de separación también disminuye. Cuando el valor es menor que 1,25 el proceso no es económicamente viable.

- **Equipos utilizados en la separación gravimétrica.**

- **Jigs:** Los jigs son los elementos utilizados en la concentración por corrientes verticales, las cuales son generadas por el movimiento de pulsaciones de agua.

Estos equipos se distinguen por sus características geométricas y constructivas, pero en general cada uno de estos se componen de los siguientes elementos básicos:

1. Una caja fija, en cuyo interior el medio fluido sufre el movimiento de impulsión y succión.
2. Un mecanismo de accionamiento (mecánico, hidráulico-mecánico, hidráulico y neumático), compuesto de motor, pistón, sistema de lubricación, etc.
3. Una criba para mantener el lecho.
4. Un sistema de descarga del flotado y del hundido.

Los factores que influyen en la eficiencia del jig son: el tipo de lecho, distribución del agua, frecuencia y amplitud de vibración, etc.

### **Tipos de jigs:**

- **Jig de pistón:** En los cuales el movimiento de pulsación es producido por un pistón ubicado en un estanque de agua.
- **Jig de diafragma:** En los cuales las pulsaciones son producidas por movimientos alternados de una pared elástica del propio estanque.
- **Jig pulsadores:** En los cuales las pulsaciones son producidas por chorros discontinuos periódicos del agua y del aire.

**Efectos en la estratificación de los minerales en los jigs.** Los efectos principales que contribuyen para la estratificación de los minerales en el jig son:

1. Clasificación por caída retardada de las partículas.
2. Aceleración diferencial al inicio de la caída.
3. Consolidación intersticial en el final de la caída.

- **Clasificación por caída retardada de las partículas en el jig:** En el medio hidráulico donde se mueven las partículas sometidas a separación, ocurre un fenómeno en el que la fuerza gravitacional actúa en forma contraria a las corrientes, así las partículas que su fuerza de gravedad es mayor que las fuerzas de las corrientes se sitúan en el fondo, y las demás partículas son llevadas a los

productos denominados colas. La separación es mayor en condiciones de caída retardada que en caída libre.

• **Aceleración diferencial en el inicio de la caída:** la aceleración de las partículas al inicio de la caída se define por la siguiente ecuación:

$$\frac{dv}{dt} = \left(1 - \frac{D_f}{D_s}\right) * g \quad (69)$$

Donde  $D_f$  es la densidad del fluido,  $D_s$  es la densidad del sólido; se puede observar que la aceleración de la partícula depende de las densidades, por lo tanto también dependen de su tamaño.

Como ejemplo se puede indicar lo siguiente: si se quiere separar partículas minerales pequeñas (pero pesadas) de partículas grandes (pero livianas), se necesita un jig de ciclo corto ya que en cada pulsación hay un inicio de un nuevo periodo de caída.

• **Consolidación intersticial al final de la caída:** debido a que las partículas del mismo mineral pero de diferente tamaño no recorren las mismas distancias durante la caída, se crea un espacio de tiempo en el cual las partículas pequeñas están depositadas sobre el lecho de partículas gruesas, las cuales se compactan unas a otras, las pequeñas se ubican entre los intersticios de las partículas gruesas, logrando así una compactación en el lecho. La recuperación de partículas finas depende de la duración del ciclo de consolidación.

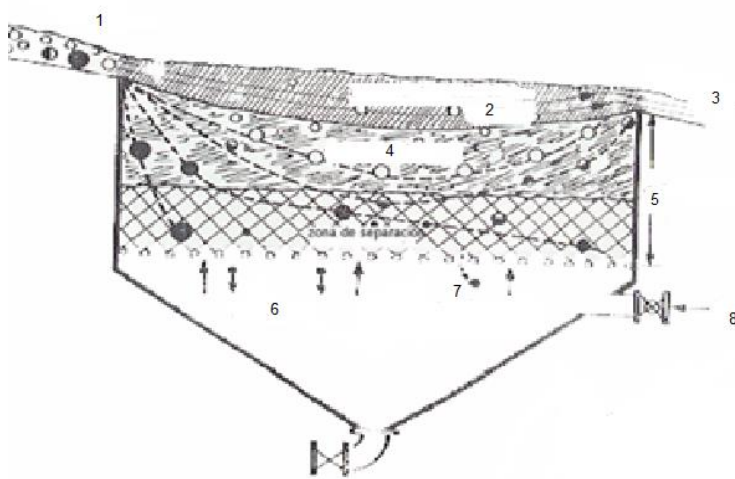
### **Capas en el interior del jig.**

• **Capa superior o transportadora:** Es responsable por el esparcimiento de la alimentación y por la rápida eliminación de lamas y otros materiales no deseados. Es una capa fina y fluida.

• **Capa roughero desbastadora:** En ella las partículas livianas son eliminadas para la capa superior y las partículas de densidad indeterminada son rápidamente pasadas para la capa separadora.

• **Capa separadora:** Es aquella que acepta y deja pasar las partículas pesadas y elimina los medios.

Figura 33. Capas al interior de un jig.



**Componentes:**

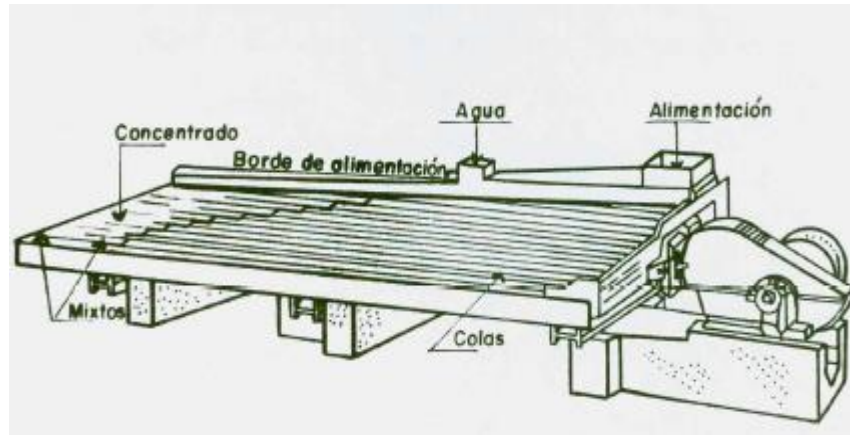
1. Alimentación de pulpa
2. Zona de transportación de finos
3. Descarga
4. Zona de limpieza
5. Altura del lecho
6. Harnero (malla)
7. Paso de agua a través del harnero dentro de la cama
8. Impulso de agua

**Fuente:** Fuente: concentración gravimétrica, Osvaldo Pavés, Universidad de atacama.

• **Mesas Concentradoras vibratorias:** Las mesas alemanas o mesas wilfley han sido fundamentales en la separación gravimétrica de los productos de molienda, su bajo costo, disponibilidad en el país, su sencillez de operación y fácil mantenimiento aconsejan la selección de una mesa concentradora vibratoria tipo Wilfley para realizar la concentración de los minerales portadores del oro después de la molienda.

La mesa Wilfley fue lanzada en 1895 y se constituyó en el principal modelo de mesa vibratoria. Después de constatarse su eficiencia su uso se propagó y surgieron nuevos modelos.

**Figura 34. Mesa concentradora por vibración.**



**Fuente: procesamiento de minerales auríferos, ministerio de minas y energía**

Las variables de diseño de la mesa concentradora son los siguientes: Forma de la mesa, material de la superficie de la mesa, forma de los riffles, característica de los riffles, aceleración y desaceleración, ubicación de la alimentación, inclinación de la mesa, densidad de la pulpa en la alimentación, agua de lavado, posición de los cortadores de los productos.

El revestimiento de las mesas se puede fabricar de algunos materiales tales como: linóleo, goma natural y sintética, uretano, metano, fibra de vidrio, etc.

Estas mesas pueden tratar minerales de un tamaño máximo aproximado entre 2 y 3 mm, aunque para minerales como el carbón este puede llegar hasta 15 mm, y el tamaño mínimo puede ser de 75 micrones; teniendo en cuenta que según el tamaño de la partícula es el caudal de agua requerido y el movimiento de la mesa, para una buena recuperación se debe usar pulpa con un porcentaje de sólidos entre el 25 y 30 %.

• **Factores que influye en la operación de la mesa:** Inclinación de la mesa, caudal de agua requerido y tipo de alimentación.

Según el tipo de alimentación del producto se obtienen los siguientes parámetros de operación:

**Alimentación fina:** Menos agua, menos alimentación, mayor velocidad, golpes más cortos, mesa con riffles bajos.

**Alimentación gruesa:** Más agua, más alimentación, menor velocidad, golpes más largos, mesa con riffles altos.



- **Capacidad de las mesas vibratorias:** La capacidad de la mesa vibratoria depende de la frecuencia de vibración, la inclinación, la cantidad de agua, las características del mineral, densidades y formas de las partículas y de la granulometría de alimentación.

La capacidad en general varía de 5 ton/día (materiales finos) hasta aproximadamente 50 ton/día (materiales gruesos).

Consumo de agua: 38 a 83 L/min (alimentación) y 11 a 45 L/min (lavado).

Consumo de potencia media: 0,6 HP por mesa.

- **Espirales:** El primer tipo de espiral Humphrey fue introducido en 1945. El principio básico se ha mantenido hasta la actualidad, pero con evoluciones considerables en cuanto al diseño y técnicas de fabricación. Los materiales de construcción empleados han evolucionado desde la madera y hierro fundido hasta el poliéster reforzado con fibra de vidrio, pasando por aleaciones, hormigón, goma, etc.

Las espirales son de múltiples retiradas y de retiradas limitadas.

- **Espirales de múltiples retiradas:** La espiral original Humphrey presenta cinco vueltas completas de hélice, la cual es un conducto helicoidal conectado a una columna central que sirve también para la descarga del concentrado. Se fabrican en segmentos de 120° (3 segmentos forman una vuelta).

- **Espirales de retiradas limitadas:** La tecnología se inclina a la construcción de espirales con menos puntos de retiradas del concentrado, varias con un único punto, en el fondo de la hélice. También el agua de lavado ha sido reducida e incluso en algunos casos ha sido eliminada.

- **Características operacionales de las espirales:** La capacidad de tratamiento de sólidos por espiral varía de 0,5 a 2,5 ton/h, la más utilizada es de 1,5 ton/h. El flujo de pulpa de la alimentación depende de las características del mineral. Para materiales finos se aconseja flujos de 50 a 65 L/min, para materiales medios, 70 a 90 L/min y para materiales gruesos, en torno de 110 L/min.

El consumo de agua para cada espiral, incluyendo el agua de lavado varía de 50 a 110 L/min. Esta agua es normalmente recuperada y recirculada. En el caso de las

espirales de retiradas limitadas, el agua de lavado ha sido reducida e incluso en ciertos casos ha sido eliminada.

El porcentaje de sólidos es de 20 a 30%; pulpas conteniendo sólidos, de granulometría gruesa, pueden tener hasta 50% de sólidos.

La espiral consiste de un canal helicoidal cilíndrico con sección transversal semi circular modificada. En la parte superior existe una caja destinada a recibir la alimentación en forma de pulpa. A medida que ella se escurre, las partículas más pesadas se encuentran en una faja a lo largo del lado interno del flujo de la pulpa y son removidas por aberturas localizadas en la parte más baja de su sección transversal.

Los límites granulométricos de los minerales pesados contenidos en la pulpa deben ser de 8 mallas hasta 200 mallas. El tamaño de los minerales de bajo peso específico contenido en la pulpa no es crítico, pudiendo variar hasta 4 mallas sin perjudicar el desempeño. Cuanto más amplio es el rango granulométrico, menor será la eficiencia del equipo. Por otra parte, debe señalarse que la eficiencia de las espirales disminuye para granulometrías inferiores a 200 mallas.

La diferencia de pesos específicos entre los minerales útiles y los minerales de las colas debe ser siempre mayor que 1,0 para que se obtenga una concentración satisfactoria. La eficiencia tiende a incrementarse con el aumento de los pesos específicos de los minerales pesados.

La forma o tamaño de las partículas puede influir de tal forma a la concentración que en ciertos casos, tratando minerales de pesos específicos muy próximos se puede alcanzar una buena separación.

**Figura 35. Espirales ya montados.**

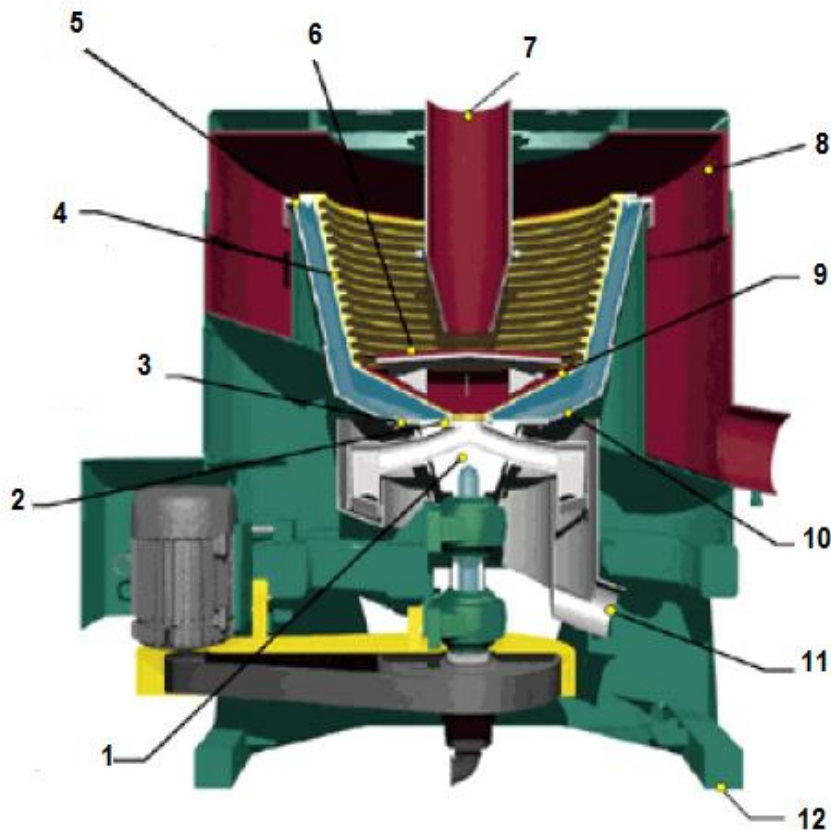


**Fuente: concentración gravimétrica, Osvaldo Pavés, Universidad de atacama.**

- **Concentrador centrífugo Knelson:** Los concentradores centrífugos Knelson han sido uno de los equipos con una gran aceptación en la industria minera: se pueden encontrar en el mercado desde tamaños de laboratorio hasta unidades de alta producción. Este tipo de concentrador recupera partículas desde  $\frac{1}{4}$ " hasta 1 micrón.

El concentrador centrífugo Knelson consiste en un cono invertido ranurado internamente y que gira a alta velocidad. La alimentación, que en general debe ser inferior a  $\frac{1}{4}$ ", es introducida como pulpa (20-40% sólidos en peso) por un conducto localizado en la parte central de la base del cono. Las partículas, al alcanzar la base del cono, son impulsadas para las paredes laterales por la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del cono. Se forma un lecho de volumen constante en los anillos, los cuales retienen las partículas más pesadas, mientras que, las más livianas son expulsadas del lecho y arrastradas sobre los anillos hacia el área de descarga de relaves en la parte superior del cono.

**Figura 36. Concentrador centrifugo Knelson.**



1. Multipuerto
2. Sello de centro.
3. Rotor de acero inoxidable con eje desmontable.
4. Cono en poliuretano resistente con incremento en la capacidad de concentración y bajo requerimiento de agua.
5. Toberas de descarga reemplazables.
6. Deflector de alimentación.
7. Tubo de dos piezas con boquilla reemplazable.
8. Tapa de cono
9. Cono de desgaste.
10. Tubo de desagüe.
11. Descarga de concentrado.
12. Reducción de área disponible.

**Fuente: concentración gravimétrica, Osvaldo Pavés, Universidad de atacama.**

El concentrador centrifugo, como su nombre lo indica actúa bajo las fuerzas centrifugas, recuperando así en la parte inferior del cono las partículas de mayor densidad y tamaño, y en la parte superior las partículas más finas de mineral. La compactación de las partículas en el cono se evita mediante la inyección de agua por agujeros de aproximadamente 800 µm, aumentando la eficiencia de recuperación.

El agua de contrapresión desarrolla una fuerza, que una vez ajustada, permite contrarrestar la fuerza resultante, a la cual están sometidas las partículas del lecho dentro del cono que está girando, de ese modo se asegura la fluidización del lecho. El agua se inyecta en dirección opuesta a la rotación del cono, lo cual hace que las partículas continúen en movimiento y se concentren las partículas pesadas.

Los ciclos de concentración para los concentradores Knelson son aproximadamente de 8 a 24 horas para material aluvial, y de 1 a 6 horas para roca dura. Se deben de tener en cuenta los siguientes parámetros:

Porcentaje de sólidos.

Presión de agua de fluidización.

Granulometría de alimentación.

Flujo másico.

- **Series de concentradores Knelson disponibles:**

**1. Serie de descarga manual (MD).** Estos equipos son utilizados principalmente en laboratorios, los modelos disponibles son:

KC-MD 3 (Capacidad: 50 kg/h; Potencia: 1/6 HP).

KC-MD 7.5 (Capacidad: 1000 kg/h; Potencia: 3/4HP).

**2. Serie de servicio pesado (XD).** Este es uno de los últimos avances en la concentración centrifuga, ofreciendo mayor capacidad y mayor rendimiento de recuperación. Los modelos disponibles son:

KC-XD20 (Capacidad: 25 ton/h; Potencia: 7,5 HP).

KC-XD30 (Capacidad: 60 ton/h; Potencia: 15 HP).

KC-XD48 (Capacidad: 150 ton/h; Potencia: 40 HP).

• **Concentrador centrífugo Falcon.** Este concentrador presenta algunas diferencias en relación al concentrador Knelson, principalmente en la velocidad de rotación, presentando un campo centrífugo 5 veces mayor que el del Knelson. Este consiste de un bolo cilíndrico-cónico que gira a alta velocidad en el interior de una camisa fija cuya función es coleccionar el relave. La pulpa se alimenta en el fondo del cono, es acelerada y se va estratificando a medida que asciende en el rotor. Según el modelo del concentrador las partículas se someten a fuerzas mayores de 200 veces la gravedad. El concentrador falcon se utiliza en la separación de materiales como: minerales de hierro, sulfuros, oro, plata entre otros. Los parámetros operacionales de los concentradores Falcon son: granulometría, porcentaje de sólidos de alimentación tiempo de operación, geometría del rotor.

**Series de concentradores Falcon disponibles son:** Serie SB y C.

• **Serie C**

C 400 (Capacidad: 1 – 4,5 ton/h; Potencia: 10 HP).

C 1000 (Capacidad: 5 – 27 ton/h; Potencia: 20 HP).

C 2000 (Capacidad: 20 – 60 ton/h; Potencia: 40 HP).

C 4000 (Capacidad: 45 – 100 ton/h; Potencia: 100 HP; Altura: 3,5 m).

• **Serie SB.**

SB 40 (Capacidad: 0 – 0,25 ton/h; Potencia: 0,5 HP; Capacidad: 0,24 – 1,2 m<sup>3</sup>/h).

SB 250 (Capacidad: 1 – 8 ton/h; Potencia: 3 HP; Capacidad: 1,8 – 2,7 m<sup>3</sup>/h).

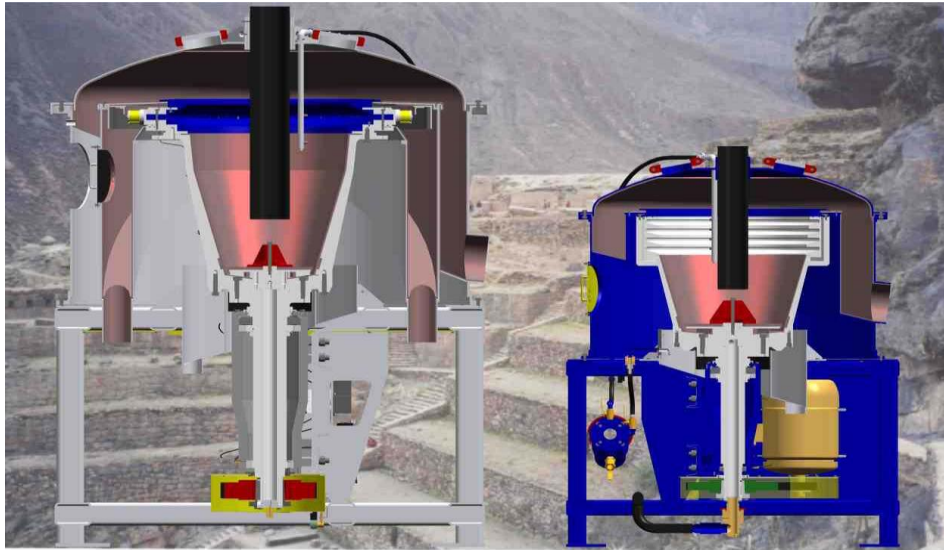
SB 750 (Capacidad: 5 – 47 ton/h; Potencia: 1 HP; Capacidad: 6 – 9 m<sup>3</sup>/h).

SB 1350 (Capacidad: 23 – 114 ton/h; Potencia: 20 HP; Capacidad: 8 – 15 m<sup>3</sup>/h).

SB 2500 (Capacidad: 42 – 206 ton/h; Potencia: 40 HP; Capacidad: 15 – 24 m<sup>3</sup>/h; Altura: 2,65 m).

SB 5200 (Capacidad: 105 – 392 ton/h; Potencia: 100 HP; Capacidad: 30 – 42 m<sup>3</sup>/h).

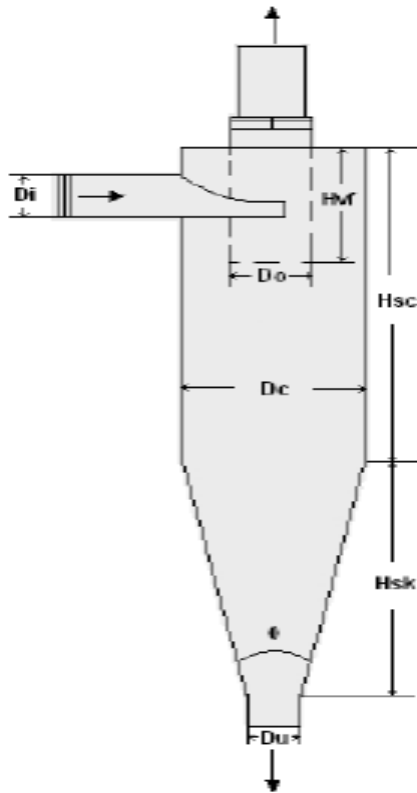
**Figura 37. Concentrador Falcon: C 4000 y SB 2500.**



**Fuente: concentración gravimétrica, Osvaldo Pavés, Universidad de atacama.**

- **Hidrociclones:** Los hidrociclones aunque parecen equipos simples, presentan un sistema de funcionamiento un poco complejo, han sido muy útiles desde la época de la segunda guerra mundial para la recuperación y selección de minerales, el hidrociclón está constituido por un cilindro superior unido a un fondo cónico, posee una alimentación tangencial y dos salidas axiales, una situada en la parte superior en el centro de la parte cilíndrica llamada “vortex finder”, y la otra en el extremo inferior del cono llamada “ápex”.

Figura 38. El hidrociclón.



**Componentes:**

$D_o$ : Diámetro salida superior (Vortex).

$D_c$ : Diámetro de la sección cilíndrica.

$D_i$ : Diámetro de alimentación.

$H_{sc}$ : Altura sección cilíndrica.

$H_{sk}$ : Altura sección cónica.

$D_H$ : Diámetro salida inferior (Ápex).

$\phi$ : Ángulo de la sección cónica entre (10-20°).

**Fuente:** Lina María Chica Osorio. Estudio del cortocircuito de finos en hidrociclones. Operados con suspensiones poliminerales en la industria cementera.

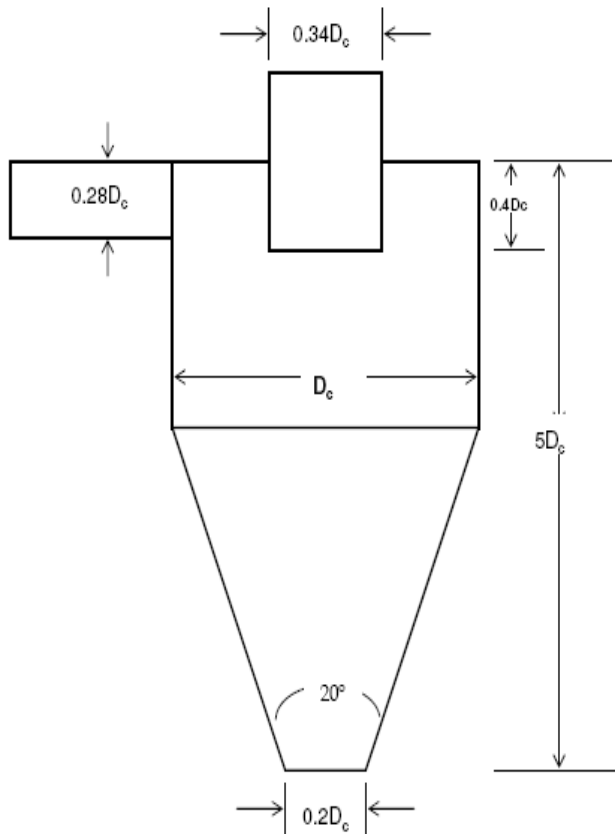
- **Ventajas del Hidrociclón:** Algunas de las ventajas de los hidrociclones es la versatilidad en su operación (clarificación, clasificación, concentración, separaciones gas-líquido), su facilidad de instalación y mantenimiento, el ahorro de espacio en su instalación y los esfuerzos cortantes altos que evitan la aglomeración del mineral. Y una de las desventajas es la limitación de la capacidad del equipo, ya que a mayor capacidad menor eficiencia de concentración.

Para la operación de los hidrociclones se debe mantener una caída de presión que garantice un caudal constante y una fuerza centrífuga capaz de realizar la sedimentación centrífuga.

Los diseños y los parámetros del hidrociclón están basados en el diseño de mayor eficiencia, llamado el hidrociclón de Rietema, el cual consta de las siguientes proporciones.



**Figura 39. El hidrociclón de Rietema.**



**Componentes:**

$D_o$ : Diámetro salida superior (Vortex).

$D_c$ : Diámetro de la sección cilíndrica.

$D_i$ : Diámetro de alimentación.

$H_{sc}$ : Altura sección cilíndrica.

$H_{sk}$ : Altura sección cónica.

$D_H$ : Diámetro salida inferior (Ápex).

$\phi$ : Ángulo de la sección cónica entre (10-20°).

**Fuente: Lina María Chica Osorio. Estudio del cortocircuito de finos en hidrociclones. Operados con suspensiones poliminerales en la industria cementera.**

• **Parámetros básicos para seleccionar un hidrociclón.**

Los parámetros básicos que se deben tener en cuenta para la selección de los hidrociclones son las características geométricas del equipo: diámetro del ciclón, área de ingreso, tubo de vórtex, orificio ápex y la longitud suficiente que provee el suficiente tiempo de retención para la clasificación apropiada de las partículas.

**El diámetro del ciclón:** Se define como la dimensión de la cámara cilíndrica donde se recibe la alimentación.

**Área del tubo de ingreso:** Generalmente es orificio rectangular con la dimensión mayor paralela al eje del ciclón. El área básica se considera generalmente 0,05 veces el cuadrado del diámetro del ciclón.

**Vórtex:** Donde se descarga el rebose de partículas finas, su función es el control de la separación y el flujo que abandona el ciclón. El tamaño del vórtex debe ser igual a 0,35 veces el diámetro del ciclón.

**Sección cilíndrica:** Es la sección ubicada entre la cámara de separación y la sección cónica, posee el mismo diámetro de la cámara de alimentación, allí se incrementa el tiempo de retención.

**Sección cónica:** Posee un ángulo que varía entre 10° y 20°, tiene una función similar a la sección cilíndrica, esta termina en el ápex.

**Ápex:** Tiene como dimensión crítica el punto de descarga, el cual debe ser lo suficientemente amplio para evitar las obstrucciones en el proceso. Este debe ser como mínimo el 10% del diámetro del ciclón, y puede tomar un valor máximo de 35% del mismo.

La alimentación del hidrociclón ingresa tangencialmente, la presión y geometría de entrada genera un campo de velocidad de tres componentes, tangencial, radial y axial, generando un movimiento en el vórtice que produce una fuerza centrífuga que impulsa las partículas hacia las paredes del equipo. Con la acción centrífuga y las fuerzas que se generan en este, las partículas más grandes descenderán y saldrán por el ápex. Los finos formaran una espiral central, para así salir por el vórtex con un gran caudal de agua constituyendo así el rebalse. En el centro se genera un núcleo de aire que se conecta con la atmosfera a través del vórtice de salida.

• **Selección del hidrociclón.** Los parámetros de selección del hidrociclón se definirán a continuación:

$$D_{50c}(aplicacion) = D_{50c}(base) * C_1 * C_2 * C_3 \quad (70)$$

$D_{50c}(base)$  = es el tamaño en micrones que un ciclón estándar puede alcanzar operando bajo las condiciones base.

$$D_{50c}(base) = 2,84 * D^{0.66} \quad (71)$$

Donde D es el diámetro del ciclón (cm).

$C_1$  Se debe a la influencia de concentración de sólidos contenidos en la pulpa alimentada.

$$C_1 = \left( \frac{53-V}{53} \right)^{-1,43} \quad (72)$$

V= % de sólidos en volumen de la alimentación al ciclón.

$C_2$  Se debe a la caída de presión medida entre la presión de alimentación y la presión de rebose. Se recomienda que la caída de presión sea del orden de 40 a 70 Kpa (5 a 10 psi).

$$C_2 = 3,72 * \Delta P^{-0,28} - 0,2 \quad (73)$$

$\Delta P$ : caída de presión en Kpa.

$C_3$ : es debido al efecto de la gravedad específica de sólidos y líquido sometidos a la clasificación, se logra mayor separación de minerales cuando la gravedad específica del sólido y líquido tienen una gran diferencia.

$$C_3 = \left( \frac{1,65}{G_S - G_L} \right)^{0,5} \quad (74)$$

$G_S$ : Gravedad específica de sólidos.

$G_L$ : Gravedad específica de líquido (Normalmente 1).

De la ecuación (5.42) se halla:  $D_{50c}(base)$

$$D_{50c}(aplicacion) = D_{50c}(base) * C_1 * C_2 * C_3 \quad (75)$$

$$D_{50c}(base) = 146 \mu m$$

$$D_{50c}(base) = 2,84 * D^{0,66} \quad (76)$$

$$D = 39,12 \text{ cm}$$

El diámetro del ciclón es de 15,4 pulgadas. Se puede aproximar a un diámetro comercial de 38 cm.

Los demás parámetros de selección se deben al flujo del proceso.

- **Flotación de minerales.**

La flotación de minerales en un proceso mineralúrgico–químico–cinético, mediante el cual se busca la separación de minerales auríferos de los no auríferos a través de la mezcla de agentes químicos, y la adhesión de burbujas de aire a las partículas de minerales valiosos.

La flotación se considera como una operación heterogénea que involucra las tres fases, sólido, líquido y gaseoso

Las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los minerales son uno de los principios básicos de la separación en el proceso de flotación, este fenómeno llamado también mojabilidad de los sólidos.

La flotación comprende varios tipos como lo son: la flotación de espumas, flotación por películas y flotación por aceites, siendo la más utilizada la flotación de espumas debido a costos y facilidades de proceso.

La flotación de espumas se clasifica en flotación directa, en la cual los minerales valiosos se tienen a la espuma en la parte superior y en la pulpa la ganga como relave; y en flotación inversa en la cual las espumas captan la ganga y en la pulpa se precipitan los minerales valiosos.

• **Funciones de una celda de flotación:** Las funciones que debe cumplir una celda de flotación son las siguientes:

1. Mantener las partículas en suspensión dentro de las pulpas en forma efectiva.
2. Producir una buena aireación, que permita la diseminación de burbujas de aire a través de la celda, promover las colisiones y adhesiones de la partícula-burbuja.
3. Mantener la quietud de la pulpa en la parte inferior de la celda.
4. Proveer un mecanismo de control de la altura de la pulpa y de la espuma.

• **Cinética de la flotación:** Para la selección de la capacidad de la celda de flotación, será utilizada la teoría de la cinética de la flotación de Batch, la cual tiene en cuenta el análisis en la recuperación según la velocidad de la partícula.

La densidad de pulpa es uno de los parámetros de mayor importancia que influyen en el proceso de flotación, debido a que una pulpa muy densa reduce en un gran porcentaje la velocidad de flotación, el tiempo de residencia de la partícula y disminuye la recuperación del mineral.

Algunos parámetros que se tienen en cuenta en la selección de las celdas para este proceso, son las siguientes:

- % sólidos.
- Tonelaje seco.
- Tonelaje de pulpa
- Caudal de agua
- Densidad de sólidos

- Caudal de pulpa
- Densidad de pulpa.

- **Sistema Merrill Crowe.**

El sistema de recuperación de minerales auríferos Merrill Crowe consiste en cuatro operaciones:

1. Clarificación de la solución rica en oro y plata.
2. Desoxigenación de la solución.
3. Adición de polvo de zinc a la solución rica.
4. Recuperación del precipitado (Zn, Ag, Au) por filtración.
5. Solución estéril (Barren).

**Figura 40. Representación esquemática de la recuperación de minerales por el Sistema Merrill Crowe.**



**Fuente: Evaluación de un circuito de molienda y clasificación, Jorge Vargas Gonzales, 2010.**

El método de recuperación mediante el sistema Merrill Crowe inicia como se indica en la figura 39. Esta solución rica previamente clarificada se pasa a través de la

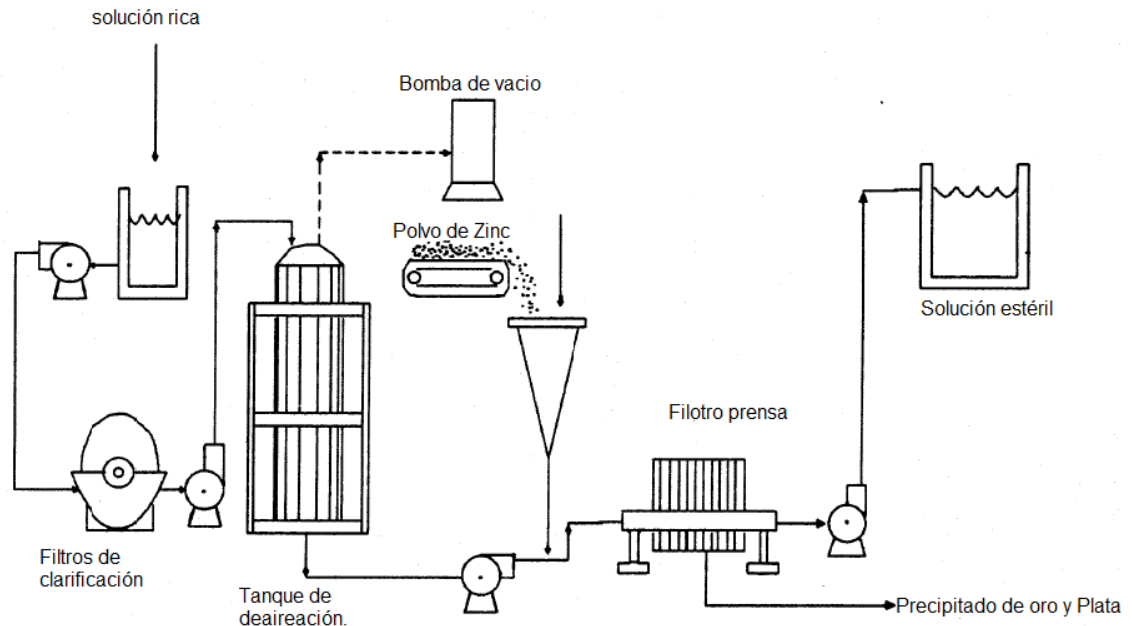
torre de vacío, en la cual se reduce la concentración de oxígeno disuelto a menos de  $0,5 \text{ mg/l}$ , y así permitir el ingreso del oxígeno atmosférico y aumentar la eficiencia en la precipitación del oro, el flujo de la solución desde el clarificador es controlado automáticamente mediante el nivel de solución de la torre, la adición del zinc se realiza según los requerimientos estequiométricos del sistema, puede ser a la entrada o en la línea de descarga de la bomba para precipitar el oro, esta ocurre casi instantáneamente.

El polvo de zinc es adicionado mediante una pequeña banda que regula la cantidad de este; mediante un cono de alimentación se evita que el aire pueda entrar al sistema.

Luego de la torre de desalineación, cono invertido que aparece en la figura 28. Esta solución se bombea hacia el filtroprensa en el cual se capta el precipitado de oro, siendo retirado periódicamente de estos filtros y luego se somete a un secado que reduce el peso hasta un 60%. Los principales factores para lograr una buena eficiencia en la precipitación son los siguientes:

- La solución no debe contener materiales en suspensión.
- Debe haber una cantidad no menor de 0,2% de cianuro libre.
- No deben existir excesivas cantidades de sales extrañas.
- La superficie del zinc debe estar limpia, no oxidada.

**Figura 41. Esquema del sistema Merrill Crowe.**



El sistema Merrill Crowe consta de los siguientes componentes:

- Un tanque de almacenamiento de solución rica de forma rectangular con capacidad para  $8 m^3$  de solución, construido en lámina impermeabilizada.
- Un tanque clarificador de forma rectangular con capacidad para  $8 m^3$  de solución, construido en lámina impermeabilizada.
- Un tanque cilíndrico con tapas superior e inferior de forma semiesférica construido en lámina de acero para la cámara de vacío. Las dimensiones del tanque son 1 m de diámetro por 1,5. de altura cilíndrica y 0.2 m. de altura de tapas.
- Una bomba de vacío de 3 H. P.
- Dos filtros de tierra diatomácea tipo Hayward Perflex para filtrado del precipitado. Los filtros sustituyen al filtro prensa.
- Una bomba de caudal.
- Un alimentador de zinc en polvo.

**Fuente: Evaluación de un circuito de molienda y clasificación, Jorge Vargas Gonzales, 2010.**

- **Cianuración.**

La cianuración es un método de recuperación de minerales muy común en la industria minera, en esta etapa se utiliza una pequeña mezcla de cianuro en la pulpa, este actúa como disolvente de las partículas de oro y plata presentes en ella.

La inversión en la cianuración es relativamente baja y se puede lograr una recuperación hasta de un 90% del mineral presente en la pulpa; la cianuración por agitación pretende mantener en movimiento las partículas y aumenta la dilución del mineral a recuperar.

Los tanques de cianuración pueden tener diversas capacidades, aunque se recomienda un mínimo de tres tanques para obtener un buen remezclado de la pulpa, es decir que la probabilidad de que algunas partículas circulen sin permanecer el tiempo mínimo de residencia predeterminado.

- **Tanques agitadores mecánicos:** Son tinas metálicas, generalmente de forma cilíndrica con fondo, en las cuales el material sólido es mantenido en suspensión agitada mediante el accionamiento de impulsores. El impulsor recibe movimiento mediante un eje el cual a su vez recibe movimiento mediante una transmisión de bandas y poleas.

- **Diseño de los tanques de cianuración y agitadores mecánicos:** Para el desarrollo del proceso de extracción de minerales por el método de cianuración, el más recomendado es el de agitación, debido a que el uso de agitadores genera turbulencias en el interior del tanque que ayudan a la disolución y mezcla de los agentes que intervienen en el proceso.

Para el diseño de los tanques se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

La altura del tanque debe ser mayor que su diámetro, esto se recomienda debido a que favorece el tiempo de contacto entre las partículas y el líquido, mejorando la eficiencia del proceso.

Se recomienda colocar 4 baffles al rededor del tanque, espaciados 90° para evitar la formación de vórtices.

Se recomienda dejar un claro entre el baffle y la pared del tanque con el fin de evitar estancamiento del líquido y los sólidos presentes en la mezcla, la distancia entre la pared del tanque y el baffle debe ser la mitad del ancho del baffle.

Diámetro del impulsor,  $d_i = D/2$



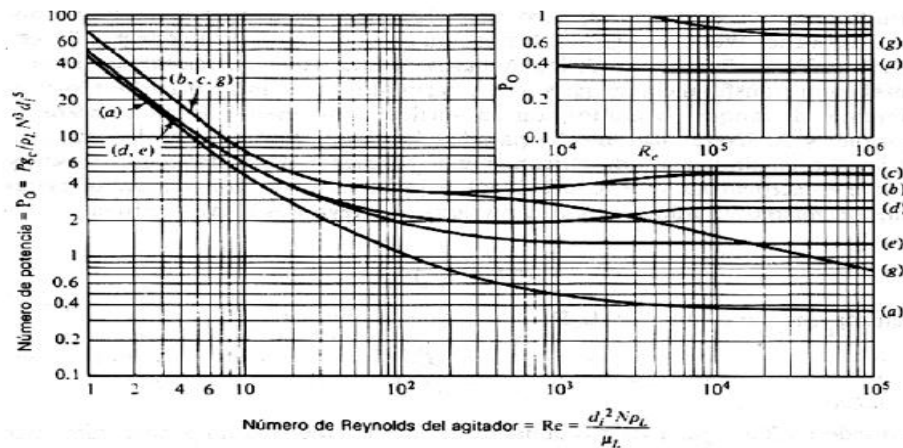
Ancho del agitador,  $w = T/5$

Largo del aspa,  $L = T/4$

Altura del impulsor al fondo del tanque,  $C = D/6$

- **Potencia del impulsor:** Para los tanques con baffles agitados, el régimen de turbulencia alcanza números Reynolds del impulsor mayores de 20000, en este régimen el número de potencia se considera constante (figura 29).

**Figura 42. Número de potencia para el impulsor.**



**Fuente: Evaluación de un circuito de molienda y clasificación, Jorge Vargas Gonzales, 2010.**

Potencia para la agitación de impulsores sumergidos en líquidos de una sola fase con una superficie gas / líquido (excepto (c) y (g)). Las curvas corresponden a los impulsores (a) marinos, (b) turbinas de hoja plana (c) turbinas de disco de hoja plana con y sin superficie gas / líquido, (d) turbinas de hoja curva, (e) turbinas de hojas fijas, (g) turbinas de hojas planas, sin mamparas, sin interface gas / líquido, sin vórtices (Tomado de Treybal, 1994).

El número de potencia se define como:

$$N_P = \frac{P}{\rho_L * N^3 * d_i^5} \quad (77)$$

$P$ = potencia transferida al fluido por parte del impulsor.

$\rho_L$ = densidad del líquido.

N = revoluciones por segundo.

$d_i$  = diámetro del impulsor.

Teniendo en cuenta un número de potencia constante, para este tipo de impulsores se obtiene:

$$P = N_p * \rho_L * N^3 * d_i^5 \quad (78)$$

• **Espesor de la lámina:**

$$t = \frac{0,005 * D * (H - 30,48) * G}{S_d} + CA \quad (79)$$

D: diámetro del tanque.

H: altura del líquido en el tanque.

G: densidad relativa

S<sub>d</sub>: esfuerzo de diseño.

CA: Coeficiente por corrosión.

### **3. RECURSOS DISPONIBLES**

#### **3.1. MATERIA PRIMA.**

Material extraído (roca) de la mina.

#### **3.2. MANO DE OBRA.**

Se pretende no desviar la finalidad del proyecto, buscando beneficio para las personas de la misma región y socios del proyecto, contando con capacitaciones, para todos los interesados, por parte de expertos en cada una de las labores requeridas en el proceso de explotación y beneficio de los minerales.

#### **3.3. FUENTES DE AGUA.**

El abastecimiento de agua para el proceso se llevará a cabo de varias fuentes, principalmente del río Batero que se encuentra aproximadamente a 3 Km de la planta de beneficio, también se tomará una pequeña cantidad de otras fuentes cercanas a la planta.

#### **3.4. INSUMOS.**

La adquisición de insumos de minería para la planta se llevará a cabo en la ciudad de Pereira y Manizales.

#### **3.5. SUMINISTRO DE ENERGÍA.**

La mayor cantidad de energía utilizada en la planta será energía eléctrica, localizando un transformador para la planta de 250 KVA. Para prevenir fallas de energía eléctrica se contará con una planta de ACPM para la generación de la energía necesaria.

#### 4. DESCRIPCION DEL PROCESO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE CORPOARE

- **Recepción control y almacenamiento del mineral extraído de la mina:** El mineral extraído de la mina es depositado en una tolva circular con una capacidad de 75 toneladas, para crear un almacenamiento de materia prima y así no tener paradas en el proceso y evitar la reducción de la producción.

El material almacenado en la tolva llega a la trituradora por medio de una compuerta y un canal el cual conduce el material por gravedad.

- **Trituración del material:** La trituración del mineral se lleva a cabo en dos operaciones, en las cuales se tiene en cuenta el tamaño de entrada del mineral y el tamaño óptimo de salida para un mejor grado de recuperación del mineral; en la etapa de trituración se tiene como parámetro el tamaño máximo de entrada de mineral, el cual es de 5 pulg, teniendo un tamaño máximo de grano a la salida del último paso de trituración de  $1 / 8''$ . El material de salida, es llevado mediante una banda transportadora a una tolva de almacenamiento denominada tolva de finos.

El material triturado mediante una banda transportadora es llevado al tolvin de entrada del molino donde se le agrega agua al mineral para la molienda.

- **Molienda del mineral:** Es la operación de reducción de tamaño de partículas a partir de tamaños generados por la trituración; esta consta de dos molinos de bolas en serie para una mayor eficiencia.

El material que no alcance el tamaño requerido es retornado mediante una banda transportadora al inicio de la molienda, hasta que alcance el tamaño deseado.

Hay algunos factores que afectan la eficiencia de la molienda, tales como el flujo de alimentación, la velocidad de rotación del molino, el tamaño de los cuerpos moledores; estos factores tienen que ser debidamente controlados para obtener los resultados deseados.

- **Concentración gravimétrica de los productos de molienda:** La concentración gravimétrica o separación por gravedad es un método utilizado para tratar una gran variedad de minerales, pueden separar tamaños hasta el orden de los micrones, este método ha sido utilizado debido a la simplicidad del proceso, el fácil mantenimiento de los equipos y la poca contaminación ambiental que este produce.

La concentración se realiza en hidrociclones; estos equipos ayudan a que, las partículas más finas sean llevadas a recuperación, y las partículas más gruesas sean retornadas a molienda.

La presión de entrada al hidrociclón es generada mediante una bomba de sólidos la cual transporta el mineral hasta este.

Los hidrociclones funcionan mediante fuerzas centrifugas para la separación de los minerales según su densidad, son equipos de fácil manejo, económicos y fácil mantenimiento.

- **Factores que influyen en la concentración gravimétrica.**

**Granulometría:** Antes de iniciar la operación se debe tener en cuenta el tamaño de grano del mineral entrante, para así mejorar la eficiencia.

**La forma de la partícula:** Este es un factor que influye en la concentración del oro, cuando la forma de las partículas es en láminas, en los concentradores de flujo laminar y en las canaletas, las láminas de oro son muy difíciles de recuperar, debido a que el área de impacto del flujo es de gran tamaño con relación a su peso, en este caso es más eficiente para la recuperación de estas partículas el jig y los concentradores centrífugos.

**Los minerales asociados:** Estos minerales perjudican el proceso debido a que, cuanto mayor sea el peso específico de estos minerales asociados y mayor su cantidad en la carga, es más difícil la recuperación del oro.

- **Principios de la concentración gravimétrica:** La concentración gravimétrica es el proceso mediante el cual se separan los minerales de diferentes densidades utilizando la fuerza de gravedad. Últimamente, los nuevos equipos, se basan en la acción de las fuerzas centrifugas para la separación, las cuales generan dos o tres

productos: (el concentrado, las colas y en algunos casos un producto medio “middling”).

- **Métodos de separación por gravedad:** Los métodos de separación gravimétrica se clasifican en tres grandes grupos:

**Separación por medios densos:** Este proceso consiste en la separación de sólidos en función de sus densidades utilizando un fluido de densidad intermedia, entre ellos podemos encontrar solución de sales en agua, suspensiones de sólidos de granulometría fina en agua, donde los sólidos de mayor densidad se hunden.

Esta separación se divide en dos métodos:

**Estático:** Este método se desarrolla regularmente en recipientes de varias formas, donde solo influyen las fuerzas gravitacionales en el medio. La separación estática trabaja en un rango granulométrico de 150 mm (6 pulg) a 6 mm(1/4 pulg), pudiéndose tratar tamaños de hasta 14 pulgadas.

**Dinámico:** En la separación dinámica se emplean medios mecánicos (separadores) que actúan mediante fuerzas centrifugas, hasta 20 veces mayores que la fuerza de gravedad que actúa en la separación estática. El tamaño del material influye en la eficiencia de separación.

**Separación por corrientes verticales:** En este paso se aprovechan las diferencias entre velocidades de sedimentación de las partículas pesadas y livianas, como es el caso del Jig.

**Separación en corrientes superficiales de agua:** también llamado clasificación en lámina delgada como es el caso de las mesas concentradoras y los separadores de espiral.

- **Flotación:** En la flotación mediante la adición de agentes químicos, adición de aire y la agitación mecánica se oxigena la mezcla que llega a este proceso, en el cual la partícula del mineral se adhiere a la burbuja de aire, los minerales que flotan son extraídos por rebose para ser llevados al siguiente proceso.

- **Cianuración:** El cianuro ha sido el agente lixivante en la industria hidrometalúrgica del oro desde 1887.

Con la ayuda de un agente oxidante como el oxígeno, un pH básico (10,5 – 11,5) y un potencial de óxido-reducción en un rango aproximado de -400 a +250 milivoltios, el ión-cianuro forma compuestos complejos de oro y los metales

presentes en la mezcla como plata, cobre, zinc, quedando disueltos en solución acuosa.

La etapa de cianuración se lleva a cabo en tanque de agitación con un fondo en forma cónica para facilitar la precipitación del metal. Las condiciones de diseño de la cianuración y flotación se consideran de 24 horas para cada tanque, y la capacidad de los tanques se ha previsto para una producción de 16 toneladas diarias aproximadamente, ya que el rendimiento de las arenas para la cianuración se estima entre un 25% y 30% de la roca triturada.

- **Recuperación de valores mediante el sistema Merrill Crowe:** La recuperación de minerales se realiza mediante el sistema Merrill Crowe, el cual inicia con la solución recuperada y almacenada en un tanque de rica, la cual pasa luego por clarificadores para reducir el porcentaje de sólidos existentes en la solución, luego de este proceso la solución clarificada pasa por la filtroprensa dando como resultado el precipitado, este producto es el que se lleva a la fundición para la recuperación de oro.

- **Fundición:** La fundición de los minerales se lleva a cabo en un horno basculante a gas, elaborado para tal fin.

En este proceso se recupera la barra de oro, comúnmente llamada “barra dore” para su previa purificación, y separación.

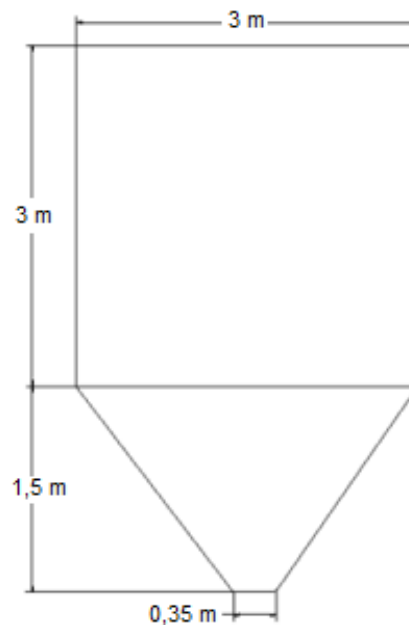
- **Disposición de residuos:** Los productos y residuos que salen del proceso se llevan a un pozo o relavera en el cual se analizan sus propiedades y concentraciones de cianuro, según estos resultados se le agrega hipoclorito para llevar estos residuos a la concentración permisible por la norma minera. Luego se analiza las propiedades del agua residual para recircularla y la pulpa o lodos se disponen un lugar seguro para depositarlos.

#### 4.1. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS PROYECTADOS EN CADA ETAPA DEL BENEFICIO

##### 4.1.1. Tolva de almacenamiento del mineral extraído de la mina.

La tolva de gruesos está proyectada para obtenerla por diseño y construcción.

Figura 43. Medidas principales de la tolva.



Fuente: Los autores.

Presión lateral sobre la pared del tanque cilíndrico a una profundidad Z:

$$P_z = P_{max} * \left(1 - \left(\frac{Z}{A} + 1\right)^{-2}\right) \quad (80)$$

$$P_{max} = \frac{\gamma * D}{4 * \tan \phi'} \quad (81)$$

$P_z$ : Presión lateral a la profundidad Z (kg/m<sup>2</sup>)

$P_{max}$ : Presión lateral máxima (kg/m<sup>2</sup>)

$\gamma$ : Densidad aparente del material (kg/m<sup>3</sup>)



D: Diámetro interno de la sección del tanque cilíndrico (m)

$\varphi'$ : Ángulo de fricción del material con la pared del tanque (°)

A: abscisa característica para un tanque cilíndrico (m)

$$A = \frac{D}{4 \tan \varphi' * \tan^2 \left( \frac{\pi - \varphi_0}{4} \right)} - \frac{h}{3} \quad (82)$$

h : altura del cono del material almacenado (m)

$$h = \frac{D}{2} \tan \varphi_0 \quad (83)$$

$\varphi_0$ : Ángulo mínimo de fricción interna del material (°)

Para el cálculo de la presión máxima se tendrá en cuenta la presión ejercida en la mayor profundidad del cuerpo cilíndrico, tomando el valor de  $Z = 3m$

$$\gamma = 2600 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 3m$$

$\varphi' = 38^\circ$ , tomado de la tabla 2.

$\varphi_0 = 40^\circ$ , tomado de la tabla 2.

$$h = \frac{3}{2} \tan 40 = 1,26 \text{ m}$$

$$A = \frac{3}{4 \tan 38 * \tan^2 \left( \frac{\pi - 40}{4} \right)} - \frac{1,26}{3} = 4 \text{ m}$$

$$P_{max} = \frac{2600 * 3}{4 * \tan 35} = 2784,88 \text{ kg/m}^2$$

Presión lateral ejercida por el material en reposo, resultado de la carga estática en el interior del recipiente cilíndrico.

$$P_z = 2784,88 * \left( 1 - \left( \frac{3}{4} + 1 \right)^{-2} \right) = 1875,53 \text{ kg/m}^2 \quad (84)$$

Presión vertical ejercida sobre el fondo:

$$q_z = \gamma * \left( Z * \left( \frac{Z}{A} + 1 \right)^{-1} + \frac{h}{3} \right) \quad (85)$$

$$q_z = 2600 * \left( 3 * \left( \frac{3}{4} + 1 \right)^{-1} + \frac{1,26}{3} \right) = 5549,143 \text{ kg/m}^2$$

Tomando le resistencia del material de construcción de  $2550 \text{ kg/cm}^2$

$$t = \frac{N * P_z * r}{s_y * \Phi} \quad (86)$$

t : Espesor de la placa en mm.

$\Phi$ : Coeficiente de soldadura, 0,6

r : Radio del cilindro.

$s_y$ : Esfuerzo de fluencia del material.

N: Factor de seguridad, 1,25.

$$t_0 = \frac{1,25 * 1875,53 * 1,5}{2550 * 0,6} = 2,76 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta que el material está sometido a corrosión el espesor total será:

$$t_{\text{corrosión}} = 1,6 \text{ mm}$$

$$t_{\text{total}} = t_0 + t_{\text{corrosión}} = 4,36 \text{ mm}$$

Longitud efectiva tomada desde la parte superior hasta el centroide del cono.

$$Z_t = Z + \frac{h}{3} \quad (87)$$

$$Z_t = 3 + \frac{1,8}{3} = 3,6 \text{ m}$$

$Z_t$  : Altura efectiva (m)

Z: altura del material almacenado por encima de la tolva (m)

h : altura del cono truncado que forma la tolva (m).

Fuerza vertical y lateral ejercida sobre el cono:

La presión lateral.

$$P_l = q_z * \sin \beta \quad (88)$$

$$P_l = 5549,143 * \sin 53 = 4431,7 \text{ kg/m}^2$$

La presión vertical.

$$P_v = q_z * \cos \beta \quad (89)$$

$$P_v = 5549,143 * \cos 53 = 3339,6 \text{ kg/m}^2$$

$\beta$ : Ángulo que forma la horizontal con la pared de la tolva.

El espesor del cono se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{N * P_l * r}{S_y * \cos \beta} + t_{\text{corrosión}} \quad (90)$$

$$t = \frac{1,5 * 4431,7 * 1,5}{2550 * \cos 53} + 1,6 = 8,1 \text{ mm}$$

#### 4.1.2. Banda transportadora.

- **Características del material a transportar y de la instalación.**

Tipo de material: roca triturada (forma irregular).

Densidad: 2.6 ton/m<sup>3</sup>

Tamaño: 3 – 5 mm.

Distancia entre centros: 6 m

Desnivel: 1,5 m (ascendente).

Inclinación: 20°.

Jornadas de trabajo: 3 jornadas. (8 horas cada jornada)

Capacidad de transporte: 2.5 ton/h

**Diseño de la banda transportadora.**

De la figura 4 según las características del mineral, se obtiene

Ángulo de sobrecarga: 25°

Ángulo de reposo: 35°

• **Velocidad de la banda.**

De la figura 5 con un tamaño uniforme, y con un peso mayor de 2 ton/m<sup>3</sup> se tiene:

$$v = 1.65 \text{ m/s}$$

Ancho de la banda: 400 mm

• **Capacidad de transporte volumétrica.**

$$L_M = \frac{L_V}{q_S} \quad [m^3/h] \quad (91)$$

$L_V$  = capacidad de transporte de la banda (t/h)

$q_S$  = peso específico del material. (ton/m<sup>3</sup>)

$$L_M = \frac{5}{2.6} = 1,92 \text{ m}^3/h$$

Redefiniendo con la velocidad de la banda

$$L_{VT} = \frac{L_M}{v} \quad [m^3/h] \quad (92)$$

$$L_{VT} = \frac{1,92}{1,65} = 1.2 \text{ m}^3/h$$

Redefiniendo el ancho de la banda debido a que la capacidad que esta presenta está muy elevada con respecto a los requerimientos prácticos.

- **Capacidad de transporte volumétrica corregida.**

$$L_{VM} = L_{VT} * K * K_1 \quad (93)$$

$L_{VM}$  = Capacidad de transporte volumétrica corregida en relación con la inclinación y con la irregularidad de alimentación en  $m^3/h$  con  $v = 1$  m/s

$L_{VT}$  = Capacidad de transporte teórica en volumen para  $v = 1$  m/s

$K$  = Factor de inclinación

$K_1$  = Factor de corrección debido a la irregularidad de alimentación

El valor de  $K$  fue obtenido de la figura 23, para un ángulo de inclinación de  $20^\circ$ , y el valor de  $K_1$  fue tomado de la tabla 9 para un tipo de alimentación poco regular.

$$K = 0,82$$

$$K_1 = 0,95$$

$$L_{VM} = 0,935 \text{ m}^3/h$$

Capacidad de transporte volumétrica efectiva a la velocidad deseada.

$$L_M = L_{VM} * v \quad (94)$$

$$L_M = 1,542 \text{ m}^3/h$$

Para la aplicación de la banda transportadora, se debe cumplir la relación que existe entre el ancho de la banda y el tamaño máximo del material

Ancho de la banda  $> 2.5$  tamaño de alimentación.

El cual si se cumple para este diseño.

- **Cantidad de material por metro lineal.**

$$q_G = \frac{Lv}{0,36*v} \quad [kg/m] \quad (95)$$

$Lv$  = Capacidad de transporte de la banda (ton/h).

$V$  = Velocidad de la banda (m/s)

$$q_G = \frac{1,5}{0,36 * 1,65} = 2,5 \quad [kg/m]$$

- **Configuración de las estaciones, paso y distancias de transición.**

Para la banda se seleccionara el paso:

$$a_0 = 90 \text{ cm}$$

$$a_i = 30 \text{ cm}$$

$$a_u = 3 \text{ m}$$

- **Distancia de transición  $L_t$ .**

Para bandas cortas la distancia de transición puede ser considerada hasta la primera estación de rodillos, variando la inclinación de estos entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$ .

- **Esfuerzo tangencial, potencia motriz, resistencias pasivas, peso de la banda, tensiones y controles.**

El esfuerzo tangencial en la periferia del tambor motriz está dado por:

$$F_u = (L * C_q * C_t * f * (2 * q_b + q_c + q_{RU} + q_{RO}) \pm (Q_G * H)) * 9,81 \quad \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (96)$$

$L$  = Distancia entre ejes del transportador (m).

$$L = 6 \text{ m}$$

$C_q$  = Coeficiente de las resistencias fijas (accesorios banda).

$$C_q = 4,5$$

$C_t$  = Coeficiente resistencias pasivas.

$$C_t = 1$$

$f$  = Coeficiente de rozamiento interior de las partes giratorias (estaciones).

$$f = 0,025$$

$q_b$  = Peso de la banda por metro lineal en Kg/m

Con una carga de ruptura de 200 N/mm<sup>2</sup> se tiene un peso de 2 kg/m<sup>2</sup>

$$q_b = 0,6 \text{ kg/m}$$

$q_G$  = Peso material transportado por metro lineal Kg/m

$$q_G = 2,5 \text{ kg/m}$$

$q_{RU}$  = Peso partes giratorias inferiores, en Kg/m.

Se tiene un peso de 2,6 kg para cada estación inferior

$$q_{RU} = \frac{P_{pri}}{a_u} = \frac{2,6}{3} = 0,87 \text{ kg/m} \quad (97)$$

$P_{pri}$  = peso de las partes giratorias inferiores

$a_u$  = paso estaciones de retorno

$q_{RO}$  = Peso partes giratorias superiores, Kg/m.

Se tiene un peso de 3,4 kg para cada estación superior

$$q_{RO} = \frac{P_{prs}}{a_o} = \frac{3,4}{0,9} = 3,78 \text{ kg/m} \quad (98)$$

$P_{prs}$  = peso de las partes giratorias superiores.

$a_o$  = paso estaciones de ida.

$H$  = Desnivel de la cinta transportadora

$$H = 2 \text{ m}$$

$$F_u = (6 * 4,5 * 1 * 0,025 * (2 * 0,6 + 2,5 + 0,87 + 3,78) \pm (2,5 * 2)) * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$F_u = 104,34 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

- **Potencia motriz.**

$$P = \frac{F_u * v}{100 * \eta} [kW] \quad (99)$$

$$P = \frac{104,34 * 1,65}{100 * 0,8} = 2,2 kW \approx 3 hp$$

- **Tensión de la banda.**

$$T_1 = F_u + T_2 \quad (100)$$

$$T_2 = F_u * C_w \quad (101)$$

$C_w$ : Factor de abrazamiento de la banda

El valor de  $C_w$  se obtiene en función del ángulo de abrazamiento (1,20).

$$T_2 = 104,34 * 1,20 = 125,21 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$T_1 = 104,34 + 125,21 = 229,55 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$F_r = (L * C_q * C_t * f * (q_b + q_{Ru}) \pm (q_b * H)) * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (102)$$

$F_r$  = esfuerzo tangencial para mover la banda en cada uno de los tramos de retorno

$$F_r = [(6 * 4,5 * 1 * 0,025 * (0,6 + 0,87) + (0,6 * 2)) * 9,81 = 21,5 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$T_3 = T_2 + F_r \quad (103)$$

$$T_3 = 146,7 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$



Tensión  $T_0$ :

$$T_0 = 6,25 * (q_b + q_G) * a_0 * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (104)$$

$$T_0 = 171,1 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$T_1$ , Tensión unitaria en el punto:

$$T_{max} = 229,55 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$T_{Umax} = \frac{T_{max} * 10}{N} \left[ \frac{N}{mm} \right] \quad (105)$$

$$T_{Umax} = 7,65 \left[ \frac{N}{mm} \right]$$

La carga de ruptura de la banda se calcula multiplicando la tensión máxima por un factor de 10 para bandas reforzadas con elementos textiles, para este caso si cumple para este diseño.

• **Selección del diámetro de los rodillos en relación a la velocidad:** Tomando como referencia un diámetro de los rodillos de 89 mm, tomado de la tabla de fabricantes y teniendo en cuenta el ancho de la banda, se obtiene la velocidad de estos con la siguiente relación.

$$n = \frac{v * 1000 * 60}{D * \pi} [rpm] \quad (106)$$

$$n = 354,1 [rpm]$$

• **Selección en relación con la carga:** Carga estática en las estaciones de ida:

$$C_e = a_0 * \left( q_b + \frac{l_v}{3,6 * v} \right) * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (107)$$

$$C_e = 0,9 * \left( 0,72 + \frac{1,5}{3,6 * 1,65} \right) * 9,81 = 8,6 \frac{N}{mm^2}$$

La carga dinámica sobre los rodillos se obtiene utilizando los siguientes factores de funcionamiento:

$$C_d = C_e * F_d * F_s * F_m \quad (108)$$

$F_d$ : Factor de choque.

$F_s$ : Factor de servicio.

$F_m$ : Factor ambiental.

$$C_d = 8,6 * 1 * 1,2 * 1,1 = 11,35 \frac{N}{mm^2}$$

Para obtener la carga del rodillo sometido a mayor esfuerzo se aplica la siguiente relación:

$$C_{d1} = C_d * F_p \quad (109)$$

$F_p$ : Factor de participación.

$$C_{d1} = 11,35 * 0,5 = 5,68 \frac{N}{mm^2}$$

Al no estar presente el material en las estaciones de retorno la carga estática se obtiene mediante la siguiente relación:

$$C_r = a_u * q_b * 9,81 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (110)$$

$$C_r = 3 * 0,72 * 9,81 = 21,2 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

La carga dinámica en la estación de retorno será:

$$C_{dr} = C_r * F_s * F_m * F_v \quad (111)$$

$F_v$ : Factor de velocidad.

$$C_{dr} = 21,2 * 1,2 * 1,1 * 0,995 = 30,37 \frac{N}{mm^2}$$

Esta será la carga a la cual está sometido cada rodillo de retorno

Del catálogo de fabricantes verificamos la elección del rodillo en cuanto a la capacidad de carga:

Rodillos portantes de ida tipo PSV1 de 89 mm de diámetro, capacidad de carga de  $153 N/mm^2$ , longitud de 208 mm y rodamientos 6204 cumple con las condiciones requeridas.

Rodillos de retorno tipo PSV1 de 89 mm de diámetro, capacidad de carga de 153  $N/mm^2$ , longitud de 388 mm y rodamientos 6204 cumple con las condiciones requeridas.

• **Diámetro de los tambores.** Para la carga de ruptura seleccionada anteriormente de la figura 20 se tiene:

- Diámetro del tambor motriz: 200 mm
- Contratambor: 160 mm

### **Tratamiento de los residuos.**

Esta planta se basa en la producción más limpia, con el fin de mejorar las condiciones técnicas, ambientales y sociales; se debe emprender programas y proyectos con el fin de evitar el vertimiento y las emisiones, para determinar las consecuencias del uso de mercurio y el cianuro en la minería del oro en el ambiente y la población, así como mejorar la productividad.

Objetivos de la producción más limpia.

- Aumentar la eficiencia operativa de los equipos y hacer uso racional de la energía.
- Prevenir, evitar, corregir y mitigar cargas contaminantes y disminuir riesgos.
- Minimizar costos y lograr el máximo beneficio económico del material extraído mediante optimización del proceso.
- Optimizar los recursos naturales y las materias primas, minimizando o eliminando residuos o aprovechando estos para crear subproductos.
- Involucrar a la comunidad para mejorar las condiciones de seguridad industrial y salud laboral.
- Mejorar la calidad de los productos y de la imagen de la empresa ante clientes, proveedores, socios, comunidad, entidades financieras y otras partes interesadas.

Dado que la explotación minera, requiere en gran medida del recurso hídrico para su desarrollo; este recurso será tomado de una fuente (quebrada), que pasa cerca

de la planta. Las fuentes hídricas son de vital importancia para todos los seres vivos de nuestro planeta, por esta razón, no las debemos contaminar con los residuos de este proceso; para este proyecto se utilizarán tanques de flotación para realizar un tratamiento de los residuos presentes en el agua, los cuales se decantarán en los tanques, permitiendo que el agua pueda ser nuevamente recirculada por medio de una bomba hacia el proceso, con la finalidad de ahorrarla y no contaminarla.

#### 4.1.3. Trituración primaria.

- **Trituradora de mandíbulas:** En la trituración primaria o reducción de tamaño del mineral, se selecciona una trituradora de mandíbulas de simple efecto. Se tiene en cuenta para la selección de la trituradora la capacidad de producción proyectada para la planta de beneficio, la cual será de 60 ton / día.

Se elige la trituradora de mandíbulas debido a la reducción de costos de montaje, es económica con respecto a las otras máquinas, además la trituradora de mandíbulas es una máquina de muy fácil mantenimiento y de buen rendimiento y eficiencia en la primera etapa de reducción de tamaño.

#### Dimensionamiento de la trituradora de mandíbula.

- **$D_{MAX}$ . y boca de alimentación.**

$$D_{MAX} = (0.8 - 0.85)A \quad (112)$$

Relación entre el largo y ancho de la boca de alimentación:

$$L = (1.5 - 2)A \quad (113)$$

Teniendo en cuenta un tamaño máximo de entrada de mineral de 6 pulg de diámetro se tiene que:

$$A = \frac{D_{MAX}}{0.825} \quad (114)$$

$$D_{MAX} = 15.24 \text{ cm}$$

$$A = 18,47 \text{ cm}$$

Tomando como referencia

Se tiene:  $L = 1.6 A$  (115)

$$L = 29,5 \text{ cm}$$

• **Capacidad y reglaje.**

S = Boca de salida en posición cerrada.

t = recorrido.

r = reglaje

$$r = s + t$$
 (116)

A debe estar en (m).

$$t = 0,06 * A^{0.85}$$
 (117)

$$t = 0,7 \text{ cm}$$

Abertura de descarga mínima:

$$s = 2,54 \text{ cm}$$

$$r = 3,24 \text{ cm}$$

• **Capacidad de la trituradora.**

$$T = f * \rho_a * w * r * t * n * a * u$$
 (118)

T: capacidad de la maquina (Ton/h).

f: coeficiente obtenido de la siguiente tabla.

**Tabla 7. Valor de la constante f.**

Naturaleza de la alimentación	Mandíbulas lisas	Mandíbulas acanaladas
Con sus finos normales	0,000144	0,000106
Finos eliminados	0,000126	0,000088
Cribado cuidadosamente	0,000108	0,000072
<b>Fuente: Tema 3, operaciones de preparación. Reducción de tamaño-trituración.</b>		

La alimentación se lleva a cabo con sus finos normales, y teniendo en cuenta que son mandíbulas acanaladas se tiene que:

$$f = 0,000106$$

$\rho_a$ : Densidad aparente, se toma  $0,6\rho_r$  (densidad real).

$$\rho_r = 2,600 \text{ ton/m}^3$$

$$\rho_a = 1,560 \text{ ton/m}^3$$

w: Ancho de la cámara de trituración (cm).

$$w = 29,5 \text{ cm}$$

r: Reglaje.

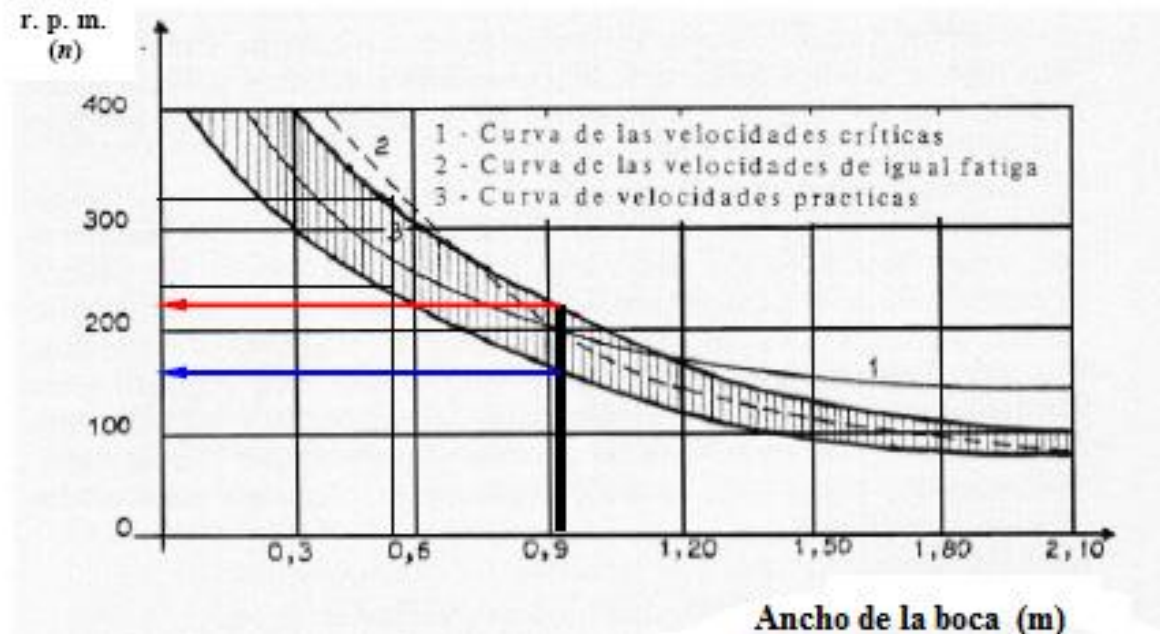
$$r = 3,24 \text{ cm}$$

t: Recorrido

$$t = 0,7 \text{ cm}$$

n = Número de oscilaciones por minuto. Su valor depende del ancho de la boca de alimentación y se halla por medio de gráficas.

**Figura 44. Valor de n (r. p. m.) (Blanc, 1975).**



**Fuente. Tema 4, operaciones de preparación. Molienda I. (ETSIM, 1969).**

Ancho de la boca de alimentación 0.295 m.

Para el número de rpm necesarias tenemos un rango de operación de 300 a 400 rpm.

$$n = 310 \text{ rpm}$$

$a$  = Coeficiente que depende del ángulo que forman las mandíbulas en posición cerrada.

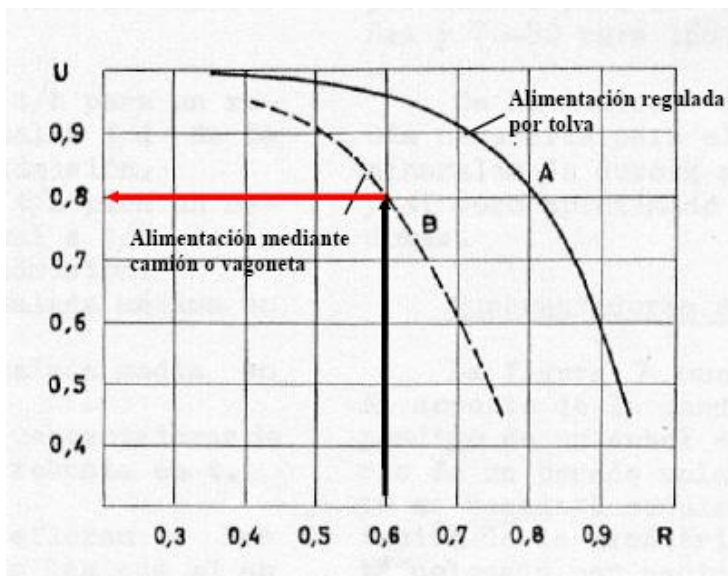
$$a = 1 + 0,03 * (26 - \alpha) \quad (119)$$

$\alpha$  = Angulo q forman las mandíbulas en la entrada, en posición cerradas.

$$a = 1 + 0,03 * (26 - 20) = 1.18$$

$u$  = Coeficiente de utilización.

**Figura 45. Coeficiente de utilización.**



**Fuente. Tema 4, operaciones de preparación. Molienda I. (ETSIM, 1969).**

$$R = D_{MAX} / A$$

$$R = 0,825$$

Teniendo en cuenta que es alimentación regulada por tolva.

$$u = 0,75$$

$$T = 3,03 \text{ ton/h}$$

- **Potencia requerida:** La potencia requerida para el proceso de trituración se calcula por la siguiente expresión propuesta por Bond.

$$P = K * W_i * \frac{Q}{\Omega} \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \quad (120)$$

P = Potencia requerida.

$W_i$  = Índice de Bond (kW-h/ton).

Q = Capacidad de trituración.

$\Omega$  = Eficiencia mecánica.

$P_{80}$  = Dimensiones de salida del material.

$F_{80}$  = Dimensiones de alimentación del material.

K para el proceso de trituración equivale a  $13,33 \mu\text{m}^{0.5}$

El  $W_i$  recomendado por Bond para un proceso de trituración de hasta 4 ton/h, es de 35 kW-h/ton

La eficiencia mecánica se asume un valor entre 0,8 y 0,9.

Las dimensiones de salida y alimentación del material deben estar en micras

$$P_a = 13,33 * 35 * \frac{1.25}{0,8} \left( \frac{1}{\sqrt{25400}} - \frac{1}{\sqrt{152400}} \right) = 2,71 \text{ kW}$$

La potencia del motor o potencia útil es:

$$P_m = 2 * P_a \quad (121)$$

$$P_m = 5,41 \text{ kW} = 7,26 \text{ hp}$$

**Tabla 8. Datos técnicos de la trituradora.**

TRITURADORA					
$D_{80}$	$d_{80}$	Potencia	GAPE	CAPACIDAD	TIPO
152400 $\mu\text{m}$	25400 $\mu\text{m}$	7,5 HP	190 x 300 mm	3 ton/h	Mandíbulas
<b>Fuente. Los autores</b>					



#### 4.1.4. Trituración secundaria.

Para la operación de trituración secundaria se selecciona una trituradora de impacto, para obtener el tamaño de partícula óptimo para la molienda, esta se selecciona porque es un equipo de los cuales lleva la partícula a menor tamaño que otro tipo de trituradora, obteniendo así el tamaño óptimo de la partícula para la molienda

• **Dimensionamiento de la trituradora de impacto:** Parámetros de selección para la trituradora utilizada en la segunda etapa de este proceso.

- $D_{max}$ . y Diámetro del Rotor.
- Capacidad y Reglaje.
- Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.
- Potencia absorbida y Potencia motor.

•  $D_{max}$ . y Diámetro del Rotor:

$$0,35\phi_{rotor} \approx D_{max}. \quad (122)$$

Para el tamaño de entrada del mineral de 1 pulg. Se tiene:

$$\phi_{rotor} \approx \frac{D_{max}}{0,35} \quad (123)$$

$$\phi_{rotor} \approx 2,85 \text{ pulg}$$

Diámetro comercial del rotor 3 pulg.

• **Capacidad y reglaje:** En estos equipos la capacidad depende de las propiedades físicas de los minerales, por lo tanto no hay fórmulas para su cálculo.

En este tipo de equipos el **Reglaje** es la distancia mínima entre el extremo del percutor o barrote y las placas de impactos.

La eficiencia, o el porcentaje de paso están estimados según Nordberg entre 50 y 80%.

• **Potencia absorbida:** Según la ecuación de bond, la potencia absorbida está dada por:

$$P_a = 10 * w_i * \frac{1}{0,907} * \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) * Q \quad (124)$$

Donde Q es la capacidad de la trituradora.

Teniendo en cuenta la capacidad de proceso de 2,5 ton/h. y el tamaño producido de 1/8 pulg.

$$P_a = 10 * 35 * \frac{1}{0,907} * \left( \frac{1}{\sqrt{4500}} - \frac{1}{\sqrt{25400}} \right) * 2.5$$

$$P_a = 7,55 \text{ Kw} \approx 10 \text{ hp}$$

La potencia del motor que se requiere para la trituradora es:

$$P_m = 1.5 * P_a \approx 15 \text{ hp} \quad (125)$$

• **Calculo de la altura de alimentación de la trituradora de martillos:** La altura de alimentación ideal (H) es aquella para la cual los fragmentos consiguen penetrar hasta media altura (R) de la cara activa de los martillos o percutores, esta altura se calcula con el fin de que el fragmento de roca penetre entre dos percutores y así impedir que llegue al rotor para evitar su desgaste.

Los parámetros de cálculo son:

R = Penetración ideal = ½ altura del percutor.

D = Diámetro exterior de la trayectoria del percutor.

n = r.p.m.

t = Tiempo transcurrido entre el paso de dos percutores consecutivos.

S = Separación entre percutores.

E = Ancho del martillo o percutor.

Estos datos se obtienen de las tablas de los fabricantes.

**Figura 46. Datos técnicos de la trituradora de martillos.**

Producto	Spec.	Tamaño de alimentación (mm)	Tamaño de la descarga (mm)	Capacidad (m <sup>3</sup> /h)	No. de polos del Motor (kW)		Peso (t)	Dimensiones(L×W×H) (mm)
Trituradora de martillos	PCΦ400×300	≤200	≤25	5-10	4	11	0.8	900×670×860
	PCΦ600×400	≤250	≤30	10-22	4	22	1.5	1200×1050×1200
	PCΦ800×600	≤250	≤25	18-40	4	55	3.2	1310×1180×1310
	PCΦ1000×800	≤350	≤35	25-50	4	75	4.3	1600×1390×1575
	PCΦ1000×1000	≤300	≤35	30-55	6	132	8	1800×1590×1775
	PCΦ1250×1250	≤350	≤35	35-65	6	180	14	2060×1600×1890
	PCΦ1400×1400	≤350	≤35	50-100	6	280	32	2365×1870×2220
	PCΦ1600×1600	≤350	≤35	100-150	8	480	37.5	3050×2850×2800

**Fuente: Según los datos calculados la trituradora a seleccionar es la PCΦ400×300.**

#### 4.1.5. Molienda primaria.

Se selecciona un molino de bolas ya que es uno de los elementos más comunes en este proceso, y debido a su fácil y económico mantenimiento.

- **Diámetro y longitud:**

$$L = 2 * D \quad (126)$$

Si se toma como referencia un diámetro máximo del molino de 0,8 m se obtiene como resultado:

$$L = 1.6 \text{ m}$$

- **Velocidad del molino:**

$$V_C = \frac{42,3}{\sqrt{D_M}} \quad (127)$$

$$V_C = 47,3 \text{ rev/min}$$

Donde

$D_M =$  *Diámetro interno del molino medido entre los revestimientos interno*

$V_C$  = Velocidad crítica

- **Velocidad optima de giro.**

$$N_{opt} = 36,4 - 40 \log D \quad (128)$$

$$N_{opt} = 40,28 \text{ rev/min}$$

- **Fracción optima de velocidad.**

$$f_{copt} = \sqrt{D} * (0,86 - 0,95 * \log D) \quad (129)$$

$$f_{copt} = 0,8515$$

- **Velocidad de trabajo.**

$$N_{trabajo} = N_{optima} * f_{copt} \quad (130)$$

$$N_{trabajo} = 34,3 \text{ rev/min}$$

- **Volumen de carga.**

$$V.C (\%) = 113 - 126 * \frac{H_C}{D_M} \quad (131)$$

$H_C$  = Distancia interior máxima entre la parte superior del revestimiento y la parte superior de la carga en reposo. (0,45)

$$V.C (\%) = 42,125$$

- **Tamaño de alimentación.**

$$D_{80} = 4000 * \sqrt{\frac{13}{w_i}} \quad (132)$$

$D_{80}$  = Abertura de la malla por la que pasa el 80 % de la alimentación, en micras.

$w_i$  = Índice de Bond; kWh/ton

$$D_{80} = 1485,7143 \mu\text{m}$$

• **Distribución del tamaño de la bola.**

$$CB = \frac{V \cdot \rho \cdot 0,2044}{1000} \quad (133)$$

Donde

$CB$  = carga de bolas (kg)

$V$  = volumen del molino ( $cm^3$ )

$\rho$  = densidad del material de las bolas (para las bolas de acero  $7,85 \text{ g/cm}^3$ )

$$V = 804247,72 \text{ cm}^3$$

$$CB = 1290,45 \text{ kg}$$

$$D_{bola} = \left( \sqrt{\frac{D_{80}}{K}} * \sqrt[3]{\frac{w_i * S_g}{\%C_s * D_M^{0,5}}} \right) * 25,4 \quad (134)$$

$D_{bola}$  = Diámetro máximo de las bolas (mm).

$D_{80}$  = Dimensión de la abertura de malla para un 80 % de paso de la alimentación ( $\mu\text{m}$ ).

$w_i$  = Índice de Bond (kWh/t).

$S_g$  = Peso específico del mineral ( $\text{g/cm}^3$ ).

$C_s$  = Porcentaje de la velocidad crítica.

$D_M$  = Diámetro interior del molino en pie

$K$  = Coeficiente que viene dado en la tabla siguiente.

$$D_{bola} = \left( \sqrt{\frac{12700}{350}} * \sqrt[3]{\frac{16,325 * 2,6}{85,15 * 2,625^{0,5}}} \right) \quad (135)$$

$$D_{bola} = 4,07 \text{ pulg.}$$

Hallando el tamaño máximo de bola se obtiene la distribución de carga de la tabla 5, donde se encuentra el porcentaje de carga para cada tamaño máximo de bola.

- **Potencia útil del molino.**

$$P = M_C \left( 4,879 * D_M^{0,3} (3,2 - 3 * V_p) * C_S * \left( 1 - \frac{0,1}{2^{9-10 * C_S}} \right) \right) + S_S \quad (136)$$

P= Potencia del molino (kW.)

Mc = Peso de la carga de bolas (ton.).

DM = Diámetro interior entre revestimiento (m.).

Vp = Volumen de carga ocupado por las bolas (%).

Cs = Porcentaje de la velocidad crítica.

Ss = Factor de tamaño de las bolas (kW/ton. bolas).

El factor de tamaño de las bolas se calcula para los molinos con un diámetro mayor a 3,3 m entre los revestimientos, para este caso que el diámetro interno es menor a este valor, se omite este factor.

$$P = 1,29 \left( 4,879 * 0,78^{0,3} (3,2 - 3 * 0,42125) * 0,8515 * \left( 1 - \frac{0,1}{2^{9-10 * 0,8515}} \right) \right)$$

$$P = 8,95 \text{ kw}$$

$$P = 12 \text{ hp}$$

#### 4.1.6. Molienda secundaria.

Se requiere un molino de bolas con las características siguientes:

- **Diámetro y longitud.**

Tomando como referencia un diámetro máximo del molino de 0,7 m se obtiene como resultado:

$$L = 2,5 * D \quad (137)$$

$$L = 1.75 \text{ m}$$

- **Velocidad del molino.**

$$V_C = \frac{42,3}{\sqrt{D_M}} \quad (138)$$

$$V_C = 50,56 \text{ rev/min}$$

Donde

$D_M$  = *Diametro interno del molino medido entre los revestimientos interno*

$V_C$  = Velocidad critica

- **Velocidad optima de giro.**

$$N_{opt} = 36,4 - 40 \log D \quad (139)$$

$$N_{opt} = 42,6 \text{ rev/min}$$

- **Fracción optima de velocidad.**

$$f_{Copt} = \sqrt{D} * (0,86 - 0,95 * \log D) \quad (140)$$

$$f_{Copt} = 0,8426$$

- **Velocidad de trabajo.**

$$N_{trabajo} = N_{optima} * f_{Copt} \quad (141)$$

$$N_{trabajo} = 35,9 \text{ rev/min}$$

- **Volumen de carga.**

$$V.C (\%) = 113 - 126 * \frac{H_C}{D_M} \quad (142)$$

$H_C$  = Distancia interior máxima entre la parte superior del revestimiento y la parte superior de la carga en reposo. (0,38)

$$V.C (\%) = 44,6$$

- **Distribución del tamaño de la bola:** Para la segunda etapa de molienda se realiza una nueva distribución de tamaño de bolas debido a que el tamaño de alimentación del molino es mucho más pequeño.

$$CB = \frac{V * \rho * 0,2044}{1000} \quad (143)$$

Donde

$CB$  = carga de bolas (kg)

$V$  = volumen del molino ( $cm^3$ )

$\rho$  = densidad del material de las bolas (para las bolas de acero  $7,85 \text{ g/cm}^3$ )

$$V = 673478,93 \text{ cm}^3$$

$$CB = 1080,62 \text{ kg}$$

- **Diámetro máximo de bola.**

$$D_{bola} = \left( \sqrt{\frac{D_{80}}{K}} * \sqrt[3]{\frac{w_i * S_g}{\%C_s * D_M^{0,5}}} \right) \quad (144)$$

Para molienda fina se considera un índice operacional  $w_i$  un valor entre 25 y 35 kwh/ton

$$D_{bola} = \left( \sqrt{\frac{500}{350}} * \sqrt[3]{\frac{30 * 2,6}{84,26 * 2,296^{0,5}}} \right)$$

$$D_{bola} = 1,014 \text{ pulg.}$$

Según los valores de la tabla 7 se halla la distribución del tamaño de las bolas, considerando bolas de 1,5" y 1" para la distribución.

- **Potencia útil del molino.**

$$P = M_C \left( 4,879 * D_M^{0,3} (3,2 - 3 * V_p) * C_S * \left( 1 - \frac{0,1}{2^{9-10 * C_S}} \right) \right) \quad (145)$$

$P$  = Potencia del molino (kW.)

$M_C$  = Peso de la carga de bolas (ton.).



DM = Diámetro interior entre revestimiento (m.).

Vp = Volumen de carga ocupado por las bolas (%).

Cs = Porcentaje de la velocidad crítica.

Ss = Factor de tamaño de las bolas (kW/ton. bolas).

El factor de tamaño de las bolas se calcula para los molinos con un diámetro mayor a 3,3 m entre los revestimientos, para este caso que el diámetro interno es menor a este valor, se omite este factor.

$$P = 1,08 \left( 4,879 * 0,7^{0,3} (3,2 - 3 * 0,446) * 0,8426 * \left( 1 - \frac{0,1}{2^{9-10*0,8426}} \right) \right)$$

$$P = 6,93 \text{ kw}$$

$$P = 9,3 \text{ hp}$$

#### 4.1.7. Concentración gravimétrica.

Para esta etapa se selecciona un hidrociclón, se debe tener en cuenta las siguientes características.

• **Selección del hidrociclón.** Los parámetros de selección del hidrociclón se definirán a continuación:

$$D_{50c}(\text{aplicacion}) = D_{50c}(\text{base}) * C_1 * C_2 * C_3 \quad (146)$$

$D_{50c}(\text{base})$  = Tamaño en micrones que un ciclón estándar puede alcanzar operando bajo las condiciones base.

$$D_{50c}(\text{base}) = 2,84 * D^{0,66} \quad (147)$$

Para la selección del hidrociclón se tendrá en cuenta para el circuito de molienda donde el alimento del molino es de 2,5 ton/h, teniendo en cuenta un overflow de 60%, la granulometría del alimento del hidrociclón es de un valor máximo de malla 200 (74  $\mu\text{m}$ ), con un mínimo de sólidos en la pulpa del 40%, el underflow retorna al molino de bolas secundario

Tonelaje seco:  $M_S = 2500 \text{ Kg/h}$

Porcentaje de Sólidos:  $P_S = 45\%$

Densidad de Sólidos:  $\rho_S = 2,5 \text{ g/cm}^3$

Tonelaje de Pulpa:  $M_{P=} = 100 * M_S / P_S = 5555,5 \text{ Kg/h}$

Caudal de Agua:  $M_W = M_P - M_S = 3055,5 \text{ l/h}$

Caudal de Pulpa:  $Q_p = \frac{M_S}{\rho_S} + M_W = 4055,5 \text{ l/h}$

% Sólidos en Volumen:  $\%S_V = \left(\frac{M_S}{\rho_S}\right) / Q_p * 100 = 24,65 \%$

Densidad de Pulpa:  $\rho_P = \frac{M_P}{Q_p} = 1,37 \text{ g/cm}^3$

Teniendo en cuenta un 60% en el rebose, a una malla 200, de la tabla de Krlrebs .  
Se halla el siguiente valor:

Factor: 2,08

#### Cuadro 1. Factor de tamaño.

% PASSING del rebose de un tamaño dado	Factor
98,8	0,54
95	0,73
90	0,91
80	1,25
70	1,67
60	2,08
50	20,78

**Fuente. Tema 4, operaciones de preparación. Molienda I. (ETSIM, 1969)**

Tamaño en micrones del mineral= 74 (malla 200)

$$D_{50c}(\text{aplicacion}) = 2,08 * 74 = 153,9 \mu\text{m} \quad (148)$$

Factores de corrección.

$$C_1 = \left(\frac{53-V}{53}\right)^{-1,43} \quad (149)$$

$$V = \frac{0,2465 \text{ ton solidos} * 1,37 \text{ ton pulpa} * m^3 \text{ pulpa}}{\text{ton pulpa} * m^3 \text{ pulpa} * 2,5 \text{ ton solucion}} = 13,50 \% \quad (150)$$

$$C_1 = 1,001$$

$$C_2 = 3,72 * \Delta P^{-0,28} - 0,2 \quad (151)$$

Considerando una caída de presión de 50 Kpa.

$$C_2 = 1,04$$

$$C_3 = \left(\frac{1,65}{G_S - G_L}\right)^{0,5} \quad (152)$$

$$G_S = 2,6$$

$$G_L = 1$$

$$C_3 = 1,01$$

De la siguiente ecuación se halla:  $D_{50c}(base)$

$$D_{50c}(aplicacion) = D_{50c}(base) * C_1 * C_2 * C_3 \quad (153)$$

$$D_{50c}(base) = 146 \mu m$$

$$D_{50c}(base) = 2,84 * D^{0,66} \quad (154)$$

$$D = 39,12 \text{ cm}$$

El diámetro del ciclón es de 15,4 pul. Se puede aproximar a un diámetro comercial de 38 cm.

Los demás parámetros de selección se deben al flujo del proceso.

#### 4.1.8. Flotación de minerales.

Para la flotación se obtienen 2 bancos de celdas con las siguientes características.

Los parámetros que se tienen en cuenta en la selección son:

$$\% \text{ solidos: } P_s = 30 \%$$

Tonelaje seco:  $M_s = 750 \text{ kg/h}$

Tonelaje de pulpa:  $M_p = M_s/P_s = 2500 \text{ kg/h}$

Caudal de agua:  $M_w = M_p - M_s = 1750 \text{ l/h}$

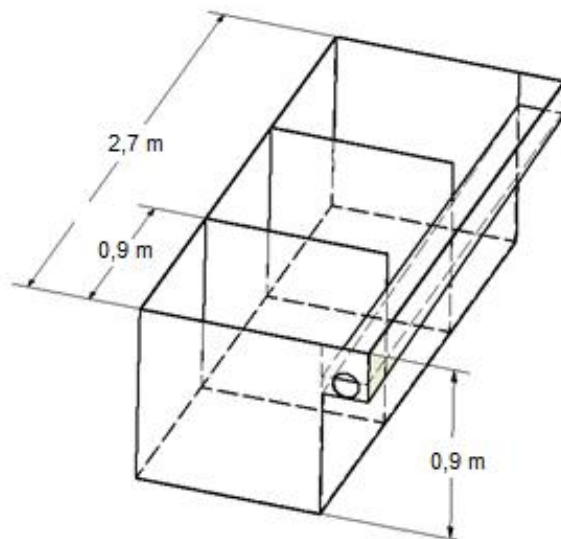
Densidad de solidos:  $\rho_s = 3,33 \text{ g/cm}^3$

Caudal de pulpa:  $Q_p = M_s/\rho_s + M_w = 1975,23 \text{ l/h}$

Densidad de pulpa:  $\rho_p = M_p/Q_p = 1,27 \text{ g/cm}^3$

Se seleccionaran dos bancos de 3 celdas de flotación de  $0,7 \text{ m}^3$  cada una para así aumentar el tiempo de residencia de la partícula en el proceso.

**Figura 47. Celdas de flotación.**



**Fuente: Los autores.**

#### **4.1.9. Circuito de cianuración.**

Los tanques de cianuración se obtienen mediante el diseño y construcción, teniendo en cuenta los siguientes parámetros.

Diámetro del tanque: 2 m

Altura del tanque: 3,5 m

Ancho del baffle:

$$A_{baffle} = D/12 = 0,17 \text{ m}$$

Diámetro del impulsor,  $d_i = D/2 = 1 \text{ m}$

Ancho del agitador,  $w = T/5 = 0,4 \text{ m}$

Largo del aspa,  $L = T/4 = 0,5 \text{ m}$

Altura del impulsor al fondo del tanque,  $C = D/6 = 0,33 \text{ m}$

- **Potencia del impulsor.**

$$N_p = \frac{P}{\rho_L * N^3 * d_i^5} \quad (155)$$

P= potencia transferida al fluido por parte del impulsor.

$\rho_L$ = densidad del líquido.

N = revoluciones por segundo.

$d_i$ = diámetro del impulsor.

Teniendo en cuenta un número de potencia constante e igual a 5,5 para este tipo de impulsores se obtiene:

$$P = N_p * \rho_L * N^3 * d_i^5 \quad (156)$$

Para este régimen de turbulencia se maneja una velocidad entre 200 y 300 rpm, lo cual garantiza la eficiencia del proceso.

$$P = 5,5 * 3,3 * 10,5^3 * 1^5 = 16 \text{ kw}$$

$$P = 21,3 \text{ hp}$$

- **Espesor de la lámina de acero (t).**

$$t = \frac{0,005 * D * (H - 30,48) * G}{Sd} + CA \quad (157)$$

D: diámetro del tanque. (200 cm)

H: altura del líquido en el tanque. (300 cm)

G: densidad relativa ( $3,3 \text{ kg/cm}^3$ )

Sd: esfuerzo de diseño. ( $1580 \text{ kg/cm}^2$ )

CA: Espesor por corrosión.

$$t = \frac{0,005 * 200 * (300 - 30,48) * 3,3}{1580} + 0,16 = 0,7 \text{ cm}$$

Especificaciones del circuito de cianuración:

Volumen del tanque:  $11 \text{ m}^3$

Número de Baffles: 2

Composición de la pulpa: al 45% en sólidos y con densidad de concentrados de  $3,3 \text{ ton/m}^3 = 1.6 \text{ m}^3$  de mineral por 2 de agua.

Potencia de cada Motor = 20 HP

Velocidad del agitador: 300 rpm

## **5. PLAN DE MANTENIMIENTO**

Los planes de mantenimiento buscan conservar una línea de producción en condiciones óptimas de trabajo, el mantenimiento se considera que va entrelazado con la producción debido a que, según el estado de las máquinas que componen la línea de producción así mismo será la cantidad de producto elaborado.

La causa de esto es que el mantenimiento reduce las fallas y por ende las paradas intempestivas del proceso.

Los principales objetivos del mantenimiento son: bajar los costos de producción, reducir las paradas intempestivas, mejorar la calidad del producto, planear las actividades, hacer el proceso más seguro, respetar el medio ambiente y prolongar la vida útil de la maquinaria.

### **5.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO**

#### **5.1.1. Mantenimiento correctivo (CM = Corrective Maintenance).**

En el mantenimiento correctivo se espera que ocurra la falla para luego corregirla, esto provoca que la línea de producción se detenga, reduciendo así la calidad del producto, la cantidad de producción esperada, riesgo de la salud del trabajador y posibles efectos sobre el medio ambiente.

Este tipo de mantenimiento es también llamado “a la falla”.

#### **5.1.2. Mantenimiento programado.**

Este tipo de mantenimiento se basa en la programación de una parada general del proceso, por lo general esta parada se realiza una vez al año, llevando a cabo una revisión detallada de cada equipo, lavada, lubricación, detectando así las posibles fallas en gestación.

Una de las fallas de este proceso es que se puede armar equivocadamente la maquinaria, o se generen aprietes diferentes a los de fábrica.

### **5.1.3. Mantenimiento preventivo (PM = Preventive Maintenance).**

El mantenimiento preventivo, como su nombre lo dice previene la falla evitando así daños mayores en los equipos, ha sido uno de los sistemas de mantenimiento más utilizados, se basa en la estadística, observación y recomendaciones del fabricante.

La implementación de un plan de mantenimiento constituye la programación de las actividades en el tiempo, la redacción de los instructivos para llevarlas a cabo, la asignación de las personas que las ejecutarán, la evaluación de los costos de todo este trabajo, etc.

### **5.1.4. Mantenimiento predictivo (PdM = Predictive Maintenance).**

El mantenimiento predictivo se diferencia de los demás porque este se trabaja como una ciencia basada en los síntomas que se pueden presentar en la maquinaria los cuales pueden ser, aumentos de temperatura, vibraciones entre otros, siendo analizados mediante análisis termográficos y detectores de vibración, respectivamente.

El Mantenimiento Predictivo se puede basar también en el monitoreo sistemático de la calidad del aceite, en el análisis por tintas penetrantes, los rayos X, los rayos gamma, el análisis dimensional, el análisis de esfuerzos, el ultrasonido, la medición de espesores, el análisis de humedad y muchos otros síntomas que será posible monitorearlos en el futuro.

### **5.1.5. Mantenimiento continuo.**

En este tipo de mantenimiento se priorizan las actividades que se le dan a las máquinas según su importancia, y basados en el concepto que entre mejor se atiende un ítem, así sería su desempeño.



#### **5.1.6. Mantenimiento analítico (PaM = Proactive Maintenance).**

Se lleva a cabo un análisis de las estadísticas de falla, analizando la causa de la raíz de ella, según las condiciones de instalación, calidad de la mano de obra de quienes lo operan, se puede decir que el Mantenimiento Analítico es principalmente preventivo.

En el tipo de mantenimiento, más conocido como R.C.F.A., se debe practicar un profundo análisis, en el que se estudian las causas de la falla y posteriormente se selecciona la “causa raíz”.

#### **5.1.7. Mantenimiento productivo total (T.P.M.).**

El Mantenimiento Productivo Total (T.P.M. por sus siglas en inglés: Total Productive Maintenance), es donde intervienen los operarios de la línea de producción en el mantenimiento del equipo o maquinaria que está a su cargo, involucrando así a todo el personal que compone la empresa.

#### **5.1.8. Mantenimiento basado en la condición (CBM = Condition Based Maintenance).**

El mantenimiento basado en la condición consiste en el estado de funcionamiento o condición de cada uno de los equipos de producción. Está popularizándose mucho en Europa, especialmente en Inglaterra.

#### **5.1.9. Mantenimiento basado en la fiabilidad (R.C.M. = Reliability Based Maintenance).**

En este tipo de mantenimiento se pone énfasis en el funcionamiento del sistema, más que el de cada equipo individualmente y busca los modos de falla. La palabra clave es la “confiabilidad” (reliability).

## **5.2. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CORPOARE**

### **5.2.1. Empadronamiento de la maquinaria.**

La planta de procesamiento del mineral estará compuesta de las siguientes secciones en el proceso.

- Circuito de trituración
- Circuito de molienda
- Flotación
- Cianuración
- Recuperación de valores (sistema Merrill Crowe).
- Taller de soldadura.

De acuerdo a cada sección se tendrá en cuenta los equipos y sus componentes incluidos en el plan de mantenimiento.

**Tabla 9. Equipos que componen la planta.**

SECCIÓN	EQUIPO	COMPONENTE	CODIGO
Circuito de trituración	Trituradora de mandíbulas (primaria)	Tolva de gruesos	CQ-01TM
		Motor, transmisión	
		Mandíbulas trituradoras	
		Cámara de trituración	
		Eje excéntrico	
	Estructura y plataforma		
	Trituradora de impacto (secundaria)	Tolva de finos	CQ-01TI
		Motor, transmisión	
		Martillos	
		Eje del rotor	
		Volante de transmisión	
	Estructura y plataforma		
Banda transportadora 1	Motoreductor	CQ-01BT1	
	Banda, rodillos		
	Rodillos tensores		
	Soporte y plataforma		
Banda transportadora 2	Motoreductor	CQ-01BT2	
	Banda, rodillos		
	Soporte y plataforma		
Circuito de molienda	Molino de bolas primario	Motor, transmisión	CQ-02MB1
		Elementos de molienda (bolas)	
		Molino	
	Estructura y plataforma		
	Molino de bolas secundario	Motor, transmisión	CQ-02MB2
		Elementos de molienda (bolas)	
		Molino	
	Estructura y plataforma		
	Hidrociclón	Bomba	CQ-02HC
		Estructura y plataforma	
Bomba centrífuga (Denver)	Motor eléctrico	CQ-04BC	
	Acople		
	Estructura y plataforma		

**Tabla 9. Continuación.**

SECCIÓN	EQUIPO	COMPONENTE	CODIGO
Flotación	Celdas de flotación	Motoreductor	CQ-03CF
		Estructura y plataforma	
		Estructura y plataforma	
Sistema Merrill crowe	Bomba de vacío	Motor eléctrico	CQ-05BV
		Acople	
	Banda alimentadora de zinc	Motor, reductor, transmisión	CQ-05BZ
		Banda, rodillos	
Filtroprensa	Estructura y plataforma		
	Paneles		
	Filtros		
	Estructura		
Taller de soldadura	Soldador eléctrico	Porta electrodos	CQ-06SE
		Electrodo	
		Estructura	
Taller de soldadura	Taladro vertical	Broca	CQ-06TV
		Motor	
		Mandril	
		Estructura y plataforma	
	Esmeril	Piedras de afilado	CQ-06ES
		Estructura y plataforma	

**Fuente. Los autores.**

### 5.2.2. Ventajas del mantenimiento preventivo.

Teniendo en cuenta que el mantenimiento preventivo se realiza en forma programada, anticipándose a la falla y prolongando la vida útil de la máquina, lo cual conlleva a grandes ventajas como lo son la reducción de paradas intempestivas, reducción de fallas, disminución de accidentes laborales, entre otros.

Se busca garantizar la disponibilidad de los equipos, la conservación de la eficiencia en el proceso y conservación del buen estado de la maquinaria.

### 5.2.3. Codificación de la maquinaria.

La codificación de los equipos y maquinaria, se realiza con el fin de identificar con más facilidad la ubicación de cada uno de ellos, es la parte principal y el inicio de todo plan de mantenimiento.

Este plan de mantenimiento da una visión global de los equipos que se incluirán dentro del plan de mantenimiento preventivo y una mejor organización de los datos y revisión de las labores realizadas a cada equipo.

Si se piensa en la sistematización del plan de mantenimiento, la codificación de la maquinaria será muy útil para este proceso.

Para la codificación de la maquinaria se realiza una codificación de cada uno de ellos se iniciara con las iniciales **CQ**, para la identificación en la planta.

- **Clasificación por sección.**

Para la clasificación por sección se realiza la codificación de cada uno de ellos por sección, utilizando dos dígitos para la representación de cada uno.

**Tabla 10. Clasificación por sección.**

<b>SECCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>
Trituración	1
Molienda	2
Flotación	3
Cianuración	4
Sistema Merrill Crowe	5
Taller de soldadura	6
<b>Fuente. Los autores.</b>	

- **Clasificación por equipo:**

Para la clasificación por equipo se le asigna a cada uno de ellos un código de dos letras, para los equipos primario y secundario se acompaña el código con el número 1 y 2 respectivamente.

**Tabla 11. Clasificación por equipo.**

<b>EQUIPO</b>	<b>CÓDIGO</b>
Trituradora de mandíbulas	TM
Trituradora de impacto	TI
Banda transportadora 1	BT1
Banda transportadora 2	BT2
Molino de bolas primario	MB1
Molino de bolas secundario	MB2
Hidrociclón	HC
Celdas de flotación	CF
Bomba centrífuga Denver	BC
Banda alimentadora de zinc	BZ
Bomba de vacío	BV
Compresor	CP
<b>Fuente. Los autores.</b>	

- **Clasificación por componentes:**

Los componentes de cada máquina también se clasificarán con un código de 2 dígitos que los representarán a cada uno.

**Tabla 12. Clasificación por componente.**

<b>COMPONENTE</b>	<b>CÓDIGO</b>
Motor	MO
Reductor	RE
<b>Fuente. Los autores.</b>	

Para las bombas y motores utilizados para stand by se les agregara **SB**, para su identificación.

### **Ejemplo de codificación**

Trituradora de mandíbulas

**Sección:** trituración-01

**Equipo:** trituradora de mandíbulas-TM

Código: CQ-01TM

## **5.3. FORMATOS NECESARIOS PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO**

### **5.3.1. Tarjeta maestra.**

La tarjeta maestra es un formato que se diseña donde se consignan todas las características de cada equipo como lo son peso, color, tamaño, marca, modelo, fabricante, motores y reductores que tiene. En conclusión son todas las características propias de cada equipo.

**Cuadro 2. Formato de la tarjeta maestra.**

PLAN DE MANTENIMIENTO.				
TARJETA MAESTRA.				
			<b>Código del equipo</b>	
CARACTERISTICAS DEL EQUIPO.				
SECCIÓN:		TIPO:		
MÁQUINA:		SERIE:		
MARCA:		TAMAÑO:		
MODELO:		PESO:		
CAPACIDAD DE TRABAJO:		COLOR:		
FABRICANTE:				
OTROS DATOS:				
SERVICIOS.				
ELECTRICIDAD	AMPERAJE		VOLTAJE	POTENCIA
AGUA	PRESIÓN		CAUDAL	
AIRE	PRESIÓN		CAUDAL	
OTROS				
MOTORES				
MARCA		VOLTAJE		
MODELO		AMPERAJE		
TIPO CARCASA		POTENCIA		
SERIE		FRECUENCIA		
RPM		COS $\phi$		
REDUCTORES				
MARCA		POTENCIA		
MODELO		RPM (in)		
TIPO		RPM (out)		
SERIE				
CLASIFICACIÓN DEL TRABAJO				
TURNOS	1	_____		
	2	_____		
	3	_____		
	Intermitente	_____		
No CÁTALOGO:				
No HOJA DE VIDA:				
<b>Fuente. Los autores.</b>				



### **5.3.2. Ficha técnica de los equipos.**


La ficha técnica de cada equipo es un documento que contiene todas las características propias de cada uno de ellos, como lo son: dimensiones, parámetros funcionales, lubricación, fotos del equipo, entre otros. Esto permite una identificación rápida por parte del personal de mantenimiento de todas sus partes y de sus posibles fallas.

La recolección de datos requeridos para la realización de la ficha técnica, se deben consultar en catálogos, al fabricante, y hacer mediciones directas del equipo para así tener la información lo más completa posible.


**Cuadro 3. Formato de la ficha técnica del molino de bolas.**

CORPORACIÓN AREA DE RESERVA ESPECIAL MINERA DE QUINCHIA						
						
FICHA TÉCNICA						
			Código del equipo		CQ-02MB1	
Equipo	Molino		Serie			
Marca			Tipo	De bolas		
ESPECIFICACIONES						
PARÁMETROS DIMENSIONALES						
Diámetro	Longitud	Capacidad	Diámetro de entrada	Diámetro de salida	Velocidad	
					Molino	Crítica
0,7 m	1,75 m	2,5 ton/h	Falta	Falta	35,9 rev/min	50,56 rev/min
Cuerpos moledores	Diámetro de las bolas.		Material		Capacidad de bolas	
	Máximo	Mínimo	Acero		1080,62 kg	
	1,014 in					
SISTEMA DE TRANSMISIÓN						
Correas			Primera Etapa		Segunda Etapa	
Ref.	Cantidad		φ Polea Conductora	φ Polea Conducida	φ Polea Conductora	φ Anillo del molino
Correa Plana	1		0,12 m	0,254 m	0,12 m	1,1 m
Correas en V	8					
RODAMIENTOS						
Referencia	Cantidad		Ubicación			
22222	6			Ejes de transmisión		
	2			Motor		
OBSERVACIONES						
<b>Fuente. Los autores.</b>						


**Cuadro 4. Ficha técnica de la trituradora.**

CORPORACIÓN AREA DE RESERVA ESPECIAL MINERA DE QUINCHIA						
						
		FICHA TÉCNICA				
			Código del equipo		CQ-01TM	
Equipo	Trituradora		Serie			
Marca			Tipo	Mandíbulas		
ESPECIFICACIONES						
PARÁMETROS DIMENSIONALES						
Boca de alimentación	190 x 300 mm					
Capacidad	3 ton/h					
Reglaje	3,24 cm					
Peso	Falta					
Velocidad	310 rpm					
Potencia requerida	7,5 hp					
SISTEMA DE TRANSMISIÓN						
Correas			φ Polea	φ Volante		
Ref.	Cantidad		0,12 m	0,3 m		
Falta						
RODAMIENTOS						
Referencia	Cantidad	Ubicación				
OBSERVACIONES						
<b>Fuente. Yonathan Heredia.</b>						


**Cuadro 5. Ficha técnica banda transportadora.**

CORPORACIÓN AREA DE RESERVA ESPECIAL MINERA DE QUINCHIA						
						
		FICHA TÉCNICA				
			Código del equipo			
Equipo	Transportadora de bandas		Serie			
Marca			Tipo	Bandas		
<b>ESPECIFICACIONES</b>						
<b>PARÁMETROS DIMENSIONALES</b>						
Capacidad	1,92 m <sup>3</sup> /h		Φ Tambor	Φ Contratambor		
Velocidad rodillos	354,1 rpm		200 mm	160 mm		
Velocidad de la banda	1 m/s					
Potencia motriz	3 hp					
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>						
Correas			φ Polea	φ Volante		
Ref.	Cantidad		Falta	falta		
Falta						
<b>RODAMIENTOS</b>						
Referencia	Cantidad	Ubicación				
6204						
<b>OBSERVACIONES</b>						
<b>Fuente. Los autores.</b>						

**Cuadro 6. Ficha técnica del hidrociclón.**

CORPORACIÓN AREA DE RESERVA ESPECIAL MINERA DE QUINCHIA					
					
		FICHA TÉCNICA			
			Código del equipo		CQ-02HC
Equipo	Hidrociclón		Serie		
Marca			Tipo		
<b>ESPECIFICACIONES</b>					
<b>PARÁMETROS DE SELECCIÓN</b>					
Diámetro	38 cm	Densidad de solido	2,5 g/cm <sup>3</sup>	Caudal de pulpa	4055,5l/h
Capacidad	2,5 ton/h	Tonelaje de pulpa	5555,5 kg/h	Porcentaje sólidos en volumen	24,65 %
Tonelaje seco	2500 kg/h	Caudal de agua	3055,5 l/h	Densidad de pulpa	1,37 g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de solido	45 %				
<b>OBSERVACIONES</b>					
<b>Fuente. Los autores.</b>					


**Cuadro 7. Ficha técnica celdas de flotación.**

CORPORACIÓN AREA DE RESERVA ESPECIAL MINERA DE QUINCHIA					
					
		FICHA TÉCNICA			
			Código del equipo	CQ-03CF	
Equipo	Celdas de flotación		Serie		
Marca			Tipo		
<b>ESPECIFICACIONES</b>					
<b>PARÁMETROS DE SELECCIÓN</b>					
% Sólidos	30 %	Densidad de sólidos	3,33 g/cm <sup>3</sup>		
Tonelaje seco	750 kg/h	Caudal de pulpa	1975,23 l/h		
Tonelaje de pulpa	2500 kg/h	Densidad de pulpa	1,27 g/cm <sup>3</sup>		
Caudal de agua	1700 l/h				
<b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>					
Correas			φ Polea	φ Volante	
Ref.	Cantidad		falta	falta	
Falta					
<b>RODAMIENTOS</b>					
Referencia	Cantidad	Ubicación			
6204					
<b>OBSERVACIONES</b>					
<b>Fuente. Los autores.</b>					

### 5.3.3. Revisión del estado de los equipos.

Basados en el plan de mantenimiento con el sistema LEM, se realiza una revisión periódica a cada uno de los equipos que componen la planta (el tiempo de revisión se define para cada equipo en particular), estas revisiones están estrictamente reguladas por las exigencias de mantenimiento, sugeridas por el departamento encargado de esto con su respectivo supervisor; los formatos de inspección, también llamados ordenes de trabajo que se llenan con el fin de tener en cuenta las prácticas realizadas a cada equipo y así poder obtener conclusiones del trabajo, ejecutar su respectivo análisis y hacer mejoras pertinentes. Los formatos de inspección deben tener la información básica del equipo que pueda conducir al personal de mantenimiento a su fácil ubicación.

### Cuadro 8. Formato de inspección de los equipos.

CORPORACIÓN AREA DE RESERVA ESPECIAL MINERA DE QUINCHIA						
Revisión N°	INSPECCIÓN DE EQUIPOS DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO					
Fecha					Código del instructivo	
Equipo				Código Equipo		
Tipo rev.	Lubricación		Eléctrica		Mecánica	
Descripción del instructivo de inspección						
Descripción de las labores Realizadas.						
Tiempo de ejecución						
Realizado por:						
Jefe de mantenimiento:						
<b>Fuente. Los autores.</b>						

### 5.3.4 Solicitud de servicio.

Son formatos que manejan los jefes de las diferentes áreas para el reporte de las anomalías o daños inesperados en los equipos al encargado del área de mantenimiento, para así desarrollar lo más pronto posible la revisión y reparación si lo es posible.

**Cuadro 9. Solicitud de servicio.**

SOLICITUD DE SERVICIO DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO					
			FECHA		
			N° Solicitud		
Equipo		Código del equipo			
<b>Tipo de daño</b>	Mecánico	Eléctrico		Otro	
<b>Tipo de actividad</b>	Revisión	Mtto. Correctivo		Instalación	
	Lubricación	Mtto. Preventivo		Otro	
Componente intervenido					
Descripción del trabajo					
Fecha de entrega					
Fecha de cumplimiento					
Solicitado Por:					
Aprobó:					
<b>Fuente. Los autores.</b>					




### **5.3.5 Orden de trabajo (OT).**

Las órdenes de trabajo son formatos que se realizan con el fin de asignar labores al personal de mantenimiento, estas OT ayudan a la recolección de datos de las actividades que se hacen a cada máquina, elaborando así la hoja de vida de cada una de estas.

Las órdenes de trabajo contienen algunos datos de los equipos como lo son la ubicación, código del equipo, persona encargada de la actividad, repuestos requeridos, entre otros.

Las OT se pueden omitir en el momento que se presente un inconveniente mínimo en el proceso, lo cual se puede registrar como un evento.

**Cuadro 10. Formato Orden de trabajo.**

ORDEN DE TRABAJO DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO				
<b>TIPO DE MANTENIMIENTO</b>				
EQUIPO		CÓDIGO		OT N°
SECCIÓN		FECHA		
MECÁNICO		LUBRICACIÓN		
ELÉCTRICO		OTRO		
COMPONENTE INTERVENIDO				
<b>REPUESTOS</b>				
REFERENCIA	DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	VALOR
<b>MANO DE OBRA</b>				
NOMBRE			HORA INICIO	HORA FINAL
<b>TRABAJO A DESARROLLAR</b>				
<b>OBSERVACIONES</b>				
SUPERVISOR DE TURNO				
<b>Fuente. Los autores.</b>				

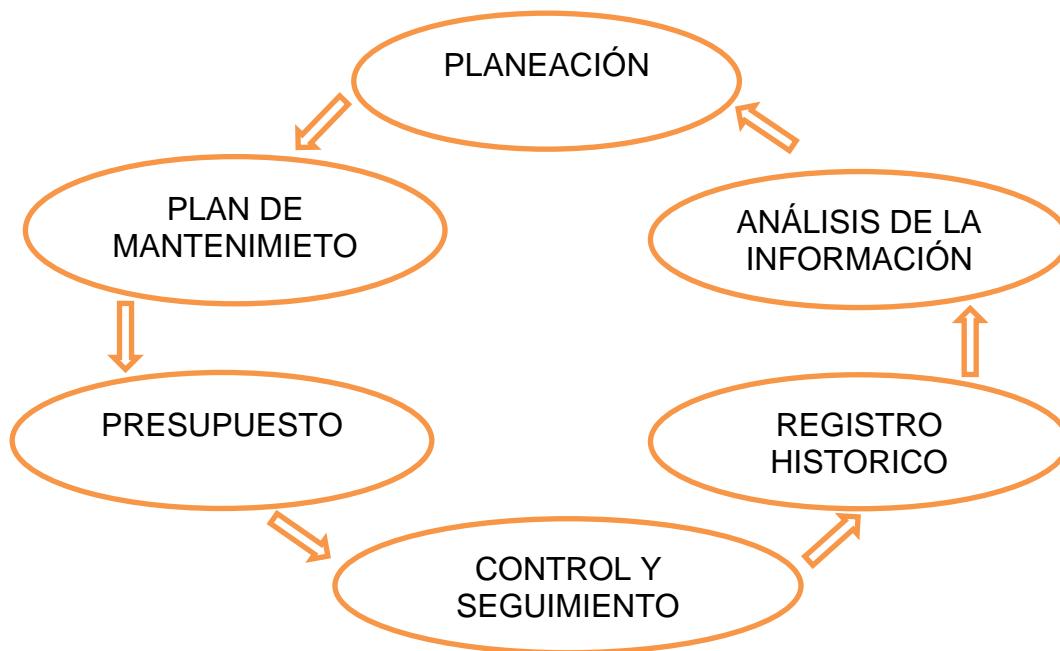
#### 5.4. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

La Corporación área de reserva especial minera de Quinchía, pretende ser ejemplo en las labores de mantenimiento logrando obtener el reconocimiento como empresa en esta área.

Esto se pretende lograr con la vinculación de personal capacitado en el área, buscando un grupo eficiente en el desarrollo de cada una de las actividades del mantenimiento.

En la gestión de mantenimiento, se requiere un control y análisis de la información recolectada, de las variables directas e indirectas del proceso para así redireccionar el proceso hacia los objetivos de la empresa.

**Figura 48. Ciclo de gestión del mantenimiento.**



**Fuente. Los autores.**

#### **5.4.1. Indicadores de gestión.**

Un indicador de gestión es un parámetro numérico que facilita la información sobre los factores productivos de la empresa, dando una idea clara sobre el desarrollo del mantenimiento.

Los indicadores de gestión deben ser pocos, claros, calculables y útiles para saber cómo se está ejecutando el plan y que resultados se están obteniendo mediante el registro de datos para su análisis periódico.

Existen diferentes tipos de indicadores de gestión, los cuales son:

- **Índices de gestión de equipos.**

Estos índices buscan la fiabilidad operacional, entre ellos se tienen; disponibilidad de los equipos, tiempo medio de mantenimiento preventivo, tiempo medio de reparación y tiempo medio de falla.

- **Índices de gestión de costos.**

Evalúan los costos del mantenimiento, en general, como lo son repuestos, mano de obra, depreciación, pérdidas y analizan los costos directos e indirectos que influyen en el mantenimiento.

- **Índices de gestión de mano de obra.**

Se lleva un análisis de las capacidades del personal para lograr una mayor satisfacción y desempeño en las labores realizadas; entre estos indicadores se tienen: el trabajo en mantenimiento preventivo y correctivo, capacitación del personal, estructura del personal de supervisión, tasa de frecuencia y gravedad de los accidentes, entre otros factores de la calidad de vida del personal.

#### **5.4.2. Indicadores de gestión del mantenimiento.**

Según el mantenimiento planteado para CORPOARE, se busca obtener indicadores que garanticen el funcionamiento de los equipos y la aplicación del programa; los indicadores básicos para evaluar la gestión del mantenimiento son los siguientes:

**Tabla 13. Indicadores de gestión de mantenimiento.**

INDICADOR	FUNCIÓN	FORMULA
MANTENIBILIDAD	Indica el tiempo promedio de reparación	$TPPR = \frac{\sum_1^{NO} TFS}{NP}$
CONFIABILIDAD	Presenta estadísticas del tiempo promedio de fallas de un equipo	$TPEF = \frac{\sum_1^{NO} TEO}{NO}$
DISPONIBILIDAD	Porcentaje de tiempo de operación y disposición del equipo	$ID = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR}$
<p>TPPR: Tiempo promedio para reparar.</p> <p>TFS: Tiempo fuera de servicio por paradas no programadas.</p> <p>NP: Número de fallos durante el tiempo en observación.</p> <p>TEO: Tiempo del equipo en funcionamiento.</p> <p>NO: Número de veces que el equipo estuvo en operación.</p> <p>TPEF: Tiempo promedio entre fallas.</p>		
<p><b>Fuente.</b> Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Disponible en <a href="http://www.mantenimientoplanificado.com">www.mantenimientoplanificado.com</a>. [Consulta: octubre de 2012].</p>		

• **Confiabilidad.**

Es la seguridad de funcionamiento de una máquina o una de sus partes, teniendo en cuenta la calidad de los materiales empleados.

• **Disponibilidad.**

Está relacionado con el tiempo de operación del equipo, teniendo condiciones seguras de trabajo, y con las existencias de materiales y repuestos utilizados en el mantenimiento, en el momento oportuno, evitando así la pérdida de tiempo en el proceso.

- **Mantenibilidad.**

Es la facilidad de realizar el mantenimiento según su diseño. Este indicador busca realizar el mantenimiento en su menor tiempo posible, disminuyendo así la mano de obra utilizando el mínimo de materiales.

La mantenibilidad es alta cuando el mantenimiento es mínimo, obteniendo una mayor economía.

### **5.4.3 Costos del plan de mantenimiento.**

Es de gran importancia obtener un costo lo más bajo posible para el departamento de mantenimiento.

El costo de las reparaciones es una parte más del precio final del servicio, independiente del buen o el mal servicio del mantenimiento, siempre será un gasto que se deberá asumir. Por tal motivo los gastos de mantenimiento siempre influyen en los costos generales de la empresa.

Tomando en cuenta aspectos económicos y otros, los costos de mantenimiento comprenden cuatro grupos:

- Costos fijos
- Costos variables
- Costos financieros
- Costos de fallo

#### **Costos fijos.**

Se caracterizan por ser independientes del volumen de producción y de las ventas, al referirse a empresas de producción.

Los costos fijos de mantenimiento se componen principalmente, por la mano de obra y materiales necesarios para realizar mantenimiento preventivo y predictivo.

#### **Costos variables.**

Dentro de los costos variables encontramos la mano de obra directa, materias primas, energía y los costos variables de mantenimiento.

Dentro de los costos variables de mantenimiento nos encontramos, básicamente, con la mano de obra y los materiales necesarios para el mantenimiento preventivo y correctivo.

La manera de reducir este tipo de gastos variables no pasa por dejar de hacer el mantenimiento correctivo sino por evitar que se produzcan las averías inesperadas.

### **Costos financieros.**

Los costos financieros asociados a mantenimiento se deben tanto a los repuestos de almacén como a las amortizaciones de los equipos para asegurar la producción o servicio.

Los costos de todos los recambios de almacén para realizar las reparaciones suponen un desembolso para la empresa que limita su liquidez. Si los recambios son utilizados con cierta frecuencia nos encontramos con un mal menor dado que la inversión contribuye a mantener la capacidad productiva de la instalación.

### **Costos de fallo.**

Se refiere al costo o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas directamente con mantenimiento. Este concepto es aplicable tanto a empresas productivas como a empresas de servicios.

#### **5.4.4 Recomendaciones para ejecutar el plan de mantenimiento.**

Contando con el inicio de labores en la empresa, se debe tener en cuenta que existen muchas ventajas en la ejecución del plan de mantenimiento debido a que toda la empresa está en sus inicios de creación siendo más fácil la elaboración de registros y adquisición de los formatos de cada equipo utilizado en el proceso de beneficio.

Los formatos realizados son base para el inicio de la ejecución, recolección y clasificación de la información de los equipos.

Estos formatos son revisados y posteriormente utilizados por las personas que estén a cargo del mantenimiento de la empresa, se puede observar que estos formatos son generales y se pueden utilizar para todos los equipos, con el fin de tener la información respecto a cada equipo en una forma ordenada y actualizada.

## **6. ESTUDIO ORGANIZACIONAL**

### **6.1. RAZÓN SOCIAL**

CORPORACIÓN ÁREA DE RESERVA ESPECIAL MINERA DEL MUNICIPIO DE QUINCHIA.

### **6.2. MISIÓN**

CORPOARE es una organización dedicada a la explotación minera, fundamentada en el desarrollo sostenible de la región a través de la promoción de la pequeña y mediana minería. La cual por medio de su accionar y en base a sus valores busca brindar el mayor beneficio a sus socios, protegiendo el medio ambiente y actuando con responsabilidad social.

### **6.3. VISIÓN**

La corporación área de reserva especial minera desarrollará la minería de una manera sostenible, amigable con el ambiente, convirtiéndose en impulsora del desarrollo social y económico de sus asociados y de su comunidad. Será reconocida por su óptimo desempeño, la alta eficiencia y la calidad de sus procesos, transformándola en modelo de gestión y planeación con presencia en diferentes sectores económicos y sociales.

### **6.4. POLITICAS**

#### **6.4.1. Políticas de personal.**

El reclutamiento de personal se realizará mediante métodos formales utilizados en el área de recursos humanos, como lo son las convocatorias, recepción de hojas de vida, entrevistas y selección.

Para cada una de las diferentes áreas se llevará a cabo el proceso de selección según el perfil requerido para el cargo, seleccionando las personas con el perfil profesional más cercano al solicitado.



En la empresa se trabajaran 3 turnos, de 8 horas cada uno, reconociendo los respectivos recargos según las leyes vigentes.

Para la contratación de personal se realizará un contrato inicial de 3 meses en los cuales se analizaran las cualidades y capacidades de trabajo de cada uno, siendo este un periodo de evaluación del personal, en este periodo se realizarán capacitaciones para el personal de los diferentes departamentos en el cual se dará una inducción y reconocimiento a la empresa y a su área de trabajo.

La estructura salarial se fijara de acuerdo al salario mínimo legal vigente.

#### **6.4.2. Políticas de compra.**

Para la adquisición de insumos, teniendo en cuenta principalmente el beneficio de las personas de la región, se seleccionarán algunos proveedores ubicados dentro del área de incidencia de la corporación, los pagos a los proveedores se realizarán a fin de mes, teniendo en cuenta un periodo máximo de 10 días para el cumplimiento de las obligaciones financieras con sus deudores.

#### **6.4.3. Políticas de venta.**

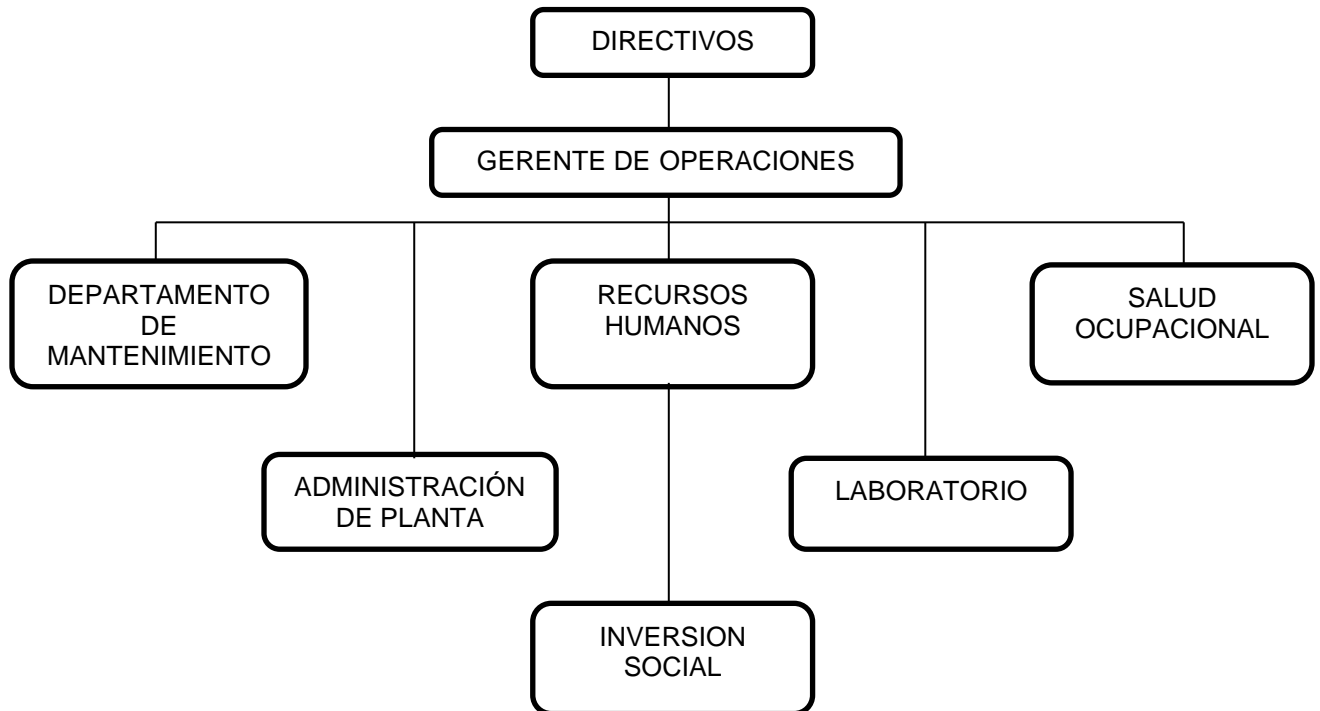
Siendo la barra de oro el único producto de la empresa se tendrá en cuenta que la venta de este se realizará a los socios capitalistas del proyecto, los cuales analizarán la barra según el contenido de otros minerales.

La venta será de contado, a través de transacciones bancarias, para así cumplir con los todos los requerimientos.

## 6.5. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

- Organigrama

Figura 49. Organigrama.



Fuente. Los autores.

### 6.5.1. Descripción de los departamentos.

- **Administración:**

Encargado de velar por el buen funcionamiento de las actividades económicas de la empresa, del ajuste y liquidación de las cuentas por periodos mensuales.

- **Recursos humanos:**

Teniendo en cuenta que el recurso humano es el motor principal de toda empresa, este departamento se encarga de la organización y planeación de las actividades que promuevan el desempeño eficiente de los trabajadores, a la vez que la empresa se transforma en el medio de desarrollo de las capacidades de cada persona alcanzando así sus objetivos personales.

La finalidad de este departamento es mantener el personal de la empresa con todos sus sentidos puestos en el trabajo dando el máximo de sus capacidades formando así un ambiente laboral agradable.

- **Mantenimiento:**

El departamento de mantenimiento estará encargado de mantener los equipos y maquinaria que intervienen en el proceso en óptimas condiciones de trabajo, logrando un proceso eficiente, reduciendo las paradas por fallas mecánicas y aumentando la probabilidad de obtener la producción esperada en el tiempo esperado.

- **Salud ocupacional:**

El área de salud ocupacional se encarga del bienestar de los trabajadores, preocupándose por el buen y adecuado desempeño de las actividades de trabajo de cada persona.

Están encargados de capacitar a todo el personal dándoles a conocer las políticas de la salud ocupacional y seguridad industrial, teniendo en cuenta el uso de los implementos de protección personal.

- **Laboratorio:**

El laboratorio se encarga de realizar las muestras y análisis de los minerales extraídos de la mina, para verificar el tenor máximo que se tiene.

- **Inversión social:**

Teniendo en cuenta que el proyecto tiene como objetivo el beneficio de las personas de la región, este departamento estará encargado del desarrollo de obras y actividades en beneficio de la región, realizando los presupuestos requeridos según las exigencias y políticas de la empresa.

## **6.5.2. Manual de funciones y perfil de cargos.**

**1. Identificación del cargo:** Gerente de operaciones.

**2. Perfil del cargo:**

- **Estudio:** Profesional en administración de empresas, ingeniería de minas o carreras afines con los procesos de explotación y beneficio de minerales.
- **Habilidades y destrezas:** Liderazgo, relaciones personales, capacidad negociadora para planificar organizar y cumplir objetivos.
- **Experiencia:** mínimo de 1 año en cargos administrativos o afines.

**3. Departamento:** Administrativo.

**4. Personal a cargo:** Todos los empleados.

**5. Horarios:** Lunes a viernes: 8:00 am a 6:00 pm, sábados 8:00 am a 1:00 pm.

**6. Lugar:** Planta Vereda Mina Rica.

**7. Objetivo del cargo:** Planear organizar y dirigir las actividades de la empresa.

**8. Descripción de las funciones:**

- Dirigir el personal a cargo.
- Representar la empresa.
- Aprobar los proyectos de inversión.
- Coordinar la logística de la empresa.
- Atender a los clientes y proveedores.
- Responder por los bienes y equipos
- Velar por el correcto funcionamiento de la empresa.
- Controlar inventarios.
- Elaborar informes mensuales de la situación de la empresa.
- Elaborar pedidos de materiales e insumos para la empresa.
- Atender quejas y reclamos por parte de los clientes.

1. **Identificación del cargo:** Jefe de mantenimiento.

2. **Perfil del cargo:**

- **Estudio:** Profesional en ingeniería Mecánica
- **Habilidades y destrezas:** Liderazgo, relaciones personales, capacidad de solución a problemas y conocimiento del funcionamiento del proceso mecánico de una planta de beneficio de minerales.
- **Experiencia:** mínimo de 1 año en cargos a fines, y conocimiento de la elaboración de los diferentes planes de mantenimiento.

3. **Departamento:** Mantenimiento.

4. **Personal a cargo:** Operarios mecánicos.

5. **Horarios:** Lunes a viernes: 8:00 am a 6:00 pm, sábados 8:00 am a 1:00 pm.

6. **Lugar:** Planta Vereda Mina Rica.

7. **Objetivo del cargo:** Mantener el correcto funcionamiento de los equipos que componen el proceso productivo.

8. **Descripción de las funciones:**

- Dirigir las labores de mantenimiento.
- Elaborar y controlar el desarrollo de los planes de mantenimiento.
- Proponer mejoras en el desarrollo mecánico del proceso.
- Asignar tareas para los operarios mecánicos.
- Elaborar informes mensuales de las labores y costos del mantenimiento.

---

1. **Identificación del cargo:** Operarios mecánico.

2. **Perfil del cargo:**

- **Estudio:** técnicos o tecnólogos en mecánica industrial o electromecánica
- **Habilidades y destrezas:** conocimiento del funcionamiento de equipos mecánicos, capacidades de identificación de fallas y capaces de proponer soluciones a los problemas que se les presenten.
- **Experiencia:** Mínimo de 6 meses en cargos a fines.

3. **Departamento:** Mantenimiento.
  4. **Lugar:** Planta Vereda Mina Rica.
  5. **Objetivo del cargo:** Mantener en estado de operación los equipos de la planta.
  6. **Descripción de las funciones:**
    - Realizar labores de mantenimiento.
    - Ejecutar los planes de mantenimiento propuestos por el jefe inmediato.
    - Realizar las reparaciones requeridas en planta.
- 

1. **Identificación del cargo:** Supervisor de planta.
  2. **Perfil del cargo:**
    - **Estudio:** Ingeniero o tecnólogo químico.
    - **Habilidades y destrezas:** Conocimiento en procesos de beneficio de minerales, (procesos de cianuración, flotación y recuperación de minerales)
    - **Experiencia:** Mínimo de 6 meses en cargos a fines.
  3. **Departamento:** Administración de planta.
  4. **Personal a cargo:** Operarios de planta.
  5. **Horarios:** Lunes a viernes: 8:00 am a 6:00 pm, sábados 8:00 am a 1:00 pm.
  6. **Lugar:** Planta Vereda Mina Rica.
  7. **Objetivo del cargo:** Mantener el correcto funcionamiento de los procesos químicos de recuperación de minerales.
  8. **Descripción de las funciones:**
    - Revisar el correcto funcionamiento del proceso.
    - Supervisar las labores de planta.
    - Elaborar y ejecutar los procesos químicos de recuperación.
    - Elaborar informes de los procesos e insumos que se utilizan.
-

- 
1. **Identificación del cargo:** Operarios de planta.
  2. **Perfil del cargo:**
    - **Estudio:** Técnico en minas o personas con conocimiento en procesos de beneficio de minerales.
    - **Habilidades y destrezas:** Conocimiento en procesos de beneficio de minerales, (procesos de cianuración, flotación y recuperación de minerales)
    - **Experiencia:** Mínimo de 6 meses en cargos a fines.
  3. **Departamento:** Administración de planta.
  4. **Lugar:** Planta Vereda Mina Rica.
  5. **Objetivo del cargo:** Mantener el correcto funcionamiento de los procesos químicos de recuperación de minerales.
  6. **Descripción de las funciones:**
    - Revisar el correcto funcionamiento del proceso.
    - Realizar las labores propuestas por el supervisor.
    - Velar por la continuidad del proceso.
- 

1. **Identificación del cargo:** Operario SISO<sup>10</sup>.
2. **Perfil del cargo:**
  - **Estudio:** Técnico o tecnólogo en salud ocupacional
  - **Habilidades y destrezas:** Conocimiento en la elaboración y ejecución de los planes de salud ocupacional, y el reconocimiento de los principales riesgos en la minería.
  - **Experiencia:** Mínimo de 6 meses en cargos a fines.
3. **Departamento:** Salud ocupacional.
4. **Lugar:** Planta Mina Vereda Rica.

---

<sup>10</sup> SISO. Seguridad Industrial y Salud Ocupacional.

**5. Objetivo del cargo:** Velar por el bienestar y la seguridad de los trabajadores de la empresa.

**6. Descripción de las funciones:**

- Elaborar el plan de salud ocupacional.
  - Dictar capacitaciones acerca de la salud y seguridad en el trabajo.
  - Elaborar actividades que aporten al bienestar de los trabajadores.
- 

**1. Identificación del cargo:** Operario de laboratorio.

**2. Perfil del cargo:**

- **Estudio:** Tecnólogo químico.
- **Habilidades y destrezas:** Conocimiento en la elaboración de muestras y análisis de los procesos de fundición de los minerales para determinar contenido de cada uno de los diferentes metales.
- **Experiencia:** Mínimo de 6 meses en cargos a fines.

**3. Departamento:** Laboratorio.

**4. Lugar:** Planta Vereda Mina Rica.

**5. Objetivo del cargo:** Elaboración de análisis de muestras para la verificación del proceso.

**6. Descripción de las funciones:**

- Elaborar las prácticas requeridas en la elaboración de muestras.
  - Elaborar el muestreo del proceso para verificar el tenor en la producción.
  - Elaborar informes mensuales de las actividades realizadas.
- 

**1. Identificación del cargo:** Auxiliar contable.

**2. Perfil del cargo:**

- **Estudio:** Auxiliar contable.
- **Habilidades y destrezas:** Manejo de sistemas contables y buenas relaciones interpersonales.
- **Experiencia:** Mínimo de 1 año como auxiliar contable.



3. **Departamento:** Administrativo.

4. **Lugar:** Oficina Principal.

5. **Objetivo del cargo:** Mantener la información actualizada acerca del estado financiero de la empresa.

**6. Descripción de las funciones:**

- Llevar la contabilidad de la empresa.
  - Revisar los registros contables.
  - Organizar la información contable de la empresa.
  - Elaborar balance general y estados financieros en periodos mensuales o cuando se requieran.
  - Revisar cuentas bancarias contra libros contables.
  - Elaborar nómina y planillas de pago a los empleados.
- 

1. **Identificación del cargo:** Jefe de proyectos de inversión.

**2. Perfil del cargo:**

- **Estudio:** Tecnólogo industrial.
- **Habilidades y destrezas:** Conocimiento en la elaboración de planes de inversión, buenas relaciones interpersonales y capacidad de liderazgo.
- **Experiencia:** Mínimo de 1 año en proyectos de inversión o cargos a fines.

3. **Departamento:** Inversión de proyectos.

4. **Lugar:** Planta Vereda Mina Rica.

5. **Objetivo del cargo:** Evaluar los proyectos elaborando un plan de inversión.

**6. Descripción de las funciones:**

- Realizar los presupuestos de inversión de proyectos.
  - Evaluar la viabilidad de un proyecto.
  - Realizar informes de inversión.
  - Elaborar proyectos de beneficio social.
-

1. **Identificación del cargo:** Recursos humanos.
  
2. **Perfil del cargo:**
  - **Estudio:** Comunicación social, o estudios relacionados con administración.
  - **Habilidades y destrezas:** Manejo de sistemas, capacidad de liderazgo y comunicación, buenas relaciones personales.
  - **Experiencia:** Mínimo de 6 meses de experiencia en el área de recursos humanos.
  
3. **Departamento:** Recursos humanos.
  
4. **Lugar:** Planta Vereda Mina Rica.
  
5. **Objetivo del cargo:** Velar por el bienestar de los trabajadores.
  
6. **Descripción de las funciones:**
  - Realizar entrevistas de ingreso
  - Solicitar el personal necesario para las labores de la planta.
  - Realizar memorandos.
  - Elaborar informes de trabajo.

**Tabla 14. Salarios y aportes legales.**

CARGO	NUMERO DE PERSONAS	SALARIO BÁSICO	TOTAL SALARIO	CESANTÍAS	INTERESES A LAS CESANTIAS	PRIMA DE SERVICIOS	VACACIONES	APORTE A SALUD	APORTE A PENSIÓN	PARAFISCALES	DOTACIÓN	RIESGOS LABORALES	TOTAL	
	<b>9,148</b>	APORTES (%)		<b>8,33</b>	<b>1</b>	<b>8,33</b>	<b>4,17</b>	<b>8,5</b>	<b>12</b>	<b>9</b>		<b>0,522</b>	<b>2,436</b>	
Gerente de operaciones	1	2500000	2500000	208250	25000	208250	104250	212500	300000	225000	228700	13050	4025000	
Jefe de mantenimiento	1	1500000	1500000	124950	15000	124950	62550	127500	180000	135000	137220	7830	2415000	
Supervisor de planta	1	1200000	1200000	99960	12000	99960	50040	102000	144000	108000	109776	29232	1954968	
jefe de proyectos	1	1200000	1200000	99960	12000	99960	50040	102000	144000	108000	109776	6264	1932000	
SISO	1	1100000	1100000	91630	11000	91630	45870	93500	132000	99000	100628	26796	1792054	
Auxiliar contable	1	1000000	1000000	83300	10000	83300	41700	85000	120000	90000	91480	5220	1610000	
Operario de laboratorio	1	900000	900000	74970	9000	74970	37530	76500	108000	81000	82332	21924	1466226	
operarios de mantenimiento	2	650000	1300000	108290	13000	108290	54210	110500	156000	117000	118924	31668	2117882	
operarios de planta	5	650000	3250000	270725	32500	270725	135525	276250	390000	292500	297310	79170	5294705	
recursos humanos	1	800000	800000	66640	8000	66640	33360	68000	96000	72000	73184	4176	1288000	
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>		<b>14750000</b>	<b>1162035</b>	<b>139500</b>	<b>1162035</b>	<b>581715</b>	<b>1185750</b>	<b>1674000</b>	<b>1255500</b>	<b>1276146</b>	<b>32364</b>	<b>188790</b>	<b>23407835</b>
<b>Fuente. Los autores.</b>														

## 7. ESTUDIO FINANCIERO DEL PROYECTO

Para el estudio financiero del proyecto se debe tener en cuenta la inversión necesaria para llevarlo a cabo, tanto en maquinaria y equipo, como en materiales e insumos; los operarios requeridos y su respectiva nomina, así como el retorno de la inversión partiendo de las características puntuales del proyecto y de los valores actuales del mercado de este sector.

Adicionalmente, se estima una vida del proyecto de 8 años, y que la fuente de financiación es la empresa interesada en el mismo, la cual obtiene el 50% de las ganancias durante los primeros 5 años del proyecto, posteriormente el 100% de las utilidades pasan a ser parte de la empresa.

**Tabla 15. Inversiones fijas.**

<b>INVERSIONES FIJAS</b>	
<b>INVERSION EN MAQUINARIA</b>	
<b>Circuito de trituración</b>	
Tolva de gruesos	\$ 8.000.000,00
Trituradora de mandíbulas primaria.	\$ 5.000.000,00
Trituradora de impacto (secundaria).	\$ 15.000.000,00
Banda transportadora 1	\$ 3.200.000,00
Tolva de finos.	\$ 3.000.000,00
Banda transportadora 2	\$ 2.700.000,00
Motor eléctrico triturador primario.	\$ 2.160.000,00
Motor eléctrico triturador secundario.	\$ 1.768.000,00
<b>Circuito de molienda</b>	
Molino de bolas primario.	\$ 12.000.000,00
Molino de bolas secundario.	\$ 10.000.000,00
Hidrociclón.	\$ 10.000.000,00
Bomba centrífuga hidrociclón.	\$ 6.450.000,00
Motor eléctrico del molino primario.	\$ 2.044.000,00
Motor eléctrico del molino secundario.	\$ 1.768.000,00

**Tabla 15. Continuación.**

<b>INVERSIONES EN MAQUINARIA</b>	
Celdas de flotación.	\$ 1.250.000,00
Motores eléctricos de las celdas (3)	\$ 3.369.000,00
<b>Cianuración</b>	
Tanques de cianuración	\$ 14.000.000,00
Bomba centrífuga Denver.	\$ 7.580.000,00
Motores eléctricos (3).	\$ 4.200.000,00
<b>Recuperación de valores (sistema Merrill crowe)</b>	
Bomba de vacío.	\$ 20.000.000,00
Bomba de caudal.	
Banda alimentadora de zinc.	
Motores eléctricos.	
<b>Taller de soldadura.</b>	
Soldador eléctrico.	\$ 1.000.000,00
Taladro vertical.	\$ 2.000.000,00
Esmeril.	\$ 300.000,00
<b>Obras civiles</b>	
Instalaciones hidráulicas	\$ 30.000.000,00
Instalaciones eléctricas	\$ 70.000.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 236.789.000,00</b>
<b>Fuente. Los autores.</b>	

Los costos correspondientes a Nómina se presentan en el capítulo de Estudio Organizacional (Tabla 14).

**Tabla 16. Costos variables.**

<b>COSTOS VARIABLES</b>			
<b>INSUMOS , SUMINISTROS Y MANTENIMIENTO</b>	<b>COSTO UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>
Placa trituradora	6000 \$/Kg	150 Kg	\$ 900.000,00
Placa molinos	6000 \$/Kg	1500 Kg	\$ 9.000.000,00
Bola molinos	4000 \$/Kg	1500 Kg	\$ 6.000.000,00
Bandas y Rodamientos			\$ 1.000.000,00
Tornillería			\$ 450.000,00
Lámina de acero	1500 \$/Kg	100 Kg	\$ 150.000,00
Accesorios para agua			\$ 400.000,00
Accesorios eléctricos			\$ 4.000.000,00
Aceites y grasas	40000 \$/galón	10	\$ 4.000.000,00
Otros (soldadura, gas, oxígeno)			\$ 400.000,00
Repuestos Motores y bombas			\$ 500.000,00
Repuestos Equipo de reducción de tamaños			\$ 600.000,00
Repuestos Equipos de concentración			\$ 200.000,00
Repuestos Equipos auxiliares			\$ 200.000,00
Mantenimiento Equipos			\$ 300.000,00
Mantenimiento Locativo			\$ 300.000,00
Energía eléctrica	428.1029 \$/kw	80 kw/h	\$ 13.234.000,00
Cianuro	12000 \$/kg	2,6 Kg/ton	\$ 28.080.000,00
Cal	425 \$/Kg	4 Kg/ton	\$ 652.800,00
Peróxido	2775 \$/kilo	0,75 Kg/ton	\$ 398.600,00
Zinc	24000 \$/kg	45 g/ton	\$ 221.184,00
Otros (soda, plomo, reactivos)			\$ 1.200.000,00
Combustibles y Lubricantes			\$ 1.400.000,00
Dotación del Personal			\$ 2.500.000,00
Gastos de Transporte y Disposición Final de Residuos			\$ 2.880.000,00
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES MES</b>			<b>\$ 63.066.584,00</b>
<b>Fuente. Los autores.</b>			

En resumen:

**Tabla 27. Estructura de financiación.**

<b>ESTRUCTURA DE FINANCIACION</b>	
<b>INVERSIONES FIJAS</b>	<b>PESOS</b>
Maquinaria	\$ 136.789.000,00
Obras civiles	\$ 100.000.000,00
<b>TOTAL INV. FIJA</b>	<b>\$ 236.789.000,00</b>
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	
<b>Efectivo (mes de gastos)</b>	
Servicios públicos	\$ 13.234.000,00
Nomina	\$ 23.407.835,00
<b>TOTAL CAPITAL DE TRABAJO</b>	<b>\$ 36.641.835,00</b>
<b>GRAN TOTAL DE LA INVERSION</b>	<b>\$ 273.430.835,00</b>
<b>Fuente. Los autores.</b>	


Para el cálculo del Estado de resultados de la empresa, se debe tener en cuenta que esta tiene una producción estable y por ende las utilidades proyectadas el primer año serán sensiblemente iguales durante toda la vigencia del proyecto, pero durante los primeros 5 años el 50% de dichas utilidades pertenecen a la empresa que financia el proyecto; a partir del sexto año el 100% de las utilidades es para CORPOARE.

Es importante también tener en cuenta que algunos costos varían año tras año de acuerdo al incremento porcentual propio de cada nuevo año; Algunos de estos rubros son: Gastos administrativos, costos variables (incremento del precio de algunos materiales e insumos), incremento en los servicios públicos, entre otros. Adicionalmente, dicho aumento en los costos de producción y de funcionamiento de la planta, se equilibran con el incremento en el precio de venta del mineral extraído.

Respecto a las ventas, se proyecta que la planta tendrá capacidad para beneficiar 60 toneladas/día de mineral, y de cada tonelada de mineral molido se maneje un tenor mínimo de 7 gramos de oro; de esta manera la producción teórica es de 420 gramos por día, y cada gramo varía de precio de acuerdo a los quilates del mismo, para esto se tiene la siguiente tabla a día de hoy, en la que se evidencian los precios actuales de venta de manera actualizada. A partir de este valor asumimos

un valor medio, el cual se asumirá como precio de venta del Oro extraído (\$55.408,17).

**Figura 50. Precio del oro hoy en Colombia.**



**Precio del oro hoy en Colombia**

Última actualización: 12-10-2014 (12:04:03 am)

Onza de oro	2,506,687.11
Libra de oro*	564,206.10
Gramo 24 quilates	80,600.87
Gramo 22 quilates	73,878.19
Gramo 21 quilates	70,511.59
Gramo 18 quilates	60,431.22
Gramo 14 quilates	47,029.78

\*Libra de oro = 7 gramos 24K

**Fuente. [www.sociedadmineradelsur.com](http://www.sociedadmineradelsur.com)**

De esta manera, el siguiente Estado de Resultados corresponde al primer año de funcionamiento del proyecto.



**Tabla 3. Estado de resultados.**

<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>		
<b>CORPOARE</b>		
	<b>AÑO 1</b>	<b>%</b>
<b>VENTAS NETAS TOTALES</b>	\$ 8.377.689.600,00	1,00
<b>(Costos variables)</b>	\$ 756.799.008,00	0,09
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	\$ 7.620.890.592,00	0,91
<b>(-)Gastos Operacionales</b>		
<b>Nomina</b>	\$ 280.894.020,00	0,03
<b>Servicios públicos</b>	\$ 158.808.000,00	0,02
<b>(TOTAL GASTOS OPERACIONALES)</b>	\$ 439.702.020,00	0,05
<b>UTILIDAD OPERACIONAL</b>	\$ 7.181.188.572,00	0,86
<b>(GASTOS FINANCIEROS)</b>	\$ -	0,00
<b>UTILIDAD ANTES IMPUESTOS</b>	\$ 7.181.188.572,00	0,86
<b>Impuestos (25%)</b>	\$ 1.795.297.143,00	0,21
<b>UTILIDAD NETA</b>	\$ 5.385.891.429,00	0,64
<b>Fuente. Los autores.</b>		

La variación porcentual mostrada hace referencia a la representación de cada uno de los rubros con respecto a las ventas netas, llegando a saber que la Utilidad Neta es el 64% de las ventas.

El 50% de la Utilidad Neta (\$5.385.891.429) es \$ 2.692.945.714,50; este valor pertenece a la empresa que financia el proyecto durante los primeros 5 años de funcionamiento, y un valor exactamente igual pertenece a CORPOARE.

De acuerdo a lo anterior, se proyecta que CORPOARE reciba mensualmente una Utilidad Neta de \$ 224.412.142,88. Siendo más exactos, el 32% de las ventas netas de la empresa hacen parte de las utilidades netas para la misma.

Se concluye de esta manera que el proyecto es viable desde el punto de vista financiero.

## 8. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

Para la distribución de planta se tienen en cuenta algunos criterios basados en las diferentes etapas del desarrollo de un proyecto industrial, criterios puestos en práctica en el momento del desarrollo de las instalaciones y ubicación de cada equipo.

Aprovechando la topografía del terreno, la ubicación de cada zona de la planta estará dividida en subniveles, lo cual es conveniente para el ahorro de bombas en el proceso.

La planta se compone de las siguientes secciones: Almacenamiento del mineral extraído, trituración, molienda, flotación, cianuración, sistema Merrill Crowe y fundición.

**Almacenamiento del mineral extraído:** Consta de una tolva principal, en la cual se almacenará una gran cantidad de material (roca extraída de la mina) para su previo proceso.

**Trituración:** Esta sección consta de la tolva de almacenamiento de gruesos. Trituradora de mandíbulas, banda transportadora, trituradora de impacto, este es el proceso de reducción de tamaño de la roca.

**Molienda:** Esta sección consta de tolva de almacenamiento de finos, molino primario, molino secundario, hidrociclón.

**Flotación:** La flotación consta de celdas en las cuales se logra la separación de los metales por medio de la adición de burbujas de aire y algunos agentes químicos.

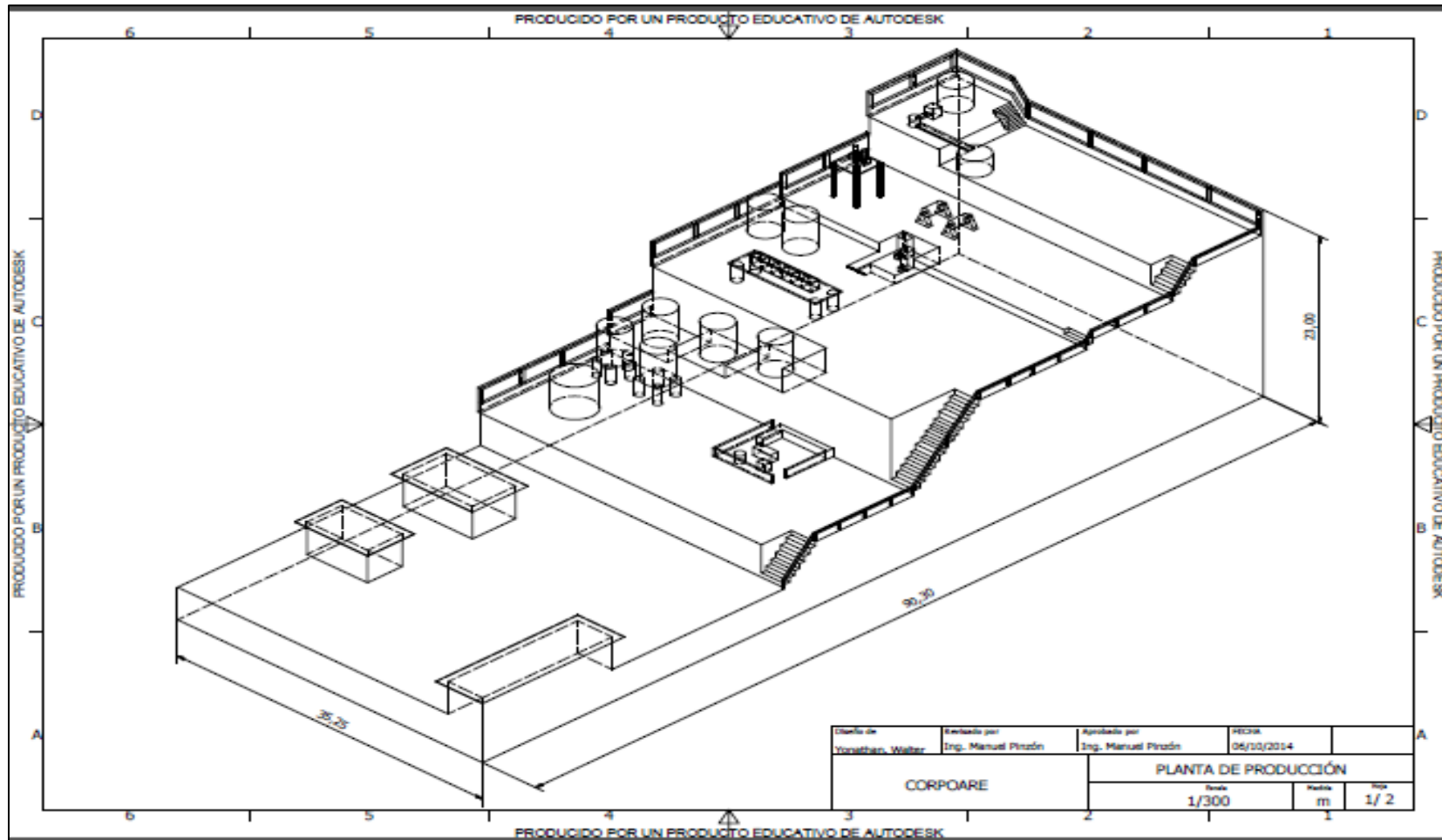
**Cianuración:** Esta etapa se lleva a cabo en tinas adecuadas para tal fin, además de las tinas de agitación en las cuales se agita el fluido mediante acción mecánica, también se tienen tanques sedimentadores en los cuales se separa la pulpa estéril de los metales preciosos.

**Merrill Crowe:** Está compuesto por bombas de vacío, filtro-prensas, banda de zinc, y tanque de almacenamiento de solución rica, en el cual se recupera el precipitado para previamente ser fundido.

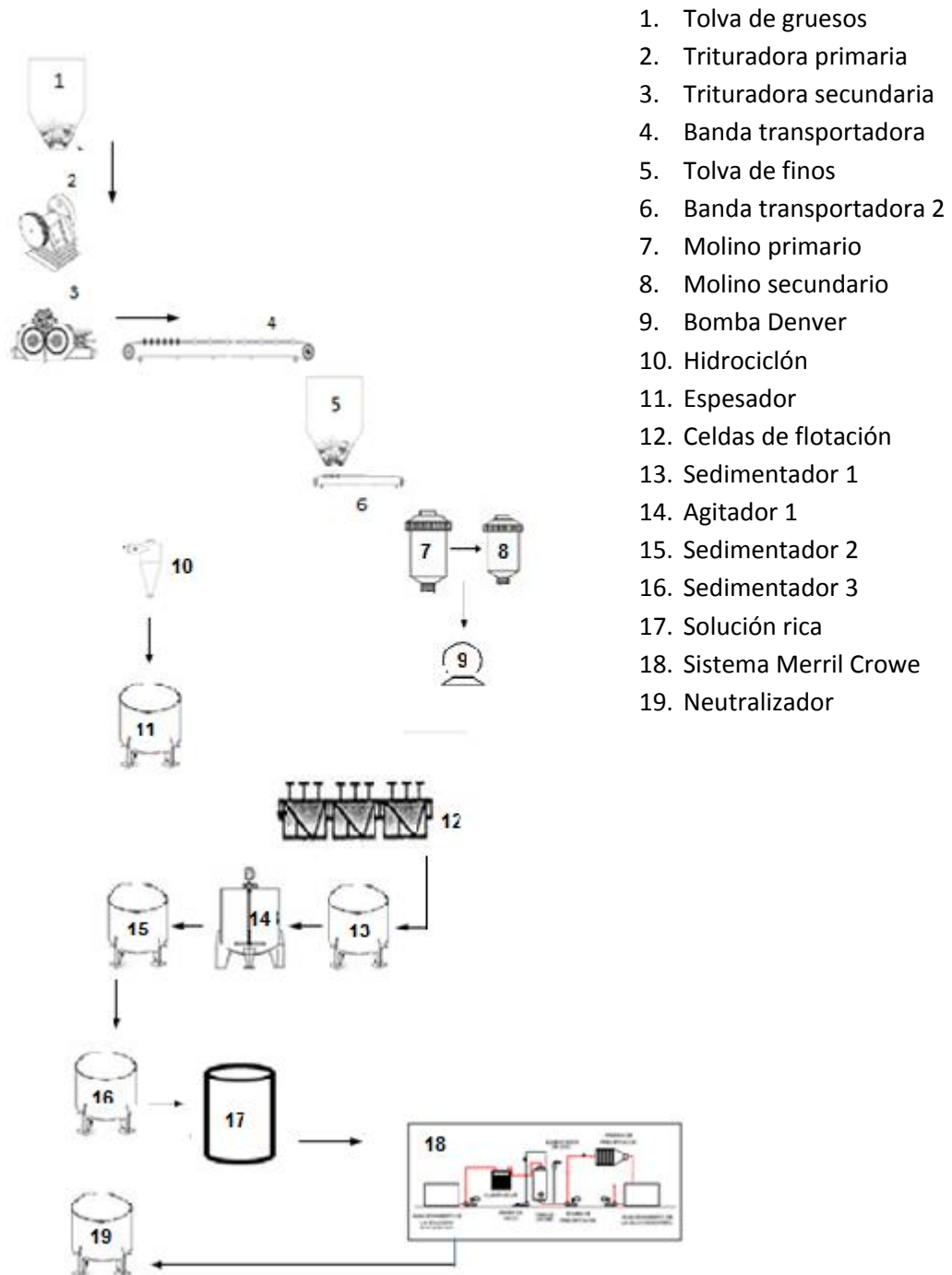
**Fundición:** Consta de un horno basculante seleccionado para la fundición del precipitado en donde se recupera la barra de oro.

Aunque puede que se presenten algunas variaciones de los espacios, se pretende que la distribución ideal para el proceso sea la siguiente:

**Figura 51. Distribución de planta.**

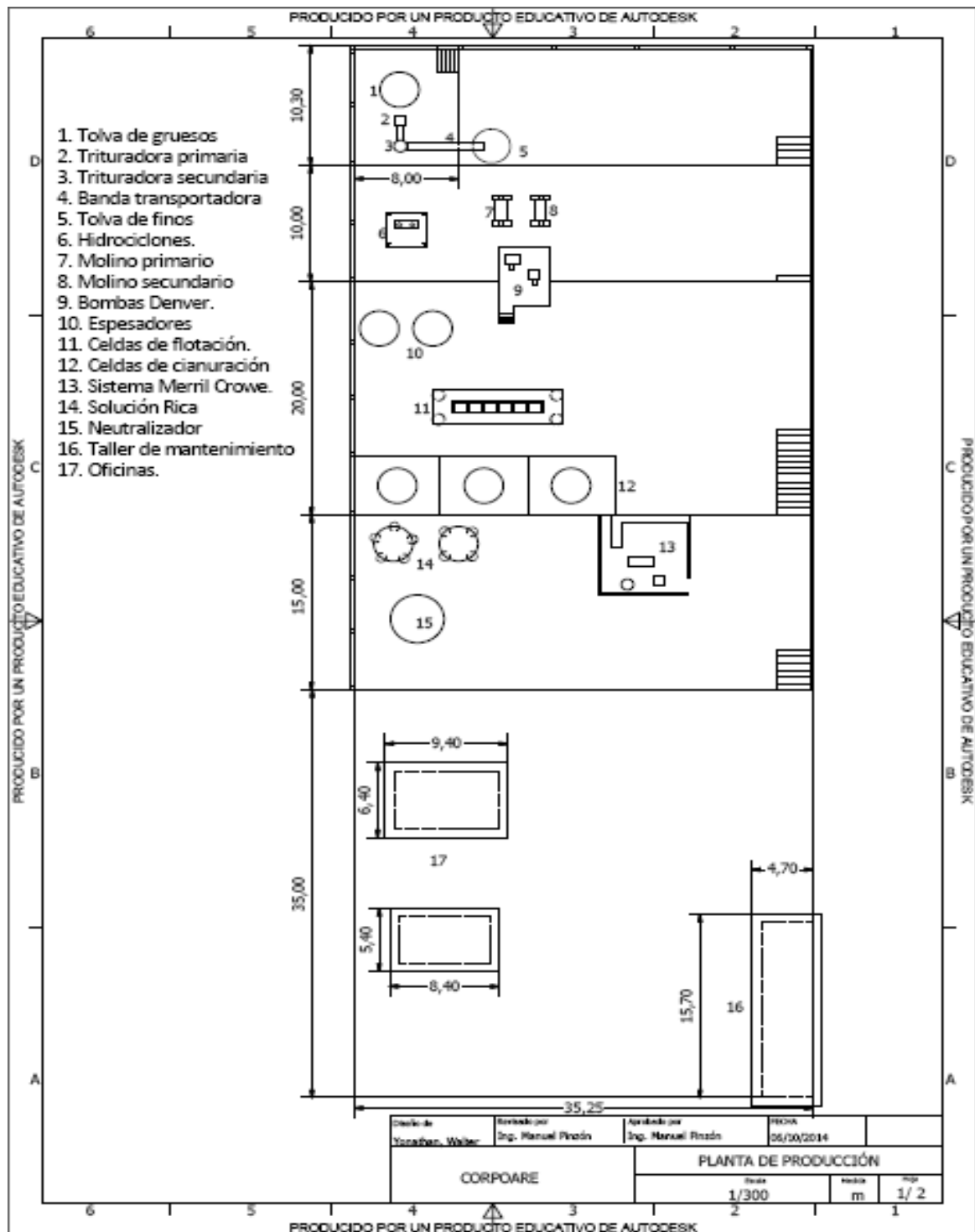


**Figura 52. Flujo de proceso.**



**Fuente. Los autores.**

Figura 53. Vista superior de las secciones del proceso



Fuente: Los autores

## CONCLUSIONES

- Tras realizar el respectivo estudio técnico, administrativo, organizacional y financiero, se puede concluir que para CORPOARE es viable iniciar el proceso de montaje de una planta para el beneficio y recuperación de oro en la zona de reserva especial del municipio de Quinchía.
- Quinchía por ser un importante productor de oro es la locación perfecta para el presente proyecto, generando un impacto no sólo a nivel empresarial sino social, permitiendo generar empleo entre las personas de la región, así como ofreciéndole una mejor oportunidad a todos aquellos mineros artesanales de la zona.
- El proyecto es viable financieramente si cuenta con el apoyo de una empresa inversionista, ya que esta permite financiar la inversión inicial en maquinaria y equipo; por otro lado, la capacidad productiva de la planta tiende a ser la misma a través del tiempo, por ende las ventas en cantidad serán sensiblemente iguales, la diferencia radica en la variación del precio de acuerdo a la calidad del oro extraído, así como el incremento porcentual anual en el precio de venta del mismo. Por otro lado, los costos de mantenimiento, nómina del personal, entre otros costos variables tienden a incrementar.
- Después del Quinto año CORPOARE empieza a recibir el 100% de las utilidades de las ventas, por ende el proyecto habrá llegado a su estado de madurez. Por el momento, el 32% de las ventas netas hacen parte de la utilidad de CORPOARE mes tras mes.

## RECOMENDACIONES

- Las funciones aquí presentadas para cada uno de los cargos han sido elaboradas de manera superficial, es importante que en el momento de ejecución del proyecto sean perfeccionadas y complementadas con el manual de procesos y procedimientos pertinente para cada uno de los cargos.
- Se deben realizar programas de mantenimiento preventivo y correctivo de la maquinaria y el equipo con la finalidad de evitar interrupciones en la producción por problemas técnicos, así como accidentes de trabajo producto de la falta de mantenimiento de las herramientas.
- La salud ocupacional debe ser una de las áreas más representativas de la empresa, ya que de ellos depende que los trabajadores realicen sus labores en las mejores condiciones posibles y por ende, los riesgos a los que se encuentran expuestos sean minimizados, y la empresa evite futuras demandas, indemnizaciones, y pérdidas de personal.

## BIBLIOGRAFIA

Algunas notas bibliográficas de Pedro Nisser, un Ingeniero Sueco en Colombia en el Siglo XIX. Disponible en [<http://www.bdigital.unal.edu.co/30778/1/29691-106653-1-PB.pdf>]

Botero, María Mercedes. La ruta del oro: una economía primaria exportadora, Antioquia 1850-1890, Medellín, Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2007.

Brew, Roger. El desarrollo económico de Antioquia desde la independencia hasta 1920, Bogotá, Publicaciones del Banco de la República, Archivo de la Economía Nacional, 1977 [Segunda edición: Medellín, Editorial Universidad de Antioquia, 2000].

C. LÓPEZ, Diana. Guías de clase de tecnología industrial. Logística y distribución de planta.

Dávila, Carlos (compilador). Empresas y empresarios en la historia de Colombia. Siglos XIX-XX. Una colección de estudios recientes, Bogotá, Editorial Norma, Ediciones Uniandes, Facultad de Administración de la Universidad de los Andes, CEPAL, 2003, 2 tomos.

GÓMEZ BARRIENTOS, ESTANISLAO. "Extranjeros beneméritos de Antioquia: Sr. Tyrell Moore". Repertorio histórico, año 6, N- 9 (Medellín, 1924). LATORRE MENDOZA, LUIS. Historia e historias de Medellín. Medellín, Secretaría de Educación y Cultura de Antioquia, 1972.

HERRERA SANCHEZ, Humberto. Mantenimiento Industrial. Guías de actualización 2006.

MIRANDA Miranda, Juan José. "Gestión de proyectos: Identificación, formulación y evaluación financiera, económica social y ambiental. Quinta edición. Bogotá MM editores, 2005

Molina Londoño, Luis Fernando. (2006). Empresarios colombianos del siglo XIX, 2ª. ed., Bogotá, Universidad de los Andes, Facultad de Administración, Ediciones Uniandes, 2006.



MOLINA, Luis Fernando. “la industrialización de la minería de oro y plata en Colombia en el siglo XIX” en: Revista credencial historia No 258, junio de 2011.

Plan de trabajos y obras del área de reserva especial minera (PTO), Elaborado por la Universidad de Caldas. 2008.

RAMOS Betancur, Juan Diego, “Oro un recorrido por la tecnología minera en Antioquia”. Medellín, diciembre de 2007

Restrepo, Vicente. Historia de las minas de oro y plata en Colombia, Medellín, Fondo Rotatorio de Publicaciones Faes, 1979.

RICO G, Juan Fernando. “Planeamiento sobre la minería de oro en Colombia” en: Revista minería No 191, Julio de 1982.

Carlos Segismundo de Greiff. Disponible en:  
[[http://es.wikipedia.org/wiki/Carlos\\_Segismundo\\_de\\_Greiff](http://es.wikipedia.org/wiki/Carlos_Segismundo_de_Greiff)]

El vagón minero de Quinchia cómodo, acogedor y económico. La gran minería transnacional. Disponible en [http://reclamecolombia.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54](http://reclamecolombia.org/index.php?option=com_content&view=article&id=54). [Consulta: octubre de 2012]

INGEOMINAS  
<< [www.ingeominas.gov.co](http://www.ingeominas.gov.co)>>

Mantenimiento centrado en la confiabilidad. Disponible en [www.mantenimientoplanificado.com](http://www.mantenimientoplanificado.com). [Consulta: octubre de 2012]

Montaje e instalación en plantas industriales. Disponible en <http://ing.utralca.cl/~fespinos/Montaje%20e%20Instalacion%20Introduccion.pdf>. [Consulta: noviembre de 2012]