

## **CAPITULO I**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los depósitos aluviales sedimentarios de edad Cuaternaria aflorantes en la zona central de las montañas occidentales o macizo central en los límites de los Estados Carabobo y Cojedes, se caracterizan por ser yacimientos de terrazas aluviales asociados a múltiples eventos de carácter tectónico y con niveles importantes de hierro, micas y arcillas. Estos depósitos son activamente explotados para generar material de agregados para el concreto, sílice para la industria del vidrio y refractarios, así como el aprovechamiento de las arcillas asociadas a estos yacimientos en la industria del vidrio y cerámica. La presencia de micas con carácter industrial en la zona no tiene antecedentes.

El análisis de la laguna de colas a donde llega la mayor proporción de micas provenientes del proceso de lavado de las arenas silíceas, reviste importancia debido a su complejidad en cuanto a su composición mineralógica, ya que la presencia de cantidades considerables de mica muscovita incentivan el desarrollo de programas de toma de muestras para su análisis en laboratorio y así poder determinar los porcentajes del mineral de interés presente, para su aprovechamiento como un subproducto de carácter económico, dentro de las operaciones normales de la arenera.

Utilizando los recursos existentes en cuanto a materia prima proveniente de las lagunas de colas y la estructura física de laboratorio para el análisis, procesamiento y obtención de resultados, se puede lograr estimar la factibilidad de explotar la mica para obtener un beneficio comercial de esta.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

Recuperación de la mica presente en la laguna de colas de la Arenera El Torito, mediante la aplicación del método de concentración por flotación.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características física, química, mineralógica, granulométrica y grado de humedad de la laguna de colas.
- Efectuar ensayos de flotación de la mica contenida en la muestra representativa.
- Evaluar los resultados obtenidos en los ensayos de flotación a fin de hacer las recomendaciones al método de concentración por flotación con el objetivo de lograr el mayor beneficio de la mena.
- Analizar estadísticamente la efectividad del método de flotación de la mica aplicado sobre la mena de arena silícea de la Arenera El Torito, ubicada en el Municipio Tocuyito, Estado Carabobo, a fin de optimizar las operaciones de recuperación mineral en la zona.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Técnicamente la ejecución de procesos de concentración por flotación de la mica contenida en depósitos de arenas silíceas se sustenta en dos puntos de elevado interés en el uso final del mineral como subproducto de la arenera, como lo son:

- El empleo de la mica como insumo para la industria, que en la actualidad es importado en su gran mayoría, y que es empleada por industrias como la de pinturas, cerámica, petrolera, abrasivos, refractarios, etc., como estabilizador, y
- La reducción de costos de explotación por parte de la empresa Agregados Caribe, ya que el aprovechamiento de la mica contenida en la laguna de colas, hace factible la generación de una fuente alternativa de ingresos y le dan mayor valor agregado al yacimiento de arenas silíceas.

En el ámbito institucional la empresa Agregados Caribe, C.A., como ente regente del yacimiento de arena silícea contenida en la Arenera El Torito ubicada en el Municipio Libertador del Estado Carabobo, manifiesta un alto interés por el desarrollo sustentable y armónico de las operaciones de explotación de la mica contenida en esta arena, de uso en la industria de la construcción como agregado del concreto, además se une a este proyecto el aporte de la Universidad Central de Venezuela (U.C.V.), a través del Departamento de Minas y en especial de la Cátedra de Preparación y Concentración de Menas, que se encuentran en capacidad de efectuar el proceso de concentración mineral por flotación, ya que se cuenta con los equipos y mano de obra preparada necesarios para su ejecución y el posterior análisis de los resultados arrojados por la fase experimental del proyecto con el propósito de establecer la factibilidad de explotación de mica contenida en la laguna de colas de la arenera.

#### **1.4. GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

La Empresa Agregados Caribe, C.A., tiene por misión comercializar los productos que genera la Arenera El Torito en el mercado local para satisfacer la demanda de los clientes finales, suministrándoles un producto de alta calidad. A su vez Agregados Caribe, C.A., es la intermediaria en el mercado para la comercialización de los productos que se manufacturan en la Planta de Cementos Caribe, C.A., perteneciente del Grupo Holsin, con casa matriz ubicada en

Holderbank – Suiza; es una empresa dedicada a la extracción y comercialización de agregados para el concreto, dentro de sus productos se pueden numerar, arenas y gravas para la construcción, en diferentes modalidades, piedra  $\cdot 1$ , piedra  $\frac{3}{4}$ , arena fina, arroncillo, y sub-productos para la construcción.

Con una basta experiencia en el mercado nacional de mas de 10 años, Agregados Caribe, C.A., posee diversas plantas de agregados distribuidas en el territorio nacional, contando en el Estado Carabobo, con una planta de distribución y venta de premezclado, y una arenera “ El Torito, ubicada en el Municipio Libertador “, para la extracción de arena lavada y grava.(Ver Figura 1.1)



**Figura 1.1.- “ Arenera El Torito “, ubicada en el Municipio Libertador. Edo. Carabobo**

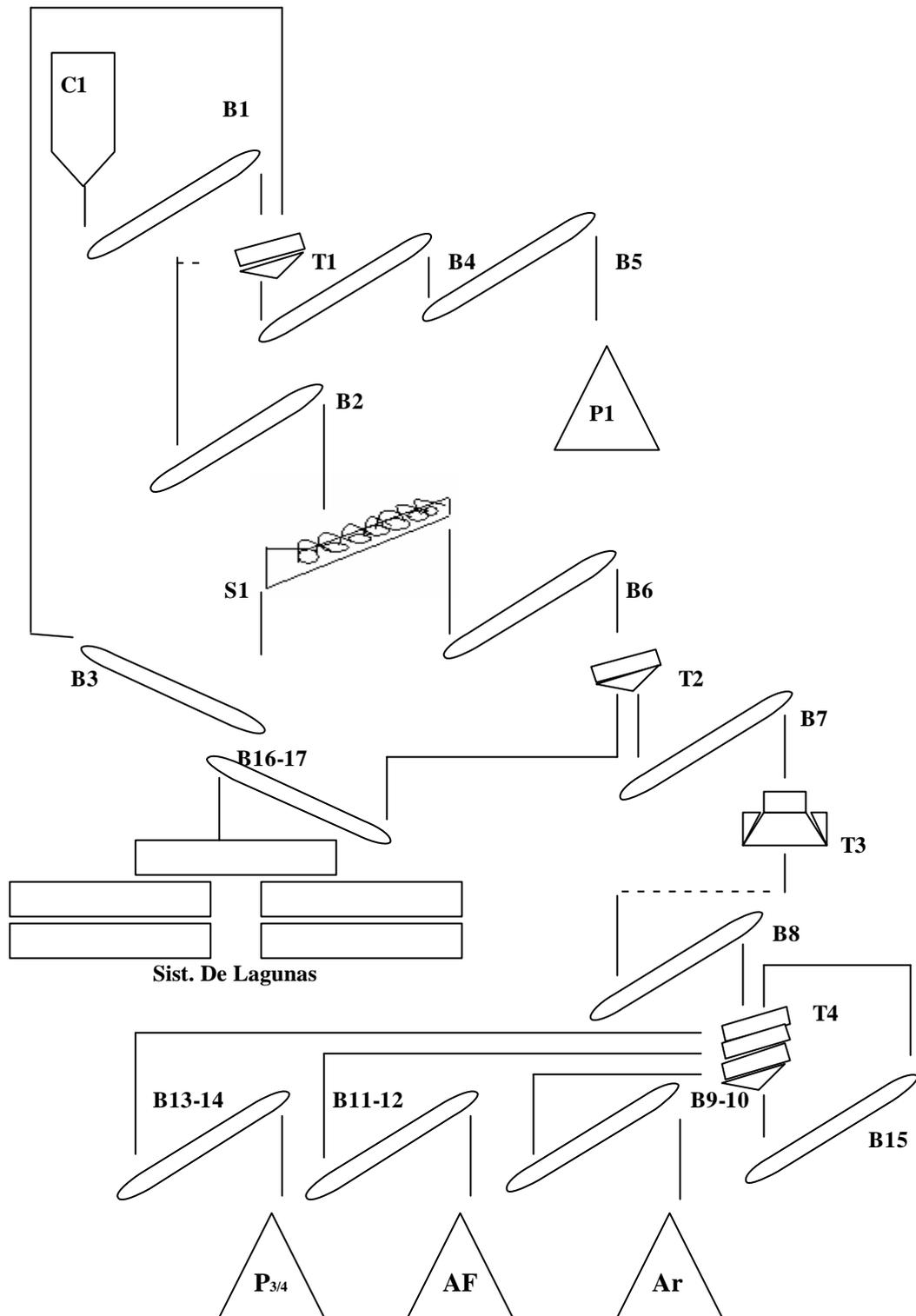
La arenera El Torito, se encuentra ubicada en un yacimiento de  $165.000 \text{ m}^3$ , ubicado entre los límites del río Torito ó Tocuyito al norte y la quebrada Canapasare al sur y este, en los limites del Municipio Libertador a 15 km al sur de la población de Tocuyito, en el Estado Carabobo. (Ver Figura 1.2)





**Figura 1.3.- Labores de empuje de material para acarreo en la " Arenera El Torito "**

En la segunda etapa, la de procesamiento mineral, Figura 1.4, el material es tratado en un circuito de trituración y lavado, que consiste en llevarlo desde la tolva de descarga (C1), por la banda (B1), hasta la criba (T1), el material en esta criba es clasificado en una primera etapa en piedra No.1, y es transportado por las bandas (B4 y B5) hasta la pila (P1), listo para despacho, el material de mayor tamaño es llevado por la banda (B2) hasta un tornillo lavador (S1), donde se elimina en una primera fase las arcillas contenidas en la arena. (Ver Figura 1.5). El material de reboce cae en la banda (B3) para ser integrado al sistema nuevamente hasta la criba (T1), el material lavado es transportado por la banda (B6) hasta la criba (T2), (Ver Figura 1.6). En esta fase del sistema el material es nuevamente clasificado, el material con tamaño menor a 1 pulgada es llevado a un cono Nordberg (T3), por la banda (B7), donde es triturado, (Ver Figura 1.7). Posteriormente el material es llevado por la banda (B8) para obtener piedra  $\frac{3}{4}$ , arena fina y arrocillo, que son clasificados mediante el empleo de una Criba (T4) de tres mallas para luego pasar a las bandas (B9-10), la piedra  $\frac{3}{4}$ , a las bandas (B11-12) la arena fina y por las bandas (B13-14), el arrocillo; el material que no es clasificado es retornado al sistema mediante la banda (B15), donde nuevamente es llevado al cono Nordberg (T3), para retomar el circuito.



**Figura 1.4.- Circuito de Tratamiento de la Arena, en la " Arenera El Torito "**

La tercera y ultima etapa consiste en el tratamiento de las colas generadas por el sistema de procesamiento mineral. En esta etapa el material que proviene del lavado es llevado a las lagunas de colas transportado por el agua que se

emplea en el circuito de lavado, desde la criba (T2), a través de las bandas (B16 y B17); el material cae a un canal que alimenta la laguna principal, el agua del sistema va atravesando el sistema de lagunas de colas, que en número de cinco conforman el circuito de sedimentación de los finos que contienen grandes cantidades de mica; el agua es retornada a la etapa de procesamiento mineral utilizando un sistema de bombas.



**Figura 1.5.- Tornillo Lavador de donde proviene el material de la Banda # 2**



**Figura 1.6.- Criba # 2, donde llega el material proveniente de la Banda # 6**



**Figura 1.7.- Cono Nordberg, donde llega el material proveniente de la Banda # 7**

Debido a las condiciones del mercado y a la ubicación en la zona de otras areneras capaces de suministrar productos para el mezclado del concreto, Agregados Caribe, C.A., esta tras la búsqueda de un programa de optimización de sus operaciones mediante un complejo sistema de lavado y separación de minerales deletéreos, como la mica, para darle mayor valor agregado a las arenas y aprovechar estas micas como un sub-producto de valor comercial.

## 1.5. GEOLOGÍA FÍSICA

- **Clima:** En la zona es predominantemente tropical, se ve afectado por la altitud y la cercanía al mar. La temperatura es uniforme durante todo el año con una media de 24,5 °C. Las precipitaciones alcanzan los 1500 mm en esta área de montaña, por estar muy cerca de la depresión del Lago de Valencia, las precipitaciones oscilan entre 900 y 1300 mm, por lo general esto ocurre dentro de los cinco o seis últimos meses del año, con un clima muy húmedo; mientras que los primeros cinco meses del año son de clima seco, con escasas precipitaciones a nulas y temperaturas que se elevan a los 30 °C.
- **Fisiográfica:** En el Estado Carabobo se presentan dos grandes bloques montañosos que ocupan aproximadamente el 73% de la totalidad del estado, localizados al norte y sur en dirección oeste - este, los cuales corresponden respectivamente a las serranías del Litoral y del Interior, separadas por la Depresión del Lago de Valencia. La litología de estas serranías presenta generalmente un alto y bajo grado de metamorfismo, respectivamente, caracterizada su estructura geológica por la presencia de: anticlinales, sinclinales, diaclasas, fracturas y numerosas fallas, destacando la falla de La Victoria localizada al sur de Valencia con dirección este, muestran la intensa actividad tectónica de la región, que dio lugar a una extensa depresión donde la acción posterior de los ríos ha originado una serie de valles premontanos, y una extensa planicie de suelos aluviales y lacustrinos que bordean el lago de Valencia.

Los suelos en las partes bajas son aluviales, en las partes más altas de la Cordillera de la Costa se encuentran suelos litosoles, además de afloramientos rocosos.

- **Relieve:** El relieve en la parte montañosa del Estado Carabobo, se caracteriza por presentar entalles profundos y crestas elevadas, donde domina una topografía accidentada con pendientes que en algunos casos son superiores al 80%. En tanto, en la depresión se presenta un relieve plano, con pendientes inferiores al 1%, las cuales aumentan ligeramente hasta un 5% en la altiplanicie de Tocuyito.
  
- **Drenajes:** La combinación del clima y la fisiografía han dado origen a la formación de una red hidrográfica bastante densa, constituida por cursos de agua generalmente de poca trayectoria divididos en tres cuencas:
  - La Cuenca del Mar Caribe:  
Conformada por los ríos Urama, Morón, San Esteban y Borburata.
  
  - La Cuenca del Río Orinoco:  
Constituido por los ríos Pao, Pacaragua y Guárico.
  
  - La Cuenca endorreica del Lago de Valencia:  
Hacia la cual fluyen las aguas de los ríos Güigüe, Guayos, Guacara, Ereique y Cabriales.

Existen también en la entidad a 30 Km de Puerto Cabello, las aguas termales de " Las Trincheras" donde brotan fuentes hipertermales con propiedades medicinales ampliamente conocidas.

El recurso hídrico presenta relativa abundancia, no obstante el desarrollo de las actividades urbano - industriales han conllevado al trasvase de agua desde otras regiones.

## **1.6. GEOLOGÍA REGIONAL**

La faja de la Cordillera de la Costa se ubica en la parte septentrional del Macizo Central, limita al norte con el sistema de fallas del Caribe, mientras que al sur coincide con la falla de la Victoria, dentro de esta faja están representadas las rocas pertenecientes al Grupo Caracas, constituidas por las Formaciones de Sebastopol, Antímano, Tucutunemo, Las Mercedes y Las Brisas,

Menéndez (1966), subdividió la zona central de las montañas de la serranía del Macizo Central de la Cordillera de la Costa en cuatro cinturones tectónicos, esto debido a la complejidad de las rocas; estas cuatro fajas tectónicas de norte a sur, y con rumbo aproximado este - oeste, poseen características estructurales propias y separados entre si por fallas de carácter regional, son:

- Cinturón de la Cordillera de la Costa
- Cinturón de Caucagua – El Tinaco
- Cinturón de Villa de Cura
- Cinturón de Paracotos

### **1.6.1. Cinturón de la Cordillera de la Costa**

El Cinturón de la Cordillera de la Costa, ocupa la zona septentrional de las montañas del Caribe, limitando al norte con el Mar Caribe, al sur con la zona de fallas de La Victoria, la cuál lo separa del Cinturón de Caucagua – El Tinaco. (González de Juana).

En el afloran rocas metasedimentarias de edad Jurásico – Cretácico, pertenecientes al Grupo Caracas y las mismas descansan sobre un basamento

ígneo metamórfico denominado Complejo de Sebastopol, de edad Precámbrico – Paleozoico, el cual está expuesto en los núcleos de grandes pliegues abiertos (Ostos, 1985)

### **1.6.2. Cinturón de Caucagua – El Tinaco**

El Cinturón de Caucagua – El Tinaco, está definido en su borde septentrional por la zona de fallas de La Victoria - Pichao, tiene límite al sur por la falla de Santa Rosa, aflorando de manera discontinua, esta constituida por un basamento Paleozoico de composición granítica suprayacente a una secuencia volcánica – sedimentaria, con asociaciones mineralógicas indicativas de un metamorfismo de bajo grado; incluye además bloques alóctonos de rocas metamorfozadas y no metamorfozadas con edades comprendidas desde el Cretácico al Paleoceno.

La parte superior del Grupo Caracas, está localmente corrida sobre el Cinturón. La Faja de Caucagua – El Tinaco, se extiende desde la población de El Tinaco al oeste hasta la región de Barlovento al este; las unidades pertenecientes a esta faja son el Complejo de El Tinaco y las formaciones Las Placitas, Pilancones, Tucutunemo, Los Naranjos, Conoropa, Urape, Muraguara y Chuspita.

### **1.6.3. Cinturón de Villa de Cura**

El Cinturón de Villa de Cura ó bloque de Villa de Cura, así llamado por la gran mayoría de los autores, tiene una extensión de 250 Km. de largo por 28 Km., de ancho, limita al norte con la falla de Agua Fría y al sur con una serie de fallas de corrimiento; este cinturón está constituido por rocas que van de volcánicas a volcanoclásticas metamorfozadas hasta las facies de los esquistos azules, muy probablemente durante el Cretáceo temprano y este se ha caracterizado como de carácter alóctono.

NAVARRO (1983), señala que el metamorfismo que afectó a estas rocas es del tipo básico de alta P/T (Hasta la facies de los esquistos azules), aumentando de

norte a sur. Al sur del Cinturón de Villa de Cura, afloran cuatro cinturones tectónicos adicionales, constituidos por rocas sedimentarias del Cretácico tardío (ROJAS, 1989), el autor divide este cinturón en unidades litológicas, a saber:

- Unidad de Granofels (de mayor antigüedad),
- Unidad de Metalavas, y
- Unidad de Metatobas

En contacto discordante en su parte superior se encuentra la unidad de lavas, brechas y tobas identificada como Formación Tiara, la cual a su vez está en contacto discordante con la secuencia Paleocena del Flysch de Guárico, identificadas como Formación Guárico (OSTOS, 1985).

#### **1.6.4. Cinturón de Paracotos**

En este cinturón afloran exclusivamente la Formación Paracotos, que es una mezcla de litologías diversas no relacionadas genéticamente. Este cinturón se encuentra ubicado entre las fajas Caucagua – El Tinaco y Villa de Cura, su límite norte coincide con la falla de Santa Rosa y al sur con la falla de corrimiento de Agua Fría (GONZALEZ DE JUANA et. al, 1980).

Esta se extiende en una faja angosta y continua desde la población de El Tinaco al oeste hasta la región de Miranda oriental, esta desplazada repentinamente por fallas transcurrentes NO-SE, como característica resaltante se puede notar la presencia de diversos cuerpos de serpentinitas a todo lo largo y cerca de los límites.

Dentro de la denominada Formación Paracotos se distinguen al menos tres conjuntos litológicos representados por calizas microcristalinas, conglomerados líticos y rocas volcánicas como bloques dentro de una matriz filítica.

La edad litológica de esta faja se ha inferido como Paleoceno y estructuralmente presenta una foliación constante y paralela al corrimiento de Agua Fría (GONZALEZ DE JUANA et. al, 1980).

### **1.7. GEOLOGIA LOCAL**

El área objeto de estudio, se encuentra enmarcada dentro del Cinturón de Caucagua – El Tinaco, presentándose en una extensa zona de terrazas aluviales, de edad relativamente joven, que se encuentra en el Cuaternario y extendiéndose a lo largo del frente de montaña desde la quebrada Canapasare al sur hasta los límites norte con el río Torito, las terrazas donde se aloja el yacimiento de arenas para la construcción, están tipificadas por abanicos aluviales muy cercanas a la planicie de anegamiento, sobre la cual se encuentra la población de Tocuyito, donde los intervalos están caracterizados por una serie de estructuras de carácter sedimentario de baja energía y con abundante material de arrastre, se puede observar que estos abanicos presentan espesores no mayores a 30 ó 35 metros, con niveles de gravillas intercalados con arenas de grano fino a medio y limos arenosos de tonalidades amarillo pardo, la matriz esencialmente esta formada por granos de cuarzo fino a medio, minerales arcillosos, mica predominantemente moscovita, escasos niveles de caolinita y plagioclasa y probable ortopiroxeno.

Como aspecto general, se puede observar que la zona esta formada por pequeñas colinas de unos 30 ó 40 metros de altura, formando una superficie uniforme, por encima de los lechos de la quebrada circundante, y de fácil acceso.

## **CAPITULO II**

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1. MICA

La mica es un filosilicato muy abundante en las rocas, especialmente en las plutónicas, formado por un grupo de minerales complejos de silicato de aluminio y potasio hidratados, de los cuales las mas comunes son la moscovita, la biotita, la flogopita y la lepidolita.

El contenido de mineral de hierro, aluminio, potasio y magnesio, en la estructura cristalina de estas micas, hacen la diferenciación mineralógica de estas. Dentro de las variedades de uso comercial mas atractivas, están, la mica moscovita por su elevado contenido de aluminio y la flogopita, rica en magnesio. (Ver Figura 2.1)



**Figura 2.1.- Mica Muscovita (Muscovite). Silicato de Aluminio y Potasio  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$**   
(Tomado de ITGE, 1998)

A este grupo de filosilicatos puede agregarse el grupo de las cloritas, el cual comprende un número de minerales que tienen propiedades físicas, químicas y cristalográficas, muy similares al grupo de las micas. Las cloritas son silicatos aluminicos magnésicos de hierro hidratados y se caracterizan por sus tonalidades verdes, hábito micáceo y exfoliación perfecta, aunque la misma es flexible pero

no es elástica, esta es la única diferencia física de importancia que la diferencia con el grupo de las micas.

La biotita [  $K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH,F)_2$  ], cristaliza en el sistema monoclinico, su aspecto es laminar de color negro, castaño o verde oscuro. Sus propiedades físicas presentes son su flexibilidad, pesada, blanda, transparente o traslúcida con brillo vítreo, es un filosilicato muy abundante en rocas ígneas y metamórficas.

La mica blanca ó moscovita, [  $KAl_2(AlSi_3O_{10}(OH,F)_2)$  ], es diferenciable de la flogopita,  $(AlSi_3O_{10})KMg_3(OH)_2$ , por su contenido de hierro y la no presencia de magnesio, lo que le da este color blanco plateado; sin embargo dependiendo del contenido de hierro, esta puede ir de rojo al verde, se presenta en forma de hojas, escamosas o laminares.

Existe una clasificación industrial, de la mica moscovita en función del color, considerando su forma laminar y transparente, en mica blanca (se incluyen las variedades de tonos amarillos), encarnada (roja, ámbar, parda), y verde, la presencia de óxidos de hierro, le dan a esta mica manchas casi imperceptibles al ojo humano, que se extienden paralelas a las laminas delgadas. La característica mas resaltante de todas las micas es su alta estructura en placas, lo que las hace diferenciable entre otros minerales de similar forma física.

A nivel comercial, la mica esta presente en una gran variedad de formas a saber, mica en hojas, hojuelas, desecho y micas procesadas. La mica en hojas, es de la más alta calidad y es derivada de grandes cristales que pueden ser cortados, perforados o estampados para aplicaciones industriales. Los tamaños de los cristales individuales pueden llegar a medir desde 2,50cm a varios metros, siendo extraídas estas hojas de moscovita por lo general de pegmatitas, las hojas de la mica flogopita son menos comunes y por o general derivan de depósitos de venas de piroxenita. La mica en hojas se subdivide en cuatro grados principales. bloque, delgada, película y partida.

Las micas en hojuelas y de desechos, son de menor calidad que las anteriores, teniendo un alto rango de aplicaciones a escala industrial. Las micas de desechos son generadas principalmente en el proceso de desbaste de micas en hojas, y de la extracción en menas. Debido a su alta demanda en el mercado, para producir una variedad de productos, las micas de desechos, presentan gran interés económico, por lo que estos yacimientos son considerados de alta importancia para el suministro de materia prima en la industria del vidrio, cerámicas, pinturas y bloques refractarios.

Dentro de la escala de Mohs, la mica se encuentra con dureza entre 2 a 3, clivaje perfecto, cristaliza en el sistema monoclinico, peso específico de 2.76 – 3.10, y como propiedad única entre los minerales se destaca sus combinaciones físicas, eléctricas, químicas, térmicas y mecánicas, lo que la hacen un mineral único en la naturaleza.

El uso industrial que las micas tienen en los mercados, se orienta al consumo en la manufactura de pinturas especiales, lodos para uso en perforación de pozos petroleros, fabrica de piezas para automóviles, aleaciones de metales, explosivos, etc. Dentro de las aplicaciones de la mica se puede catalogar según la Tabla 2.1

<b>Tamiz (Malla)</b>	<b>Uso</b>
2	Perforación de pozos, pigmentos para pinturas especiales, nieve artificial
10	Adornos navideños, Fabrica de partes y piezas de uso en la industria automotriz
16	Relleno para bloques de concreto, ladrillos refractarios, losas, tejas, filtros asfálticos
30	Metales, explosivos, desinfectantes y componentes automotrices
60	Electrodos para soldadura, cables y alambres, fundentes, tuberías, esmaltes, masillas asfálticas, lubricantes y adhesivos
100	Para el texturizado de pinturas, morteros acústicos, techos cielorrasos
315	Pinturas, plásticos, papel, productos de caucho

**Tabla 2.1.- Aplicaciones Típicas de la Mica (Tomado de [www.icrmica.com](http://www.icrmica.com))**

La estabilidad estructural natural de la mica le da la propiedad de ser un material dieléctrico perfecto con características aislantes excelentes, gran estabilidad al ser sometida a altas temperaturas, alto poder de insolación, baja proporción de impurezas a la luz y un razonable factor de admisión a la luz. Debido a estos rasgos excelentes y a estas propiedades la mica en gran medida satisface los requerimientos para la fabricación de válvulas termoiónicas, tubos de rayos catódicos, chapas de condensador, y elementos de uso doméstico como las estufas de chapa y planchas de lavadoras de diferente espesor. En casi todas estas aplicaciones, la mica se emplea en forma de chapas.

### **2.1.1. Depósitos en el Mundo y Mercados de Mica**

Los principales depósitos de mica a nivel mundial, que se encuentran actualmente en producción empleando en su gran mayoría el método de explotación cielo abierto se localizan en:

La India (Bihar, Rajasthan, y Andhra Pradesh)

África (Madagascar y Mali)

Brasil (Mines Giraes) y

China (Provincias del Norte)

Existen importantes yacimientos de mica en los límites entre Canadá y Estados Unidos y en Rusia (Sibería), así como en Bélgica. (Ver Figura 2.2)

Las labores de minería en la extracción del mineral son relativamente sencillas, los yacimientos presentes en la naturaleza en su mayor extensión en forma laminar es secuencias de rocas plutónicas, donde los procesos de explotación se simplifican a la aplicación de minería a cielo abierto, siendo de relevante importancia la forma y calidad de las laminas de mica obtenidas durante su extracción, para lo cual el producto final es empleado según la tabla 2.3.

Productores de Mica en el Mundo

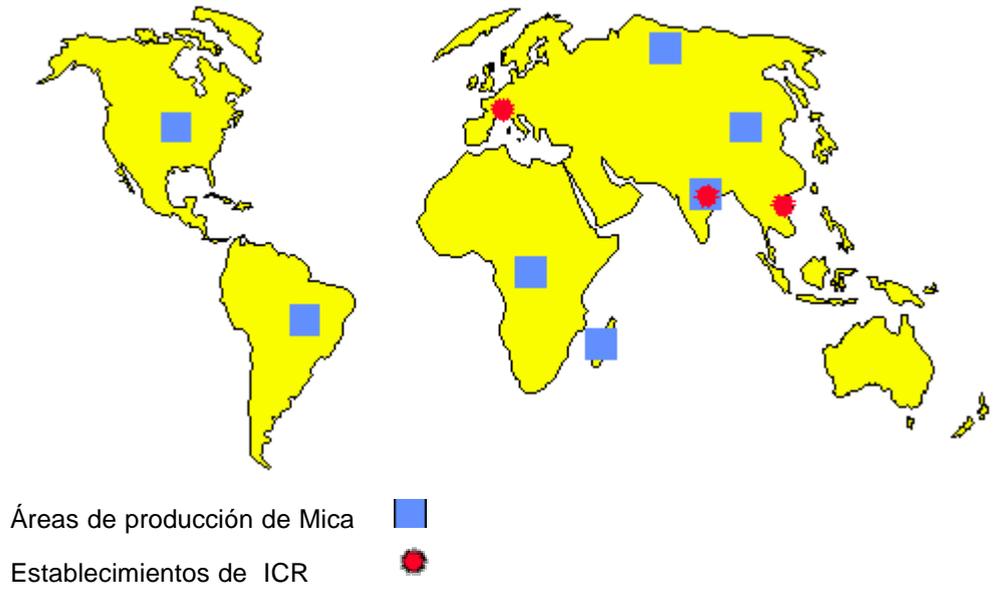


Figura 2.2.- Productores de Mica en el Mundo (Tomado de [www.icrmica.com](http://www.icrmica.com))

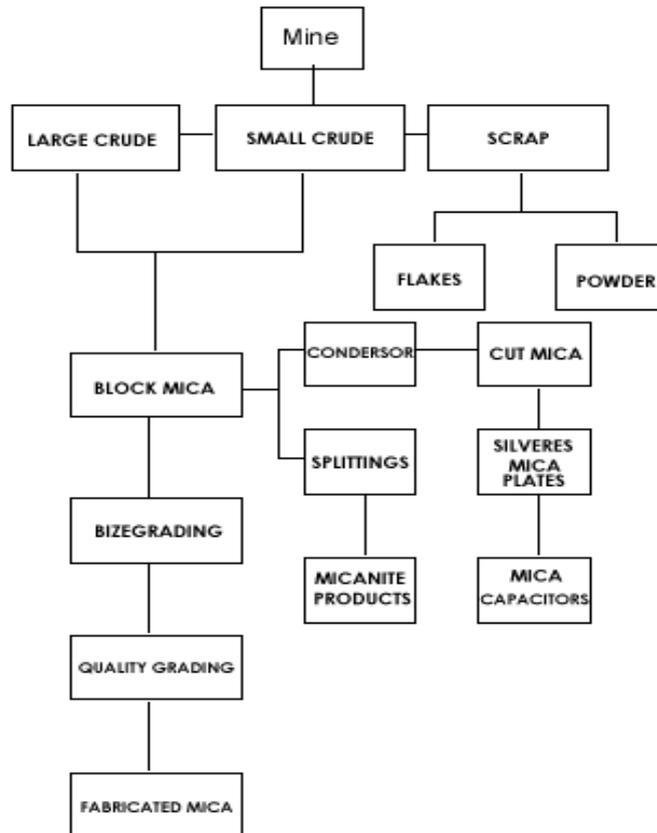


Tabla 2.2.- Usos de la Mica según sus Características Físicas (Tomado de [www.icrmica.com](http://www.icrmica.com))

## Requerimientos Del Producto en los Mercados:

<b>Mica Moscovita:</b>	<b><math>KAl_2(Si_3AlO_{10})(OH,F)_2</math></b>	
Apariencia:	Polvo ligeramente amarillento	
Adsorción de Aceite (%):	29 – 45	
Retención en Malla:	Máximo 15,5% Malla 345	
	Mínimo 0,2% Malla 100	
Humedad:	1%	
Análisis Químico:	Sílice (SiO <sub>2</sub> )	45.57%
	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	33.10%
	Oxido de Potasio(K <sub>2</sub> O)	9.87%
	Oxido Ferrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2.48%
	Oxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O)	0.62%
	Oxido de Titanio(TiO <sub>2</sub> )	Traces
	Oxido de Calcio(CaO)	0.21%
	Magnesia (MgO)	0.38%
	Humedad a 100° C	0.25%
	Fósforo (P)	0.03%
	Sulfuro (S)	0.01%
	Carbón Grafito (C)	0.44%
	Agua a baja Presión (H <sub>2</sub> O)	2.74%

Los precios del mineral en los mercados mundiales se ubica en un promedio de 6.50 USD \$ la Libra por volumen de mica moscovita en laminas.

Uno de los mayores productores de mica a nivel mundial la empresa COGEBI que centra sus operaciones en Bélgica, con una diversidad de productos con aplicaciones en la fabricación de aparatos de uso domestico, cables eléctricos, industria electromecánica, metalurgia, fabricas de vehículos, presenta en la siguiente tabla un cuadro estadístico en miles de euros de producción durante los años 1998 al 2002, donde se refleja la demanda del mineral en los mercados mundiales

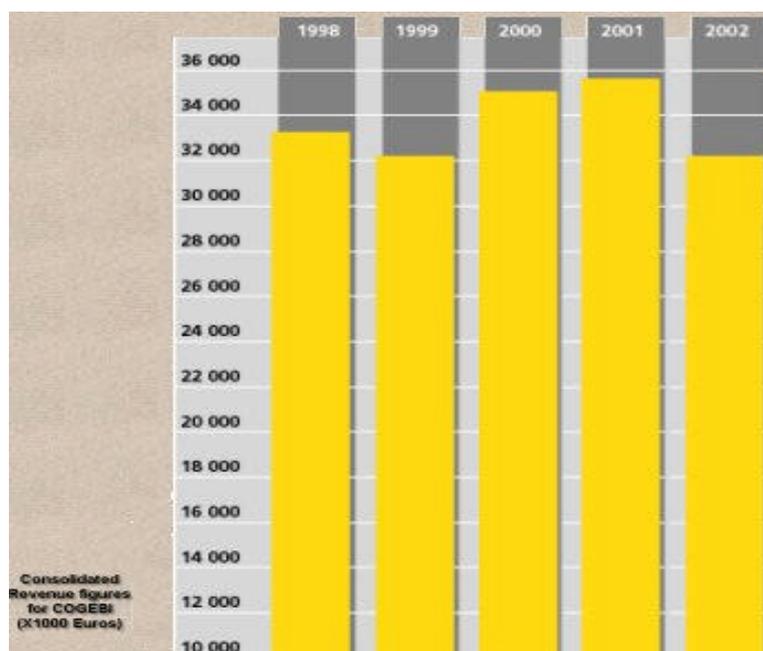


Tabla 2.3.- Producción de Mica en Euros (Tomado de [www.icrmica.com](http://www.icrmica.com))

## **2.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

La mica es transparente a translúcida, plana, maleable y fácil de partir en láminas delgadas a lo largo de su plano de clivaje, es incolora y de láminas delgadas, elástica e incompresible.

Por su baja conductividad eléctrica, se le dan múltiples aplicaciones industriales, tiene la capacidad de resistir sin romperse, altos voltajes o fuertes intensidades de campo eléctrico, lo que determina su resistencia dieléctrica. Se emplea para fabricar copas de porcelana en líneas de alta tensión.

Por su contenido mineral de aluminio, potasio, magnesio, hierro, fluoruro de litio fluoruro de sodio, y otros minerales en bajas cantidades, lo hacen un complejo filosilicato, es un mineral muy estable e inerte al agua, ácidos, álcalis, solventes convencionales, aceite y su descomposición por efecto atmosférico es casi nulo.

La mica es incombustible y no inflamable, lo que la hace resistente al fuego, hasta resistir temperaturas entre 600°C a 900°C, dependiendo de la clasificación de ésta, posee baja conductividad calórica, excelente estabilidad térmica y debido a su resistencia a altas temperaturas puede ser expuesta a estas, sin presentar cambios en su estructura física.

## **2.3. AGREGADOS**

Se conoce como agregado, a aquel constituido por materiales generalmente inertes, naturales o no, y de forma estable, apropiados para la confección de morteros y concretos. (Comité Conjunto del Concreto Armado, 1969).

La arena silíceo forma masas rocosas de grano redondeado y gastados por las aguas que pueden ser también mas o menos angulares, como material cementante que mantiene unido los granos se encuentra la sílice, calcita, óxido de

hierro o material arcilloso de grano fino, el color de la roca depende en gran parte del carácter del cemento. El principal mineral de la arena es el cuarzo y presenta minerales secundarios en mayor o menor proporción de acuerdo a la génesis del yacimiento.

Los materiales para la construcción engloban una serie de roca y minerales industriales, naturales o manufacturados, que se utilizan para edificaciones, fundaciones, carreteras, represas. Se pueden agrupar en:

Agregados:

- *Piedra picada,*
- *Agregado gruesos,*
- *Agregado finos,*
- *Agregado livianos,*
- *Arenas y gravas,*

Arcillas,

Cementos,

Yeso y anhidrita,

Rocas ornamentales

El material conglomerado extraído del yacimiento de arenas es clasificado empleando sistemas de bandas transportadoras que lo llevan a tornillos lavadores, para eliminar arcillas y materia orgánica, posteriormente el circuito hace posible trasladarlo a machacadoras de cono hasta lograr los tamaños de pasante requeridos para el agregado.

Basados en la norma ASTM C-33, los agregados son evaluados en cuanto a su calidad, para poder conocer si están dentro de los límites aceptables, cualquier variación en estos índices de calidad, causa efectos sobre el uso final del material, como por ejemplo en la industria de la construcción de obras civiles en conjunto con el cemento, ya que puede generar efectos perjudiciales en la resistencia del concreto.

Para la clasificación de los agregados, la norma ASTM D-653, regula la relación de consistencia con el uso corriente del material, considerando las características granulométricas del mismo, a saber se puede clasificar el material de la siguiente manera :

*Arena Fina*: partículas de roca y suelo que pasan por el tamiz 40 (425 $\mu$ m), y son retenidos en un tamiz de 75 $\mu$ m ( #200).

*Arena Gruesa*: partículas de roca y suelo que pasan por el tamiz de 2mm (#10), y son retenidos en un tamiz de 425 $\mu$ m ( #40).

*Cantos*: fragmentos de roca, usualmente redondeados por abrasión, que son retenidos en un tamiz de 7,5m.

*Grava*: partículas de roca que pasan por un tamiz de 7,5cm y son retenidos en un tamiz de 2mm (#10).

*Material limoarcilloso (limos y arcillas combinados)*: partículas finas de suelo y roca que pasan por el tamiz de 75 $\mu$ m ( #200).

### **2.3.1. Agregados para Concreto**

El agregado para el concreto comprende todas aquellas rocas y minerales industriales, naturales o manufacturados que proporcionan la masa, la resistencia, y de forma estable, apropiados para la confección de concretos de cemento Pórtland, concretos de mezclas bituminosas y morteros. También pueden presentar características especiales tales como aislantes térmicos y acústicos, peso, textura superficial, forma, resistencia a la abrasión, impermeabilidad en varios productos de mezclas y concretos.

El principal uso de los agregados minerales es el concreto. El bajo costo y la gran masa de agregados hacen que los costos de la fabricación de concreto se mantengan en niveles competitivos con otros materiales de construcción.

Otro de los grandes usos de los agregados son carreteras y bases ferroviarias o materiales de balasto, relleno y muchos usos industriales como fundentes metalúrgicos y químicos (usos no considerados como agregados).

Los principales agregados son las piedras picadas y las arenas y gravas. Las piedras picadas se utilizan directamente en la construcción como un agregado. Los agregados para la construcción son duros, esencialmente materiales inertes.

Los usos de la piedra picada se dividen en dos grandes categorías:

- 1.- Aquellos usos en donde las propiedades físicas de las piedras son más importantes.
- 2.- Aquellos usos en donde son utilizadas las propiedades químicas: fundentes metalúrgicos y químicos.

Dada la importancia de los agregados en el comportamiento de los concretos, las causas principales de las que depende condicionalmente su calidad, se pueden agrupar en:

- *Geológicas*: la geología juega un papel importante en la calidad de los agregados naturales porque ella está directamente relacionada con una serie de propiedades, tales como, forma, textura, clívaje, dureza, absorción, composición química.
- *Preparación Mecánica*: las características técnicas de la industria extractiva de las piedras, arenas y granzones, es otra causa incidente en la calidad final de los agregados empleados para la fabricación de concretos. El estado y funcionamiento de la maquinaria, la reducción de tamaño, el

sistema de lavado, tamizado, clasificación.

- *Las Características de Almacenamiento*: son causas de la calidad final del concreto que se pueda fabricar con ellos.

Los materiales a ser utilizados como agregado para concreto, pavimento o similares deberán someterse a ensayos diseñados para la evaluación de las propiedades físicas, principalmente en laboratorios especializados en donde se llevan a cabo un gran número de pruebas normalizadas, entre las que se distinguen: granulometría, peso específico y absorción, pesos unitarios: suelto y compacto, desgaste Los Ángeles, reactividad potencial, tenacidad, dureza, compresión y módulo de elasticidad, de poisson, triturabilidad y clasificación, además de análisis químicos para conocer las impurezas tales como cloruros, sulfatos, materia orgánica y composición. Todo esto, porque los agregados deben cumplir con una serie de especificaciones estándares de calidad para garantizar un material satisfactorio para la aplicación particular sin ser restrictivos al extremo ni incurrir en costos innecesarios.

El agregado para el concreto, también es conocido como árido, dentro de la clasificación mecánica del mismo, se pueden establecer cuatro categorías de agregado a saber;

#### **2.3.1.1. Agregado Fino**

Esta constituido por arena de río, de mina o proveniente de piedras trituradas; puede emplearse arena de mar siempre y cuando cumpla con estas especificaciones y se demuestre, en un laboratorio debidamente equipado que los porcentajes de sales presentes no afectan la calidad del concreto ni hacen incompatible la presencia de armaduras. Las arenas micáceas no son aceptadas y deberán evitarse. La granulometría del material se determina según el método de ensayo para determinar composición granulométrica de agregados finos y gruesos (CCCA: Ag.2), y en agregados finos, los límites están dentro del pasante de la

malla 3/8" (9,51mm), pasa casi totalmente en la malla 4 (4,76mm) y es retenido predominantemente en la malla 200 (74 $\mu$ ).

La arenas micáceas no son aceptables. El agregado fino debe tener una granulometría comprendida dentro de los siguientes límites (Ver Tabla 2.4):

Malla	Abertura (mm)	Pasante (%)
3/8"	9.51	100
4	4.76	85-100
8	2.38	60-95
16	1.19	40-80
30	0.595	20-60
50	0.297	8-30
100	0.149	2-10

Tabla 2.4.- Granulometría del Agregado Fino ( Norma CCCA: Ag.2 )

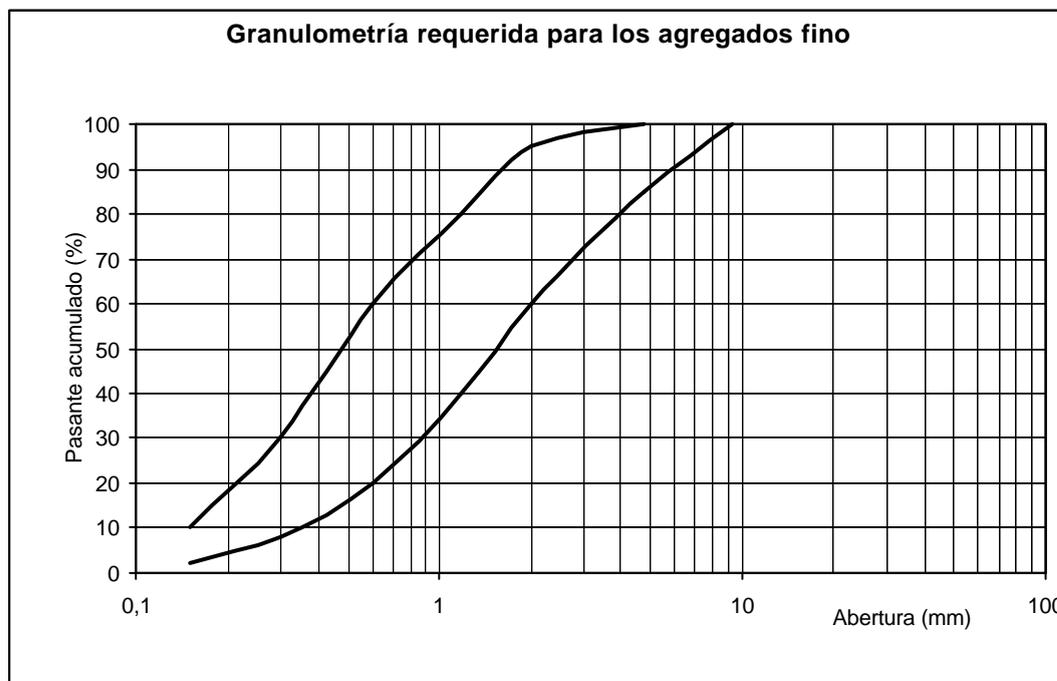


Figura 2.3. Granulometría Requerida para el Agregado Fino. ( Fuente, García, 2001 )

Los porcentajes pasantes mínimos para las mallas 50 y 100 se pueden reducir a 5 y 0 respectivamente si se utilizan como agregados para concretos que contengan más de 300 Kg de cemento por metro cúbico de mezcla.

El agregado no deberá tener más del 45% retenido entre cualesquiera dos malla consecutivas. Este agregado debe estar constituido por granos limpios y duros, provenientes de minerales duros y estables. (Ver Tabla 2.5)

	<b>Porcentaje máximo</b>
Terrones de arcilla	1,0
Partículas pasante malla 200:	
- concreto expuesto a abrasión	3,0*
- todos los demás concretos	5,0*
Partículas en suspensión después de una hora de sedimentación en agua:	3,00**
Carbón lignito:	
- Donde sea importante la apariencia de la superficie de los concretos	0,5
- Todos los demás concretos	1,0
Cloruros	0,1***
Sulfatos	1,2

**Tabla 2.5.- Porcentajes de retenido en el Agregado Fino ( Norma CCCA: Ag.2 )**

\* En el caso de las piedras picadas, si el material más fino que la malla 200 se compone de partículas esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límites se pueden aumentar a 5 y 7 % respectivamente.

\*\* Esta condición no es de rechazo; se puede sustituir por la condición anterior.

\*\*\*Esta condición debe cumplirse estrictamente en concreto de armadura.

El agregado fino a usarse en concretos sujetos a humedecimientos frecuentes, exposiciones largas a una atmósfera húmeda o en contacto con suelo húmedo, no deberá contener materiales deletéreamente reactivos con los álcalis del cemento, tal que causen expansiones excesivas del mortero o concreto. La expansión es excesiva si es mayor que 0,05% en 3 meses ó 0,10% en 6 meses, para cementos que contenga más del 0,6% de álcalis. El agregado fino sometido a 5 ciclos del ensayo de disgregabilidad tendrá una pérdida, pesado de acuerdo a la granulometría requerida, no mayor del 10% cuando se usa sulfato de sodio ó 15% cuando se usa sulfato de magnesio.

### **2.3.1.2. Agregado Grueso**

El agregado grueso se compone de piedra triturada, canto rodado, escorias de hierro de alto horno enfriada por aire o una combinación de ellos, que llene los requisitos de gradación a usarse en concreto, con un peso compacto, determinado según el método de ensayo para determinar composición granulométrica de agregados finos y gruesos (CCCA: Ag.10), de no menos de 1100 kg/m<sup>3</sup>. La granulometría del material se determina según (CCCA: Ag.2), donde el agregado grueso debe ser casi totalmente retenido en la malla 4 (4,76mm); la forma de los granos debe aproximarse lo más posible a la esfera en grava o al cubo en piedra triturada, el agregado que presenta mas del 25% en peso de sus granos, con formas tales que el cociente entre la dimensión máxima y la dimensión mínima sea mayor que 5, determinado de acuerdo a (CCCA: Ag.11). Los agregados gruesos deben estar gradados entre los límites siguientes (Ver Tabla 2.6) :

Límites de los porcentajes pasante a las mallas:													
Piedra	3"	2 ½"	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	¼"	#4	#8	#16	#30
No. 0						100	100 - 80	85- 50	60- 25	40- 15	20-5	10-0	5-0
No. 1				100	100- 90	90- 50	45- 15	20-0	7-0				
No. 2		100	100- 95	90- 75	70- 35	30-5	10-0	5-0					
No. 3	100	100- 90	95- 65	60- 20	10-0	5-0							

**Tabla 2.6.- Tabla de Límites de los Porcentajes en pasante de malla del Agregado Grueso.**

**(Norma CCCA: Ag.10)**

La forma de las partículas debe aproximarse los más posible a la esfera, en grava; o al cubo, en piedra picada. El agregado que presente más del 25% en peso de sus granos, con formas tales que el cociente entre la máxima dimensión y la mínima dimensión sea mayor que 5 puede rechazarse.

El agregado grueso a usarse en concretos sujetos a humedecimientos frecuentes, exposiciones largas a una atmósfera húmeda o en contacto con suelo húmedo, no deberá contener materiales deletéreamente reactivos con los álcalis del cemento, tal que causen expansiones excesiva del mortero o concreto. La expansión es excesiva si es mayor que 0,05% en 3 meses ó 0,10% en 6 meses, para cementos que contenga más del 0,6% de álcalis. (Ver Figura 2.4)

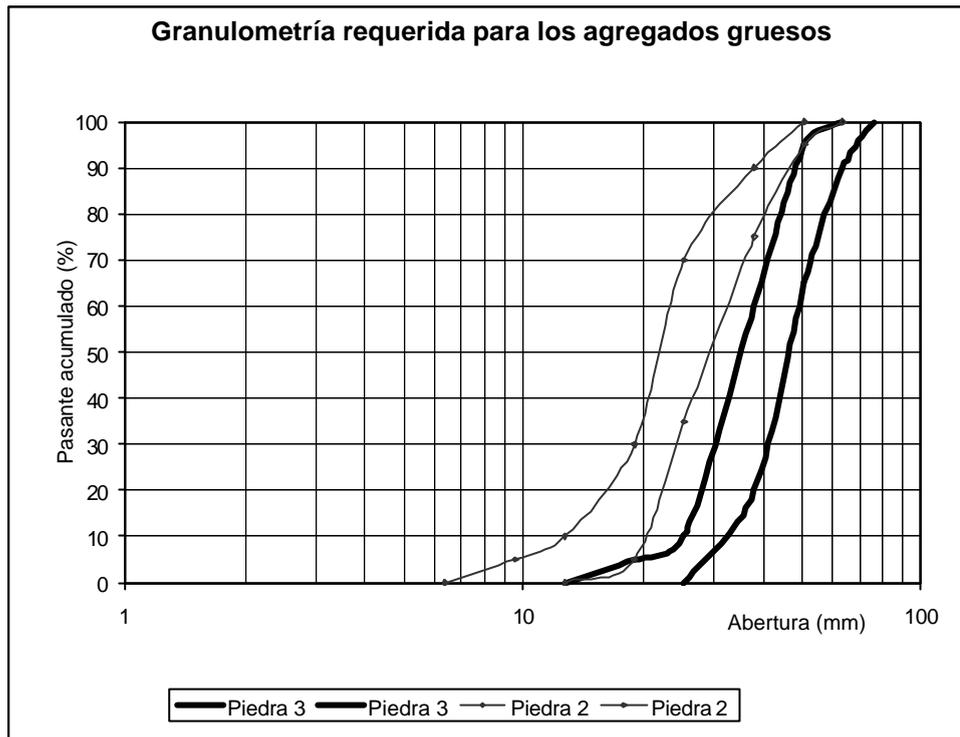


Figura 2.4.- Granulometría Requerida para el Agregado Grueso. ( Fuente, Garcia, 2001 )

La cantidad de sustancias nocivas en el agregado grueso, no deberá excederse a las siguientes indicaciones (Ver Tabla 2.7) :

	Porcentaje máximo
Terrones de arcilla	0,25
Partículas blandas *	5,0
Partículas pasante malla 200:	1,0**
Carbón y lignito:	
- Donde sea importante la apariencia de la superficie de los concretos	0,5
- Todos los demás concretos	1,0

Tabla 2.7.- Porcentajes de retenido en el Agregado Grueso. ( Norma CCCA: Ag.11 )

\*Condición que se verificará cuando existan dudas.

\*\* En el caso de las piedras picadas, si el material más fino que la malla 200 se compone de partículas esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límite se pueden aumentar a 1,5.

El agregado grueso sometido a 5 ciclos del ensayo de disgregabilidad tendrá una pérdida, pesado de acuerdo a la granulometría requerida, no mayor del 12% cuando se usa sulfato de sodio ó 18% cuando se usa sulfato de magnesio.

Desgaste o abrasión: el agregado grueso se aceptará con pérdida no mayor a 50%. Se puede usar como agregado grueso que tenga pérdida al desgaste mayor al 50%, siempre que experimentalmente se demuestre la posibilidad de obtener concretos de resistencias adecuadas.

#### **2.3.1.3. Agregado Saturado**

El agregado saturado con superficie seca, es aquel que tiene los poros permeables saturados de agua manteniendo la superficie sin agua libre, para determinar composición granulométrica del agregado saturado, se emplea el método de ensayo (CCCA: Ag.10). La granulometría de este tipo de agregado, es en esencia la misma que para el agregado fino, a diferencia que en los poros se encuentra agua.

#### **2.3.1.4. Arena**

El material granular que pasa por el cedazo de 3/8" (9,51mm), casi totalmente el cedazo # 4 (4,76mm) y es retenido predominantemente en el cedazo # 200 (74 $\mu$ ), y que resulta de la desintegración y abrasión natural de rocas o del procesamiento de areniscas desmenuzables; o aquella porción de un agregado que pasa por el cedazo # 4 (4,76mm) y es retenido predominantemente en el cedazo # 200 (74 $\mu$ ) , y que resulta de la desintegración y abrasión natural de rocas o del procesamiento de areniscas desmenuzables, es denominado arena.

Las características del agregado empleado para la construcción están a su vez sujetas a la naturaleza del material existente en la zona donde este es requerido, por ende podemos señalar la siguiente tabla (Ver Tabla 2.8):

<b>Grupo</b>	<b>Clasificación general</b>	<b>Roca</b>	<b>Densidad</b>	<b>Desgaste promedio (Los Ángeles)</b>
Ígneas	Intrusitas	Gabro	2.9	18
		Granito	2.6	38
		Cianita	2.7	24
		Diorita	2.8	
		Peridotito	2.9	
	Extrusivas	Felsita*	2.6	18
		Roca trapeana:		
Basalto		2.8	14	
		Diabasa	2.9	18
Sedimentarias	Calcáreas	Dolomita	2.7	25
		Caliza	2.6	26
		Coquina	<2.6	
	Síliceas	Areniscas	2.6	38
		Grauvaca	2.6	17
Metamórficas	Foliadas	Anfibolitas	3.0	35
		Gneis	2.7	45
		Esquistos	2.8	38
	No Foliadas	Mármol	2.7	47
		Cuarcita	2.7	28

- Incluyendo la andesita, dacita, riolita y tracita.

**Tabla 2.8.- Rocas comúnmente usadas para Agregado de la Construcción. ( Fuente, Garcia, 2001 )**

## **2.4. PROCESOS DE CONCENTRACION MINERAL**

La actividad minera se puede decir, en forma general que consiste en su primera fase en descubrir los recursos minerales que se hallan en el suelo, su posterior extracción y colocarlo en condiciones para su utilización en las industrias metalúrgicas, cerámicas y químicas. Esta última etapa incluye diversos procesos de concentración o separación de minerales, los cuales hacen uso de diferentes propiedades de los minerales.

Dentro de los mecanismos necesarios para darle las condiciones que requiere la industria, se establecen una serie de grupo de procesos de concentración, los cuales hacen uso de la diferencia de propiedades inherentes a los mismos, entre ellas, peso específico, propiedades, susceptibilidad magnética y eléctrica respectivamente., entre ellos:

- Concentración Gravitacional
- Flotación
- Separación Magnética y,
- Separación Electroestática ó Alta Intensidad

En específico en la determinación de la recuperación mineral, se tratará el tema de la concentración por flotación mediante el empleo de soluciones químicas para alterar las condiciones físico-químicas del material de interés.

### **2.4.1. Concentración por Flotación**

La Concentración por Flotación, consiste en un proceso donde se concentra el mineral aprovechando la diferente actitud natural o adquirida que tienen los componentes de una mena para adherirse a burbujas de aire, se sirve para ello de la diferencia que poseen ciertos componentes en sus propiedades físico químicas, después de ser tratados con reactivos, estas diferencias en la superficie del mineral, se hacen mas marcadas. ( Peláez, 1981)

Como método de concentración mineral, el proceso de flotación, corresponde al método más empleado en la concentración de minerales; es utilizado para procesar casi todos los minerales sulfurosos y se aplica extensivamente para la recuperación de minerales metálicos no sulfurosos, minerales de uso industrial y el carbón vegetal, también se ha experimentado su aplicación en minerales de baja ley y a minerales que requieren molienda fina para lograr su liberación. Por ser un método relativamente selectivo, una aplicación de relevante importancia esta en la separación y concentración de minerales valiosos contenidos en menas complejas, como los poli sulfuros.

Así puede ser considerado como el método mas adecuado a aplicar en la separación de la mica de la arena silíceas, debido al alto rendimiento que genera aun cuando es el método mas complicado y costoso de efectuar.

Considerando la propiedad selectiva de algunos minerales de mojarse con facilidad cuando su superficie esta limpia, la flotación recurre a ciertos reactivos químicos específicos para lograr separar al mineral de interés del resto de los componentes y controlando las condiciones de la pulpa en la que se efectúa el proceso. Para lograr este objetivo la mena se muele en agua a tamaño menor a la malla A.S.T.M. # 48, y es diluido el producto hasta que el porcentaje de sólidos en la pulpa esta comprendido entre 25% y 45%. Al agregar los reactivos apropiados, en pequeñas dosis, para que sean absorbidos por el mineral de interés que lo recubre parcialmente con una película aerófila uní molecular, se hace burbujear aire a través de la pulpa y las partículas recubiertas serán atraídas hacia la interfase aire - agua de las burbujas y estas las transportan a la superficie, formando una espuma que se hace estable al añadir un reactivo, sin que el resto de los componentes de la mena se vean involucrados en la interfase aire – agua. Para asegurar la estabilidad de las burbujas en la espuma que se forma en la superficie, se requiere adicionar a la pulpa un reactivo apropiado para este fin.

Lo usual en el método de concentración mineral por flotación, es que el mineral de interés que es requerido en la extracción sea recogido en la espuma,

descartando los demás minerales en la pulpa, mientras que el caso contrario, donde el mineral de interés queda en la pulpa, y se flote la ganga, es llamado flotación inversa.

El proceso sólo puede ser aplicado a partículas relativamente finas, ya que si las mismas son demasiado grandes, la adhesión que debe ocurrir entre la partícula y la burbuja de aire, será menor que el peso de la partícula, y por lo tanto, la burbuja vera disminuida su capacidad de carga, y no se asegura el transporte de la partícula a la superficie de colección.

La importancia del método de flotación radica en su extensa aplicación, en los que podemos mencionar:

- Yacimientos donde el mineral de interés esta finamente diseminado y de tamaños casi imposibles de recuperar por otros métodos, esta particularidad en cuanto al tamaño de los finos, lo hacen un método extensivamente apropiado para menas diseminadas.
- También se emplea en los sulfuros metálicos en menas sulfuradas para obtener metales no féreos, ya que es en estas menas donde el método responde con mayor éxito, en menas sulfuradas complejas aprovechando la llamada flotación diferencial, ya que la diferencia de densidades entre los componentes útiles de la mena es insuficiente.

Minerales como el cobre, plomo, plata y zinc, son extraídos en su gran mayoría de los yacimientos que los contienen empleando procesos de concentración por flotación.

En todo proceso de concentración se debe aprovechar las diferencias existentes entre las partículas de la ganga y el útil, aumentandolas con un tratamiento adecuado si estos no fuesen suficientes para la separación e incluso

creándolas si no existiesen, para esto se deben aprovechar las fases líquida, sólida y gaseosa, así como las diferentes interfaces.

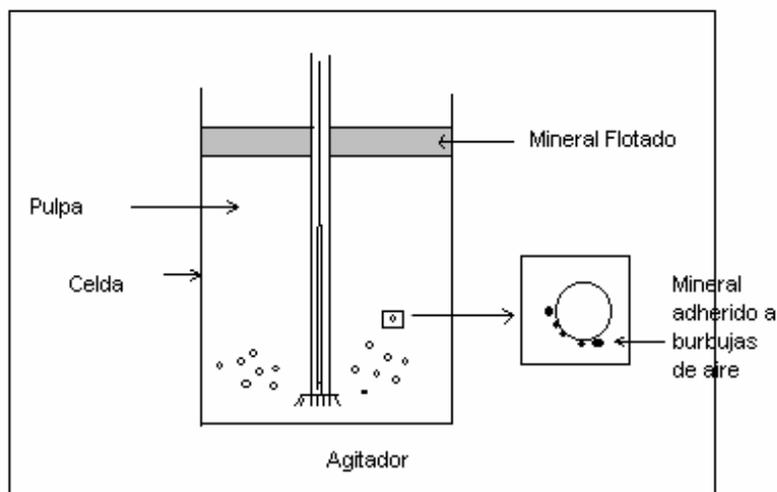


Figura 2.5.- Principio de Flotación (Tomado de Will, B. 1977)

El fundamento básico de transferencia de la partícula mineral a una espuma o fracción flotante, dejando la ganga en la pulpa, que se denomina flotación directa, se puede observar en la Figura 2.5

En la flotación, el empleo de aparatos para el proceso es importante, ya que estos ocupan menos espacio horizontal y en altura, a diferencia de los empleados en el método de Concentración por Gravedad, adicionalmente, no es necesario hacer una clasificación previa (volumétrica ó isodrómica), para disponer del alimento en la flotación, ya que esta diseñado para admitir un amplio intervalo de tamaños (< malla A.S.T.M 48 ó 65), además se pueden construir lavaderos menores y mas sencillos.

La gran mayoría de los minerales son naturalmente hidrofílicos, es decir, aceptan con mayor preferencia en agua como agente físico externo, por tanto para lograr aplicar el método de concentración por flotación, se debe hacer que la

superficie del mineral sea selectivamente hidrofóbica, esto se puede lograr regulando la química de la solución, seguida de la adición de un colector que selectivamente absorba y proporcione la superficie hidrofóbica requerida.

En todo proceso de concentración por flotación, aprovechar las diferencia entre el útil y la ganga, es fundamental, como se ha dicho en párrafos anteriores; si estas no existen hay que crear el medio necesario para que se presenten ó se aumentan las ya existentes; esto se logra mediante el tratamiento de las energías superficiales que poseen las partículas del alimento de flotación, por lo que es necesario considerar las tres fases presentes, sólida (compuesta por la muestra a flotar), líquida (compuesta por el agua) y gaseosa (compuesta por el aire).

#### ***2.4.1.1. Fase Sólida***

La Fase Sólida esta representada por la mena, involucra los diferentes minerales, sustancias que poseen estructura cristalina en un arreglo espacial regular. El carácter de la superficie del mineral, depende de su sistema cristalino, de la existencia o no de planos de corte, y de los enlaces iónicos ó covalentes de los átomos que forman el cristal, de modo que el comportamiento de las partículas sólidas en el proceso de concentración por flotación, está afectado por el carácter del mineral y de su superficie.

#### ***2.4.1.2. Fase Líquida***

La Fase Líquida, representada por el agua de la pulpa, se emplea agua por su abundancia, facilidad de adquisición y propiedades, siendo el único líquido que se emplea en flotación, el tratamiento previo a su empleo en la pulpa de flotación, no es muy corriente, pero en algunos casos es necesario eliminar sales de calcio, magnesio ó sodio, ya que su presencia puede hacer que se consuman mayores cantidades de reactivos ó en su defecto producir cambios en las propiedades de flotabilidad de algunos minerales, así como materia orgánica o coloides, que pueden modificar la superficie del mineral de interés.

### 2.4.1.3. Fase Gaseosa

La Fase Gaseosa, se ve representada por el aire que es necesario inyectar al sistema para formar las burbujas, puede ser inyectado a presión atmosférica ó ligeramente comprimido. Es introducido en el equipo de flotación junto con la pulpa, disuelto en el agua y mecánicamente por dispositivos del equipo o con equipos auxiliares, el aire por una parte lleva a las interfaces el oxígeno y los demás gases existentes en el aire, sirviendo además como agitador de la pulpa y como transporte de las partículas del útil en la pulpa. De los gases presentes en el aire, el anhídrido carbónico y el vapor de agua, tienen influencia en la flotación, ya que algunos minerales no se adhieren a las burbujas, sino han absorbido previamente cierta cantidad de gas, principalmente el oxígeno, que cambie el potencial de la superficie y contribuya a hacerla hidrófoba.

### 2.4.1.4. Reactivos de Flotación

Los reactivos químicos mas utilizados como agentes externos en el método de concentración por flotación, pueden clasificarse en dos grupos, atendiendo a su función en la siguiente tabla se puede observar la clasificación de los mismos, (Ver Tabla 2.9)

<i>Principales</i>	- <i>Espumantes</i> - <i>Colectores</i>
<i>Auxiliares</i>	- <i>Deprimentes</i> - <i>Activantes</i> - <i>Reguladores del pH</i> - <i>Modificadores</i>

Tabla 2.9.- Clasificación de los Reactivos de Flotación. ( Tomado de Peláez, 1975 )

La regulación de la química de la solución puede abarcar la adición de reactivos, ya sean activadores, que aumentan la selectividad intensificando la adsorción del colector, ó reactivos depresores, que retardan ó evitan la adsorción del colector. También se puede incluir la adición de un dispersor para asegurar que las superficies minerales estén libres de partículas finas. Finalmente la regulación de la química de la solución puede incluir el control del pH, para asegurar que habrá de existir el colector (que con frecuencia es un ácido débil), en la solución en la forma deseada. Otro grupo de reactivos que intervienen en la flotación son los espumantes, estos tienen dos funciones, mejorar la dispersión de las burbujas finas en la pulpa y controlar las características de la espuma ( Kelly, E. 1990).

Los reactivos principales, son prescindibles. Así que el uso de los espumantes es fundamental, pues se necesita para obtener la espuma, que es el vehículo de transporte del mineral que las burbujas han atrapado y así llevarlas a la superficie de las celdas de flotación, es requisito indispensable que se forme sobre esta una espuma estable.

Estos reactivos, disminuyen la tensión superficial y contribuyen junto con las partículas adheridas a evitar que las burbujas de aire se rompan al llegar a la superficie, debido a la diferencia de presiones en el medio. Los reactivos espumantes, son sustancias tenso – activas, heteropolares, que se adsorben selectivamente en la interfase aire – agua. Es importante que estos reactivos, generen espumas no demasiado persistentes, ya que es condición importante que estas se deshagan al abandonar las celdas de flotación.

Como característica relevante, los espumantes, no deberían tener influencia determinante en la flotabilidad de los sólidos de la pulpa, deben limitarse a producir espuma; también es importante que su acción no este influida por la condición de la pulpa, ya que en ella se presentan además de los componentes de la mena, otros reactivos, y variaciones en el pH, necesarios para ajustar el medio a

las condiciones requeridas para hacer flotar el mineral de interés, en las flotaciones selectivas.

Entre los espumantes mas utilizados en la industria, se pueden mencionar a los productos obtenidos al destilar sustancias vegetales o minerales y es por eso que son sustancias complejas y variables, es posible también encontrar espumantes sintéticos, que controlan de mejor manera la flotación, por no tener propiedades colectoras.

Entre los principales espumantes tenemos:

- El aceite de pino, producto de la destilación de la madera de pino, su acción espumante es debida a su contenido de alcoholes, principalmente de terpineoles, que es un alcohol aromático de formula  $C_{11}H_{17}OH$ .
- El ácido cresílico,  $CH_3O_6K_4OH$ , este es producto de la destilación del alquitrán de hulla, constituido en su mayor parte por una mezcla de cresoles isómeros acompañado por otros hidrocarburos.
- Alcoholes de peso molecular alto, obtenidos como subproductos en la industria, comercializados por la Cyanamid, con el nombre de "Aerofroths", que contienen 6 o mas cadenas normales o ramificadas de carbonos, entre los mas empleados están el 70, 73 y 77, con densidades entre 0.81 a 0.82, utilizados para flotar minerales metálicos y no metálicos.
- Espumantes sintéticos, como el metil-ísobútil-carbinol, el dimetilfenil-carbinol, o mezclas ésteres metálicos del propilen-glicol; solubles en agua y fabricados por la Dow Chemical, con el nombre comercial de "Dowfroths", siendo el mas empleado en No. 250.

Es de igual importancia el uso de colectores que modifican el medio, siendo los más decisivos de los reactivos de flotación; según Dudenkov (1980), los reactivos colectores son moléculas o iones orgánicos que se absorben

selectivamente sobre la superficie de los minerales. La función principal de los colectores es la hidrofobización selectiva de la superficie de las partículas de ciertos minerales en la pulpa de flotación, para crear condiciones favorables de su adherencia a las burbujas de aire, para su ulterior extracción en los concentrados. Otra de las propiedades de relevante importancia en los reactivos colectores, es que disminuyen la humectación de las partículas del mineral y aumentan su capacidad de adherencia a las burbujas de aire.

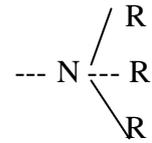
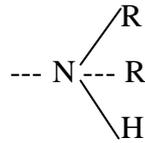
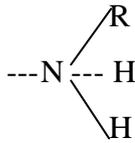
Debido a la capacidad de disociación de los colectores en la pulpa de flotación, estos se pueden llegar a clasificar en dos grupos:

- Colectores Iónicos: Que se disocian en iones, y
- Colectores No Iónicos: Que actúan en forma molecular.

Dependiendo de si la parte de flotación activa de la molécula es un anión o un catión, los colectores ionógenos se subdividen en aniónicos y catiónicos.

En dependencia de la estructura química, los colectores aniónicos se dividen en sulfhídricos, para los cuales es característica la existencia en la parte polar del grupo  $-SX$  ( $X = H, Na, K, NH_4$ ), ácidos grasos y sus sales (jabones), alquisulfatos y alquisulfonatos, los que tienen en su composición  $-SO_3X$  y  $-OSO_3X$  ( $X = H, Na, K$ ). Los colectores no iónicos también se dividen en reactivos que contienen azufre bivalente, alcoholes, alquifenoles, etc.

Los colectores catiónicos son compuestos orgánicos en los cuales el radical hidrocarburo es el catión. El grupo de estos reactivos esta representado por aminas, sus sales, bases amónicas cuaternarias y otras bases nitrogenadas, Las aminas son derivadas del amoníaco, las cuales en dependencia de la cantidad de los átomos de hidrógeno sustituidos por radicales hidrocarburos, se dividen en primarias, secundarias y terciarias:

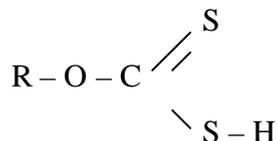


El concepto de amina, proviene de la de los radicales hidrocarburos que entran en la composición; las aminas inferiores son perfectamente solubles en agua, al aumentar el peso molecular, la solubilidad de las aminas en agua disminuye. Las aminas superiores son las sustancias sólidas, insolubles en agua.

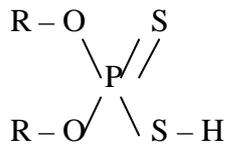
Aun cuando muchos minerales poseen una excelente flotabilidad natural, y no necesitan de un colector, se pueden considerar como minerales muy puntuales y su importancia en la flotación es relativa y limitada.

La selectividad de los colectores que se emplean en la industria, depende de la naturaleza del grupo de enlace, es decir, de su capacidad para incorporarse al mineral. Dentro de los mas empleados se encuentran:

- Xantatos y ditiofosfatos, se emplean en la flotación de los sulfuros de los metales pesados, porque distinguen estos sulfuros de los silicatos. Donde la R, representa el radical hidrocarburo, como el etilo, bútilo o amilo y el hidrógenos del ácido ha sido reemplazado por sodio ó potasio. Se obtienen de la reacción de un alcohol, de la serie alifática saturada con sulfuro de carbono e hidróxido sódico ó potásico.



- Los ditiofosfatos, compuestos de la reacción del pentasulfuro de fósforo sobre los alcoholes o fenoles, se emplean en dosis grandes (entre 25 y 125 grs./TM), estos se emplean en la flotación de menas complejas de sulfuros.



- En estos colectores, el fósforo es el átomo central del grupo de enlace sobre los cationes y el grupo polar de los alcoholes o fenoles, este ácido se hidroliza fácilmente, tiene mayor solubilidad y menor capacidad colectora, además de ser más débiles en sus propiedades colectoras que los xantatos. La compañía Cyanamid los comercializa con el nombre de "aerofloats".
- Otros colectores, que incluyen en su composición azufre (S), combinado directamente con Carbono (C), por lo que su acción colectora se parecen a los anteriores. Podemos mencionar la tiocarbanilida (difeniltiourea), sustancia cristalina, blanca, ligeramente soluble en agua, los ditiocarbaminatos, la difeniltiocarbazida, y otros.

Respecto a los reactivos secundarios, estos se utilizan como modificadores o reguladores de las diferentes reacciones que intervienen en el proceso.

Como reactivos reguladores, se agrupan los reactivos que se añaden a la pulpa con el objeto de crear en ella las condiciones apropiadas para que se modifiquen las propiedades superficiales de los minerales, de tal forma que solamente los deseables pasen a la pulpa.

Dependiendo del papel que desempeñan los reactivos reguladores, estos se clasifican en:

- Reactivos Deprimentes, estos reactivos aumentan la tendencia a mojarse de los minerales que se desean flotar, es decir, hacen hidrófila la superficie de los minerales que deben permanecer en la pulpa. Los deprimentes mas importantes son, los cianuros de sodio o de potasio, para pulpas alcalinas, se

usan principalmente para deprimir la blenda y los sulfuros de cobre, pero suelen ser altamente tóxicos y su precio elevado; otro deprimente es el sulfuro sódico, que se emplea para deprimir la mayoría de los sulfuros.

- En la flotación de cuarzo y silicatos, el empleo de silicato sódico ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), que es una sal formada por un ácido débil y una base fuerte, y es sustituido en la industria por el vidrio soluble, empleándose en dosis de acuerdo a las propiedades de alcalinidad de la pulpa.
- Reactivos Activantes, estos reactivos destruyen la acción de los reactivos deprimentes, es decir, preparan de nuevo la superficie de los minerales seleccionados para que pueda actuar el colector. Los principales activantes que se utilizan en la industria son el sulfato de cobre y los ácidos minerales; el sulfato de cobre, reacciona rápidamente con la galena, mientras que de los ácidos minerales se emplea solamente en la industria, el ácido sulfúrico por su bajo costo, como activante de la pirita deprimida con cianuro o cal.
- Modificadores del pH, sirven para controlar la concentración iónica de la pulpa y sus reacciones, a través de la acidez o alcalinidad. La regulación del pH, es fundamental en la flotación, ya que la mayoría de los minerales flotan bien dentro de un determinado intervalo de pH y fuera de él es imposible conseguir su adherencia a las burbujas de aire; al valor de pH por encima del cual el mineral no flota se le llama pH Crítico y varía con la temperatura de la pulpa y la dosis y naturaleza del reactivo.
- Reactivos Reforzadores, estos reactivos se emplean para acentuar la aptitud para flotar de minerales que no se han sometido a la acción de los deprimentes, por lo que este reactivo puede ser utilizado como activante o como reforzador. La acción reforzadora puede obtenerse por la presencia de un ión común, algunas veces son los cationes y otras los aniones. Los reforzadores más empleados en la industria son el sulfato de cobre y el sulfuro sódico.

En especial en este trabajo se emplearon reactivos depresante, activadores, colector y un regulador de pH.

#### ***2.4.1.5. Preparación de la Pulpa para la Flotación***

La preparación de la pulpa de flotación es fundamental para lograr una efectiva alimentación en la planta de concentración. Existen factores que influyen en los resultados de la flotación, como lo son los que se derivan de la naturaleza de la mena o del sistemas de explotación de la mina y del transporte de las zafras al lavadero, también es posible que se generen en el proceso de tratamiento mineral, como lo son la trituración, molienda y clasificación, así como también se presentan factores influyentes durante el proceso de flotación.

La composición mineralógica del útil, es quizás el factor más importante y que influye de manera decisiva sobre la flotación, pues de ella dependen tanto los reactivos que se empleen como el tipo de tratamiento. Es por eso importante controlar en el lavadero ciertos factores como el tamaño de las partículas y la dilución de la pulpa, que son los factores de mayor relevancia.

El tamaño de las partículas afectan las condiciones de fijación del mineral a la burbuja e influye en la velocidad de flotación y en las reacciones entre el mineral y los reactivos, siendo el tamaño más conveniente dependiente por una parte del peso específico del mineral útil y por otra parte del grado de diseminación, ya que para que las partículas puedan ascender junto con la espuma a la superficie y permanecer en ella deben ser de un tamaño tal que su peso sumergido sea incapaz de vencer la adhesión a la burbuja.

El tamaño máximo rara vez es mayor a la malla A.S.T.M 48 (0,3 mm), ya que las partículas mayores, aparte de la liberación, son difíciles de flotar debido a su mayor peso y además debe existir una relación entre el peso de la burbuja cargada de partículas minerales y el empuje ascensional de la misma. Respecto al tamaño mínimo, las recuperaciones disminuyen cuando las partículas son inferiores a 10 $\mu$ ,

y al ascender el tamaño por debajo de  $5\mu$ , las propiedades superficiales de los minerales se asemejan tanto que es difícil recoger el útil e impedir que la ganga pase a la espuma, dando como resultado recuperaciones de baja calidad y bajo grado de concentración.

Otro problema que se presenta en la preparación mineral, es la heterogeneidad de la composición de la mena, pues al no ser de igual dureza los diferentes componentes minerales, los más blandos se fragmentan con mayor facilidad. Debido a este problema, las cantidades de lamas en la pulpa que resultan de la desintegración de los componentes de la ganga hasta el tamaño de micrones resultan perjudicial pues estas se adhieren a las burbujas, limitan el acceso a las mismas del mineral útil y ensucian los concentrados al pasar a la espuma.

Ya que los costos de molienda del mineral varían con el tamaño, habrá por lo ya expuesto, un tamaño óptimo para el tratamiento de cada mena, para su cálculo, es importante considerar que mientras mayor sea el tamaño de las partículas, mayor es su tendencia a sedimentarse y como consecuencia aumenta el consumo de energía y el desgaste de las máquinas de flotación, debido al aumento de la rotación en el eje de agitación de las celdas de flotación.

Por otro lado, la dilución de la pulpa en los circuitos de flotación de la pulpa, puede variar entre 1:1 y 6:1, es decir entre 50% y 14% de sólidos en peso; el exceder estos extremos no es recomendable, pues por una parte una pulpa con más del 40% de sólidos resulta demasiado densa y en ella se reduce la velocidad de flotación y baja la recuperación y por otro lado, si se tiene demasiada agua los reactivos están muy diluidos.

#### ***2.4.1.6. Equipos para Flotación***

Los equipos denominados máquinas de flotación, se utilizan en el proceso para separar de ella un concentrado o un rechazo, esta separación se efectúa al introducir aire para generar las burbujas en la pulpa que está dentro de la máquina;

estas suelen clasificarse según la forma como produzcan las burbujas, en dos grupos: (Ver Tabla 2.10)

Máquinas Para Flotación	Mecánicas ( Introducen aire por agitación mecánica )	<p><b>De Celdas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Fagergren</u> (Impulsor de Tipo Rotor Turbina)</li> <li>- <u>Denver</u> (Impulsor de Turbina Plana)</li> <li>- <u>Agitair</u> (Impulsores de Discos con Postes)</li> <li>- <u>Krupp</u> (Con Impulsor de Turbina Plana)</li> <li>- <u>Outokumpu</u> (Impulsor de Turbina Plana Curvo)</li> <li>- <u>Sala</u> (Impulsor de Turbina Plana)</li> </ul> <p><b>De Tanque</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Maxwell</u> (Impulsor de Turbina Plana ó Inclinada)</li> <li>- <u>Nagahm</u> (Impulsor de Turbina de Aspas Curvas)</li> </ul>
	Neumáticas ( Se introduce aire a presión )	<p><b>De Columna</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>De Columna</u> (Agitación por Contracorriente)</li> </ul> <p><b>De Tanque ó Celda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Cyclo Cell</u> (De Bombeo Tangencial)</li> <li>- <u>Davrra</u> (De Bombeo Tangencial)</li> <li>- <u>Flotaire</u> (De Flujo a Contracorriente)</li> </ul>

**Tabla 2.10.- Clasificación de las Maquinas para Flotación. ( Tomado de Nelly, , 1990 )**

El uso de agitadores mecánicos con celdas de flotación tipo Denver, constituye el equipo mecánico del cuál se respalda este estudio en su fase experimental. Estas maquinas por no requerir de agentes acondicionadores para mezclar los reactivos colectores con la pulpa, reducen los costos de operación, las colas con más pobres y los concentrados puros, b que lo hace un equipo de eficiencia elevada aportando resultados precisos y de alto rendimiento para el análisis de las muestras.

## **CAPITULO III**

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente gráfico se puede observar el flujograma para el tratamiento de las muestras llevado a cabo desde la toma de muestra, caracterización y preparación de las mismas, con el propósito de efectuar los análisis respectivos y las pruebas de flotación, hasta llegar a la obtención de los resultados esperados.

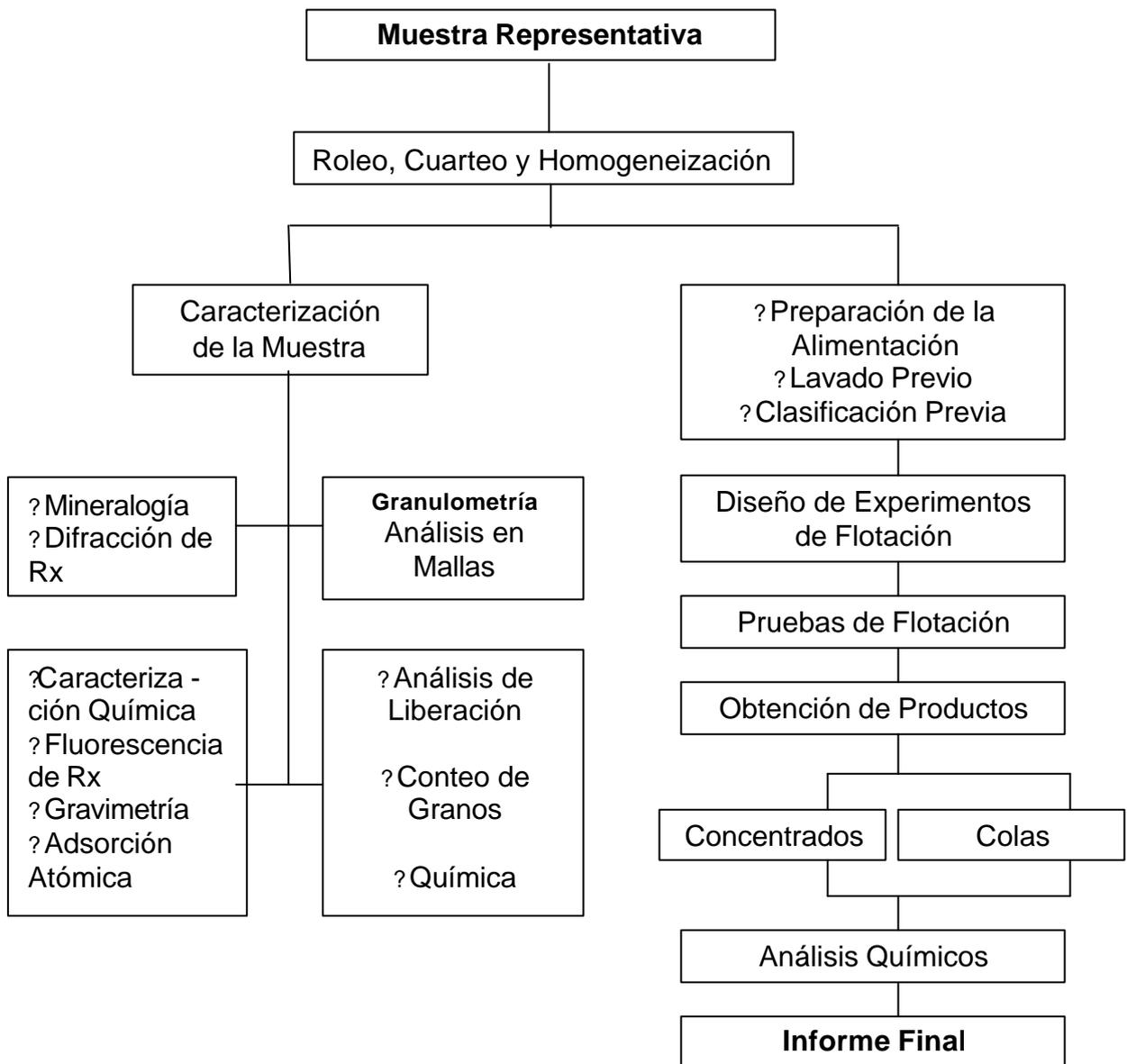


Tabla 3.1.- Flujograma de Tratamiento de las Muestras

### 3.1.- TOMA DE MUESTRAS

Para la realización de este estudio, se efectuó un muestreo en la Arenera El Torito, empresa perteneciente a Agregados Caribe, C.A., en cinco puntos diferentes dentro del proceso de tratamiento de la arena para la obtención de agregados pétreos para el concreto; seleccionados considerando el volumen de material que es reciclado en el proceso de lavado y descarte, el material que alimenta las pilas de producción y el material que es desechado dentro del tratamiento mineral a las lagunas de sedimentos, a saber.

El procedimiento para la toma de las muestras consistió en el empleo de bolsas plásticas resistentes con capacidad para 50kg, y una pala con cuchara de acero. Las muestras se tomaron con intervalos de 2 minutos para el llenado de las bolsas plásticas, en los siguientes puntos dentro del procesamiento de la arena:

- *Tolva de descarga de material proveniente de la arenera. (M1-MTA).*  
En la boca de salida de la tolva de descarga de material que proviene de la arenera a la banda transportadora que alimenta a la Criba 1.
- *Trituradora Primaria a Tolva de Lavado. (M2-TITL).*  
En la descarga de la Trituradora Primaria a la banda transportadora que lleva el material hasta el tornillo lavador.
- *Material Saliente de Trituradora Primaria a Tolva de Lavado. (M3-MTIL).*  
En la banda transportadora que recoge el material que no entra al sistema y que es descartado por rebose del tornillo lavador y es llevado a la Criba 2.
- *Descarga en Laguna de Sedimentos. (M4-MLS).*  
En el canal de descarga de los finos que rebosan de la banda transportadora que alimenta la Criba 2 y de los cuatro vértices de la laguna principal de sedimentos, material que por su tamaño es llevado a estas lagunas para separar el fino del agua que es recirculada en el proceso, (en este sitio de toma de

muestras se concentro el mejor muestreo, ya que se supone que el mayor porcentaje de micas cae en este canal, por lavado.

- *Arena Lavada a Tornillo de Producción. (M5-MTTP).*

En las pilas de producción de arena lavada (arrocillo), que es destinado a los mercados como agregado fino.

### **3.2.- PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS**

El procedimiento para la preparación de las muestras para su posterior análisis, consistió en:

- *Homogeneización y Secado:*

Cada una de las muestras se homogeneizaron en las instalaciones de Laboratorio de Preparación y Concentración de Menas. El procedimiento consiste en extender sobre una lona de tela una cantidad de treinta kilogramos previamente pesado de material recolectado en los cinco puntos seleccionados en la arenera para se homogenizadas. Seguidamente se efectuó la selección de las muestras representativas empleando el cuarteador Jones, y se tomaron 10 kg de cada una. Para el secado de las muestras se empleo una estufa eléctrica durante un lapso de tiempo de 24 horas a una temperatura promedio de 120°C.

- *Corte de Malla y Lavado del Material:*

El producto de la homogeneización de las muestras tomadas en la arenera es lavado empleando el Rot Tap colgante (equipo consistente de un motor eléctrico vibratorio acoplado a una base donde se colocan los diferentes tamices); ubicado en las instalaciones de Laboratorio de Preparación y Concentración de Menas; se utilizó un total de un kilogramo de muestra que es colocado en un sistema de siete tamices A.S.T.M. de diferente malla de pasante, los cuales son seleccionados considerando la procedencia del material

que es colocado en la base del equipo, la adición de agua para el deslamado de las muestras se efectúa empleando una manguera con un volumen moderado de agua mientras el Rot Tap hace vibrar el sistema de tamices, progresivamente se sigue adicionando material al tamiz superior hasta completar el total de la muestra pesada, este proceso es continuo hasta que el agua de lavado no presenta lamas. (Ver Figura 3.1)

- *Secado y Pesaje del Material:*

El material retenido en los tamices empleados en el corte de malla, es colocado en bandejas de aluminio e identificado, es llevado a la estufa para ser secado a una temperatura promedio de 180°C, durante 8 horas, posteriormente es pesado en una balanza calibrada para conocer el volumen de material retenido en el proceso.



**Figura 3.1.- Rot Tap colgante para el deslamado de la muestra**

### **3.3.- CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS**

La determinación de las características de las partículas es un aspecto vital del procesamiento de minerales. En algunos casos, se debe a que el producto debe cumplir con ciertas especificaciones de tamaño, composición química o forma física.

Es necesario efectuar una buena caracterización de la muestra para poder inferir cualitativamente las diferencias de comportamiento entre uno y otro material en un determinado proceso, ya sea por su grado de liberación, forma de la partícula, tamaño de las partículas, contenido mineralógico u otra característica.

#### **3.3.1. Descripción Macroscópica de las Muestras**

Para el análisis en el Laboratorio de Preparación y Concentración de Menas, se contó con 5 bolsas plásticas de aproximadamente 50 kg cada una, de las cuales una era de arena proveniente del sitio de extracción, (M1-MTA), dos tomadas en el proceso de lavado de la arena, (M2-T1TL y M3-MT1L), una de la laguna de sedimentos, (M4-MLS), y la última de las pilas de material para el mercado (arena # 3/8), (M5-MTTP).

- *Arena de Tolva de Alimentación, (M1-MTA):*

Se observó material no consolidado con características de la arena de color amarillo ocre, con rocas de tamaño no mayor a 2 pulgadas de diámetro, de forma angular, compuestas mayoritariamente por cuarzo y granos de color marrón oscuro, no hay uniformidad en el tamaño del grano ya que estos varían desde el rango de las arcillas hasta granos de 1 cm, es también apreciable el contenido de estructuras laminares de mica de color blanco plateado, la presencia de lamas es considerable.

- *Arena Lavada, (M2-T1TL y M3-MT1L)*

Se observan dos materiales similares, no consolidados con característica de arena contentiva de cantos rodados de cuarzo, de color gris, con pequeñas laminas de mica de color blanco plateado y granos de material de color marrón claro a oscuro, no se observa uniformidad en el tamaño de grano, este va del rango de las arcillas hasta granos de 1 cm, el material por proceder de la primera fase de lavado y trituración presenta lamas en baja proporción.

- *Laguna de Sedimentos. (M4-MLS)*

El material de las lagunas de sedimentos, no consolidado, con granos finos a medio de arcillas, presenta abundantes cantidades de lamas, granos de cuarzo, bastante uniforme en cuanto a su tamaño, y abundancia en arcillas de color marrón claro a oscuro, puede también observarse un alto porcentaje de minerales con estructura laminar, probablemente mica moscovita, debido a su color blanco plateado.

- *Arena Lavada a Tornillo de Producción. (M5-MTTP)*

Se observó un material no consolidado con características de arena lavada, de color blanco a gris oscuro, la presencia de lamas y de mica es muy baja, se observa uniformidad en el tamaño de grano debido a que este material es tomado de la pila de arena lavada # 3/8, destinada como agregado para el concreto.

### **3.3.2. Análisis Granulométrico**

Como parte del proceso de caracterización de las muestras, el análisis granulométrico es uno de los ensayos más importantes, debido a que el tamaño de los granos del mineral objeto de estudio, es una variable fundamental en la mayoría de los procesos de beneficio mineral.

Para la ejecución de este análisis, se contó con el apoyo de las instalaciones del Laboratorio de Preparación y Concentración de Menas, del Departamento de Minas.

Para el procedimiento de clasificación por tamaños, se contó con los tamices A.S.T.M, colocados en forma descendente en el grado de abertura de los tamices, de manera de obtener diversos productos durante el proceso, como muestra a analizar se considero 1 Kg de arena, la cual se colocó de forma intermitente en los tamices que se dispusieron en el "Rot Tap colgantes, este dispositivo vibratorio permite la clasificación por tamaños en los diferentes tamices; el empleo de este equipo para la ejecución de los análisis de granulometría en las muestras se hizo en dos fases, la primera por vía seca y la segunda por vía húmeda, en esta fase se adiciona agua al sistema para eliminar el fenómeno de apelmazamiento por la presencia de lamas en las muestras.

Los resultados del análisis granulométrico tomado por vía seca de las muestras asignadas como: M1-MTA, M2-T1TL, M3-MT1L, M4-MLS y M5-MTTP., se muestran en las tablas 3.2, 3.3, 3.4 , 3.5 y 3.5, y se representan gráficamente en las Figuras 3.2 a la 3.5

MALLA			RETENIDO		PASANTE
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	%	S. %	S. %
# 5/16"	7,94	356,80	35,82	35,82	64,18
# 6	3,35	103,90	10,43	46,25	53,75
# 16	1,00	117,40	11,78	58,03	41,97
# 40	0,42	143,90	14,44	72,48	27,52
# 70	0,212	105,30	10,57	83,05	16,95
# 100	0,15	40,90	4,11	87,15	12,85
# -100	< 0,15	128,00	12,85	100,00	0,00
<b>Total (gr):</b>		<b>996,20</b>			

Tabla 3.2.- Análisis granulométrico de la muestra M1-MTA. (Tolva de Descarga)

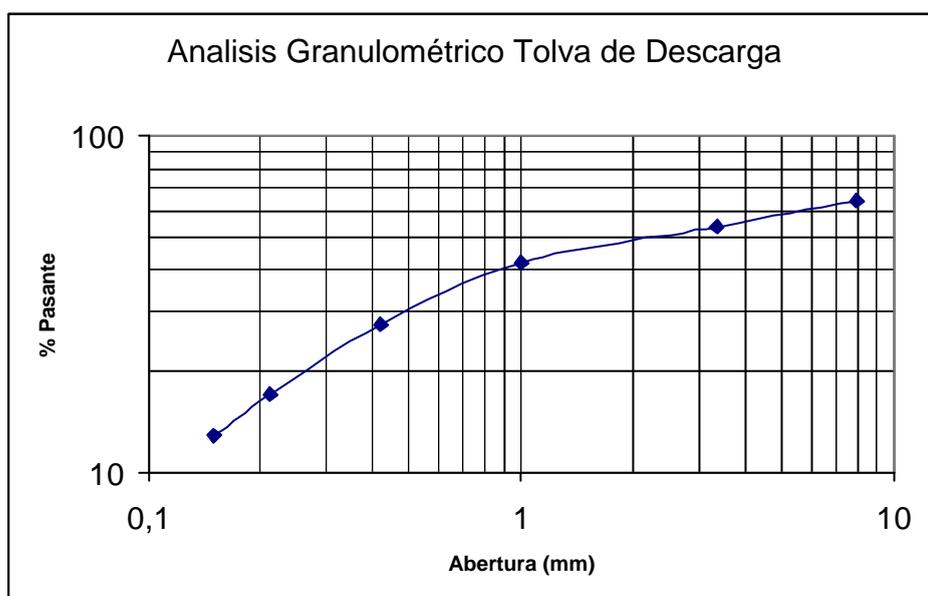


Figura 3.2.- Gráfica del análisis granulométrico de la muestra M1-MTA. (Tolva de Descarga)

De acuerdo a la figura 3.2, el material (muestra M1-MTA) de la tolva de descarga es 64,18% menor que la malla 5/16" y 12,85% menor que la malla 100.

MALLA			RETENIDO		PASANTE
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	%	S. %	S. %
# 12	1,701	414,70	41,63	41,63	58,37
# 20	0,841	148,00	14,86	56,48	43,52
# 40	0,42	148,70	14,93	71,41	28,59
# 70	0,212	174,10	17,48	88,89	11,11
# 120	0,125	69,50	6,98	95,86	4,14
# 150	0,105	9,70	0,97	96,84	3,16
# -150	< 0,105	29,40	2,95	99,79	0,21
<b>Total (gr):</b>		<b>994,10</b>			

Tabla 3.3.- Análisis granulométrico de la muestra M2-T1TL. (Trit. Primaria-Tolva Lavado)

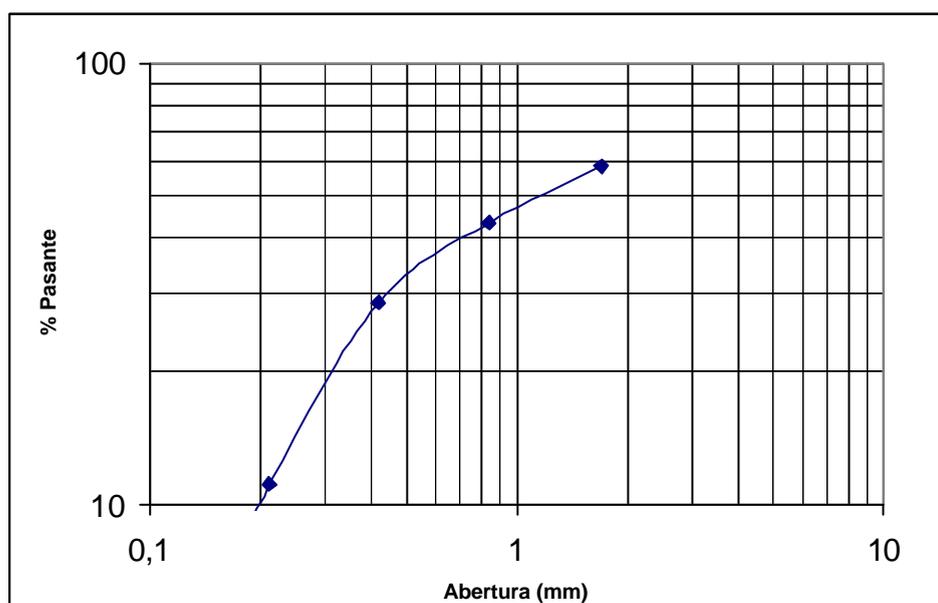


Figura 3.3.- Gráfica del análisis granulométrico de la muestra M2-T1TL. (Trit. Prim.-Tolva Lavado)

Según se observa en la figura 3.3, el material (muestra M2-T1TL) de la Trituradora primaria a la tolva de descarga es 58,37% menor que la malla 12 y 11,11% menor que la malla 70.

MALLA			RETENIDO		PASANTE
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	%	S. %	S. %
# 12	1,701	400,80	40,23	40,23	59,77
# 20	0,841	161,30	16,19	56,42	43,58
# 40	0,42	164,40	16,50	72,93	27,07
# 70	0,212	160,80	16,14	89,07	10,93
# 120	0,125	59,60	5,98	95,05	4,95
# 150	0,105	8,90	0,89	95,94	4,06
# -150	< 0,105	40,60	4,08	100,02	-0,02
<b>Total (gr):</b>		<b>996,40</b>			

Tabla 3.4.- Análisis granulométrico de la muestra M3-MT1L. (Trit. Primaria-Tolva Lavado)

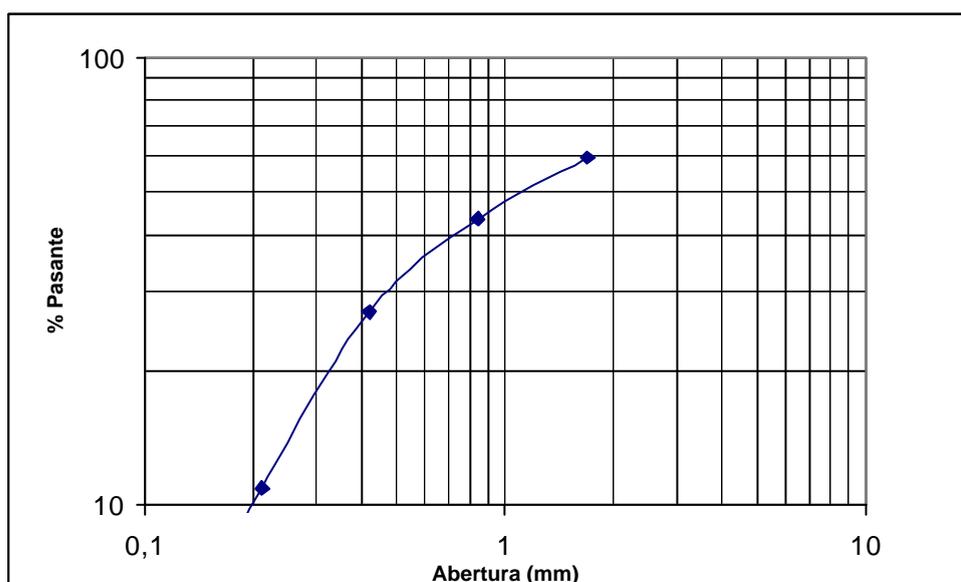


Figura 3.4.- Gráfica del análisis granulométrico de la muestra M3-MT1L. (Trit. Prim.-Tolva Lavado)

Como puede observarse en la figura 3.4, el material (muestra M3-MT1L) de la Trituradora primaria a la tolva de descarga es 59,77% menor que la malla 12 y 10,93% menor que la malla 70.

MALLA			RETENIDO		PASANTE
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	%	S. %	S. %
# 70	0,212	494,60	49,65	49,65	50,35
# 100	0,15	241,90	24,28	73,93	26,07
# 120	0,13	79,90	8,02	81,95	18,05
# 150	0,105	56,80	5,70	87,65	12,35
# 200	0,074	51,80	5,20	92,85	7,15
# 270	0,053	35,70	3,58	96,44	3,56
# -270	< 0,053	37,50	3,76	100,20	-0,20
<b>Total (gr):</b>		<b>998,20</b>			

Tabla 3.5.- Análisis granulométrico de la muestra M4-MLS. (Laguna de Sedimentos)

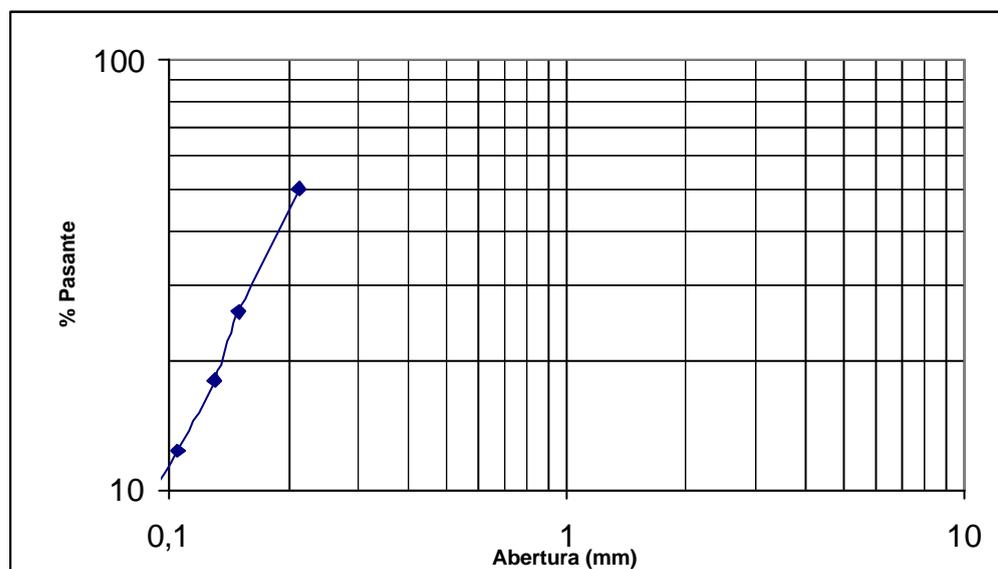


Figura 3.5.- Gráfica del análisis granulométrico de la muestra M4-MLS. (Laguna de Sedimentos)

De acuerdo a la figura 3.5, el material (muestra M4-MSL) de la laguna de sedimentos es 50,35% menor que la malla 70 y 12,35% menor que la malla 150.

MALLA			RETENIDO		PASANTE
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	%	S. %	S. %
# 12	1,701	341,50	34,28	34,28	65,72
# 20	0,841	131,20	13,17	47,45	52,55
# 40	0,42	151,30	15,19	62,64	37,36
# 70	0,212	224,80	22,57	85,20	14,80
# 120	0,125	84,60	8,49	93,70	6,30
# 150	0,105	13,10	1,31	95,01	4,99
# -150	< 0,105	56,10	5,63	100,64	-0,64
<b>Total (gr):</b>		<b>1.002,60</b>			

Tabla 3.6.- Análisis granulométrico de la muestra M5-MTTP.(Arena Lavada-Tornillo Prod.)

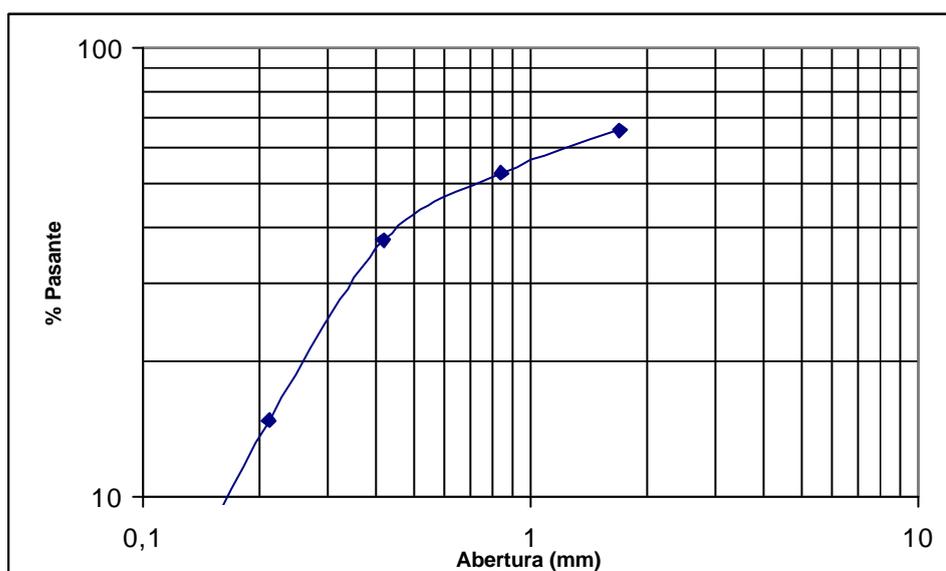


Figura 3.6.- Gráfica del análisis granulométrico de la muestra M5-MTTP.  
(Arena Lavada-Tornillo Prod.)

Como puede ser apreciado en la figura 3.6, el material (muestra M5-MTTP) de la arena lavada al tornillo de producción es 65,72% menor que la malla 12 y 14,80% menor que la malla 70.

De acuerdo a los análisis granulométricos realizados, se puede observar que los materiales M2-T1TL y M3-MT1L (*Arena de Tolva de Alimentación*), y M5-MTTP (*Arena Lavada a Tornillo de Producción*), tienen características similares en cuanto a granulometría se refiere, presentando mas del 80% de la distribución en el intervalo  $-12 +20$ . De igual manera se puede observar poco material retenido en la malla # 150, (0.97%, 0.89% y 1.31%).

Para el material proveniente de la muestra M1-MTA (*Tolva de descarga*), por ser el material que proviene de la extracción en la arenera, las características en cuanto a su granulometría son muy diferentes, respecto al resto de las muestras tomadas, ya que no han pasado por ningún proceso de molienda o trituración en el sistema se puede observar que presenta uniformidad en cuanto a la granulometría, siendo el intervalo  $-5/16 +16$ , el de mayor distribución, observándose poca cantidad de material en el intervalo  $-70 +100$ .

El material proveniente de la muestra M4-MLS (*Laguna de Sedimentos*), presenta mas del 70% de la distribución en el intervalo  $-70 +100$ , de igual manera se observa poco material en el intervalo  $-270 + 270$ , debido a que este se encuentra en su mayor parte compuesto de finos, la uniformidad en la distribución granulométrica es apreciable en todos los intervalos, siendo el corte de malla entre el intervalo  $-120 +150$ , el que tiene la mayor proporción de material.

Debido a que el material de las muestras M2-T1TL, M3-MT1L y M5-MTTP, son producto de un proceso previo de lavado para eliminar las lamas, es entonces significativo también el alto nivel de pérdidas de las micas contenidas en estas muestras, aunado al hecho de que se infiere la presencia en mayor cantidad de mica tanto en la muestra de cabeza de mina M1-MTA (*Tolva de descarga*), como en la muestra M4-MLS (*Laguna de Sedimentos*), se ha decidido hacer los análisis granulométrico por vía húmeda de estas muestras, los resultados arrojados por este análisis se muestran en las tablas 3.7 y 3.8, y se representan en las figuras 3.7 y 3.8

MALLA			RETENIDO		PASANTE
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	%	S. %	S. %
# 5/16"	7,94	246,00	24,69	24,69	75,31
# 6	3,35	140,00	14,05	38,75	61,25
# 16	1,00	138,90	13,94	52,69	47,31
# 40	0,42	143,90	14,44	67,14	32,86
# 70	0,212	107,10	10,75	77,89	22,11
# 100	0,15	8,70	0,87	78,76	21,24
# -100	< 0,15	211,60	21,24	100,00	0,00
<b>Total (gr):</b>		<b>996,20</b>			

Tabla 3.7.- Análisis granulométrico vía Húmeda de la muestra M1-MTA. (Tolva de Descarga).

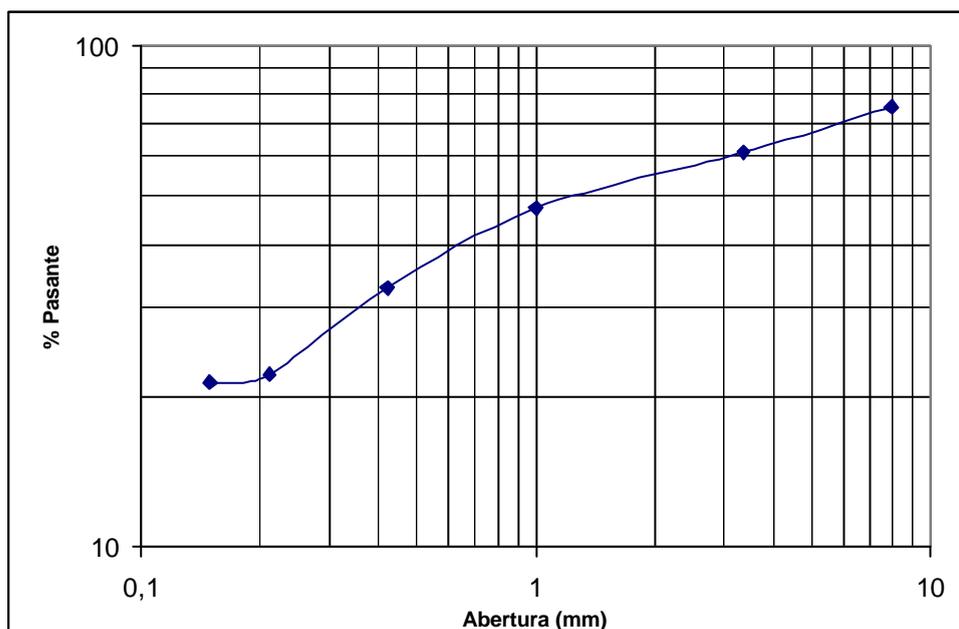


Figura 3.7.- Gráfica del análisis granulométrico vía Húmeda de la muestra M1-MTA. (Tolva de Descarga)

Al observar la figura 3.7, el material (muestra M1-MTA) de la tolva de descarga es 75,31% menor que la malla 5/16" y 21,24% menor que la malla 100.

MALLA			RETENIDO		PASANTE
A.S.T.M	Abertura (mm)	Peso (gr)	%	S. %	S. %
# 70	0,212	337,40	33,87	33,87	66,13
# 100	0,15	339,10	34,04	67,91	32,09
# 120	0,13	85,70	8,60	76,51	23,49
# 150	0,105	71,10	7,14	83,65	16,35
# 200	0,074	70,60	7,09	90,73	9,27
# 270	0,053	33,00	3,31	94,05	5,95
# -270	< 0,053	67,90	6,82	100,86	-0,86
<b>Total (gr):</b>		<b>1004,80</b>			

Tabla 3.8.- Análisis granulométrico de la muestra M4-MLS. (Laguna de Sedimentos)

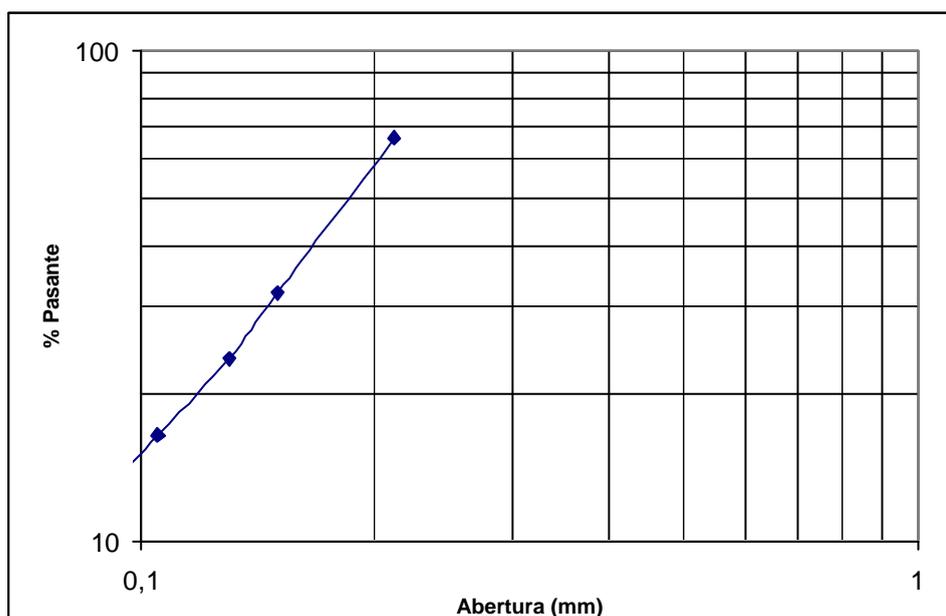


Figura 3.8.- Gráfica del análisis granulométrico vía Húmeda de la muestra M4-MLS. (Laguna de Sedimentos)

En la figura 3.8 se puede observar el comportamiento de el material (muestra M4-MLS) de la laguna de sedimentos es 66,13% menor que la malla 70 y 16,35% menor que la malla 150.

El análisis granulométrico realizado por vía húmeda a la muestra M1-MTA (*Tolva de descarga*), revela que el material que proviene de la extracción en la arenera, tiene, uniformidad en cuanto a la granulometría, siendo el intervalo  $-5/16 +16$ , el de mayor distribución, con mas del 50%, observándose poca cantidad de material en el intervalo  $-70 +100$ , característica muy similar al análisis realizado a esta muestra pero por vía seca.

El material proveniente de la muestra M4-MLS (*Laguna de Sedimentos*), y tratado por vía húmeda, presenta mas del 60% de la distribución en el intervalo  $-70 +100$ , de igual manera se observa uniformidad en los porcentajes de retenido en el intervalo  $-120 + 270$ , siendo el rango,  $-200 +270$ , el de menor proporción, esto es debido a que este material esta en su mayor parte compuesto de finos y durante el proceso de adición de agua al proceso de análisis granulométrico se eliminan todas las lamas, lo que hace que se pueda observar uniformidad en la distribución granulométrica, esto es mas significativo en el intervalo  $-120 +270$ , de esta manera se llega a establecer el corte de malla en el intervalo  $-120 +150$ .

### **3.3.3. Análisis de Liberación**

La determinación del Grado de Liberación en las muestras representativas, una vez ejecutados los análisis de granulometría, es un requisito indispensable para la separación de un mineral en sus fracciones de valor y de desecho, para conocer la proporción del mineral de interés respecto a la mena,. El Grado de Liberación ( $f$ ) es el porcentaje de un mineral dado que existe en forma de partículas libres, es decir, partículas que solo contienen ese mineral. Las partículas que contienen a la vez los minerales de valor y de desecho se conocen como partículas no liberadas o mixtas y gran parte de las dificultades en la separación mineral radica en el tratamiento de estas partículas. El análisis de liberación se realizó en el Laboratorio de Petrografía Ígneo-Metamórfica del Departamento de Geología, utilizando un microscopio de luz polarizada marca Leitz Wetzlar Orthoplan, con un objetivo a 10mm y oculares de 12,5X, una plantilla micrométrica, un contador manual y una lámpara de luz.

Mediante la determinación del Grado de Liberación, adicionalmente se puede definir el corte de malla adecuado para la posterior ejecución en Laboratorio, de los análisis químicos.

El procedimiento seguido para realizar el análisis de liberación consistió en, tomar las muestras para el análisis, a saber: M1-MTA (*Tolva de descarga*) y M4-MLS (*Laguna de Sedimentos*), y proceder a efectuar el conteo modal de todas las fracciones de material del análisis granulométrico de la cabeza retenidos en las mallas 70, 100, 120, 150, 200, 270.

Cada una de estas muestras se colocaron y fijaron en un portaobjetos, que a su vez es montado sobre la base del microscopio, y con la ayuda de una plantilla que permite el desplazamiento horizontal y vertical en la sección del portaobjetos, se procede a realizar el conteo.

Se fija la plantilla en la posición vertical y seguidamente se realiza el barrido en la horizontal, haciendo el conteo en cada una de las cuadrículas que abarca el portaobjetos, una vez terminada esta línea, se mueve la posición vertical de la plantilla y se repite el proceso de barrido. Para contar con un resultado representativo del análisis de liberación, el conteo debe hacerse en un mínimo de 300 cuadrículas.

Para realizar el proceso de conteo de las partículas de interés en muestras, se tomo en consideración la siguiente relación de liberación en cada partícula:

- 0% Mena (mica) – 100% Ganga (cuarzo, anfíbol, etc.)
- 25% Mica – 75% Ganga
- 50% Mica – 50% Ganga
- 75% Mica – 25% Ganga
- 100% Mica

En la figura 3.9, se muestra la descripción de la relación porcentual del grado de liberación, a emplear en las muestras objeto de conteo:

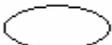
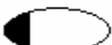
1.-		100% cuarzo ( SiO <sub>2</sub> )
2.-		25% mica muscovita [ $kAl_2(AlSi_3O_{10}(OH,F)_2)$ ]
3.-		50% mica muscovita [ $kAl_2(AlSi_3O_{10}(OH,F)_2)$ ]
4.-		75% mica muscovita [ $kAl_2(AlSi_3O_{10}(OH,F)_2)$ ]
5.-		100% mica muscovita [ $kAl_2(AlSi_3O_{10}(OH,F)_2)$ ]

Figura 3.9.- Relación Porcentual del Grado de Liberación

Para determinar el grado de liberación se emplea la siguiente ecuación:

$$N^{\circ}. \text{ De partículas de útil en el mixto} = \Sigma\% \text{ Mixtos} \div 100 \quad (3.1)$$

$$f = \frac{\text{Total de partículas de útil liberadas}}{\text{Total de partículas de útil liberadas} + \text{Total de partículas de útil en el mixto}} \quad (3.2)$$

*Total de partículas de útil liberadas + Total de partículas de útil en el mixto*

En las dos siguientes tablas, se puede observar, el resultado del conteo en las diferentes mallas, para las muestras ; M1-MTA (*Tolva de descarga*) y M4-MLS (*Laguna de Sedimentos*).

Muestra	Malla (A.S.T.M)	Relación de Grado de Liberación					Total
		100%	75%	50%	25%	Ganga	
M1-MTA	70	1032	618	192	171	546	2559
	100	1449	672	360	303	711	3495

Tabla 3.9.- Conteo de partículas de la muestra M1-MTA. ( Tolva de Descarga )

Muestra	Malla (A.S.T.M)	Relación de Grado de Liberación					Total
		100%	75%	50%	25%	Ganga	
M4-MLS	70	741	742	318	180	297	2278
	100	1977	888	450	231	843	4389
	120	1764	837	199	237	531	3568
	150	771	438	156	198	438	2001
	200	3432	891	246	232	1056	5857
	270	3600	1140	1155	1026	4326	11247

Tabla 3.10.- Conteo de partículas de la muestra M4-MLS. (Laguna de Sedimentos)

Considerando las dos muestras tipo: M1-MTA (*Tolva de descarga*) y M4-MLS (*Laguna de Sedimentos*), se ejecuto este análisis, arrojando los resultados expuestos en las tablas 3.9 y 3.10, respectivamente.

Malla		Grado de Liberación Mica (%)
A.S.T.M.	Abertura (mm)	
# 5/16"	7,940	
# 6	3,350	
# 16	1,000	
# 40	0,420	
# 70	0,212	59,043
# 100	0,150	55,277

Tabla 3.11.- Análisis de Liberación de la muestra M1-MTA. (Tolva de Descarga)

Malla		Grado de Liberación Mica (%)
A.S.T.M.	Abertura (mm)	
# 70	0,212	38,249
# 100	0,150	57,611
# 120	0,130	52,187
# 150	0,105	56,589
# 200	0,074	67,016
# 270	0,053	72.608

Tabla 3.12.- Análisis de Liberación de la muestra M4-MLS. (Laguna de Sedimentos)

Considerando los resultados obtenidos en el conteo y determinación del grado de liberación del mineral de interés en la muestra, este análisis nos indica que los granos de mica muscovita, se encuentran medianamente liberados, es decir, la matriz de cuarzo presente en la muestra es predominante, estando la mica liberada en número no mayor al 60%, al considerar las mallas +70, +100, +120, +150; mientras que está liberado por encima del 60% para las mallas, +200, +270, aumentando el grado de liberación a medida que disminuye el tamaño de las partículas. (Ver Figura 3.10)

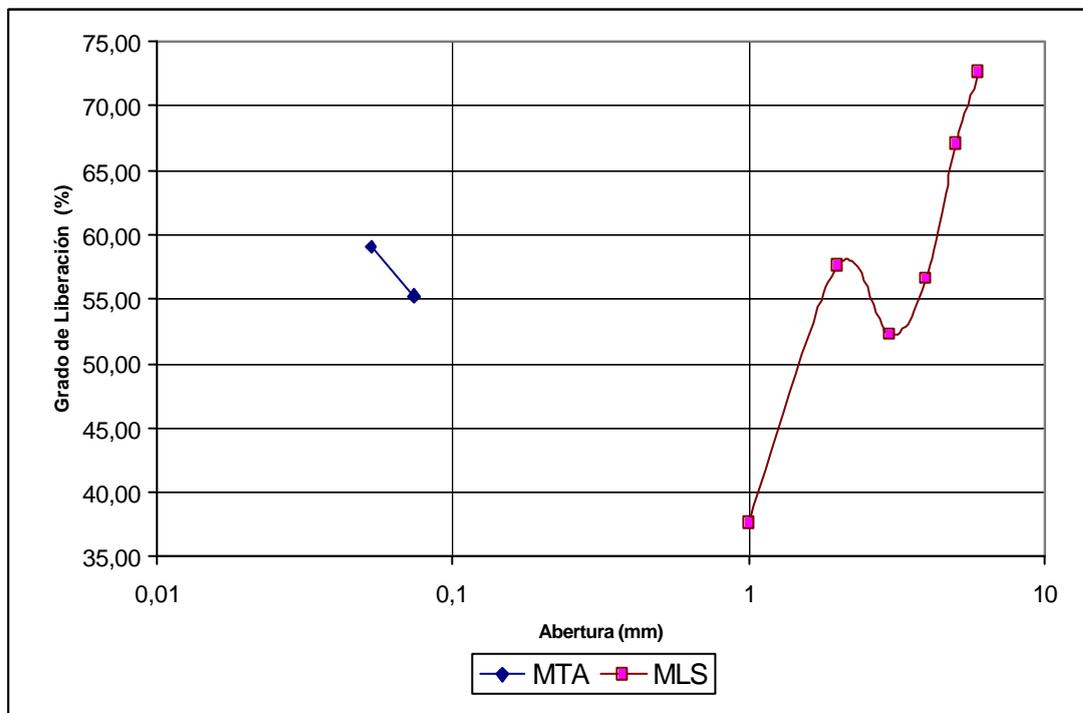


Figura 3.10.- Gráfica del Grado de Liberación en cada malla de las muestras M1-MTA y M4-MLS

A partir de la relación del tamaño de grano y el aumento del grado de liberación, en la muestra M4-MLS, tomada de la laguna de sedimentos, que es donde se puede inferir se encuentra la mayor cantidad concentrada de mica, se puede establecer que el material mayor a # 200, es la que determina el corte de malla, necesario para la ejecución de los análisis posteriores, como lo son el

análisis mineralógico y la ejecución de los ensayos exploratorios a realizar considerando el método mas apropiado para el aprovechamiento de la mica proveniente de la arenera, en estudio.

### **3.3.4. Análisis Mineralógico**

Para determinar la composición mineralógica y establecer los componentes minerales de las muestras de interés con precisión, se realizaron análisis por difracción de rayos X, utilizando radiación de cobre, empleando el generador de Rx, modelo PW1729, fabricado por la PHILLIPS y perteneciente al Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN).

#### *- Fundamentos del método de Difracción de Rayos X*

La difracción por rayos X, comprende el estudio de la energía radiante que es generada por los átomos de los diferentes minerales a estudiar, al ser expuestos a la acción de un haz de luz.

#### *- Procedimiento de Laboratorio.*

El procedimiento para el análisis de las muestras en el Laboratorio de Análisis por Sección Mineralógica, de INGEOMIN, se efectuó de la siguiente manera:

Se toma la muestra que esta en pasante +200, y es homogeneizada y cuarteada para tomar una fracción representativa, posteriormente es molida hasta pasante 400, esto con el objeto de eliminar durante el procesamiento de la muestra cualquier elemento que pueda perturbar debido a su tamaño, la susceptibilidad magnética de las fracciones al ser pasadas por el Separador Isodinámico.

Seguidamente la muestra es llevada al Separador Magnético FRANTZ, donde es separada isodinamicamente en diferentes fracciones magnéticas a saber; esto se logra aprovechando las características magnéticas de los minerales.

El aprovechar la susceptibilidad magnética de los minerales, permite que se logre separar de la matriz de cuarzo, los elementos minerales contenidos en la muestra, debido a que la sílice presente en las muestras representativas carecen en su composición mineralógica de minerales ferromagnéticos, es entonces descartada en las diferentes fracciones, que se logran aumentando la intensidad de corriente en el Separador Magnético.

La Intensidad de la corriente en el equipo se va incrementando de 0,4Amp, 0,8Amp hasta 1,4Amp, de manera que se logran fracciones magnéticas que contienen diferentes cantidades en peso de muestra, y una fracción no magnética que contiene la mayor porción de matriz de cuarzo de la muestra, además de otros elementos, que por deficiencia en la molienda quedan adheridos a los cristales de cuarzo; posteriormente es pulverizada en un mortero de cerámica empleando como diluyente acetona, y es colocada en un portaobjetos, la mezcla es homogeneizada hasta que la acetona se evapora, la solución es llevada a una pastilla que es introducida en el Generador de Rayos X. Modelo PW1729, y que por difracción de rayos X, analiza la pastilla.

El Difractómetro de Control, que es un equipo de impresión matricial, entonces genera una curva llamada difractograma, que es impresa en una hoja especial y que es seguidamente comparada con diferentes curvas de minerales ó difractogramas modelo, y que es característica para cada mineral, ya que presenta diferentes picos con intensidad medida en Amstrong ( $\text{\AA}$ ) y frecuencias típicas para cada elemento.

La abundancia mineral se estimó basándose en la intensidad de los picos característicos de los minerales presentes y a su comportamiento específico ante el fenómeno de difracción.

A continuación se indican los resultados obtenidos.

Composición Mineralógica:

Arena cuarzo micáceo, constituida por muy abundante cuarzo, escasas cantidades de mica muscovita, ilmenita y probable ortopiroxeno y muy escasa caolinita y plagioclasa.

Componentes Minerales											
Fracción Magnética	Gr	%	Cz	Musc	Ilm	P-Rut	Goet	Caol	Opx	PI	
0,4Amp	0,3	15	2	3	11	2					
0,4Amp	0,1	5					2				
0,4Amp	0,2	10	1		5				3	1?	
No Magnética 1,4A	1,4	70	62		3					4	1
TOTAL	2	100	65		11	11	2	2	3	5?	1
			MA		E	E	ME	ME	ME	E?	ME

Tabla 3.13.- Composición Mineral de la Muestra M4-MLS (Laguna de Sedimentos)

Leyenda

- Cuarzo (Cz), Mica Muscovita (Musc), Ilmenita (Ilm), PseudoRútilo (P-Rut), Goetita (Goet), Caolinita (Caol), Ortopiroxeno (Opx), Plagioclasa (PI).

- Escala de Abundancia
- MA – Muy Abundante ( >65%)
- A – Abundante (64% - 35%)
- MP – Menor Proporción (34% - 15%)
- E – Escaso (14% - 5%)
- ME – Muy escaso ( 4% - 1%)
- Tz – Trazas (<1%)

### 3.3.5. Análisis Químico

Para determinar la composición química de las muestras de interés con precisión, se realizaron análisis utilizando un Espectrómetro de Rayos X, , modelo X–CEM, fabricado por la PHILLIPS y perteneciente al Laboratorio de Análisis Químico de la Empresa Cementos Caribe, Planta ubicada en San Sebastián de los Reyes. Estado Guarico. (Ver Figura 3.11)



Figura 3.11.- Espectrómetro de Rayos X, , modelo X–CEM, fabricado por la PHILLIPS

El equipo realiza análisis bajo el fundamento de determinación cualitativa de los componente minerales de una muestra, al ser comparada con patrones ya establecidos y previamente calibrados en el equipo. Este analizador trabaja con un rango de precisión de 0 - 20.000 Kcps

*- Fundamentos del método de Espectrometría de Rayos X*

El método consiste en que en el patrón de polvos de una muestra se registra los espaciamientos  $d$  (o los ángulos  $\theta$ ) y las intensidades relativas de las 10 líneas más fuertes, estas se miden y son comparadas con los patrones de sustancias conocidas.

Muchos miles de patrones se han registrado y publicado en el ASTM (JCPDS) Archivo de Patrones de Difracción, los cuales se encuentran disponibles en subdivisiones: Minerales, Inorgánicos y Orgánicos. Con experiencia, es posible identificar los componentes en muestras de hasta tres compuestos.

Considerando la (Figura. 3.12). La radiación X incidente golpea el plano ( $hkl$ ) a un ángulo  $\theta$ . El espaciamiento entre estos planos es  $d$ . Consideraremos que los rayos X se reflejan exactamente en la misma forma que la luz será reflejada desde un espejo de tal forma que los haces reflejados dejan el plano a un ángulo  $\theta$ . El requisito para que haya interferencia constructiva es muy simple. De nuevo es que la diferencia de trayectorias entre los haces que llegan y salen debe ser un número entero de longitudes de onda. Es muy fácil demostrar que la diferencia de trayectorias es  $2 \times d \times \sin \theta$ , y el resultado final es  $n \lambda = 2d \sin \theta$

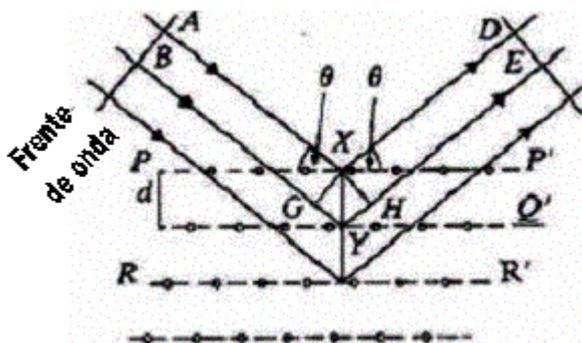


Figura 3.12.- Frente de onda incidente en radiación X

*- Procedimiento de Laboratorio.*

El procedimiento para el análisis cualitativo de las muestras en el Laboratorio de Análisis Químico de la Empresa Cementos Caribe, se realizó siguiendo los pasos siguientes:

*Pulverización:* La muestra es pulverizada empleando un molino vibratorio marca Ibertest, (Ver Figura 3.13), es recomendable contar con una cantidad no menor a 200 gramos de muestra, pero debido a que en los ensayos de flotación los pesos de material recuperado se encontraban por debajo de los 200gr, se tomó como muestra 100gr en peso para el análisis; esta es colocada en el mortero durante 6 minutos tiempo suficiente para llevarla a pasante de malla 200.



**Figura 3.13.- Molino vibratorio. Marca Ibertest**



**Figura 3.14.- Tamizador electrónico marca Micron Powder Systems**

*Tamizado:* La muestra una vez pulverizada es llevada a un tamizador electrónico marca Micron Powder Systems, este equipo está compuesto por una cápsula centrifugadora presurizada en la que el material es colocado, un contador y un rotor de altas velocidades, al encender el equipo y establecer los parámetros de tiempo y velocidad de barrido la cápsula comienza a girar, (Ver Figura 3.14), el fundamento básico de este equipo consiste en eliminar todas aquellas partículas que por alguna circunstancia se han adherido a las partes de muestra que han sido pulverizadas en el molino vibratorio, de esta manera se garantiza que la muestra quede libre de impurezas y de partes que no estén dentro del pasante de malla 200.

*Secado:* La muestra una vez tamizada es llevada a una estufa marca Memmert modelo U40, (Ver Figura 3.15). En este punto la muestra es introducida a la estufa en recipientes cerámicos y es secada durante 45 minutos a 200°C, con el objeto de eliminar toda la humedad que halla podido adsorber en los pasos previos de pulverización y tamizado. Una vez secada la muestra se procede a determinar la pérdida de humedad de la misma.

*Humedad:* Para el cálculo porcentual de humedad de la muestra, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{[(Pe + Pm) - Pf]}{Pm} \times 100, \text{ siendo}$$

Pe = Peso del Envase (Crisol)

Pm = Peso de la Muestra

Pf = (Pe + Pm) luego del secado



**Figura 3.15.- Estufa. Marca Memmert. Modelo U40**



**Figura 3.16.- Mufla marca Carbolite modelo RHF 15/8**

*Pesado:* Para la preparación de las perlas que serán introducidas en el equipo de espectrometría de Rayos X, las muestras previamente secadas son pesadas en una balanza de precisión electrónica, marca Metter Toledo modelo AB204-S. Esta balanza está calibrada para aceptar márgenes de precisión por el orden de 1mgr para una muestra de hasta 220gr y de 0,1mg para muestras de hasta 100mgr. El objeto de pesar la muestra representativa objeto de análisis es el de obtener una relación de 1,000gr en peso de concentrado para 5,000gr de fundente.

*Fundición:* Las muestras pesadas son introducidas en un horno ó mufla marca Carbolite modelo RHF 15/8, (Ver Figura 3.16). El procedimiento consiste en tomar 1,000gr de muestra pesada y vaciarla en un crisol de oro-platino junto a 5,000gr de fundente Tetraborato de Litio ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), posteriormente la mezcla es introducida a la mufla durante 5 minutos a 1120°C de temperatura, luego de este

tiempo se abre la puerta de la mufla con unas pinzas especiales se toma el crisol se agita para homogeneizar la mezcla, nuevamente se lleva el crisol a la mufla por 5 minutos mas. Al concluir el tiempo de fundición se extrae el crisol y se coloca sobre un refractario para que se enfrié durante 5 minutos, luego se extrae la perla del crisol para evitar que esta se adhiera al mismo . Una vez terminado el proceso de fundición se forma la perla en forma de pastilla que es introducida en el analizador de Rayos X. Una vez fundida la muestra se determina la perdida de fuego de esta.

*Perdida de Fuego:* Para el calculo porcentual de perdida de fuego de la muestra al ser fundida en la mufla, se utiliza la siguiente formula:

$$\%Pf = (A - B) \times 100, \text{ siendo}$$

A: Peso del Crisol + Muestra (gr)

B: Peso del Crisol + Muestra calcinada (gr)

*Análisis Rx:* Las perlas que son elaboradas en la mufla son llevadas al analizador Rx, marca Phillips modelo X-CEM, donde son introducidas para elaborar el análisis cualitativo de las muestras. El procedimiento de trabajo con este equipo a saber es:

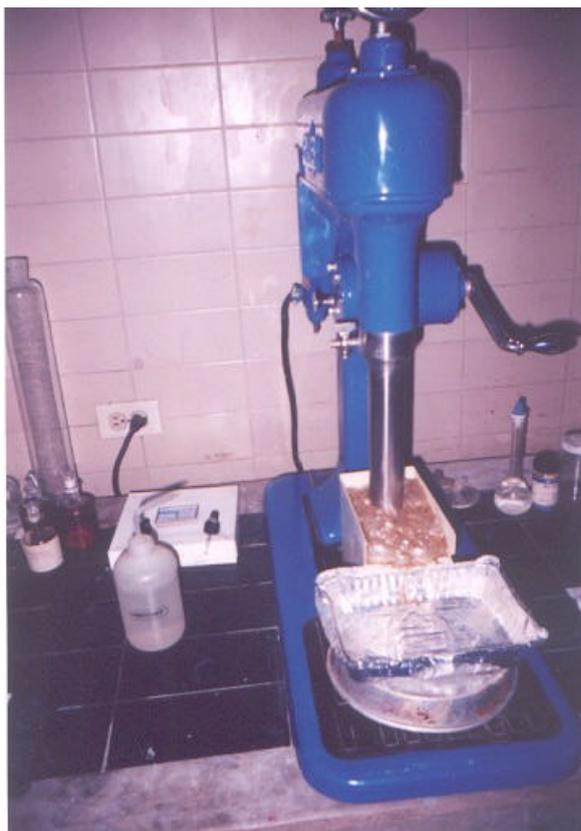
- Encendido del Equipo: Se debe verificar el estabilizador de voltaje y que el equipo este en posición ON de encendido.
- Generador: Verificar la presión de las bombas de gas (Argón/metano) a presión de 0,7Bar, verificar que el flujo de gas de Input/Output este en 0,7lt/hr. Cerciorarse que el vacío de la cámara de tubos de Rx este en el rango < 20Pascal, una vez tomadas estas medidas se procede a presionar el botón de encendido del sistema de tubos de Rx.

- Apagado: Observar el sistema de medición del equipo para a fin de verificar que se encuentre en Fase de Medición, de no estarlo oprimir en botón de encendido ON.
  
- Medición: Se coloca la muestra en el porta muestra con la cara a medir mirando hacia el exterior, asegurarla con el sujetador y girar hasta que los topes penetren en la ranura de ajuste. Cerrar la compuerta del equipo y fijar el tiempo de medición en 120 segundos. Los resultados arrojados son reportados en el sistema electrónico del ordenador en el programa de control y registro de datos QDM, el sistema entrega una hoja de datos donde se pueden observar los patrones de minerales medidos en valores porcentuales y que son de relevante importancia para el posterior análisis de las muestras.

#### **4.- ENSAYOS DE CONCENTRACIÓN**

Los ensayos de concentración consisten en el tratamiento de las muestras provenientes del análisis granulométrico por vía húmeda a saber (Muestra M1-MTA y M4-MLS), que han sido previamente deslamadas tomando una serie de muestras representativas que serán objeto de estudio mediante el empleo del equipo de concentración por flotación de agitación mecánica conocido como Celda Denver, disponible en este trabajo, (Ver Figura 4.1), estos ensayos son determinantes para definir los valores de concentrados en las muestras analizadas.

La celda Denver, que se encuentra ubicada en las instalaciones del Laboratorio de Preparación y Concentración de Menas, del Departamento de Minas, consiste en un tanque alargado fabricado en acero inoxidable DIN T-304, con el propósito de evitar la presencia de óxidos producidos por el contacto de su superficie con los diferentes reactivos químicos, en esta celda se introduce la pulpa de flotación de forma manual, también posee un brazo ó agitador, que es un tubo vertical en cuyo extremo inferior se pueden observar una serie de paletas distribuidas en forma radial, para recircular la pulpa en la celda, estas son accionadas por un rotor al mando de un motor monofásico de velocidad controlada mediante una caja reductora de tornillo sin fin, por medio de una manivela y un indicador de las revoluciones en escala (rpm), para verificar la velocidad de trabajo; el control de la velocidad es con el propósito de adecuar la rotación de las paletas con las características de agitación de la pulpa. Por el agitador se introduce aire atmosférico a presión controlado mediante un manómetro, cuenta con una válvula para la apertura del paso de aire, controlando la presión del mismo en la celda.



**Figura 4.1.- Celda de Flotación Denver**

#### **4.1.- PREPARACIÓN DE LA ALIMENTACIÓN PARA LA FLOTACIÓN**

El procedimiento para preparar la cabeza que es utilizada como alimento para la flotación consiste en tomar las muestras que previamente han sido tamizadas y tratadas en el Rot Tap para eliminar las lamas ( pasante de malla 150 ), ya que en la concentración por flotación las lamas son perjudiciales en el proceso. Una vez seleccionadas las muestras y pesadas son llevadas a la estufa durante un periodo de tiempo de 4 horas a una temperatura de 120°C, posteriormente es pesada una muestra de 150 gramos que se tomó como representativa para la ejecución de los ensayos exploratorios. Una vez obtenida la pulpa de alimentación es necesario establecer el medio de trabajo, este puede ser alcalino (7.5 a 9 pH) utilizando hidróxido de sodio y amina ó en medio ácido (2.5 a 4 pH) empleando ácido sulfúrico y amina (TANNER, J en CARR, Donald.; 1994). Se consideró trabajar

todos los ensayos en un medio alcalino, debido a que en la práctica industrial un medio ácido puede resultar perjudicial para la vida útil de las celdas de flotación, además de ser significativamente mas costoso el empleo de un medio ácido en la flotación, ya que los reactivos tienen un valor comercial elevado respecto al costo de los reactivos que se emplean en la concentración por flotación en un medio alcalino.

El reactivo empleado fue Amina Flotigam EDA-3B, fabricado por Clariant, diluida al 50% con una densidad de 0,87 gr/cm<sup>3</sup>, suministrada por el Laboratorio de Preparación y Concentración de Menas. Este reactivo actúa como colector y espumante, por lo que se desecho la opción de utilizar un reactivo espumante en los ensayos realizados. Como agente depresante se utilizó silicato de sodio, ya que este es un depresante de los silicatos, condición natural del cuarzo, ya que el interés es deprimir el cuarzo en las muestras objeto de análisis para efectuar flotaciones directas. Por otro lado se empleo una celda de flotación de laboratorio con una capacidad de 500ml, capacidad suficiente para la preparación de la pulpa de flotación. A saber el cálculo para determinar el peso de sólido para un 25% de sólido en pulpa se realizo mediante la siguiente formula:

$$\text{Volumen de Pulpa} = \text{Volumen de Sólido} + \text{Volumen de Agua}$$

Considerando la densidad del agua igual a 1 gr/ cm<sup>3</sup>, se tiene:

$$\text{Peso de Sólido} = \frac{25\% \times 450\text{gr}}{75\%} = 150\text{gr}$$

Para una pulpa de 35% se fijó la masa de sólido en 150gr y se obtuvo la diferencia de agua, por ende:

### **Densidad de Pulpa**

**25%**

**Peso de Sólido seco = 150gr**

**Volumen de Agua = 450ml**

**35%**

**Peso de Sólido seco = 150gr**

**Volumen de Agua = 278ml**

El acondicionamiento de la celda de flotación sin entrada de aire se estimó según corresponde al carácter del ensayo, entre 7 y 9 minutos, correspondiendo al acondicionamiento de la solución alcalina (NaOH) en 1 minuto, para el acondicionamiento del agente depresante silicato de sodio, se considero de 2 a 3 minutos para los ensayos exploratorios y de 2 minutos para los ensayos experimentales, , así mismo se estimó un tiempo de acondicionamiento de la amina en los ensayos exploratorios de 2 a 3 minutos y de 2 minutos en los experimentales. Para la fase del ensayo donde se da apertura a la válvula de entrada de aire para colectar la espuma que se genera en el proceso de concentración se estimó un lapso de 2 minutos, con espesores de espuma entre 6 a 9 cm. Por lo que el tiempo total estimado en un ensayo se ubica en 11 minutos como máximo y en 9 minutos como mínimo. Una vez realizado los ensayos se procede al filtrado de los productos (concentrados y colas), secado en estufa durante un periodo de tiempo de 4 horas a una temperatura de 120°C. El pH de la solución se estableció entre 8 y 10 y las RPM del equipo se manejaron entre 1100 y 1200.

Para tener un valor referencial con el cual poder comparar los niveles de recuperación en cuanto a los contenidos de mica en las muestras analizadas, se hizo un análisis químico de la muestra cabeza, arrojando los siguiente valores:

### **Muestra Cabeza (M4-TAM)**

Análisis Químico:	Sílice (SiO <sub>2</sub> )	86,62%
	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,70%
	Oxido de Potasio(K <sub>2</sub> O)	1,10%
	Oxido Ferrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,08%
	Magnesia (MgO)	0,44%
	Oxido de Calcio(CaO)	0,06%
% Mica en (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		22,27%
% Mica en (K <sub>2</sub> O)		4,65%

### **4.2.- ENSAYOS EXPLORATORIOS**

Los ensayos exploratorios se hacen con el objeto de identificar las variables que influyen directamente en la ley y la recuperación de la mica y así optimizar el proceso de concentración por flotación, para ello se consideraron los siguientes parámetros fijas y los factores que se variaron a saber ;

#### *Parámetros Fijos:*

- Masa de alimentación: 150 g de mineral
- Dilución de pulpa: 25 % de sólido en pulpa
- Volumen de agua: 450 ml
- Depresante: silicato de sodio con dosis de 656 gr/ton a 1050 gr/ton
- RPM: 1100

#### *Los Factores Variados fueron:*

- pH: solución alcalina 8 y 10
- Tiempo de acondicionamiento del depresante: 2 y 3 min
- Dosis de colector: 348 gr/ton a 522 gr/ton de amina Flotigam EDA-3B
- Tiempo de acondicionamiento del colector: 2 y 3 min.

Para efectuar los ensayos exploratorios se consideró la variación de los factores ya descritos; los cuales al realizar la concentración por flotación arrojó los valores de concentrado y colas en gramos y posteriormente al efectuar los análisis químicos se obtuvieron los valores porcentuales de mica ( $Al_2O_3$ ), reflejados en la Tabla 4.1.

pH NaOH	T.Acond.(min) (NaSiO <sub>2</sub> )	Dosis colector (gr/ton)	T.Acond. (min) Flotigam EDA-3B	Masa Conc. (gr)	Masa Colas. (gr)	% Mica ( $Al_2O_3$ )
8	2	348	2	44,00	104,80	46,64
8	2	348	3	68,30	81,40	33,17
8	2	522	2	37,20	110,50	62,97
8	2	522	3	59,50	90,50	47,11
8	3	348	2	62,70	86,40	35,82
8	3	348	3	47,00	102,70	50,20
8	3	522	2	63,20	85,00	43,24
8	3	522	3	65,40	83,90	41,49
10	2	348	2	37,70	110,90	61,68
10	2	348	3	34,40	112,10	59,73
10	2	522	2	59,80	90,00	45,35
10	2	522	3	56,10	93,50	45,78
10	3	348	2	31,70	118,30	64,18
10	3	348	3	45,10	104,20	53,01
10	3	522	2	56,30	92,70	46,84
10	3	522	3	64,20	84,90	41,60

**Tabla 4.1.- Condiciones fijas y valores arrojados en los ensayos experimentales**

Para realizar el análisis del efecto de cada variable en la masa del concentrado así como en los porcentajes de mica obtenidos en el producto de la flotación, se hizo uso de herramientas estadísticas de toma de decisiones para obtener la " Gran Media ", de los resultados en las tablas 4.2 a la 4.5 y representados en las figuras 4.2 a la 4.5, para los valores de masa de concentrado

y para los porcentajes de mica recuperada. Se pueden observar los resultados en las tablas 4.6 a la 4.9 y representados en las figuras 4.6 a la 4.9,

#### 4.2.1. Efecto de la Variación de Factores en los Ensayos Exploratorios en la Masa del Concentrado

- *Efecto del pH en la masa del concentrado*

pH (NaOH)	S Masa Conc. (gr)
8	410
10	422

Tabla 4.2.- Valores de Masa de Concentrado en función al pH

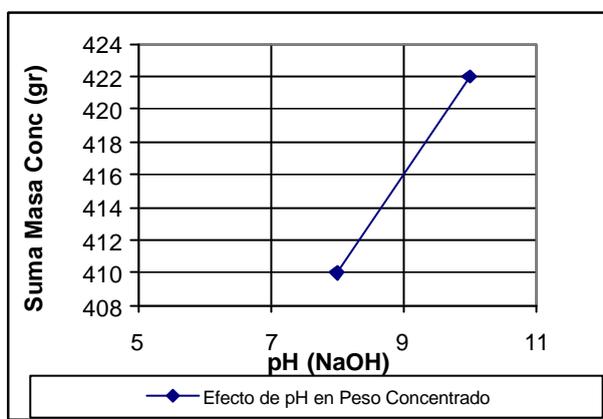


Figura 4.2.-Gráfica del efecto del pH en el Peso de Concentrado

Como se puede observar en la figura 4.2, graficada según los datos de la tabla 4.2, a medida que se incrementa el pH de 8 a 10 (solución alcalina NaOH) de la pulpa, la masa del concentrado experimenta un aumento de un 2,93%.

- Efecto del tiempo de acondicionamiento del depresante en la masa del concentrado

T.Acond.(min) (NaSiO <sub>2</sub> )	S Masa Conc. (gr)
2	397
3	435

Tabla 4.3.- Valores de Masa de Concentrado en función al T. Acond del depresante

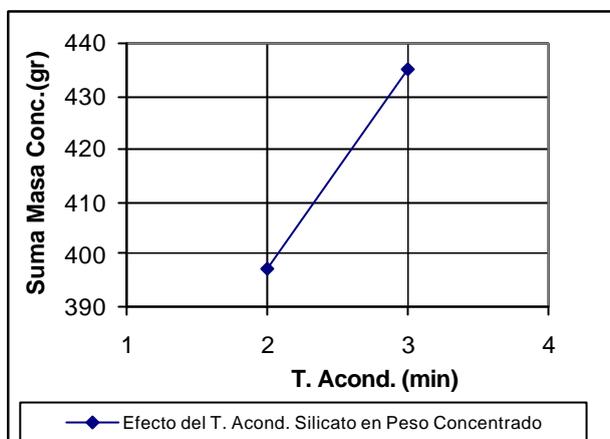


Figura 4.3.- Gráfica del efecto del tiempo de acondicionamiento del depresante en el Peso de Concentrado

De este ensayo que esta representado en la figura 4.3, según los datos de la tabla 4.3, se observa que al incrementar el tiempo de acondicionamiento del depresante de 2,00min a 3,00min, (silicato de sodio NaSiO<sub>2</sub>), la masa del concentrado se incrementa en un 9,57% .

- Efecto del tiempo de acondicionamiento del colector en la masa del concentrado

T.Acond. (min) Flotigam EDA-3B	S Masa Conc. (gr)
2	393
3	439

Tabla 4.4.- Valores de Masa de Concentrado en función al T. Acond del depresante

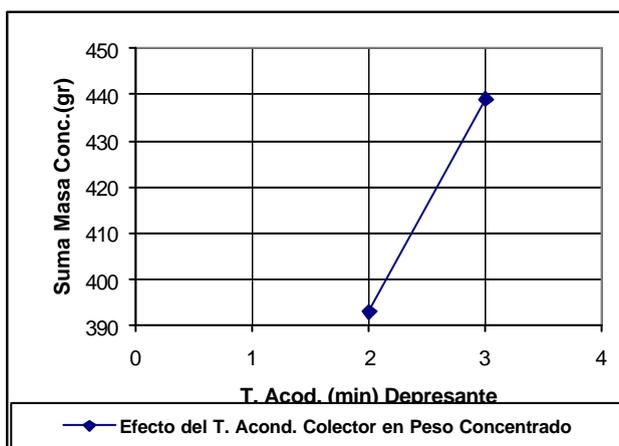


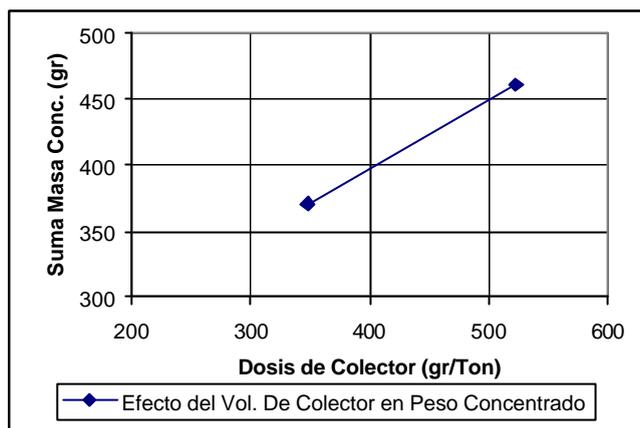
Figura 4.4.- Gráfica del efecto del tiempo de acondicionamiento del colector en el Peso de Concentrado

Como puede observarse en la figura 4.4, según los datos tomados de la tabla 4.4, al incrementar el tiempo de acondicionamiento del colector de 2,00min a 3,00min, (Flotigam EDA-3B), la masa del concentrado presenta un incremento de un 11,70%

- *Efecto de la dosis de colector en la masa del concentrado*

Dosis colector (gr/ton)	S Masa Conc. (gr)
348	371
522	461

**Tabla 4.5.- Valores de Masa de Concentrado en función a la dosis de colector**



**Figura 4.5.-Gráfica del efecto de la dosis del colector en el Peso de Concentrado**

De este ensayo como se puede observar en la figura 4.5, según los datos de la tabla 4.5, al incrementar la dosis del colector de 348gr/ton a 522 gr/ton, (Flotigam EDA-3B), la masa del concentrado sufre un aumento de un 24,26% .

#### 4.2.2. Efecto de la Variación de Factores en los Ensayos Exploratorios en el Porcentaje de Mica Recuperada

- Efecto del pH en el % de mica recuperada

pH (NaOH)	% Mica Recup.
8	45
10	52

Tabla 4.6.- Valores de %R. Mica en función al pH

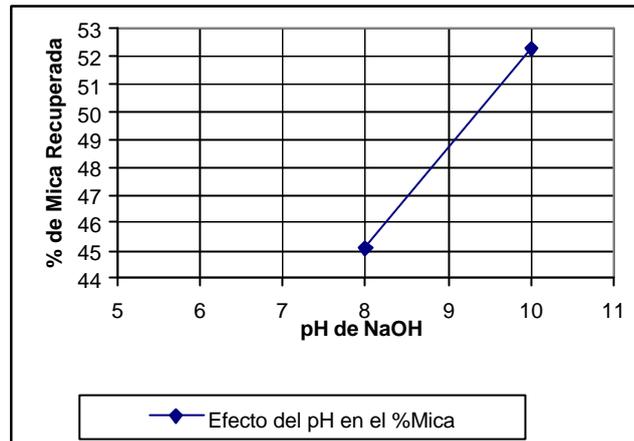


Figura 4.6.- Gráfica del efecto del pH en el Porcentaje de Mica Recuperada

Al apreciar la figura 4.6, según los datos tomados de la tabla 4.6, observamos que a medida que se incrementa el pH de 8 a 10 (solución alcalina NaOH) de la pulpa, el porcentaje de mica recuperada aumenta en un 15,56%.

- Efecto del tiempo de acondicionamiento del depresante en el % de mica recuperada

T.Acond.(min) (NaSiO <sub>2</sub> )	% Mica Recup
2	50
3	47

Tabla 4.7.- Valores de %R. Mica en función al T. Acond del depresante

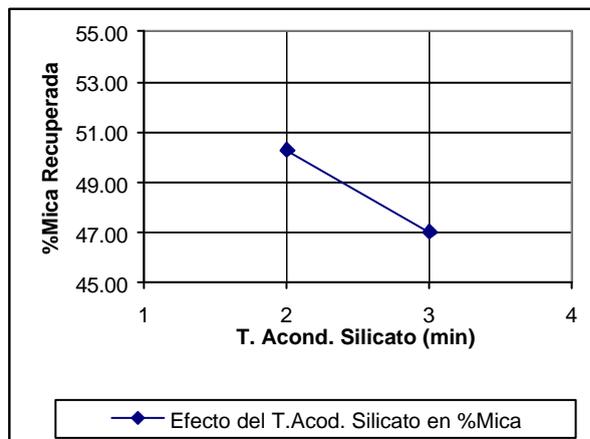


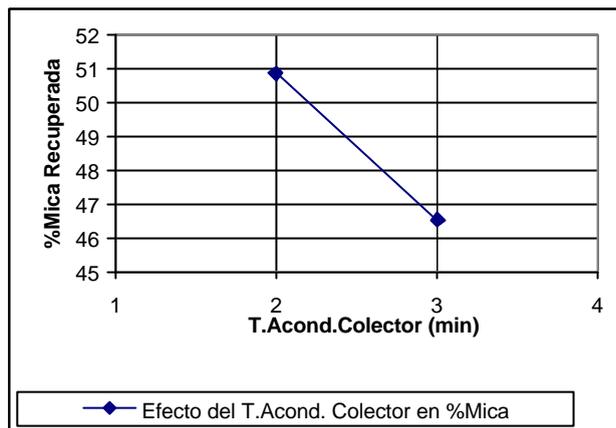
Figura 4.7.- Gráfica del efecto del tiempo de acondicionamiento del depresante en el Porcentaje de Mica Recuperada

De este ensayo se concluye que al aumentar el tiempo de acondicionamiento del depresante de 2,00min a 3,00min, (silicato de sodio  $\text{NaSiO}_2$ ), el porcentaje de mica recuperada se incrementa de forma negativa en un 6,38% .

- *Efecto del tiempo de acondicionamiento del colector en el % de mica recuperada*

T.Acond. (min) Flotigam EDA-3B	% Mica Recup
2	51
3	47

**Tabla 4.8.- Valores de %R. Mica en función al T. Acond del colector**



**Figura 4.8.- Gráfica del efecto del tiempo de acondicionamiento del colector en el Porcentaje de Mica Recuperada**

Según los datos de la tabla 4.8 se puede observar en la figura 4.8, que al llevar en este ensayo el tiempo de acondicionamiento del colector de 2,00min a 3,00min, (Flotigam EDA-3B), el porcentaje de mica recuperada presenta un incremento negativo de un 8,51%

- Efecto de la dosis de colector en el % de mica recuperada

Dosis colector (gr/ton)	% Mica Recup
348	51
522	47

Tabla 4.9.- Valores de %R. Mica en función a la dosis de colector

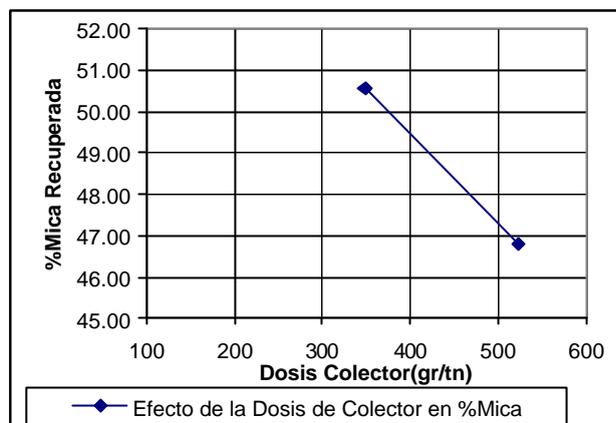


Figura 4.9.- Gráfica del efecto de la dosis de colector en el Porcentaje de Mica Recuperada

Como se puede observar en la figura 4.9, graficada con los datos arrojados por la tabla 4.9, en este ensayo al incrementar la dosis del colector de 348 gr/ton a 522 gr/ton , (Flotigam EDA-3B), el porcentaje de mica recuperada sufre una pérdida de un 8,51% .

Al hacer uso de la tabla 4.1, para elaborar las figuras desde la 4.2 a la 4.9, se puede observar que al incrementar el pH de la pulpa, la masa del concentrado aumenta y a su vez la recuperación también aumenta de manera significativa en un 15,56%, por tanto desde el punto de vista de calidad al hacer la pulpa mas alcalina aumentado el pH, la adherencia de las partículas de mica a las burbujas del aire es mayor, lo que acredita la condición de pH en 10 como la mas favorable en los ensayos experimentales. Para el tiempo de acondicionamiento del agente depresante ( $\text{NaSiO}_2$ ) y el tiempo de acondicionamiento de la amina (Flotigam EDA-3B), este se considerara en 2 minutos, ya que bajo esta condición se observaron mejores valores de recuperación de la mica. Respecto a la dosis del colector; si bien al ser incrementada aumenta la masa del concentrado, no ocurre lo mismo para la recuperación, ya que esta se reduce significativamente. Esto se puede interpretar como una mayor adherencia de partículas de las colas a la pulpa de flotación lo que redundaría en el concentrado de mica recuperada por lo que la

recuperación se ve afectada, por lo que se decidió considerar la dosis del colector en 348gr/ton para el desarrollo de los ensayos experimentales.

### **4.3.- ENSAYOS EXPERIMENTALES**

Con base en los ensayos exploratorios se definen los ensayos experimentales de concentración por flotación de la mica. Estos ensayos se hacen con el objeto de determinar cuales son las combinaciones de variables que al ser ajustadas influyen de manera favorable en los porcentajes de recuperación de las muestras analizadas y que al efectuar los análisis químicos estos valores de mica ( $Al_2O_3$ ), se ven reflejados en la Tabla 4.10. Se tomaron las siguientes condiciones fijas y los factores que se variaron a saber, así como los resultados obtenidos;

#### *Parámetros Fijos:*

- Masa de alimentación: 150 g de mineral.
- pH: solución alcalina, 10
- Dosis de colector: 348gr/ton a 522 gr/ton de amina Flotigam EDA-3B.
- Tiempo de acondicionamiento del depresante: 2 min.  
Tiempo de acondicionamiento del colector: 2 min.

#### *Los Factores Variados fueron:*

- Dilución de pulpa: 25 % y 35 % de sólido en pulpa, para determinar el efecto en el %R y %Mica.
- Volumen de agua: 278 mL y 450 mL.
- Depresante: silicato de sodio con dosis de 656 gr/ton a 1050 gr/ton.
- RPM: 1100 y 1200

Dilución de Pulpa	Vol. de Agua (ml)	Dosis Depres. (gr/ton)	RPM (Agitad)	Masa Conc. (gr)	Masa Colas. (gr)	% Mica ( $Al_2O_3$ )	%R Mica ( $Al_2O_3$ )	%Mica ( $K_2O$ )	%R Mica ( $K_2O$ )
25	450	656	1200	43,60	103,80	41,17	32,22	9,18	34,38
25	450	656	1100	28,10	120,80	72,78	39,53	17,04	44,31
25	450	1050	1100	28,50	121,20	77,82	43,52	18,77	50,27
25	450	1050	1200	29,80	119,90	72,46	43,80	17,04	49,31
35	278	656	1100	21,60	128,40	74,93	47,94	17,93	54,91
35	278	1050	1100	13,30	136,00	70,51	55,94	16,41	62,32
35	278	656	1200	21,70	128,10	61,76	54,88	14,17	60,26
35	278	1050	1200	18,60	131,10	64,18	58,26	15,05	65,42

**Tabla 4.10.- Condiciones fijas y valores arrojados en los ensayos experimentales**

Al ser establecidas las condiciones de pH de la pulpa, dosis de colector, tiempo de acondicionamiento del depresante y tiempo de acondicionamiento del colector, se procede a determinar la respuesta de la mena a la concentración por flotación, considerando que el efecto de la variación de algunas condiciones en los ensayos experimentales se pueden observar al aplicar herramientas estadísticas de toma de decisiones para obtener la " Gran Media ", de los resultados. De esta manera se pueden evaluar las condiciones que afectan la recuperación de la masa del concentrado así como de los porcentajes de mica obtenidos en el producto de la flotación.

#### **4.4.- RESULTADOS**

Los resultados obtenidos en los ensayos experimentales se observan en las tablas 4.11 a la 4.14 y se ven graficados en las figuras 4.10 a la 4.13, para los productos de la masa de concentrado y en las tablas 4.15 a la 4.18 y en las figuras 4.14 a la 4.17, para los porcentajes de mica recuperada, las condiciones bajo las cuales se efectuaron los ensayos se observan en la tabla 4.10.

Estos resultados se midieron en base a contenido de masa y al porcentaje de recuperación de mica y de cuarzo para cada uno de los productos, su obtención se logra haciendo uso de un balance de masas, para poder entender las diferencias en el contenido de los minerales en la entrada del proceso de concentración así como a la salida del mismo, para dar un ejemplo de este procedimiento de cálculo se puede observar el siguiente:

Muestra No: M4-2<sup>a</sup>

	Peso (gr)	%Mica	Gr Mica
Cabeza	150,00	57,42	86,13
Concentrado	43,60	86,59	37,75
Cola	103,80	39,70	41,20 +
			<b>78,96</b>

De este ejemplo se puede deducir que la suma del peso de la mica contenida en el concentrado y en la cola de los productos, no excede el peso de mica presente en la muestra cabeza antes de ser flotada.

#### 4.4.1. Efecto de la Variación de Factores en los Ensayos Experimentales en la Masa del Concentrado

- Efecto de la dilución de la pulpa en la masa del concentrado

Dil. Pulpa (%)	S Masa Conc. (gr)
25	130
35	75

Tabla 4.11.- Valores de Masa de Concentrado en función a la dilución de pulpa

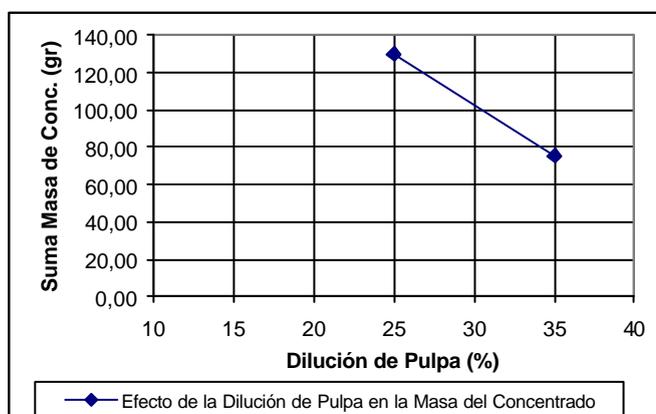


Figura 4.10.- Gráfica del efecto de la dilución de pulpa en el Peso de Concentrado

Como se puede observar en la figura 4.10, graficada con los datos tomados de la tabla 4.11, a medida que se incrementa porcentualmente la dilución de la pulpa de 25% a 35% (% sólido en la pulpa) , la masa del concentrado experimenta una disminución en un 73,33%.

- *Efecto del volumen de agua en la masa del concentrado*

Vol de agua(ml)	S Masa Conc. (gr)
278	75
450	130

Tabla 4.12.- Valores de Masa de Concentrado en función al volumen de agua

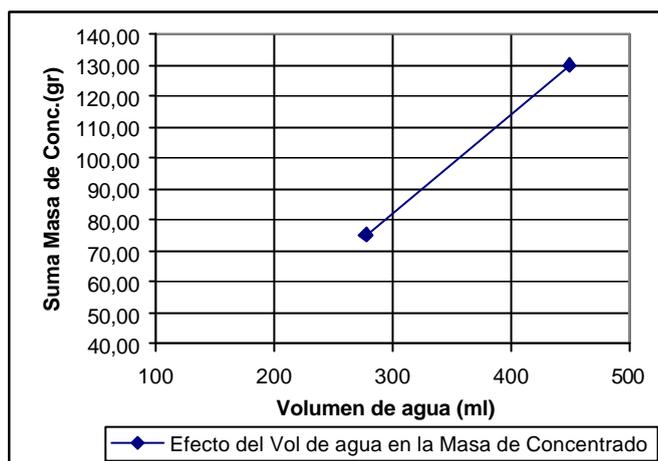


Figura 4.11.- Gráfica del efecto del volumen de agua en el Peso de Concentrado

Considerando los datos de la tabla 4.12 y según la figura 4.11, en este ensayo se puede observar que al incrementar el volumen de agua en la pulpa de 278ml a 450ml, (H<sub>2</sub>O), la masa del concentrado se incrementa en un 73,33%.

- *Efecto de la dosis de depresante en la masa del concentrado*

Dosis Depresante (gr/tn)	S Masa Conc. (gr)
656	115
1050	90

Tabla 4.13.- Valores de Masa de Concentrado en función a la dosis de depresante

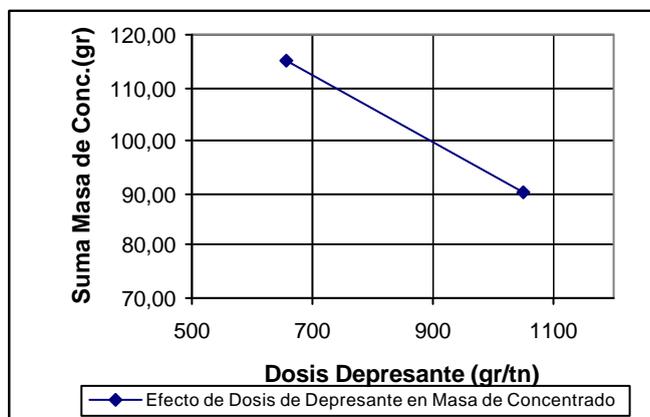


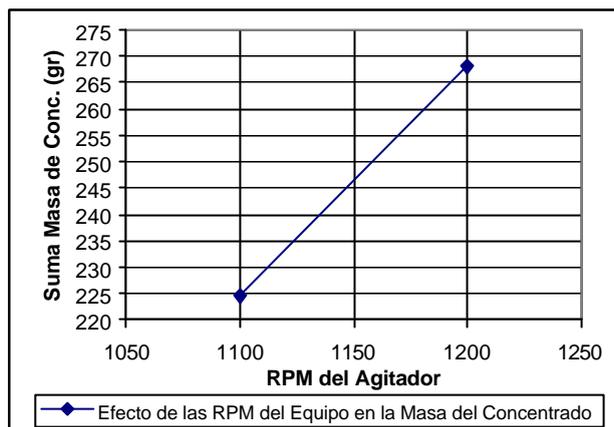
Figura 4.12.- Gráfica del efecto de la dosis de depresante en el Peso de Concentrado

Como se puede observar en la figura 4.12, graficada con los datos de la tabla 4.13, al incrementar en este ensayo la dosis del depresante de 656 gr/tn a 1050 gr/tn, (silicato de sodio  $\text{NaSiO}_2$ ), la masa del concentrado experimenta una disminución en un 27,77%

- *Efecto de las RPM en la masa del concentrado*

RPM	S Masa Conc. (gr)
1100	92
1200	114

**Tabla 4.14.- Valores de Masa de Concentrado en función a las RPM**



**Figura 4.13.- Gráfica del efecto de las rpm del agitador en el Peso de Concentrado**

Según los datos de la tabla 4.14 se puede observar en la figura 4.13 que al llevar en este ensayo la velocidad de rotación del agitador de la celda de flotación de 1100rpm a 1200rpm, (Celda Denver), la masa del concentrado se incrementa en un 23,11%

#### 4.4.2. Efecto de la Variación de Factores Exploratorios en el Porcentaje de Mica Recuperada

- Efecto de la dilución de la pulpa en el % de mica recuperada

Dil. Pulpa (%)	% Mica Recup.
35	66
25	68

Tabla 4.15.- Valores de %R. Mica en función a la dilución de pulpa

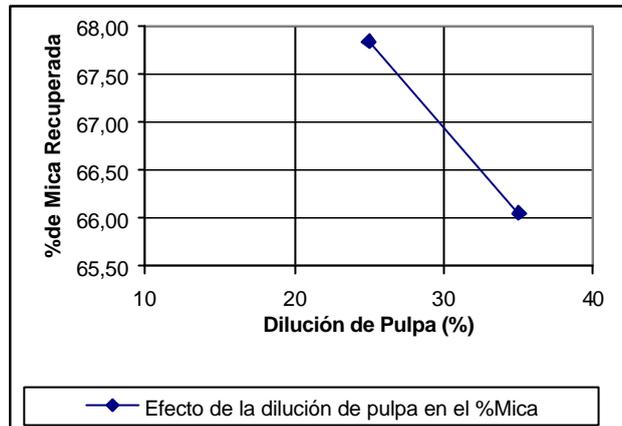


Figura 4.14.- Gráfica del efecto de la dilución de pulpa en el Porcentaje de Mica Recuperada

Como se puede observar en la figura 4.14, graficada con los datos arrojados por la tabla 4.15, al incrementa porcentualmente la dilución de la pulpa de 25% a 35% (% sólido en la pulpa), el porcentaje de mica recuperada experimenta una disminución en un 3,03%.

- Efecto del volumen de agua en el % de mica recuperada

Vol de agua(ml)	% Mica Recup
278	68
450	66

Tabla 4.16.- Valores de %R. Mica en función al volumen de agua

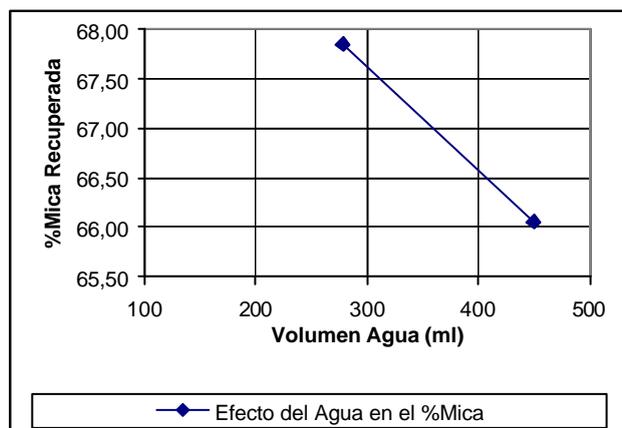


Figura 4.15.- Gráfica del efecto del volumen de agua en el Porcentaje de Mica Recuperada

Observando la tala 4.16 y la figura 4.15, en este ensayo al incrementar el volumen de agua en la pulpa de 278ml a 450ml, (H<sub>2</sub>O), el porcentaje de mica recuperada disminuye en un 3,03%.

- Efecto de la dosis de depresante en el % de mica recuperada

Dosis Depresante (gr/ton)	% Mica Recua
656	63
1050	71

Tabla 4.17.- Valores de %R. Mica en función a la dosis de depresante

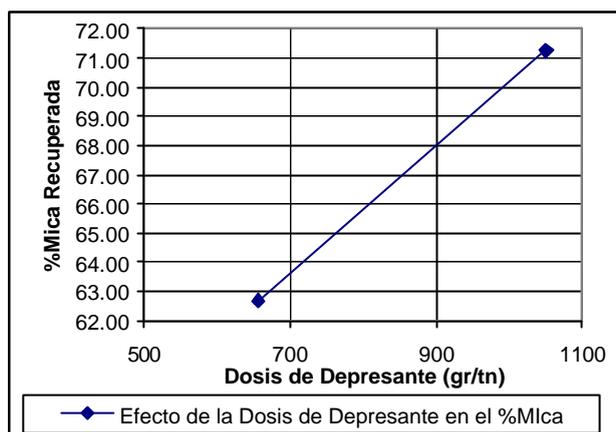


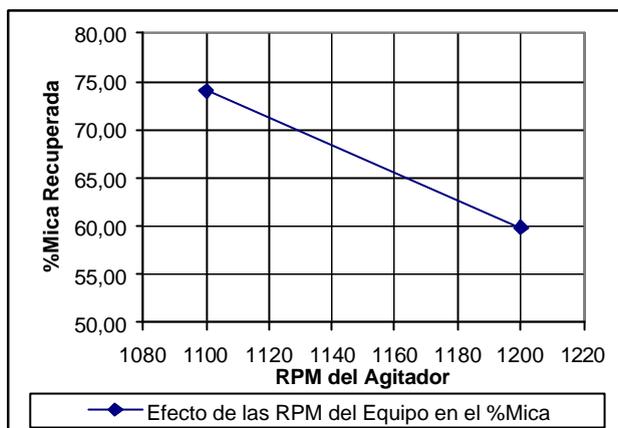
Figura 4.16.- Gráfica del efecto de la dosis de depresante en el Porcentaje de Mica Recuperada

Como se puede observar en la figura 4.16, graficada con los datos tomados de la tabla 4.17, al incrementar en este ensayo la dosis del depresante (silicato de sodio NaSiO<sub>2</sub>), de 656 gr/ton a 1050 gr/ton, el porcentaje de mica recuperada experimenta un incremento en un 12,70%

- Efecto de las RPM en el % de mica recuperada

RPM	% Mica Recup
1100	74
1200	60

**Tabla 4.18.- Valores de %R. Mica en función a las RPM**



**Figura 4.17.-Gráfica del efecto de las rpm del agitador en el Porcentaje de Mica Recuperada**

Según se puede observar en la figura 4.17, de acuerdo a los datos de la tabla 4.18, en el ensayo al incrementar la velocidad de rotación del agitador de la celda de flotación (Celda Denver), de 1100rpm a 1200rpm, el porcentaje de mica recuperada se incrementa en un 23,33%

#### 4.5.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Al hacer uso de la tabla 4.10, para elaborar las figuras desde la 4.10 a la 4.17, se observa que al aumentar el porcentaje de dilución de pulpa de 25 a 35, la masa de concentrado se hace sustancialmente menor así mismo el porcentaje de recuperación cae en un 3,03%; por lo que se puede mencionar que con una dilución de pulpa del 25% se puede establecer una condición ideal de la flotación. Adicionalmente se observa que al aumentar el volumen de agua en la pulpa, la masa de concentrado se incrementa en un 73,33% y la recuperación experimenta una disminución del 3,03%, siendo este valor porcentual bajo se estima que el volumen adecuado para estos ensayos es de 450ml. Así mismo al aumentar la dosis del depresante de 656 a 1050 gr/ton en los ensayos experimentales la masa de concentrado cae en un 27,77% y el porcentaje de recuperación se incrementa en 12,70% siendo favorable la recuperación al aumentar la dosis de depresante. Por último al aumentar la velocidad de barrido del agitador de la celda Denver de

1100 a 1200 rpm, la masa de concentrado se incrementa en 23,11% pero la recuperación cae en 23,33%, por lo que se puede inferir que la velocidad de las aspas del agitador trabajan con una mejor recuperación en 1100rpm.

Considerando la calidad de la flotación al hacer una dilución de pulpa de un 25% para un volumen de agua de 450ml, tomando como condición ideal una velocidad de 1100 rpm, se puede decir que la adherencia de las partículas de mica a las burbujas de aire se aproxima a los valores óptimos de recuperación. Esto se traduce en un aumento en la densidad de la pulpa que influye sobre la adherencia de las partículas de mica en las burbujas de aire.

Tal como se puede observar en los ensayos exploratorios y en los experimentales, para identificar la mejor respuesta de estos se consideraron los siguientes factores, a saber;

- Porcentajes de Mica Recuperada Altos
- Masa de Concentrado Alta

Aplicando este plan de ensayos para afinar la concentración por flotación de la mica en esta arena, se logran altos valores de recuperación de mica en mas de un 32%, por lo que se puede deducir que la flotación catiónica hacen factible el procesamiento de las arenas para obtener como subproducto mica.

Según los análisis realizados a las muestras por Rx, se observa que el contenido de mica en las muestras provenientes del proceso en la Planta esta por el orden del 14,02% en  $Al_2O_3$ , y en 2,85% en  $K_2O$  mientras que el cuarzo se encuentra en un 73,05%. Así mismo en las muestras de cabeza de mina la mica esta en 5,7% en  $Al_2O_3$ , en 1,10% en  $K_2O$  y el cuarzo en 86,62%, las concentraciones de  $MgO$  están en el orden de 0,8% a 0,37%, lo que la hace muy baja y no afecta el proceso de concentración . Lo que nos dice que en el proceso de concentración por flotación se obtiene un porcentaje de recuperación promedio del 47,01% en mica, por lo que desde el punto de vista de beneficio mineral estas

condiciones lo hacen favorable para aplicar un proceso de aprovechamiento mineral a nivel de planta piloto con carácter industrial y comercial.

Por otro lado al evaluar la variable pH (ver figuras 4.2 y 4.6), en un medio alcalino de forma independiente, nos indica que al aumentar este de 8 a 10, el porcentaje de mica recuperada esta por el orden de 15,56% y la masa de concentrado recuperada es muy baja. Por lo que se puede considerar que con el incremento del pH en la pulpa los valores de recuperación son aceptable mientras dilución de la pulpa se mantenga en 25%.

La acción del depresante, silicato de sodio ( $\text{NaSiO}_2$ ), al ser aumentada por encima de 1000 gr/Ton (ver figura 4.12), se ve manifestada en una tendencia al incremento de la recuperación y menor masa de concentrado, lo cual explica la alta sensibilidad de las partículas de mica a la variación de la dosis de este reactivo.

Por otra parte el aumento en la dosis de la amina como agente colector (Flotigam EDA-3B) en la pulpa de concentrado de ( 348 a 522 ) gr/Ton (ver figuras 4.5 y 4.9), refleja un aumento de la masa de concentrado mientras que la recuperación decrece con márgenes en el porcentaje bastante estrechos por el orden de 8% . Lo que nos indica que la acción colectora de la amina es poco selectiva, ya que se adhieren partículas de colas que son flotadas y perjudican los porcentajes de recuperación de la mica.

De este análisis se deduce que la condición en la cual se logran los mejores niveles de aprovechamiento para el beneficio mineral, se encuentran centrados en establecer las condiciones de los factores que intervienen en la concentración en pH de 10, dilución de pulpa en 25%, dosis de colector de 348gr/ton, volumen de agua en 450ml, dosis de depresante en 1050 gr/ton. Así mismo la remoción del sílice contenido en la pulpa es mas efectivo, llegándose a establecer una recuperación del  $\text{SiO}_2$ , en mas de un 85%, lo que da colas que producen concentrados de cuarzo muy limpios.

## **CAPITULO IV**

## CONCLUSIONES

El material analizado proveniente de la Arenera El Torito, contiene un 65% de cuarzo, 11% en mica muscovita, 11% en ilmenita, 2% en pseudorútilo, 2% en goetita, 3% en caolinita, 5% de ortopiroxenos y 1% en plagioclasa, con una humedad de 1,5%, presentando granulometría gruesa con tamaño no mayor a 2" con mas del 60% de material retenido en la malla 150 en análisis granulométrico por vía húmeda, presentando un grado de liberación mediano para la mica, es decir hay predominio de la matriz de cuarzo estando la mica liberada en número no mayor al 60% en la malla 200, siendo este determinante para la tomar del corte de malla.

Debido a que el material objeto de análisis proviene de dos zonas identificadas como Tolva de Descarga y Laguna de Sedimentos, la presencia de lamas en estas muestras es muy significativa, por lo que se hizo necesario hacer un deslamado en un sistema de tamices empleando el equipo mecánico Rot tap, lo que permitió obtener un producto mas limpio y con mayor cantidad de mica liberada.

El proceso de concentración por flotación catiónica aplicada al material proveniente de la Laguna de Sedimentos de la Arenera El Torito, resulta ser efectivo en la obtención de productos de mica con calidad para uso industrial, llegándose a obtener un concentrado promedio en mica de 66,95% y un porcentaje de recuperación promedio de 47,02%. Para las colas en su gran mayoría contentivas de cuarzo, este se manifestó en mas de un 85% lo cual nos da una idea clara de la efectividad del proceso de concentración por flotación para remover las partes de sílice.

Respecto a las dosis de reactivos utilizados para optimizar el proceso, estos se ubican en el empleo de una solución alcalina de hidróxido de sodio (NaOH) para regular el pH en 10, una condición de dilución de pulpa en 25%, dosis de colector Flotigam EDA-3B en 348gr/ton, volumen de agua en 450ml, dosis de

depresante silicato de sodio ( $\text{NaSiO}_2$ ) en 1050 gr/ton y la velocidad del agitador del equipo de flotación (Celda Denver) en 1100rpm.

Es importante señalar la influencia del silicato de sodio como agente depresante de la sílice, debido al alto potencial de influencia que este reactivo ejerce sobre los silicatos, a su vez en procesos de flotación de micas se comporta como un agente ideal, lo que se ve reflejado en el alto porcentaje de recuperación de las micas promediando un 47,02% en el concentrado.

El empleo de dosis de la amina como lo es el colector Flotigam EDA-3B, de 348gr/ton y de la dosis de silicato de sodio ( $\text{NaSiO}_2$ ) en 1050 gr/ton, consideradas como óptimas y derivadas de los ensayos experimentales nos da una idea de la acción selectiva de la amina para adherirse a las partículas de mica flotadas y el efecto depresante del silicato de sodio sobre las partículas de cuarzo.

Sobre las características de los concentrados obtenidos en la flotación, se puede indicar la factibilidad de su uso en la industria de refractarios debido a las propiedades térmicas de estas, además de su uso en la industria de pinturas especiales respaldado por el elevado porcentaje de mica muscovita contenido en las muestras, lo que es favorable ya que se encuentra dentro de las especificaciones requeridas por la industria de pinturas, siendo importante ya que dentro de sus características se puede mencionar el reforzamiento de la mezcla evitando el cuarteo de la pintura en las superficies y la capacidad de darle brillo a estas.

Considerando que el yacimiento de arenas en la Arenera El Torito está ubicado en 165.000m<sup>3</sup>, si se considera que el porcentaje de recuperación de la mica promedia 47,02%, y que más del 50% del material que es lavado en el tornillo lavador pasa a una segunda etapa de molienda en un cono Nordberg se está sobre los 38.000 m<sup>3</sup> de material deletéreo con altos contenidos de mica muscovita, lo cual se puede tomar como un volumen considerable para el desarrollo de una minería a pequeña escala.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda hacer estudios extensivos de laboratorio valiéndose del proceso de concentración por flotación empleando las variables fijadas en este trabajo, así como el desarrollo de estudios de planta piloto a pequeña escala con el propósito de registrar el comportamiento de los porcentajes de recuperación de la mica a mayor escala y en mayor lapso de tiempo.

Durante el proceso de lavado de las arenas el material considerado como desecho que es transportado hasta el sistema de lagunas de sedimentos y que contiene un alto porcentaje de mica muscovita se contamina en la fase de transporte y en la sedimentación con materia orgánica, por lo que se recomienda la remoción del material en un período de tiempo menor para evitar la contaminación.

Debido al alto consumo de mica en las industrias de la zona a saber como, fabricas de bloques livianos, refractarios, pinturas y vidrios aunado al hecho de que en su gran mayoría esta materia prima es importada, se hace atractivo el desarrollo de estudios de viabilidad de mercado y análisis de costos con el fin de conocer la factibilidad de una explotación con carácter comercial para el logro de mayores beneficios en la arenera El Torito.

## BIBLIOGRAFÍA

ADANS R. W. (1986). Mining Chemicals Handbook. 4º Edición, Newark, NJ. 178 pp.

CARR, D.D. (1994). Industrial Minerals and Rocks. 6º Edición, Colorado. S.M.M.E. 1213 pp.

DANCE & MORRISON. (1992). "Quantifying A Black Art.: The Electrostatic Separation Of Mineral Sands", Mineral Engineering (Great Britain), N° 7, pp. 751 – 765.

ERROL G, Kelly. (1990). Introducción al Procesamiento de Minerales. 2º Edición, México. D.F.,.Limusa. 1056 pp.

ESTRADA , D., (2001). Factibilidad del Beneficio de la Mica presente en la Cantera Cura en San Joaquin, Estado Carabobo., Venezuela (Inédito) Trabajo especial de Grado para optar al Titulo de Ingeniero de Minas, Caracas, Universidad Central de Venezuela. 243 pp.

GAUDIN, A M., (1995). Principles of Mineral Dressing., Ultima Edición. McGraw-Hill Book Company. New York and London. 650 pp.

GONZALEZ, de Juana, (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. 1º Edición. Caracas. Editorial Foninves. 1031 pp.

HURLBUT, Dana., (1956). Manual de Mineralogía. 6º Edición, Barcelona. Editorial Reverté. 524 pp.

MARTIZ Monica & GARCIA, Manuel., (2001). Materiales para la Construcción., Caracas, Venezuela, Universidad Central de Venezuela (Inédito) 13 pp.

McGUIGAN, F.J., , (1996). Psicología Experimental. 6° Edición, México. Editorial Prentice, 377 pp.

NORDBERG, Group (2002). Series Cone Crushers HP 2000. Tampere Finland, 54 pp.

PELÁEZ, Eduardo., (1975). Preparación y Concentración de Minerales. . 3° y 4° Edición, Caracas. Inédito. 220 pp

ROJAS, Ángela, (1989). Geología del Cinturón Tectónico Cauagua-El Tinaco, al Sur de la peridotito de Tinaquillo, Edo. Cojedes. Caracas. (Inédito). 146 pp.

SAMPIERI, et al, (1998). Metodología de la Investigación. 2° Edición, México, McGraw Hill, 501 pp.

TAGGART Arthur F., (1996) Elementos de Preparación de Minerales.. Primera Edición Española. Madrid. Ediciones Interciencia. Castanilla de los Angeles, 15. 823 pp.

WEISS, N.L. (1985). S.M.E. Mineral Processing Handbook. 1° Edición, Colorado. S.M.M.E. 2144 pp