

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE MINAS  
MINERÍA DE CAMPO 2008

**CALCULO DE LAS VARIABLES PARA EL CONTROL DE  
SEDIMENTOS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE LA PLANTA 3  
DE CANTERAS NACIONAL**

Autor: Karla Escalante  
Tutor Académico: Ing. Katherine Silva

Caracas, Enero 2009.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE MINAS

Minería de Campo 2008

**CALCULO DE LAS VARIABLES PARA EL CONTROL DE  
SEDIMENTOS DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES DE LA PLANTA 3  
DE CANTERAS NACIONAL**

Autor: Karla Escalante  
Tutor Académico: Ing. Katherine Silva  
Fecha: Enero 2009.

**RESUMEN**

El presente informe da a conocer los resultados y conocimientos obtenidos en el desarrollo de la pasantía profesional realizada en la empresa Cantera Nacional CA., durante el periodo de 6 semanas, comprendido entre los días 8 de Agosto al 26 de Septiembre de 2008 y de esta manera se cumple con el requisito de la minería de campo exigido en el plan de estudio de Ingeniería de Minas. En esta pasantía se propone el Cálculo de las variables del control de sedimentos que son el resultado de los procesos de producción de arena lavada en Planta 3, sólidos que se encuentran en suspensión hídrica. Este estudio se realizó en dos etapas. La primera etapa fue la permanencia en la cantera, en los departamentos de Producción y Mantenimiento, en el primer departamento se estuvo en contacto con las labores de minas, carga y acarreo del material, perforación y voladuras, planificación, además de observar el funcionamiento de la planta 3, además se participó en el inicio del plan de desarrollo que se lleva a cabo en la actualidad, con el cual la empresa pretende aumentar la producción de las plantas 2 y 3. En el departamento de mantenimiento se participó en la reparación de la mandíbula de la planta 2 la cual estuvo fuera de funcionamiento en este periodo de la minería de campo. La segunda de estas, fue la adquisición de las muestras en campo, a estas muestras se le realizaron una serie de pruebas en el Laboratorio de Preparación y Concentración de Menas ubicado en la escuela de Metalurgia y Ciencias de los Materiales de la UCV, para poder obtener valores de condiciones de flujo, propiedades de sedimentación y características de la partícula.

## ÍNDICE

	<b>Pág</b>
Introducción	5
Capítulo I Problemática	7
1.1 Planteamiento Del Problema	8
1.2 Objetivos De La Investigación	
1.2.1 Objetivo General	
1.2.2 Objetivos Específicos	9
1.3 Alcances	
1.4 Justificación	
1.5 Limitaciones	10
Capítulo II. Aspectos Generales De Cantera Nacional C.A.	11
2.1 Visión	12
2.2 Misión	
2.3 Ubicación y Acceso	
2.4. Acceso	
2.5 Geografía Física De La Zona.	13
2.6 Reservas Probables, Posibles Y Probadas.	
2.7 Estructura De Cantera Nacional	15
2.8 Servicios De La Cantera Nacional	16
2.9 Desarrollo De La Cantera Nacional	
Capitulo III Marco Teórico	20
3.1 Geología	21
3.1.1 Geología Regional	
3.1.2 Geología Local	25
3.2 Secuencia Litológica	26
3.2.1 Descripción Litológica	
3.3 Definición Estructural	29
3.4Clasificación Por Vía Húmeda	31
3.4.1 Sedimentación	32
3.4.2 Velocidad De Sedimentación.	34

3.4.3	Flujo Laminar	36
3.4.4	Viscosidad Del Fluido	38
3.4.5.	Granulometría	40
Capitulo IV	Marco Metodológico	41
4.1	Metodología	42
4.1.1	Tipo De Investigación	
4.1.2	Diseño De La Investigación	
4.1.3	Población y Muestra	
4.1.4	Instrumentos Y Técnicas.	43
4.1.5	Análisis De Datos	45
Capitulo V	Resultados	47
5	Resultados	49
5.1	Ensayo De Sedimentación.	
5.2	Característica De La Partícula	51
5.2.1.	Forma, Tamaño Y Tipo De Partícula	
5.2.2	Densidad De La Partícula	
5.3	Característica Del Fluido	52
5.3.1	Viscosidad Del Fluido	
5.3.2	Densidad Del Fluido	
5.3.3	Régimen Del Fluido	53
5.4	Propiedades De Sedimentación	
5.4.1	Velocidad De Sedimentación	
5.4.2	Presión	
5.5	Discusión De Resultados	54
	Conclusión	56
	Recomendación	57
	Bibliografía	58

## INTRODUCCIÓN

La industria minera es una de las actividades más importante a nivel mundial, ya que representa la actividad mediante la cual se extraen los recursos naturales que permiten el desarrollo de gran parte de la economía mundial.

La actividad minera generan grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales los mas importantes en función de volumen son los estériles y desechos, se sabe además que la minería es en principio una de las actividades que mas degrada el ambiente.

La producción de sedimentos y su incorrecta disposición trae consigo la contaminación de los afluentes, afectando las zonas aledañas a la explotación. En este informe se tiene como finalidad, el cálculo de las variables necesarias para el control de dichos sedimentos y así evitar causar daños al ecosistema.

Para ello se realizo un trabajo de campo en Canteras Nacional C.A., mediante el cual se observo el proceso de explotación, carga y acarreo del material, hasta Planta 3, para la producción de arena lavada y poder apreciar el proceso de trituración de la materia prima, en el cual es utilizada agua que luego es descargada con un porcentaje de sólidos en suspensión en una quebrada cercana a la zona de explotación.

Para el óptimo control de estos sedimentos, es necesario conocer las variables que permiten la adecuada sedimentación de estos sólidos en suspensión. Para cumplir con el objetivo general de este trabajo se realizo la investigación bibliográfica necesaria, los ensayos adecuados para encontrar los valores correspondientes a cada una de dichas variables presentes en este fluido.

El informe se encuentra dividido en 5 capítulos los cuales se mencionan a continuación; Capítulo I Generalidades, en el cual se exponen los objetivos General y Específicos; Capítulo II Aspectos Generales de Cantera Nacional C.A., aquí se dan a conocer las características que Posee la cantera, como es la visión y misión de la empresa, los equipos de carga y acarreo, el tipo de explosivo utilizado, etc., Capítulo III Marco Teórico, aquí en este capítulo se enuncia conceptos y características que deben de poseer los fluidos, el Capítulo IV Marco Metodológico en el cual se expondrá la metodología utilizada para poder cumplir con los objetivos planteados en este trabajo y finalmente el Capítulo V Resultados, en el cual se presentan de manera detallada los resultados de los cálculos realizados para obtener las variables utilizadas en el control de sedimentos y además, se presenta una interpretación de cada una de ellas.

**CAPÍTULO I**  
**PROBLEMATICA**

## **1.1 Planteamiento del Problema**

Uno de los propósitos fundamentales que se tiene dentro de la explotación de las canteras, es dar un buen manejo a las aguas superficial provenientes de los procesos industriales. Ya que estas al ser desechadas pueden ser enviadas a los cauces de aguas que se encuentran cercanas a la explotación o también pueden ser recicladas y enviadas a los procesos industriales, para ello se realizan estudios del comportamiento de estas aguas para así poder evitar los posibles daños que se puedan causar al ecosistema y a poblaciones aledañas, ya que estas aguas son utilizadas para cubrir las necesidades de las mismas.

Para cumplir con el objetivo general de este informe, se plantea la realización de procesos experimentales, con los cuales se busca realizar el cálculo de las distintas variables que influyen en el comportamiento de dichas aguas.

La filosofía del tratamiento ecológico, y las necesarias soluciones medioambientales en las plantas de tratamiento mediante un aporte racional del agua, hacen necesario que estas aguas sean separadas de los finos que contienen y puedan ser devueltas a sus causas naturales o ser recicladas y enviadas de nuevo a las plantas de tratamientos.

## **1.2 Objetivos de la Investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Calcular las variables, para el control de sedimentos de los procesos de producción de Arena Lavada, con la finalidad de conocer el comportamiento del fluido proveniente de la Planta 3 de Cantera Nacional C.A. ubicada en la Hacienda Mamera, Antimano Distrito Capital.



### **1.2.2 Objetivos específicos**

- ❖ Identificar las Condiciones de Flujo para obtener valores de Densidad, Régimen del fluido y velocidad del fluido
- ❖ Diagnosticar las Propiedades de Sedimentación tales como Velocidad de sedimentación.
  
- ❖ Identificar la Forma, tamaño y tipo de partícula, densidad de la partícula y Viscosidad del Fluido.

### **1.3 Alcances**

En la actualidad es de suma importancia que en las labores mineras se tenga un control de las aguas que son utilizadas en los tratamientos y luego son devueltas a sus causas naturales.

En este informe se tiene como alcance cumplir con el cálculo de las variables que son necesarias para llevar a cabo este control.

### **1.4 Justificación**

En la actualidad la creciente demanda de materiales utilizados en la construcción exige mayores controles en su producción.

Estos materiales generan beneficios a la sociedad, pero de igual manera los procesos industriales a los cuales son sometidas las materias primas pueden afectar a las comunidades cercanas a la explotación, uno de los principales problemas es el aumento de sedimentos que afectan significativamente los causes naturales degradando el ecosistema, creando condiciones perjudiciales para la salud de los poblaciones cercanas a la mina.

Esta investigación se concreta en el cálculo de las variables necesarias para

llevar a cabo un adecuado control de estos sedimentos producto de la preparación de arena lavada en la planta 3 en Cantera Nacional C.A.

Además de beneficiar a la empresa con la recuperación de los sólidos en suspensión y l

### **1.5 Limitaciones**

Debido a la falta de un laboratorio en la empresa en el cual poder llevar a cabo los ensayos necesarios para alcanzar los objetivos antes expuestos, se tuvo que realizar el traslado de las muestras al laboratorio de Preparación y Concentración de Menas, ubicado en la escuela de Metalurgia y Ciencias de los Materiales ubicada en la UCV, y por esto se retrasaron la realización de dichos experimentos.

Además, de la falta de información sobre las características de la bomba que alimenta planta 3, debido a esto fue no se pudo determinar los valores correspondientes a la velocidad del fluido, dado que no se pudo obtener el valor del caudal suministrado a planta 3.

**CAPÍTULO II.**  
**ASPECTOS GENERALES**  
**DE**  
**CANTERA NACIONAL C.A.**

## **2.1 Visión**

Ser la principal empresa productora de agregados de construcción en el área Metropolitana de Caracas y suministrar material de alta calidad producido y entregado con seguridad, eficiencia y competitividad.

## **2.2. Misión**

Producir agregados de alta calidad, optimizando los recursos de forma eficiente y eficaz permitiendo atender la demanda efectiva enfocada en la atención a los clientes potenciales de exigencia y con precios competitivos en el mercado, combinando factores sobre recursos humanos, minerales y económicos para lograr sus objetivos y metas planteadas, bajo el marco de crecimiento y desarrollo sustentable.

## **2.3 Ubicación y Acceso**

### **❖ Ubicación relativa**

La planta y la extracción de roca caliza, se encuentran en un sector conocido como Hacienda Mamera, en jurisdicción de la Parroquia Antímamo del Municipio Autónomo Libertador del Distrito Capital. La explotación se realiza en terrenos de propiedad de la empresa Cantera Nacional, C.A., estos terrenos cuentan con una superficie aproximada de 720.000 m<sup>2</sup>.

### **❖ Ubicación geográfica**

La explotación se encuentra geográficamente entre las coordenadas U.T.M.

Este: 717.500 a 718.200

Norte: 1.155.050 a 1.157.450

## **2.4. Acceso**

Cantera Nacional, está localizada a unos 3,5 Km. de la población de Antímamo, y su acceso se realiza:

Partiendo de Antímáno, se toma la carretera nacional Antímáno-Los Teques, al llegar al kilómetro 2 de la carretera nacional Antímáno-Los Teques, vía Las Adjuntas se toma un desvío a mano derecha por una carretera asfaltada que nos conduce a la cantera a 1,5 kilómetro de recorrido.

## **2.5 Geografía Física de la Zona.**

### **❖ Topografía**

La conformación topográfica del terreno en forma general es abrupta, está formada por áreas montañosas, enclavadas en un paso, originado por la quebrada.

### **❖ Drenaje natural**

Las redes hidrológicas tienen su eje principal en la quebrada Mamera, localizada en el lindero sur de la cantera.

### **❖ Clima y vegetación**

La vegetación es típica de las regiones boscosas tropicales, donde proliferan las gramíneas, representadas en su mayoría por gamelotes y hierbas.

Es de hacer notar que el área del yacimiento en explotación está intervenida y no requiere deforestación.

La temperatura oscila entre 20,9 °C y 32,5 °C.

## **2.6 Reservas Probables, Posibles y Probadas.**

### **❖ Reservas Probables**

Se refiere al mineral indicado, determinado por la observación de los afloramientos geológicos presentes en el área, que mediante el estudio geológico y un muestreo disperso ambos en superficie permite hacer algunas inferencias aproximadas de las reservas probables existentes.

En función de determinar las reservas probables de material rocoso para

agregados, en lo que resta de desarrollo de esta mina, hay que tomar en cuenta las limitaciones topográficas y ambientales que restringen la actividad de extracción. Por tal motivo, el cálculo de reservas probables estará limitado entre las cotas 1020 a 1200 dividiendo en tres bloques el área, localizados al oeste (bloque A), norte (bloque B) y este (bloque C) de la mina, sin que esto signifique que todo este material sea técnica y/o ambientalmente factible de extraer.

**TABLA 2.1 RESERVAS POR BLOQUES**

<b>Bloques</b>	<b>Volumen</b>
Bloque A	Volumen = $120\text{m} \times 300\text{m} \times 180 = 6.480.000 \text{ m}^3 / 2 = 3.240.000 \text{ m}^3$
Bloque B	Volumen = $180 \times 210 \times 180 = 6.804.000 \text{ m}^3 / 2 = 3.402.000 \text{ m}^3$
Bloque C	Volumen = $115 \times 235 \times 180 = 4.864.500 \text{ m}^3 / 2 = 2.432.250 \text{ m}^3$
Total Volumen	$9.074.250 \text{ m}^3$

FUENTE: Cantera Nacional

#### ❖ **Recursos Geológicos y Reservas**

Las reservas se basan en el último levantamiento topográfico de septiembre de 2005, contemplando el mismo proyecto de topografía modificada, en el cual la explotación se concentra en 3,6 has dentro de las 9,6 has permisazas.

La actualización topográfica cubre únicamente los frentes de explotación y fue levantado por el topógrafo Carmelo Hernández.

Utilizando el método de malla del programa computarizado Cartomap (malla 1,00 x 1,00), nos da un área de corte de  $133.900 \text{ m}^2$  y un volumen de corte de  $2.040.000 \text{ m}^3$ .

Por la configuración del yacimiento, la cantera cuenta con dos plantas de trituración para producir “piedra picada” y una planta de lavado para producir arena; así tenemos: el gneis alimenta la planta de trituración y el esquisto la planta de lavado.

Las reservas serán el volumen a extraer como un todo (gneis + esquisto).

Como se procesa el esquisto en la planta de lavado de arena, se puede

considerar que el estéril está presente en el lavado de arena, es decir: el fino producido en este proceso.

Podemos considerar un 20% de material rechazado en el lavado de arena.

Basado en la información suministrada por la actualización topográfica y la producción de arena, tenemos:

Arena producida anual = 65.000 m<sup>3</sup>.

Volumen arrancado anual = 190.000 m<sup>3</sup> en sitio.

Por lo anterior, tenemos:

Estéril arrancado (finos) = 13.000 m<sup>3</sup> suelto.

Como el estéril es suelo, no vamos a considerar el esponjamiento.

Todo lo anterior implica:

**TABLA 2.2** Reservas en m<sup>3</sup>

<i>Reservas en m<sup>3</sup></i>	<i>Estéril en m<sup>3</sup></i>	<i>Volumen total en m<sup>3</sup></i>
1.900.000	140.000	2.040.000

FUENTE: Cantera Nacional

Según los siguientes datos anuales:

**TABLA 2.3** Producción anual en m<sup>3</sup> suelto

<i>Volumen arrancado anual en m<sup>3</sup> en sitio</i>	<i>Producción anual en m<sup>3</sup> suelto</i>	
	<i>Piedra picada</i>	<i>Arena lavada</i>
<b>190.000</b>	<b>225.000</b>	<b>65.000</b>

FUENTE: Cantera Nacional

Las reservas se traducen en:

**TABLA 2.4** Producción total en m<sup>3</sup> suelto

<i>Reservas en m<sup>3</sup> en sitio</i>	<i>Producción total en m<sup>3</sup> suelto</i>	
	<i>Piedra picada</i>	<i>Arena lavada</i>
<b>2.040.000</b>	<b>2.400.000</b>	<b>700.000</b>

FUENTE: Cantera Nacional

## 2.7 Estructura de Cantera Nacional

La cantera se encuentra dividida en 6 bancos de explotación de mineral

llamados Nivel 1, 2, 3, 4, 5 y 6, los cuales cuentan con una altura de banco de 14 metros y una inclinación de 70°.

El acceso a estos niveles se realiza a través de una vía de acceso que comunica cada uno de los niveles con las plantas de trituración, Planta #2 para el procesamiento de Piedra #1, Piedra ¾, Arrecillo y Polvillo o para Planta #3 la producción de arena lavada.

## **2.8 Servicios de la Cantera Nacional**

La empresa cuenta con un Departamento de Mantenimiento que se encarga de las labores de reparación y mantenimiento preventivo de plantas y equipos móviles, así como también del regado de las vías para evitar el levantamiento de polvo con el paso de los camiones.

El abastecimiento de agua de la cantera proviene de dos fuentes: una laguna que se encuentra dentro de las instalaciones de la misma y el servicio de agua público.

La cantera cuenta con dos estaciones de bombeo, la primera está ubicada en el taller de mantenimiento de los camiones, esta agua es destinada a un tanque de almacenamiento ubicado en la cota 1028, y descarga a la Planta #3 (Planta de Arena, que se encuentra a una cota de 1060) por gravedad y la segunda se encuentra sumergida en la laguna, esta agua es utilizada para el lavado de las arenas.

## **2.9 Desarrollo de la Cantera Nacional**

### **❖ Arranque**

El método de explotación en la cantera es a Cielo Abierto. El arranque de material se realiza con el empleo de perforación y voladura. La perforación se realiza con equipos neumáticos y para ello cuentan con dos perforadoras:

TABLA 2.5 Equipos Neumáticos.

<i><b>Cantidad</b></i>	<i><b>Marca</b></i>	<i><b>Sistema</b></i>
<i><b>1</b></i>	<i><b>Wagondrill Stenuich</b></i>	<i><b>Martillo de fondo</b></i>
<i><b>1</b></i>	<i><b>Tamrock 610</b></i>	<i><b>Martillo de cabeza</b></i>

FUENTE: Cantera Nacional



El patrón de perforación utilizado es de trebolillo 4x4 con un diámetro de barreno de 4 pulgadas, una longitud de barreno de 14,50m y una sobreperforación de 0,50m.

Los explosivos más utilizados son Nitrato de Amonio (ANFO) y emulsiones no sensibles.

TABLA 2. 6. Explosivos utilizados en Cantera Nacional

<i>Nombre</i>	<i>Composición</i>	<i>Tipo</i>	<i>Presentación</i>
ANFO	Nitrato de Amonio + Fuel Oil	Granular	Sacos de 30 Kg.
Emulsión Magnafrac Plus		Pastosa	Empaque cilíndrico
Booster de pentolita	Pentolita		Tubo de 340 gr.
Detonador EZ DET			
Fulminantes corrientes			
Mecha de seguridad	Pentrita	Polvo	Cordón flexible en rollo de 50 Kg.

FUENTE: Cantera Nacional

#### ❖ **Acarreo**

El material es acarreado a través de la cantera con camiones roqueros de tipo Caterpillar 769C (ver Figura 2.1) y Euclid R-22 y R-30, a través de una vía de acceso que conecta los diferentes niveles de explotación denominados: Nivel 1, 2, 3, 4, 5 y 6, con las plantas de procesamiento de mineral Planta #2 y Planta #3. Esta vía cuenta con una pendiente máxima de 10% y un ancho promedio de 12 metros, que en algunos tramos se acorta haciendo necesario la parada de un camión para permitir el tránsito de otro que venga en sentido contrario, dándole prioridad al camión que viene cargado.



Figura 2.1. Camión Roquero Caterpillar Cat- 769C 35 Ton (2-25)  
FUENTE: PROPIA

❖ **Flota de Equipos.**

Para la ejecución de la explotación de agregados de construcción, la cantera cuenta con una flota de equipos esencial, que se distribuyen las actividades para poder extraer los agregados en forma más eficiente y económica. A continuación se muestra una serie de tablas donde se presenta cada una de las flotas con la que cuenta la empresa y sus características más predominantes.

**TABLA 2.7.** Flota de Acarreo

<i>Cantidad</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Capacidad</i>
<i>1</i>	<i>Camión Roquero Euclid</i>	<i>R-30</i>	<i>30 Ton</i>
<i>1</i>	<i>Camión Roquero Euclid</i>	<i>R-22</i>	<i>25 Ton</i>
<i>6</i>	<i>Camión Roquero Caterpillar</i>	<i>Cat-769C</i>	<i>35 Ton</i>

FUENTE: Cantera Nacional

**TABLA 2.8.** Flota de Cargadores

<b>Cantidad</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Capacidad de Cucharón</b>
5	Cargador Frontal Caterpillar	Cat-988B	2 m <sup>3</sup>
1	Retroexcavadora Caterpillar	206	

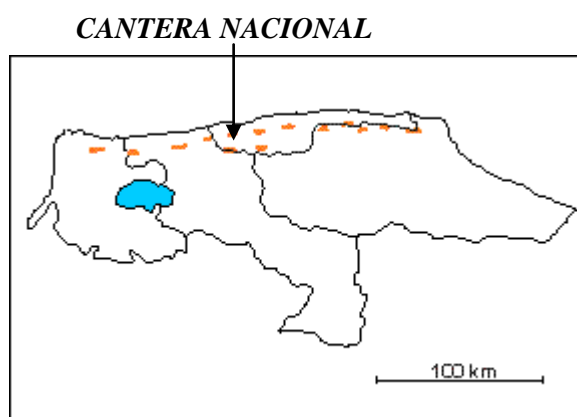
FUENTE: Cantera Nacional

**CAPITULO III**  
**MARCO TEORICO**

### 3.1 GEOLOGÍA

#### 3.1.1 Geología Regional

En el mapa que a continuación se muestra, se observa la zona donde se encuentra ubicada la formación Antimano en el territorio Nacional.



**Figura 3.1.** Mapa de la formación donde esta contenida la Cantera.

#### **ANTIMANO, Fase CRETACICO**

Distrito Federal y estados Miranda, Aragua y Carabobo

**Referencia original:** G. Dengo, 1951, p. 63-64.

**Consideraciones históricas:** Dengo (1949) menciona por primera vez a la Formación Antímmano, designa la localidad tipo y la describe brevemente. Dengo (1947) la había identificado como las calizas de la fase Zenda de la Formación Las Brisas. Aguerrevere y Zuloaga (1937) y Smith (1952) las consideraron como parte de la Formación Las Mercedes. Dengo (1951) la eleva a rango formacional. MacLachlan (1960), Feo-Codecido (1962), Wehrmann (1972), González (1972) extienden esta unidad hacia los estados Miranda, Aragua y Carabobo. González de Juana *et al.* (1980, p. 314) son los primeros en interpretar que esta unidad probablemente "representa un horizonte tectónico y no una unidad litoestratigráfica". Ostos *et al.* (1987), Navarro *et al.* (1988) redefinen esta unidad como Fase Antímmano, formando parte de su unidad litodémica de corrimiento que denominan como Complejo la Costa, que reúne adicionalmente a las fases

Tacagua y Nirgua. Urbani y Ostos (1989) y Urbani *et al.* (1989) utilizan este nombre en los mapas geológicos de la zona de Puerto Cruz a Macuto, Distrito Federal, y El Palito-Morón-Valencia, estado Carabobo.

**Localidad tipo:** Dengo (1951) establece la localidad tipo a 0,5 Km. al norte de Antímano, Distrito Federal (Hoja 6847, escala 1:100.000, Cartografía Nacional), cuyos afloramientos hoy en día están totalmente cubiertos por el urbanismo de la ciudad de Caracas. Muy buenos afloramientos aún están visibles en las canteras de la quebrada Mamera.

**Descripción litológica:** Dengo (1951) describe esta Formación como un mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquistos cuarzo micáceos, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "boudinage". El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%).

Dengo (1950) describe con detalle las anfibolitas glaucofánicas de esta Formación, incluyendo análisis químicos, indica que los mármoles son rocas estructuralmente competentes en relación a los esquistos que las rodean, pero incompetentes en relación con las rocas anfibólicas, mostrando pliegues de flujo alrededor de ellas y resultando así la estructura de "boudinage".

Schurmann (1950) igualmente estudia estas rocas glaucofánicas, presentando un mapa detallado de los diversos tipos litológicos en el sector de Antímano y Mamera.

En la región del Camino de los Españoles, Parque Nacional **El Ávila**, Ostos (1981) describe su Unidad de esquistos cuarzo-muscovítico y mármol cuarcífero equivalente a esta Fase, encontrando los siguientes tipos litológicos: esquistos cuarzo-muscovítico, mármol y esquistos calcáreos, esquistos cuarzo-feldespático y feldespático, cuarcita muscovítica-feldespática, epidocita y glaucofanita granatífera.

En la cartografía geológica de la zona de Puerto Cruz-Mamo, Talukdar y Loureiro (1982) reconocen su Unidad de anfibolitas y mármoles, que posteriormente Urbani y Ostos (1989) la denominan como Fase Antímano, allí

ocurre la asociación de anfibolita, mármol, esquisto calcáreo-muscovítico  $\pm$  grafitoso, esquisto cuarzo-muscovítico  $\pm$  granatífero, esquisto cuarzo-muscovítico-graucofánico-granatífero.

En la zona de El Palito, estado Carabobo, Urbani *et al.* (1989) mencionan la asociación de anfibolita granatífera-clinopiroxénica, anfibolita granatífera, eclogita, anfibolita epidótica-plagioclásica, mármol, cuarcita y esquisto cuarzo-plagioclásico-muscovítico.

Ostos (1990) describe algunas de las rocas máficas de esta Fase aflorantes en la sección Chichiriviche-Colonia Tovar, siendo anfibolita granatífera y esquisto albítico-clorítico. La anfibolita tiene porfiroblastos de granate, mientras que el esquisto los tiene de albita con sombras de presión simétrica y bien desarrollada. Las asociaciones mineralógicas metamórficas indican un primer evento de alta relación P/T en la facies de la eclogita, siendo impreso por un segundo evento metamórfico de P/T intermedia en la facies de los esquistos verdes.

Urbani *et al.* (1997) estudian la mineralogía carbonática de los mármoles de los afloramientos de la punta oeste de la bahía de Chichiriviche, Distrito Federal, encontrando que carecen de dolomita, mientras que aquellos de Mamera lo presentan en muy pocas muestras y en muy bajas concentración. En los trabajos ya mencionados de Ostos, Urbani y otros, el criterio para cartografiar esta Fase es la presencia de la asociación de rocas anfibólicas con mármoles.

**Espesor:** Considerando a la foliación como plano de referencia, el espesor aparente de esta unidad es de 40 m en la localidad tipo, según Dengo (1951), disminuyendo hacia el este y oeste. Al sur de San Pedro, Smith (1952) indicó un espesor aparente máximo de 300 m.

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

**Expresión topográfica:** En las zonas donde afloran mármoles masivos y gruesos se nota una topografía abrupta, con estructuras kársticas superficiales.

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

**Fósiles:** Smith (1952, p. 357) señala que C. J. Maxwell y G. Dengo localizaron fragmentos de conchas intensamente trituradas en las canteras de Antímamo.

**Edad:** Ante la ausencia de fósiles y por su posición estratigráfica ha sido propuesta de edad Mesozoico medio a superior. Según los modelos de evolución de la Cordillera de la Costa de Ostos *et al.* (1987) y Navarro *et al.* (1989) se sugiere sea del Cretácico.

**Correlación:** Bellizzia y Rodríguez (1968, 1976), González (1972) y Wehrmann (1972) correlacionan esta unidad con la Fase Nirgua, mientras que Ostos *et al.* (1987), Navarro *et al.* (1988) y Ostos (1990) la correlacionan con las fases Tacagua y Nirgua, por conformar las tres fases la unidad litodémica que denominan Complejo la Costa.

**Paleoambientes:** Maresch (1974), Talukdar y Loureiro (1982) y Beck (1985, 1986) postulan que las rocas anfibólicas de esta unidad se derivaron de basaltos relacionados con un evento de "rifting" Mesozoico entre norte y Sur América. Ostos (1990) por sus estudios geoquímicos interpreta que las anfibolitas corresponden a basaltos metamorfizados, que fueron formados en un ambiente de cordillera centro oceánica.

**Geoquímica:** Smith (1952) menciona que estos mármoles son de bajo contenido de magnesio, a diferencia de los de la Fase Zenda. Esta observación está ampliamente corroborada por Urbani *et al.* (1997).

**Importancia económica:** Los mármoles han sido explotados ampliamente para su uso en la construcción (agregados para concreto, rocas para gaviones y



como lajas para recubrimiento de paredes). Hoy en día solamente están activas las canteras de la quebrada Mamera.

### 3.1.2 GEOLOGÍA LOCAL

Localmente el marco geológico consiste de una secuencia estratigráfica transicional de intercalaciones de esquistos cuarzo–muscovíticos oscuros, mármoles lenticulares piritosos grises, mármoles cuarcíticos, anfibolitas granatíferas y/o piritosas de tonos negros y verdosos y cuarcitas de grano fino gris claro también lenticulares, conformando en conjunto un sinclinal asimétrico fallado y diaclasado hacia la parte norte de la mina, cuyo eje tiene un rumbo general Noroeste-Sureste y buzando hacia el sureste. El rumbo general de la secuencia litoestratigráfica es aproximadamente E-W con un buzamiento fuerte a moderado hacia el sur (ver Figura 3.2).



Figura 3.2. Secuencia Litológica de Esquistos y Lente de Mármol (Cota 1040 Oeste de La Mina). Fuente: Cantera Nacional C.A.

Los flancos del sinclinal se presentan suavemente plegados en ambos costados del eje conformando secuencias de pequeños anticlinales y sinclinales destacados por la diferencias en los colores de las diferentes litologías de la formación geológica.

Hacia el sur de la mina la estructura sinclinal desaparece y la secuencia en su conjunto adopta localmente una estructura monoclinal con inclinación general hacia el sur-este.

### **3.2 Secuencia Litológica**

Localmente, la secuencia litológica consiste de tope a base (noroeste a sureste), de una intercalación de esquistos cuarzo-micáceos muy meteorizados, un mármol masivo de grano medio, color gris claro con cristales de pirita, una intercalación de esquistos cuarcítico-muscovítico-, grafitosos, lentes delgadas de mármol gris oscuro, anfibolitas (a veces intercaladas paralela y concordantemente a la foliación de la secuencia y a veces claramente intrusionando a la misma), cuarcitas delgadas gris claro y una gruesa capa de esquistos muy cuarzosos, calcáreos, micáceos muy compactos, que ha sido la fuente principal de roca para agregados que se ha extraído en esta mina.

Toda la secuencia expuesta en Mina 1 mide litoestratigráficamente, de tope a base, unos 200 metros de espesor y ha sido fallada y diaclasada intensamente.

#### **3.2.1 Descripción Litológica**

El mármol de grano medio y de color gris oscuro, está formado en general de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo detrítico, muscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%), aunque en algunos lentes locales el mármol se observa con mas del 90% de calcita el cual se observa en sectores en forma de láminas de pocos centímetros de espesor junto con los esquistos que lo envuelven (ver Figura 3.3).



Figura 3.3.- Afloramiento de Mármol al Noroeste de la Mina 1 (Cota 1160)

Fuente: Cantera Nacional C.A

Los esquistos presentes son esencialmente: esquistos calcáreo-muscovíticos  $\pm$  grafitosos, esquisto cuarzo-muscovíticos  $\pm$  granatíferos, esquistos cuarzo-muscovítico-graucofánico-granatíferos, predominando en la secuencia los esquistos cuarzo-muscovíticos a veces calcáreos.

Los cuerpos de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "boudinage", tiene porfiroblastos de granate hacia el sureste de la mina y cristales de pirita hacia el noroeste.

Estas rocas son muy compactas y están asociadas en sus zonas de contacto con los esquistos o mármoles, con vetas y vetillas irregulares de cuarzo, calcita y/o cuarzo y calcita asociadas con pirita, que evidencian zonas de alteración de contacto de hasta medio metro (ver Figura 3.4).



Figura 3.4.- Esquisto Calcáreo En Contacto Con Anfibolita.  
Zona De Alteración Cuarzo-Calcítica. Fuente: Cantera Nacional C.A

También es importante hacer notar que entre las cotas 1060 a 1080 en el sector suroeste de la mina, al lado de la vía de acceso, se encuentra un depósito antiguo de aluvión de notable dimensiones y hacia la parte norte central sobre la terraza de la cota 1040, existen aluviones y bloques producto de derrumbes recientes (ver Figura 3.5).



Figura 3.5. Depósito De Aluvión Granular-Arcilloso. (Cotas 1060-1090 Al Oeste de la Mina)  
Fuente: Cantera Nacional C.A

### 3.3 Definición Estructural

Estructuralmente el área de Mina 1 se encuentra plegada, fallada y diaclasada intensamente. Hacia la parte norte se evidencia una estructura sinclinal asimétrica cuyo eje se inclina hacia el sur y sus flancos se presentan suavemente plegados en secuencias de pequeños y sucesivos anticlinales y sinclinales que se distinguen por la diferencia de tonos grises visibles en los taludes de los frentes de arranque.

Esta estructura sinclinal desaparece gradualmente hacia el sur de la mina y se transforma en un monoclinal de rumbo general E-W con buzamiento alto a medio al sur.

La estructura está fallada principalmente con fallas sinestrales y dextrales de rumbo general E-W de ángulo alto al sur, cuyos planos o espejos de falla con estrías se observan a nivel de las cotas 1.040 a 1080 msnm (metros sobre el nivel del mar) (ver Figura 3.6).



Figura 3.6. Espejo de Falla en Esquisto. (Cota 1170, Noroeste de la Mina). Fuente: Cantera Nacional C.A

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

Las diaclasas conforman sistemas paralelos en diferentes direcciones e inclinaciones. Las más recientes son abiertas formando grietas y las más antiguas están generalmente rellenas de calcita cristalizada y en algunos casos forman cavernas producto de disolución por el agua que se infiltra de la superficie, cuando se trata de las rocas calcáreas (ver Figuras 3.7 y 3.8).



Figuras 3.7.- Sistema paralelo de Diaclasas

Fuente: Cantera Nacional C.A



Figuras 3.8.- Sistemas de Diaclasas paralelos en Esquistos Cuarceitos (Cotas 1040-1060 centro de la mina) Fuente: Cantera Nacional C.A

En todo caso, tanto las estructuras geológicas como las fallas y diaclasas presentes en la secuencia geológica, deben ser consideradas conjuntamente con las características físicas y mineralógicas de las rocas, tanto para el desarrollo de las futuras obras de infraestructura así como en los planes de explotación de la mina.

### **3.4 Clasificación por Vía Húmeda**

La clasificación de las partículas en el seno de un fluido se obtiene cuando hay un movimiento entre las partículas y el medio fluido, pudiendo este fluido, a su vez encontrarse en reposo o en movimiento.

La velocidad de desplazamiento del grano sólido en el seno del fluido va a ser la resultante de la fuerza motriz inicial por gravedad o por la fuerza centrífuga, la cual es proporcional a su masa y a la densidad y por lo tanto a la vez al volumen del grano, y de la resistencia opuesta al movimiento en el medio fluido.

Esta resistencia va en función de los siguientes elementos: la densidad y viscosidad del fluido, la forma elemental de los granos, su grado de dispersión en

el seno del fluido y la forma del recipiente en el cual se efectúe la clasificación.

En la clasificación de un medio fluido o hidráulico, es siempre isodrómica, es decir por peso, los fluidos generalmente empleados son el agua y el aire y entre ellos la separación puede hacerse de dos maneras que en la sedimentación predomine una característica de la partícula, bien sea el tamaño o la densidad, pudiéndose distinguir tres posibilidades:

- Clasificación de granos de densidades uniformes pero de dimensiones variadas; volumétricas o granulométricas. Tiene como finalidad el control de la dimensión máxima de las partículas en un producto molido, separación con vista a tratamientos posteriores, eliminación de polvo, deslamada o eliminación de fillers de las arenas finas o la separación de las arenas en varias categorías con objeto de obtener un control granulométrico.
- Clasificación de granos del mismo volumen pero de densidades diferentes; gravimétrica.
- Clasificación de granos en los cuales haya variación tanto de sus volúmenes como de sus densidades. Este tipo de clasificación, llamada de granos equivalentes, esta formada cada categoría por una mezcla de grano grueso de baja densidad y de granos más pequeños de alta densidad. Cuanto mas se acerque la densidad de la solución a la de los granos sólidos mas reducida será la velocidad de desplazamiento de éstos.

De acuerdo con Fueyo Luis (1999) el tratamiento del genero en aparatos de clasificación isodrómica comienza con tamaños inferiores a la malla 20 (0.8 mm) y llega hasta tamaño de micrones.

### **3.4.1 Sedimentación**

Los sedimentos son las partes que se encuentran transportadas o en proceso de transporte por diversos medios erosivos y que van cambiando su aspecto y características físicas a medida que avanzan alejándose de la fuerza



original en un tiempo, hasta encontrar un lugar para su destino final temporal, como por ejemplo una cuenca, tal como lo plantearon Castillo y Piña (2003).

La sedimentación es la separación de partículas sólidas en suspensión de un líquido, que se caracteriza por un asentamiento rápido de las partículas sólidas en un estanque, obteniéndose en el rebose superior un líquido claro y limpio de partículas sólidas, y una pulpa espesa con alto contenido de sólidos en la descarga. Las operaciones en las que se puede apreciar esta situación pueden dividirse en espesamiento y clarificación. En este trabajo solo se hará referencia a la clarificación.

El espesamiento tiene como objetivo principal obtener un producto espeso con alta concentración de sólidos, sin importar mucho la turbidez del líquido del rebose.

En la clarificación es de mucha importancia que el rebose sea lo más claro posible. Se caracteriza por que la sedimentación tiene lugar sin que se presente una clara interfaz definida entre el líquido limpio y el sedimentado, lo que trae como consecuencia que la capacidad del equipo clasificador está limitada por la cantidad de sólidos que puede ser aceptada en el rebose.

Entre los factores que afectan la sedimentación de la partícula se dividen en dos grandes grupos:

Las condiciones del flujo: las cuales son la temperatura y presión de la suspensión, la naturaleza de la turbulencia del flujo.

Las propiedades de sedimentación de la suspensión: es el comportamiento de las partículas en las condiciones del flujo. De esta forma, para valores de velocidad de fluido, temperatura y presión, las partículas de una suspensión sedimentarán, flocularán o difundirán de alguna forma.

### **3.4.2 Velocidad de Sedimentación.**

En la sedimentación las partículas son arrastradas por la corriente hidráulica. Cuando esta recorre en toda la longitud el recipiente de clasificación se produce una clasificación por corriente horizontal también llamada corriente de superficie. Cuando la corriente es dirigida de abajo hacia arriba para desbordar por la parte superior, la clasificación recibe el nombre de corriente vertical ascendente. En el caso de emplear corrientes de torbellinos se trata de hacer una sedimentación acelerada y recibe el nombre de clasificación centrifuga o ciclónica.

Si una partícula mineral cayese libremente en el vacío estaría sometida a una aceleración constante, por la acción de la gravedad, y su velocidad aumentaría indefinidamente, esta velocidad sería independiente del tamaño y densidad del mineral. En cambio, si la partícula cae en un medio que, como el agua o el aire, se opone al desplazamiento con una resistencia que es función de la velocidad, la magnitud de dicha resistencia irá en aumento al crecer la velocidad de caída, hasta que llegue un momento en que las fuerzas contrarias se compensan y la partícula continuara cayendo, pero ya a velocidad uniforme. A esta velocidad uniforme de sedimentación se la llama “velocidad límite”.

La velocidad de sedimentación mide la rapidez con la cual cae una partícula a través de la pulpa. Esta velocidad rápidamente adquiere un valor límite que es función de la resistencia al movimiento opuesto por el medio líquido.

En los aparatos de clasificación isodrómica se pueden utilizar fuerzas distintas a la gravedad, como por ejemplo la fuerza centrifuga, de tal forma que el movimiento se origine por la aplicación de una sola fuerza o de la resultante de varias. En este último caso se alcanzara la velocidad límite cuando la resistencia sea de igual magnitud y sentido contrario a la resultante de las fuerzas que actúan sobre la partícula.

Una partícula que se posa en un fluido bajo la influencia de la gravedad experimenta una resistencia y alcanza una velocidad final de sedimentación cuando la resistencia se hace igual al peso efectivo de la partícula. Las partículas más gruesas decantarán más rápidamente que las partículas finas, de modo que una laguna debe ser dimensionada en función de la granulometría del material transportado.

Para poder controlar los fenómenos de sedimentación se ha tratado de expresar la velocidad límite de la partícula en función de su tamaño, forma y densidad; de la extensión, viscosidad y densidad del fluido en que se desplaza; y de las fuerzas que, como la gravedad, la centrifuga, la atracción magnética, etc., intervengan en el proceso.

La velocidad de decantación de una partícula en el agua se estudia por mecánica de los fluidos y puede ser expresada por la Ley de Stokes.

- **Ley de Stokes**

$$V = \frac{2 * g(\delta - \sigma) * R^2}{9 * \eta} \quad (1)$$

Donde

V= Velocidad del fluido (m/s)

g= Aceleración de Gravedad (cm/s<sup>2</sup>)

δ= Densidad de la partícula (g/cm<sup>3</sup>)

σ= densidad del fluido (g/cm<sup>3</sup>)

R= radio de la partícula

η= viscosidad (cm/s)

En la siguiente grafica figura se observa interpolando con el diámetro que posean las partículas y la velocidad de sedimentación del fluido en estudio, podemos hallar el numero de Reynold en el cual se encuentra nuestro fluido y poder identificar su régimen.

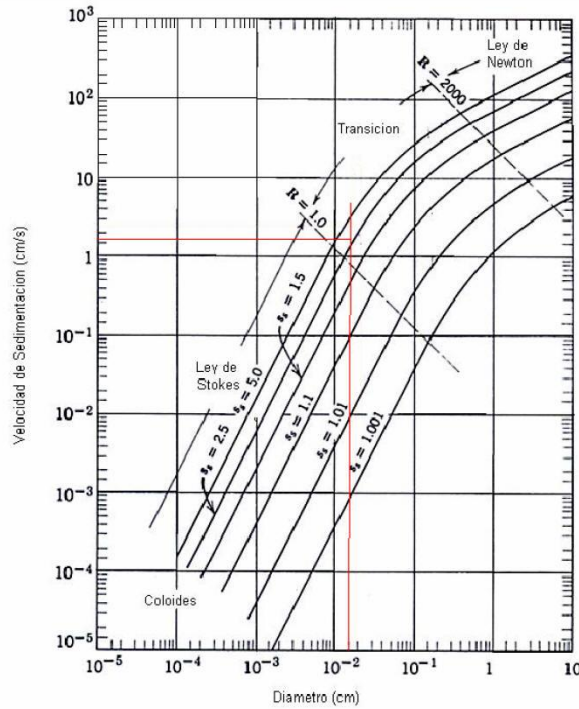


Figura 3.9

### 3.4.3 Flujo Laminar

Cuando analizamos un fluido en una corriente de flujo, es importante ser capaz de determinar el carácter del mismo. En algunas condiciones, dicho flujo parecerá que fluye en capas, de una manera uniforme y regular. A este tipo de flujo se le conoce como flujo laminar. Anillos concéntricos de fluido, se trasladan siguiendo una trayectoria recta y uniforme. Hay poca mezcla o ninguna del fluido a través de los límites de las capas, conforme el flujo se desplaza.

Comenzando con los diámetros pequeños, una esfera que se desplaza en agua esta rodeada por una capa de moléculas de esta que la aprisionan y dichas moléculas, a su vez, están asociadas a otras, situadas más lejos, contra las que se

deslizan en forma viscosa. La esfera, al caer, perturba la zona que la rodea, capa tras capa, y el efecto de esta perturbación es calculable como pérdida de energía cinética, por fricción o flujo laminar.

Stokes dedujo la formula de la resistencia que se pone al movimiento de una esfera cuando su desplazamiento es tan lento que produce un flujo laminar o viscoso.

El tamaño máximo que puede tener una partícula esférica para que caiga de acuerdo con la Ley de Stokes depende de que el flujo del líquido que la rodea sea laminar.

Se aplica a pequeños sólidos cayendo en agua de hasta 0.05 mm de radio, donde la velocidades de transporte o desplazamiento son bajas. El carácter del flujo puede definirse de acuerdo al número de Reynolds.

$$N = \frac{d * v * \delta}{\eta} \quad (2)$$

Donde

d= diámetro de la partícula

v= velocidad

$\delta$ = densidad

$\eta$ = viscosidad

Si N es menor que 0,2 el flujo es laminar.

## Numero de Reynolds

Material	$\phi$ Limite de las partículas (cm)	# de Reynolds	$V_s$	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt[3]{dg \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu / \rho)^{1/3}} \right]$ Allen
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ Stokes

Figura 3.10

En la figura 3.9, se observa una tabla en la cual se tienen distintas ecuaciones las cuales pueden ser aplicadas conociendo el tipo de régimen, tipo de material, el numero del Reynolds y el tamaño de la partícula, así con estas ecuaciones se lograra calcular la velocidad de sedimentación de las partículas en el fluido estudiado.

### 3.4.4 Viscosidad del fluido

La facilidad con que un líquido se derrama es una indicación de su viscosidad. Esta es la propiedad de un fluido que ofrece resistencia al movimiento relativo de sus moléculas. La perdida de energía debido a la fricción de un fluido que fluye se debe a su viscosidad.

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal, en realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.

Cabe señalar que la viscosidad sólo se manifiesta en fluidos en movimiento, ya que cuando el fluido está en reposo adopta una forma tal en la que no actúan las fuerzas tangenciales que no puede resistir. Es por ello por lo que llenado un recipiente con un líquido, la superficie del mismo permanece plana, es decir, perpendicular a la única fuerza que actúa en ese momento, la gravedad, sin existir por tanto componente tangencial alguna.

Si la viscosidad fuera muy grande, el rozamiento entre capas adyacentes lo sería también, lo que significa que éstas no podrían moverse unas respecto de otras o lo harían muy poco, es decir, estaríamos ante un sólido. Si por el contrario la viscosidad fuera cero, estaríamos ante un superfluido que presenta propiedades notables como escapar de los recipientes aunque no estén llenos.

**TABLA 3.1. Viscosidad en Función de la Temperatura del Agua**

Temperatura °C	Viscosidad (kg/ms)
0	0,01792
5	0,01519
10	0,01308
15	0,01141
20	0,01007
25	0,00897
30	0,00804

Fuente: Lyle (1987)

### 3.4.5. Granulometría

La distribución granulométrica de las partículas es importante para poder realizar la clasificación de los suelos. En la Tabla 11 se puede observar la clasificación del suelo en función del tamaño de las partículas presentes.

**TABLA 11. Clasificación Granulométrica**

<b>Partícula</b>	<b>Tamaño</b>
Arcillas	< 0,002 mm
Limos	0,002–0,06mm
Arenas	0,06-2 mm
Gravas	2mm-6 cm
Canto Rodado	6 – 25 cm
Bloques	> 25 cm

Fuente ([www.sc.edu.es/sbweb/fisica/dinamica/viscosidad/viscosidad.html](http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/dinamica/viscosidad/viscosidad.html))



**CAPITULO IV**  
**MARCO METODOLOGICO**

## **4.1 Metodología**

En esta investigación de campo, llevada a cabo en Cantera Nacional C.A., se realizaron una serie de actividades que a continuación se describen con detalle.

### **4.1.1 Tipo de Investigación**

En trabajo realizado en Canteras Nacional S.A., se llevo a cabo una investigación del tipo exploratoria, en donde se cálculo las distintas variables que se necesitan para el control de sedimentos, y debido a que esta problemática nunca a sido abordada en la empresa, la investigación cumple las pautas de ser exploratoria.

### **4.1.2 Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación es del tipo cuasiexperimental, ya que se utilizan datos suministrados por la empresa Canteras Nacional combinados con los resultados de los ensayos de laboratorio, para determinar las variables del control de sedimentos.

En esta investigación se manejan los valores de la temperatura, presión, forma/tamaño de la partícula, que fueron obtenidos por un laboratorio contratado por Canteras Nacional, propiedad de la empresa ASFALKLIN.

### **4.1.3 Población y Muestra**

La Minería de Campo 2008, fue llevada a cabo en la empresa Canteras Nacional S.A, ubicada en la hacienda Mamera en el distrito Capital.

Se realizó específicamente en el área de Planta 3, la cual produce arena lavada. Este producto se descargan aguas con un % de sólidos en suspensión, a los cuales se les hará el calculo para su debido control.

#### 4.1.4 Instrumentos y Técnicas.

##### Instrumentos y equipos

- (1) Cilindro graduado de vidrio con una capacidad de 2000 ml, el cual fue utilizado en la realización de los 8 ensayos. (Figura A)



Figura A

- (1) Balanza (capacidad de 10 Kg) (Figura B)

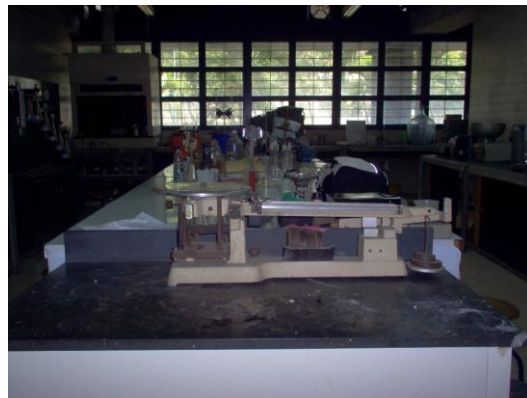


Figura B

- (2) Recipientes recolectores (2) para las muestras de 2 litros cada uno
- (1) Un par de Guantes.
- Cronómetro.
- Computador personal para ejecutar la hoja de cálculo.

##### Técnicas

- **Toma de muestra en campo.**

Para poder cumplir con los objetivos planteados, fue necesario realizar los ensayos de laboratorio con mezclas sólido-líquido tomadas en la empresa. Estas tomas se realizaron directamente de la descarga de los afluentes de la

planta 3, en días diferentes para poder obtener muestras representativas.

- **Ensayos de sedimentación.**

Para la realización de los ensayos de sedimentación se procedió de la siguiente manera:

Se tomo un (1) cilindro graduado de vidrio con una capacidad de 2000 ml y fue pesado con la finalidad de determinar su tara.

En el interior del cilindro graduado se colocaron 460 gr. de mineral (Figura C) , luego se coloco agua hasta alcanzar los 2000 ml (Figura D), y se peso nuevamente el conjunto, con esto se determino la densidad de la pulpa y la densidad del fluido (Figura E).

Se agito el contenido del cilindro y se dejo decantar su contenido, se comenzó a leer la posición del tope de la pulpa, a partir del momento en que paso de la medida de 1980 ml. Se suspendió dicha lectura cuando la velocidad de decantación dejo de ser uniforme, como se muestra en la (Figura F).

Este procedimiento fue utilizado para la realización de 8 ensayos, para ver la influencia de la dilución de pulpa, se vario la masa del sólido en cuatro de ellos con un peso del mineral de 840 gramos.



Figura C



Figura D

En la *Figura C* se puede observar el momento en que se procedió a colocar el mineral en el cilindro graduado, en la *Figura D* se coloca el agua hasta alcanzar la máxima capacidad del cilindro graduado

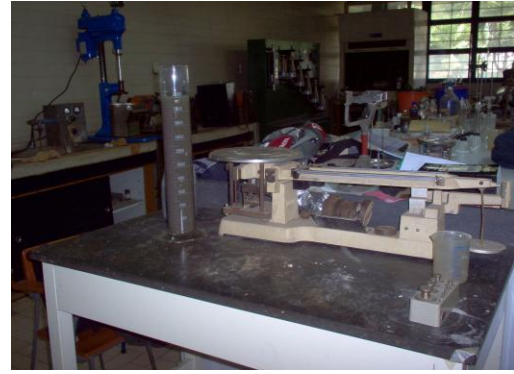


Figura E

Figura F

En la *Figura E*, el cilindro graduado es pesado con su contenido, en la *Figura F*, se dejan decantar las partículas hasta que la velocidad deja de ser uniforme.

#### 4.1.5 Análisis de Datos

Los datos arrojados por el ensayo de sedimentación permitieron determinar la densidad del mineral aplicando la ecuación (3), porcentaje de sólidos utilizando la ecuación (4) y la dilución de la pulpa por medio de la ecuación (5).

$$\delta = \frac{\sigma * 100}{100 * \sigma \text{ \% solidos} - 100} \quad (3)$$

$$X (\% \text{ solidos}) = \frac{P_{\text{mineral}} * 100}{P_{\text{pulpa}}} \quad (4)$$

$$D = \frac{P_{H_2O} - P_{\text{mineral}}}{P_{\text{mineral}}} \quad (5)$$

Una vez calculados todos estos parámetros se procedió a encontrar la velocidad de sedimentación utilizando la Ley de Stokes. Por otro lado, haciendo uso del número de Reynolds se determinó el tipo de régimen, y de esta manera identificar los modelos que se adecuan a este sistema para posteriores investigaciones. Estos cálculos se realizaron con ayuda de una hoja de cálculo como se muestra en la Figura 4.2.

Microsoft Excel - datod de laboratorio

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

Anal 12 N K S % 000 €

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		<b>Datos de Laboratorio</b>							
3	<b>Equipo</b>	<b>Peso del</b>	<b>Peso</b>	<b>Peso del Cilindro+</b>	<b>Peso</b>	P1: Peso del cilindro vacio gr			
4		<b>Cilindro Vacio P1</b>	<b>del Mineral</b>	<b>Agua + Mineral P2</b>	<b>de la Pulpa P3</b>	P2: Peso del Cilindro + Agua + Mineral gr			
5	Cilindro 1	919	460	2940	2021	P3: Peso de la Pulpa gr.			
6	Cilindro 2	919	460	2935	2016				
7	Cilindro 3	917	460	2940	2023	P3= P2- P1			
8	Cilindro 4	918	460	2948	2030				
9	Cilindro 5	919	840	2940	2021				
10	Cilindro 6	919	840	2948	2029				
11	Cilindro 7	918	840	2945	2027				
12	Cilindro 8	919	840	2940	2021				
13									
14									
15	<b>X(% de solidos)</b>	<b>Densidad del Mineral <math>\delta</math></b>		<b>Dilucion de la Pulpa D</b>		<b><math>\sigma</math> Densidad de la fluido</b>			
16	22,7610094	1,047835991		3,393478261		1,0105			
17	22,81746032	1,036036036		3,382608696		1,008			
18	22,73850717	1,052631579		3,397826087		1,0115			
19	22,66009852	1,069767442		3,413043478		1,015			
20	41,56358238	1,025641026		1,405952381		1,0105			
21	41,39970429	1,035758323		1,41547619		1,0145			
22	41,44055254	1,033210332		1,413095238		1,0135			
23	41,56358238	1,025641026		1,405952381		1,0105			
24									
25	<b>Presion</b>	<b>Velocidad del fluido</b>			<b>Temperatura C</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Diametro de la Particula</b>		
26	atmosferica	0,022684632			25	0,00897	0,05		
27									
28	<b>X(% de sólidos)</b>	<b>Numero de Reynolds</b>			<b>Temperatura °C</b>		<b>Gravedad Especifica</b>		
29	22,761009	0,127774921			25 °C		9,81		
30									

Hoja1 / Hoja2 / Hoja3

Windows Vista Starter

mineria de campo 2... Informe de karla Mi... Microsoft Excel - da...

ES 03:24 p.m.

Figura 4.2 Hoja de Calculo

Por otro lado, se determinó la viscosidad del fluido, utilizando la bibliografía especializada a través de un análisis comparativo con la Tabla 3.1 (Lyle, 1987), para una temperatura del flujo alrededor de 25 °C (dato suministrado por parte empresa).

**CAPITULO V**  
**RESULTADOS**



## 5 Resultados

### 5.1 Ensayo de sedimentación.

En la tabla 5.1 se presentan los valores obtenidos en laboratorio durante los ensayos de sedimentación.

**Tabla 5.1** Resultados de los ensayos de sedimentación

N°	Peso del Cilindro Vacío P1	Peso del Mineral	Peso del Cilindro+Agua+Mineral P2	Peso de la Pulpa P3
Cilindro 1	919 ± 5	460± 5	2940 ± 5	2021 ± 5
Cilindro 2	919 ± 5	460± 5	2935 ± 5	2016 ± 5
Cilindro 3	917± 5	460± 5	2940 ± 5	2023 ± 5
Cilindro 4	918± 5	460± 5	2948± 5	2030 ± 5
Cilindro 5	919± 5	840± 5	2940 ± 5	2021 ± 5
Cilindro 6	919± 5	840± 5	2948 ± 5	2029 ± 5
Cilindro 7	918± 5	840± 5	2945 ± 5	2027 ± 5
Cilindro 8	919± 5	840± 5	2940 ± 5	2021± 5

P1: Peso del cilindro vacío (gr)

P2: Peso del Cilindro + Agua + Mineral (gr)

P3 Peso de la Pulpa (gr).

$P3 = P2 - P1$

La tabla 5.2 muestra los valores calculados de acuerdo con lo descrito en el apartado de análisis de datos, para % de sólidos, densidad de sólidos y densidad del mineral.

**Tabla 5.2** Resultados de cálculos de Variables

	X(% de sólidos)	Densidad del Mineral $\delta(\text{gr}/\text{cm}^3)$	Dilución de la Pulpa (D)	$\sigma$ Densidad del fluido ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
	22,76	1,05	3,39	1,011
	22,82	1,04	3,38	1,008
	22,72	1,05	3,39	1,012
	22,66	1,07	3,41	1,015
<b>Promedio</b>	<b>22,74</b>	<b>1,05</b>	<b>3,39</b>	<b>1,0115</b>
<b>Desviación</b>	<b>0,05</b>	<b>0,013</b>	<b>0,013</b>	<b>0,003</b>
	41,56	1,03	1,40	1,0105
	41,40	1,04	1,41	1,0145
	41,44	1,03	1,41	1,0135
	41,56	1,03	1,40	1,0105
<b>Promedio</b>	<b>41,49</b>	<b>1,03</b>	<b>1,40</b>	<b>1,012</b>
<b>Desviación</b>	<b>0,071</b>	<b>0,004</b>	<b>0,005</b>	<b>0,0017</b>

Mediante la utilización de estos valores se pudieron realizar los siguientes cálculos para el control de sedimentos en planta 3, Canteras Nacional S.A.

## 5.2 Característica de la partícula

### 5.2.1. Forma, tamaño y tipo de partícula

En la teoría, las partículas son consideradas de forma esféricas debido a que por su forma, estas se pueden desplazar dentro del fluido de manera más rápida, dado que estas poseen forma irregular, su desplazamiento dentro del fluido será más lento.

Además, por su tamaño se pueden clasificar como limos ya que esto están dentro del rango de 0,002–0,06mm.

**Tabla 5.3. Forma, tamaño y tipo de partícula**

Forma	Tamaño	Tipo de Partícula
Irregular	0,05 mm	Limos

Fuente: Canteras Nacional

### 5.2.2 Densidad de la partícula

Utilizando la ecuación (4), se calcula el porcentaje de sólidos presentes en el fluido que se estudia.

X(% de sólidos)
22,761

Con utilidad de la ecuación (3), se realizó el cálculo de la densidad del mineral

Densidad del Mineral $\bar{\rho}$
1,05 gr./m <sup>3</sup>

Esta densidad es baja, y debido a ello la partícula decantara con más lentitud dentro del fluido, las partículas mas grandes y densas sedimentan mas

rápido que las pequeñas y poco densas, es decir, que por tener baja densidad y por el tamaño que las mismas presentan su decantación será lenta.

Con los cálculos antes obtenidos de % de sólidos y densidad del mineral se obtienen los valores de densidad del fluido

### 5.3 Característica del fluido

#### 5.3.1. Viscosidad del fluido

El flujo presenta una viscosidad baja, lo que permite que las partículas tengan movimiento entre ellas, permitiendo así la sedimentación de las mismas, con más rapidez. Si la viscosidad en cambio fuese más alta las partículas tendrían menos posibilidades de moverse en el fluido y por ende no decantarían con rapidez.

**Tabla 5.4.** Viscosidad del fluido

Temperatura °C	Viscosidad $\eta$
25	0,00897

#### 5.3.2 Densidad del Fluido

Utilizando la ecuación (6), se obtuvo el valor de la densidad de la fluido

$$\sigma = \frac{100}{\frac{\%desolidos}{\delta} + (100 - \%desolidos)} \quad (6)$$

Densidad del Fluido $\sigma$
1,01 gr./cm <sup>3</sup>

Este valor indica que el fluido es poco denso esto ayuda a partícula a decantar con mayor facilidad, dado que las partículas podrán desplazarse respecto a las otras con mayor fluidez.

### 5.3.3 Régimen del Fluido

Aplicando la ecuación (2) para el cálculo del número de Reynolds, el cual indicara que tipo de fluido es el que se tiene.

Numero de Reynolds
0,127774921

Este valor encontrado indica que se esta en presencia de un fluido de régimen laminar, el fluido laminar tiene las características de ser ordenado y el desplazamiento de las partículas se hace en capas paralelas, este medio de transporte de las mismas hace que las partículas decantes primero las mas pesadas y densas y luego las mas livianas y menos densas.

## 5.4 Propiedades de Sedimentación

### 5.4.1 Velocidad de Sedimentación

Aplicando la ecuación 1 se obtiene el valor de la velocidad de sedimentación, con la utilización de los valores de densidad del mineral y densidad del fluido

Velocidad deSedimentacion (m/seg <sup>2</sup> )
0,023

La velocidad de sedimentación es el desplazamiento que lleva la partícula con la cual sedimenta a través del fluido, este valor de velocidad de sedimentación es bajo, esto quiere decir que las partículas sedimentan muy lentamente,

### 5.4.2 Presión

Es importante destacar que los procesos de sedimentación son llevados a cabo a presión atmosférica, ya que el tanque es abierto. Este factor se toma en cuenta ya que puede tener una influencia de las partículas en la superpie del fluido.

## 5.5 Discusión de Resultados

De acuerdo a los resultados arrojados los cálculos correspondientes, se determinaron algunas de las variables que permiten la adecuada sedimentación de los sólidos en suspensión, estas características de las partículas permitirán que su depositación sea más rápida o más lenta.

Por ser los limos la mayor presencia de sólidos en suspensión, la densidad que se encontró no es muy alta por ello decantarán muy lentamente ya que las partículas más pequeñas y menos densas utilizarán más tiempo en sedimentar. Según lo que nos indica Kelly Errol (1990) en su literatura..

Por otro lado el régimen del fluido es del tipo laminar lo cual ayuda a la sedimentación de las partículas, dadas sus características de orden molecular, este tipo de fluido es muy ordenado y permite que las partículas se desplacen en capas de fluido.

La viscosidad se obtuvo mediante datos suministrados por Canteras Nacional C.A, con la aplicación de la tabla # 10, la cual indica que la viscosidad que posee el fluido de acuerdo a la temperatura del agua es 0,00897 según Lyle (1987), con una temperatura que se mantiene alrededor de 25 °C aproximadamente. Esto es indicador de que las partículas tenderán a moverse entre ellas con más libertad permitiendo que en la sedimentación sea mejor. Realizando una comparación con el valor de la densidad del agua la cual es 1 cp (centipoises en unidades de sistema internacional), en condiciones normales de presión y temperatura, indica que la viscosidad del fluido se encuentra en un rango en que la sedimentación de las partículas se lleva a cabo en condiciones regulares.

Se observa que el valor la velocidad de sedimentación no es muy alta, esto

indica que las partículas se desplazan muy lentamente en el fluido, propiciando una decantación lenta, para que esta velocidad aumente sería necesario agregar al fluido uno de los distintos agentes floculantes que existen en el mercado y así acelerar dicha sedimentación.

Todas estas variables permiten controlar los valores de sedimentación, en la producción de arena lavada, y con ellas se podrán controlar las descargas al medio ambiente

## CONCLUSIÓN

En función de la investigación realizada y los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones:

- Los valores de las variables que permiten diagnosticar el comportamiento de las partículas en el fluido .encontradas en este trabajo son  
El valor de la Densidad del Mineral  $\delta = 1,05$   
Densidad del Fluido  $\sigma = 1,01$   
Viscosidad  $\eta = 0,00897$   
Numero de Reynolds = 0,12  
Velocidad del Fluido = 0,023
- El valor de densidad del mineral presente en la pulpa esta en un rango adecuado comparado con la densidad de la caliza la cual esta entre los valores de 1,005 a 2,46 aproximadamente
- La viscosidad del fluido esta en un valor que puede ser considerado apropiado para el desplazamiento de las partículas, ya que la viscosidad del agua es de 1 CP (centipoises).
- El régimen determinado para el fluido es del tipo laminar.
- El método aplicado resulto eficiente para determinarlas variables de sedimentación.



## RECOMENDACIÓN

1. Utilizando como punto de partida las variables obtenidas en este trabajo, se pueden establecer las características necesarias, para llevar a cabo un proyecto de construcción de un tanque de sedimentación de las aguas provenientes de la producción de arena lavada en planta 3.
2. De acuerdo a los datos obtenidos de la velocidad de sedimentación, sería importante destacar el uso de distintos floculantes, tomando en cuenta las distintas diluciones de pulpa en las que se llevan a cabo en el proceso.
3. De acuerdo a las limitaciones presentadas en el cálculo de la velocidad del fluido, se recomienda la deducción de las propiedades de la bomba que alimenta a planta 3, para poder determinar el caudal y dicha velocidad.
4. Para obtener una información mas detallada de las características de la partícula, sería necesario realizar una microscopia óptica y un análisis de imagen de las partículas.

## BIBLIOGRAFÍA

Castillo Alba, Piña Aurora (2008). **Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto**. Caracas – Venezuela. Facultad de Ingeniería.

Chacon Luis. Concentración de Minerales y Extracción de Minerales de Interés Nacional. Caracas – Venezuela. Facultad de Ingeniería.

E.T.S.I. Minas – U.P.M (1999). **Manual de Estabilidad y Restauración de Taludes**. Madrid – España. Graficas Arias Montano, S.A.

Fueyo Luis (1999). **Equipos de Trituración Molienda y Clasificación. Tecnología, Diseño y Aplicación**. Editorial Rocas y Minerales. Madrid – España.

Hildemaro Méndez (2008). **Diseño y Aplicación de Herramientas Para Control de Sedimentos Como Indicador de Sustentabilidad. CVG. Bauxilum. Mina Pijigao. Estado Bolívar**. Caracas- Venezuela. Facultad de Ingeniería.

Instituto Geológico y Minero de España. (2000). **Guía de Restauración de Graveras**. Madrid- España. Graficas Chile. S.A.L. 2 Edición.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1999). **Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impacto Ambientales en Minería**. Madrid-España. Graficas Chile S.A.L. 4 Edición.

Kelly Errol (1990). **Introducción al Procesamiento de Minerales**. Editorial Limusa S.A. México.

La barbera, Salvatore (2005). **Control de Sedimentos en Pequeña Minería Aurífera en Hoja de Lata, Municipio Sifontes, Estado Bolívar**. Caracas- Venezuela. Facultad de Ingeniería.

Mott Roberto (1996). **Mecánica de Fluidos Aplicada**. México. Prentice – Hall Hispanoamérica, S.A.

Peláez Eduardo (1981). **Preparación y Concentración de Minerales**. Caracas – Venezuela. Facultad de Ingeniería.

[es.wikipedia.org/wiki/Arena](http://es.wikipedia.org/wiki/Arena)

[taninos.tripod.com/viscosidad.htm](http://taninos.tripod.com/viscosidad.htm)

[www.airinfonow.com/espanol/html/ed\\_particulate.html](http://www.airinfonow.com/espanol/html/ed_particulate.html)

[www.lavallab.com/es/particl-size.htm](http://www.lavallab.com/es/particl-size.htm)

[www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/viscosidad/viscosidad.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/viscosidad/viscosidad.html)