

# **CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL MATERIAL NO CONSOLIDADO, PARA DISMINUIR EL ÍNDICE DE RIESGO MINERO EN LA CANTERA PEÑA DE HOREB VALLEDUPAR (CESAR)**

**RIVERA, S.**  
Estudiante de Ingeniería de Minas  
Fundación Universitaria del Área Andina  
Sede Valledupar.

**COLINA, A.**  
Estudiante de Ingeniería de Minas  
Fundación Universitaria del Área Andina  
Sede Valledupar.

**BRITTO, Y.**  
Ingeniera de Minas especialista  
en Minería a Cielo Abierto

**QUINTERO, L.**  
Ingeniero Agroindustrial,  
Especialista en Gerencia  
de proyectos de Ingeniería

Fecha de recibido: 15 de enero de 2013  
Fecha de aceptación: 2 de febrero de 2013

# RESUMEN

Este artículo presenta el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los depósitos de materiales de construcción perteneciente a la Cantera Peña de Horeb, localizado en el casco rural de Valledupar Vía a la mesa km 3, con el fin de determinar los motivos por los cuales se habían presentado deslizamientos no planificados de material presente en los taludes de explotación. Para la realización de los estudios de las propiedades físico-mecánicas se tomaron 2 muestras de 10 kilogramos en la zona de estudio. Se determinó que los deslizamientos no planificados son originados por un inadecuado estudio de suelo previo ya que el tipo de suelo presente es una arena arcillosa que al tener contacto con el agua se hace expansiva y por lo tanto se considera inestable. No obstante, el desconocimiento de la resistencia a la abrasividad del material realizada por el ensayo de laboratorio en la maquina Los Angeles nos da un segundo motivo fehaciente de la inestabilidad de los taludes.

# ABSTRACT

This paper presents the study of the physical and mechanical properties of the deposits of building materials belonging to the Rock Quarry Horeb, located in the rural town of Valledupar Road to the km 3 table held in the first half of 2015, in order to determine the reasons for which they had submitted landslides unplanned material present in the slopes of exploitation in the previous months. To carry out studies of the physical - mechanical 2 samples of 10 kg were taken in the study area. In tabulating the data and get the results of laboratory tests determined that unplanned landslides are caused by inadequate study of previous soil and the type of soil present is a sandy loam that having contact with water is expansive and hence it is considered unstable. However the lack of resistance to abrasion of the material by laboratory testing on the machine Los Angeles gives us one seconds convincing reason for the instability of the slopes.

# INTRO DUCCIÓN

La caracterización de las propiedades físico – mecánicas de la cantera Peña de Horeb incluye los procedimientos que permiten determinar detalladamente los fenómenos de estabilidad presentes en los frentes de explotación que para ser llevadas a cabo tomamos dos tipos de investigación: el primero fundamentado en el reconocimiento a detalle “in situ” que describe las características físicas del suelo, y el otro mediante ensayos de laboratorio para muestras tomadas directamente de los taludes.

Para la obtención de las propiedades mecánicas en este estudio se debe definir la cohesión y el Angulo de fricción interna pertenecientes al suelo, así como la resistencia a la abrasión que en el caso del material de compactación y construcción estudiado, la resistencia a la abrasión dio como resultado un suelo altamente abrasivo debido al porcentaje de desgaste que obtuvo en la máquina de los ángeles.

Lo anterior es importante ya que permite dar referencias ingenieriles a los fenómenos de deslizamientos no planificados en la cantera Peña de Horeb que acarrearía un mejoramiento en los aspectos de seguridad para maquinarias y equipos lo que tendría un impacto directo en la producción del material que ahí es extraído

Localmente el proyecto se encuentra ubicado en la parte adyacente izquierda al carretable que comunica al Municipio de Valledupar con el corregimiento de la mesa en el km 3.

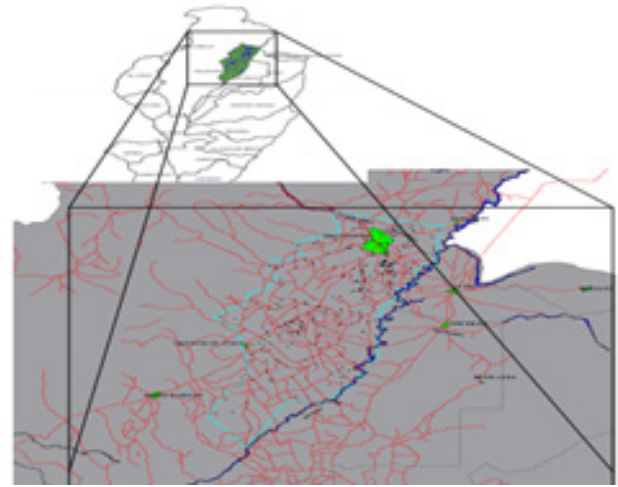


Figura 1. Localización del área de estudio

## Marco geológico

El área de estudio se encuentra en el borde occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, básicamente está constituida por materiales aluviales del río Guatapuri que cubren las rocas antiguas vulcanosedimentarias de edad jurásica, correlacionables con la formación Guatapuri y rocas plutónicas (Batolito de pueblo bello) que han dado depósitos aluviales que se han juntado y depositado por corrientes de agua, al encontrarse este tipo de depósitos asociados con ríos, lagos o mares y, dependiendo del tiempo que ha sido transportado, estos sedimentos van a tomar formas redondeadas y su forma de depósito tendería a ser horizontal y considerando las discordancias que las ponen en contacto, estas presentan características litológicas y genéticas diferentes<sup>1</sup>. Las rocas sedimentarias que afloran hacen parte de la Formación Guatapuri (Tgr) y la formación Lacolito de Ataquez. La nomenclatura geológica utilizada corresponde a la propuesta por Tschanz y otros (1965).

Estas rocas sedimentarias provenientes de la formación Guatapuri (Tgr) aflora en la parte media del río Guatapuri, de donde toma su nombre, y desde este sitio hasta el arroyo las Lajas cerca de la carretera Valledupar – Bosconia<sup>2</sup>. La unidad puede dividirse en dos conjuntos:

Una parte predominante volcánica, con algunas intercalaciones sedimentarias y una parte superior compuesta por Limolitas rojizas a violáceas con intercalaciones Tobáceas y de otras rocas pertenecientes a la parte superior de la formación. No obstante la formación Lacolito de Atanquez (Ea) aflora lo largo de la margen sureste del batolito de Atanquez; el área de exposición de 16 km<sup>2</sup>. La unidad está formada por rocas porfíricas de grano fino a medio. La edad de estas rocas es considerada del terciario inferior, con base en el análisis radiométrico en biotita.

Las Terrazas aluviales en el área de estudio se localiza al norte y nororiente de la ciudad de Valledupar, su contacto con los Depósitos de Llanura Aluvial se observa bien definido por la presencia de pequeños niveles en la subcuenca del río Guatapurí, específicamente en la trocha que comunica a Valledupar con La mesa.

Desde el punto de vista litológico están constituidas por una secuencia de capas con granos de arenas, cantos de gravas de texturas finas a muy gruesas y bloques de rocas ígneas intrusivas y volcánicas, al igual que de limolitas rojas provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta. (Corpocesar, 2010) se encuentran afectando rocas sedimentarias pertenecientes a La Formación Guatapurí y Cogollo. (Trabajos de Exploración y Programa de Obras ANM 2012)

## Materiales y métodos

La realización de la caracterización de las propiedades físico – mecánicas en la cantera Peña de Horeb se realizó basándose en los datos obtenidos por toma de muestras homogéneas in situ en los trabajos de campo bajo una temperatura de 26°C, una presión atmosférica de 1008.47 hPa y una humedad relativa del 41 % con el fin de obtener los resultados provenientes de los ensayos de laboratorios (I.N.V.E-141-07 del 2013). Estas muestras son representativas, mediante trincheras y/o apiques el cual son excavaciones utilizada para examinar detalladamente el subsuelo y obtener muestras inalteradas y sus dimensiones de aproximadamente 1,5 metros de profundidad.

Estas muestras son representativas, mediante trincheras y/o apiques el cual son excavaciones utilizada para examinar detalladamente el subsuelo y obtener muestras inalteradas y sus dimensiones de aproximadamente 1,5 metros de profundidad; estas muestras se preparan siguiendo las normas I.N.V.E (13/09/2013)<sup>3</sup>, que tiene como propósito de estandarizar los procedimientos de muestreo y ensayo en los laboratorios que realizan pruebas para los proyectos a cargo del instituto nacional de Vías sobre la infraestructura carretera nacional.

Para los ensayos de laboratorio se debe hacer la recolección de muestras, directamente de los taludes explotados actualmente en la Cantera Peña de Horeb. Con estas muestras se lleva a cabo la ejecución de ensayos de laboratorio, los cuales fueron ensayos de granulometría y límites Atterberg los cuales nos fueron útiles para identificar el tipo de suelo estudiado con todas sus características físicas. Por otra parte se realizó el ensayo de corte directo el cual tiene por objetivo determinar aproximadamente los parámetros de cohesión (c) y Angulo de fricción interna ( $\phi$ ) de un suelo para el modelo Mohr-Coulomb de una muestra de suelo consolidada y drenada<sup>4</sup>, este ensayo se realizó teniendo en cuenta las Normas: I.N.V.E-154-07.

Finalmente para determinar la resistencia a la trituración o abrasión de la roca presente en la zona de estudio se procedió a realizar la prueba de Desgaste por medio de la Máquina de los Ángeles. La cual consiste en un tambor cilíndrico de acero que gira en posición horizontal. Este cilindro está provisto de una abertura para introducir la muestra que se desea ensayar y un entrepaño para conseguir el volteo del material. Todo esto regido por la Norma: I.N.V. E – 218(1995)

Luego de los ensayos de laboratorio se realizó un análisis detallado de cada uno de los resultados, en los que se describen las características y propiedades físicas y mecánicas del suelo de los taludes de la Cantera Peña de Horeb. Lo anterior se realizó basándose en los manuales de fundamentos de ingeniería geotécnica escrito por Das Braja y el manual de mecánica de suelos de Juárez Badillo.

# Resultados

Las características identificadas en este estudio son las que definen el tipo de suelo, la cohesión y Angulo de fricción interna del suelo y la resistencia a la abrasión del material estudiado.

## Tipo de suelo

**Ensayo de granulometría. (I.N.V. E-213-07):** Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de aberturacuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleará para agregados recuperados de mezclas asfálticas.

ANALISIS GRANULOMETRICO			
P1= 3248 gr		P2=2394,6 gr	
Tamiz	Peso ret (g)	% ret (g)	% Pasa
2 ½"		0,0	100
2"		0,0	100
1 ½"	200,5	6,2	93,8
1"	107,3	3,3	90,5
¾"	101,1	3,1	87,4
½ "	96,1	3,0	84,5
3/8 "	53,8	1,7	82,8
No. 4	222,6	6,9	75,9
No. 10	520,2	16,0	59,9
No. 40	726,7	22,4	37,6
No. 200	366,3	11,3	26,3
Fondo	853,4	26,3	
Sumatoria	3248		

Tabla 1. Ensayo de granulometría.

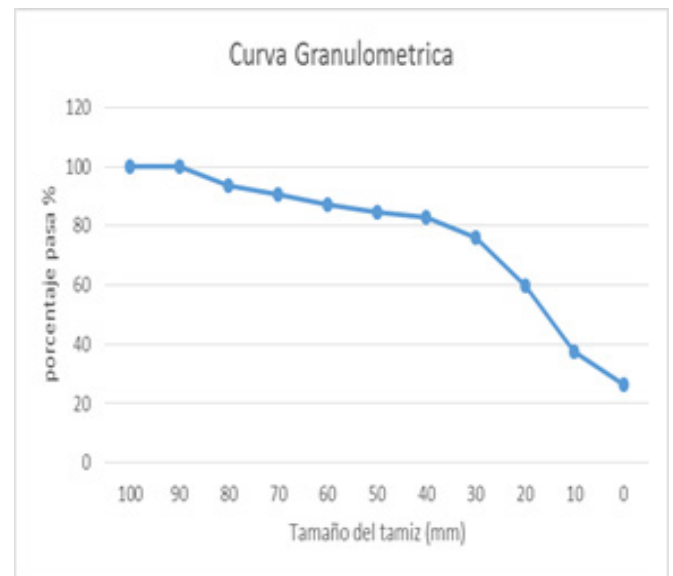


Figura 2. Curva Granulométrica.

Para la clasificación del suelo se utilizó A.A.S.H.T.O, donde el porcentaje del material que paso por el tamiz No 200 fue del 26.3%. Referente a este resultado nos permite determinar el tipo de grupo en el cual nos dará la descripción del suelo estudiado.

## Límites de Atterberg

### Limite Líquido (LL)

El límite líquido es el contenido de agua, expresado en porcentaje respecto al peso del suelo seco, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico de un suelo re moldeado o amasado<sup>6</sup>. En nuestro ensayo de laboratorio se muestra que el contenido de humedad final oscilo entre 29.7% y 26.4%.

Limite liquido			
Recipiente no	4A	16	11A
No de golpes	13	24	32
Peso rec+ MAT HUMEDO (g)	40,10	41,30	42,60
Peso rec+ MAT SECO (g)	34,40	35,70	36,90
Peso recipiente (g)	15,20	16,10	15,30
Contenido humedad	29,7	28,8	26,4

Tabla 2. Ensayo de límite liquido

El límite líquido correspondiente a nuestro suelo es del 28% este valor indica el porcentaje promedio que presento el suelo de un estado semilíquido a un estado plástico. Proveniente de los resultados del contenido de humedad final.

**Límite plástico (LP):** Es la humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plásticos y semisólido. En nuestro ensayo el contenido de humedad final estuvo en intervalos de 11.1% y 11.8%. Por lo tanto el límite plástico es del 11.5% este resultado nos muestra el porcentaje promedio que presento el suelo cuando pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Límite Plástico				Humedad
Recipiente no	B11	30	17	
Peso rec+ MAT HUMEDO (g)	10,20	10,50	11,40	174,1
Peso rec+ MAT SECO (g)	10,10	10,30	11,10	163,3
Peso recipiente (g)	9,20	8,60	8,50	61,5
Contenido humedad	11,1	11,8	11,5	10,61

Tabla 3. Ensayo de límite plástico

**Índice de plasticidad (IP):** Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico. Por lo tanto el índice de plasticidad que se presentó en este estudio es del 16.5%

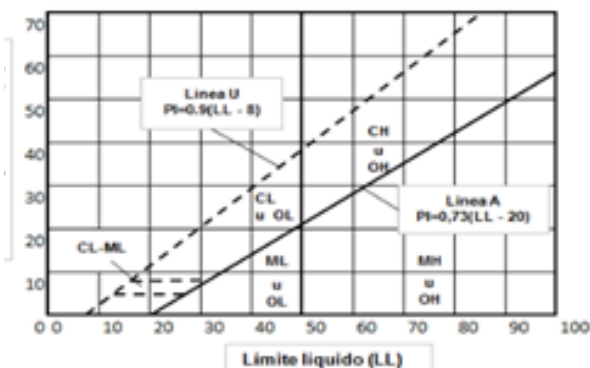


Figura 3. Clasificación suelos

Estos datos obtenidos nos llevan a la conclusión que nuestro suelo se encuentra en la frontera ML-CL perteneciente a suelos de grano fino donde el límite líquido es menor del 50%.

### Clasificación A.A.S.H.T.O

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)						Materiales limo arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)				
	A-1		A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b									
Porcentaje que pasa Nº 10 (2mm)	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nº 40 (0.425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-
Nº 200 (0.075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	-	35 máx	-	-	-	-	35 mín	-
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40											
Límite líquido	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)	41 mín (2)
Índice de plasticidad	0 máx	-	NP (5)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina		Grava y arena arcillosa o limosa		Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Características como subgrado	Ecuivalente a bueno						Pobre a malo				

Figura 3. Tabla clasificación A.A.S.H.T.O

Teniendo en cuenta los resultados del límite líquido (28%), límite plástico (11.5%) e índice de plasticidad (16.5%) la clasificación A.A.S.H.T.O nos arroja que nuestro suelo se ubica en el grupo A-2-6 en el que el suelo está conformado por grava y arena con contenidos de limo o arcilla. Pueden comportarse como suelos arcillosos, sin embargo también pueden no tener plasticidad.

### Resistencia al desgaste:

Este ensayo de laboratorio establecido en la norma I.N.V.E. E-219 tiene por objeto establecer el método para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (3/4"), mediante la máquina de Los Ángeles la cual tendrá junto al material una carga abrasiva 12 esferas de acero, con un diámetro aproximado de 47 mm (1 27 /32 ") y con una masa entre 390 y 445 g cada una. La masa total del material sometido a la prueba deberá ser de 5000 gr en la que al finalizar el proceso tendrá una diferencia con respecto a la muestra inicial. Para el cálculo de desgaste se utilizará la expresión matemática.

$$\text{Desgaste} = (p_1 - p_2) / p_1 * 100$$

Siendo  
 $P_1$  = peso inicial  
 $P_2$  = peso final

De esta prueba se obtuvo que el porcentaje de desgaste de la muestra fue del 57.28%. Este porcentaje según las normas nos indica que es muy desfavorable ante esfuerzos abrasivos de cualquier tipo ambiental o artificial. Los materiales que presentan un desgaste superior al 40% son considerados de mala calidad en el estudio de la mecánica de suelos.

## Ensayo de Corte directo

Para este ensayo se utilizó el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento (PV) y luego una carga horizontal (PH) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra.<sup>10</sup>

El ensayo induce la falla a través de un plano determinado. Sobre este plano de falla actúan el esfuerzo normal ( $\sigma_n$ ), aplicado externamente debido a la carga vertical y el esfuerzo cortante ( $\tau$ ) debido a la aplicación de la carga horizontal.

Estos esfuerzos se calculan dividiendo las respectivas fuerzas por el área ( $A$ ) de la muestra o de la caja de corte y deben satisfacer la ecuación de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

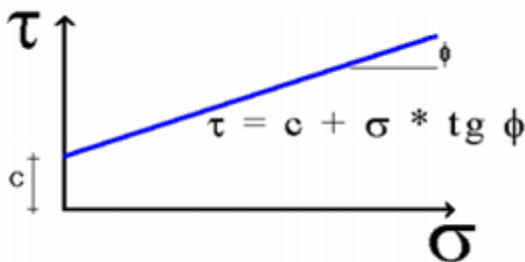


Figura 4. Esfuerzo normal vs esfuerzo cortante

Al realizar el ensayo anterior la gráfica arrojó los siguientes valores.

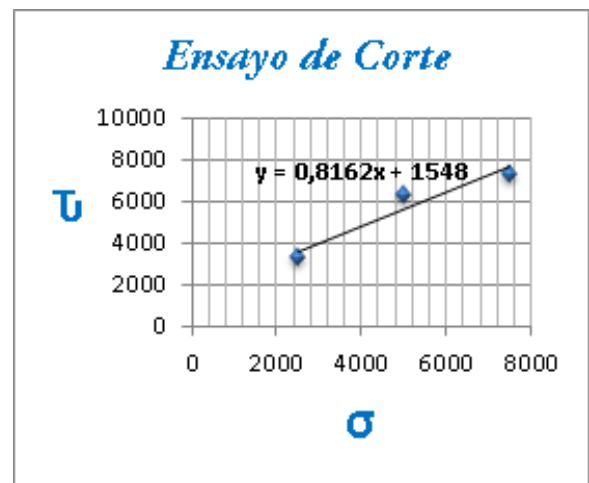


Figura 5. Esfuerzo normal vs esfuerzo

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo normal

$\tau$  = Esfuerzo Cortante

Con lo anterior podemos determinar la cohesión ( $c$ ) ya que es el punto de corte con eje  $y$ . No obstante el ángulo de fricción ( $\phi$ ) interna que son útiles para el conocimiento de las propiedades mecánicas del suelo<sup>12</sup>. Se determina mediante la variable dependiente con la expresión matemática.

$$\tau = 1548 + 0,8162 \cdot \sigma \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$c = 1548 \text{ Kn/m}^2$$

$$\phi = \tan^{-1}(0,8162) = 39,2^\circ$$

## Discusión

La caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del suelo puede variar dependiendo de las distintas condiciones presentadas. En nuestro estudio tenemos una desfavorabilidad de terreno ya que el ensayo de granulometría nos presenta que nuestro tipo de suelo pertenece a una arena arcillosa con presencia de gravas lo que nos denota la inestabilidad del material debido a que la arena es muy poco cohesiva y está a expensas de un colapso brusco intergranular ya que el tamaño de los granos.

Es generalmente poco distribuido tal como lo señala el profesor Emilio Redolfi de la universidad nacional de Córdoba – Argentina en su estudio “ Suelos colapsables” publicado en el año 2007.<sup>13</sup> No obstante la arcilla nos produce también falta de estabilidad ya que los suelos arcillosos son expansibles al contacto con el agua lo que vuelve el material muy elástico y plástico generando así un cambio de volumen en el suelo. Por otro lado al secarse se contraen cambiando las condiciones de estabilidad en los taludes tal cual como lo denota el estudio de la colombiana de cimentaciones publicado en el año 2013.

En segundo lugar el ensayo de granulometría y el ensayo de los límites de Atterberg nos proporcionan la clasificación de nuestro suelo correspondiente a un suelo suave y fino con presencia de arcillas valido para certificar la clasificación anterior.



Figura 5. Copa casa grande, límites de atterberg

Para finalizar uno de los puntos atrayentes que es de discusión en esta investigación fue la del ensayo de laboratorio de desgaste o resistencia a la abrasividad la cual obtuvimos como resultado un 57.28% lo que nos describe que el material extraído de la cantera posee una resistencia baja al desgaste tal como describe la norma I.N.V.E – 218.14

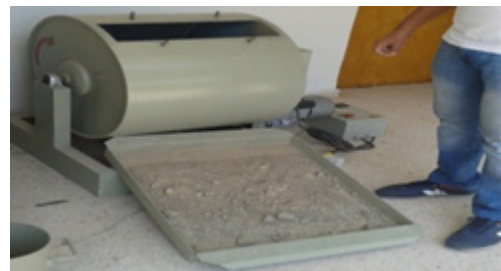


Figura 6. Maquina los ángeles



# CONCLUSIONES

La cantera peña de Horeb ha sufrido deslizamientos no planificados del material no consolidado debido a los siguientes factores:

**Tipo de suelo:** Los suelos arenosos-arcillosos dentro de la mecánica de suelos son considerados de mala calidad ya que tienen poca capacidad de carga es decir se deforma con relativa facilidad.<sup>15</sup> Es decir su plano de fallo es de escaso valor cuando es sometido a esfuerzos medianos. Por ende, al haber presencia de lluvias o una humedad elevada es más fácil que la estructura del suelo falle ante un esfuerzo menor.

**El ensayo de desgaste:** nos muestra que nuestro material tuvo un desgaste de 57.28% lo que nos indica que es muy desfavorable ante esfuerzos abrasivos de cualquier tipo ambiental o artificial<sup>16</sup>. Los materiales que presentan un desgaste superior al 40% son considerados de mala calidad en el estudio de la mecánica de suelos.

# REFE RENCIAS

Braja M. Das. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. USA. Cengage Learning Latin Am.

Camacho Carlos (2010). Estudio viabilidad suelos arenosos. Colombia.

Colombiana de cimentación (2013). Todo Sobre la Maldición de las Arcillas Expansivas. Estudios de ciencia y cimentación

Construaprende (2013). Practicas ensayos de desgaste. Elaboración de materiales alta calidad para construcción.

Espinace R (1979). Manual de geotecnia. Ensayos de esfuerzos a través del corte directo.

German Redolfi. Universidad nacional de Cordoba – Argentina (2007). Suelos colapsables Facultad de ciencias físicas y exactas.

Juarez Badillo Eulalio. (1976). Mecanica de suelos. México. Engineer book latin AM

Instituto nacional de Vias (Invias). (2013). Normas técnicas para ensayos de laboratorios en Colombia.

Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2010). Exploración de materiales lapidarios en la sierra nevada de Santa Marta, departamentos del Cesar y La Guajira. Sociedad colombiana de geología.

Inventario Minero nacional – Departamento del Cesar (1999). Instituto de investigación e información geocientífica, minero ambiental y nuclear. Ingeominas

Muelas Angel. Manual de cimentaciones (2012). Estudios del suelo y cimentaciones.

Terzagui, T. (1986). Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, pp 77-78. Manual mecánica de suelos.

Tschanz. (1965). Instituto de investigación e información geocientífica, minero ambiental y nuclear – Ingeominas.

UNAL Medellín (2011). Facultad de minas. Glosario geotecnia para ingeniería. Análisis de ensayo corte directo.

Universidad del Cauca. Facultad ingeniería civil (2007). Tipos de suelos desde el punto de visto de la mecánica de suelos. Propiedades granulométricas del suelo.

Valeriano Freddy (2014). Análisis de Estabilidad Probabilístico del Talud de la Cantera Espinal – Juliaca – Puno – Perú.