

**APLICACIÓN DE TEMÁTICAS EN INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN BAJO ESPECIFICACIONES INVIAS 2014 DE LA
SUBBASE GRANULAR PRODUCIDA EN LAS CANTERAS MINA
GUATIQUE S.A.S, GRAVICON S.A Y OTRANSPEL LTDA
EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO-META**



Por:
Yesica Dayana Romero Valbuena
Kamila Alexandra Pulido Rodríguez



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

**APLICACIÓN DE TEMÁTICAS EN INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN BAJO ESPECIFICACIONES INVIAS 2014 DE LA
SUBBASE GRANULAR PRODUCIDA EN LAS CANTERAS MINA
GUATIQUE S.A.S, GRAVICON S.A Y OTRANSPEL LTDA
EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO-META**



Por:
Yesica Dayana Romero Valbuena
Kamila Alexandra Pulido Rodríguez

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de Ingeniero Civil

Aprobado por:
Mg. Luis Fernando Díaz Cruz
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Mg. Manuel Eduardo Herrera Pabón
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

Mg. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

Mg. Luis Fernando Díaz Cruz
Director Trabajo de Grado

Ing. Erika Lorena Becerra
Jurado

Villavicencio, 31 de enero de 2020

AGRADECIMIENTOS

En el presente proyecto de grado queremos agradecer principalmente a Dios quien día a día ilumina y bendice nuestras vidas para permitirnos llegar cada vez más lejos y lograr alcanzar todas nuestras metas.

A nuestros padres y hermanos quienes con su esfuerzo hacen posible que estemos realizando esta etapa de nuestra vida, por siempre estar apoyándonos en todos los momentos difíciles y brindarnos con tanto amor su tiempo en nosotras. Gracias a nuestros amigos, que siempre nos han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en situaciones difíciles de este trabajo y esta profesión.

A nuestros distinguidos maestros por las enseñanzas y colaboración que nos brindaron para corregir cada error y poder finalizar este proyecto con satisfacción. Pero, sobre todo al ingeniero Luis Fernando Díaz por su orientación y atención a nuestras consultas hechas. Finalmente agradecemos a nuestra Universidad, porque en sus aulas recibimos las más gratas enseñanzas que son base primordial para nuestra carrera y vida.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, aquellas que han formado parte de nuestra vida como estudiante, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y poder culminar nuestro sueño.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realiza con el fin de estudiar una de las posibles causas del deterioro que presenta la malla vial de la ciudad de Villavicencio, se establece una serie de posibles causas entre ellas el mal manejo geopolítico de las licitaciones de estas construcciones, incorrectos procedimientos de construcción, baja calidad de los materiales, incumplimiento de la normativa vigente de los materiales granulares que conforman las capas de una estructura de pavimento, entre otras. Considerando que una de las principales causas es el incumplimiento de la normativa por falta de la actualización en la forma de explotación y tratamiento de materiales en las canteras que suministran el material granular para subbase se realiza a caracterización a materiales granulares como son la sub base granular, empleando como punto principal la cantera del rio Guatiquía (Mina Guatiquía Centro SAS) y las canteras del rio Guayuriba (Gravicon S.A y Otranspel LTDA) ejecutando los ensayos permitentes según el Instituto Nacional de Vías, los cuales corresponden a Granulometría, Desgaste de los ángeles, Límite líquido, Índice de plasticidad, Pérdida en solidez, Equivalente de arena, Terrones de arcilla, Proctor y CBR; a partir de estos ensayos se verifica el cumplimiento de la normativa y la calidad del material usado para explotación de subbase, de igual manera se tiene en cuenta los procedimientos pertinentes para poder analizar los resultados y así mismo estudiar las mejoras pertinentes en el material.

Palabras Clave: cantera, caracterización, granular, INVIAS, pavimentos, resistencia, Sub base.

ABSTRACT

This research work is carried out in order to study one of the possible causes of the deterioration of the road mesh of the city of Villavicencio, a number of possible causes are established including the geopolitical mismanagement of the tenders of these constructions, incorrect construction procedures, low quality of materials, non-compliance with the current regulations of the granular materials that make up the layers of a pavement structure, among others. Whereas one of the main causes is non-compliance with the regulations for failure to update in the form of operation and treatment of materials in quarries supplying the granular material for subbase is carried out in characterization granular materials such as the granular sub-base, using as the main point the quarry of the Guatiquía river (Mina Guatiquía Centro SAS) and the quarries of the Guayuriba river (Gravicon S.A and Otranspel LTDA) executing the permitting tests according to the National Institute granulometry, angel wear, liquid limit, plasticity index, solidity loss, sand equivalent, clay lumps, proctor and CBR; from these tests compliance with the regulations and the quality of the material used for subbase exploitation is verified, as well as the relevant procedures are taken into account in order to analyze the results and also study the improvements relevant in the material.

Key Word: *quarry, characterization, granular, INVIAS, pavements, resistance, Sub base.*

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	11
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
3.	JUSTIFICACIÓN.....	13
4.	OBJETIVOS.....	14
5.	ALCANCE.....	15
6.	MARCO DE REFERENCIA	16
6.1	MARCO TEÓRICO.....	17
6.2	MARCO CONCEPTUAL.....	21
6.3	ESTADO DEL ARTE	23
6.4	MARCO GEOGRÁFICO.....	25
7.	METODOLOGÍA	27
7.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
7.2	FASES.....	27
8.	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL.....	29
8.1	GRANULOMETRÍA	29
8.2	DESGASTE DE LOS ÁNGELES	34
8.3	PÉRDIDA EN SOLIDEZ.....	36
8.4	LÍMITE LÍQUIDO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD	38
8.5	EQUIVALENTE DE ARENA	39
8.6	TERRONES DE ARCILLA	40
8.7	PROCTOR.....	42
8.8	CBR	46
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
10.	RESULTADOS E IMPACTOS	56
11.	CONCLUSIONES	58
	BIBLIOGRAFÍA	59
	ANEXOS	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 6.1 Requisitos mínimos de calidad de agregados pétreos gruesos para Subbases granulares acordes con INVIAS 2014.....	17
Tabla 6.2. Carga abrasiva	18
Tabla 6.3. Tamices empleados para determinar la pérdida.....	19
Tabla 6.4. Intervalos de tamaños de las partículas que forman la muestra.....	20
Tabla 8.1. Informe del ensayo de granulometría para la cantera Mina Guatiquia.....	30
Tabla 8.2. Informe del ensayo de granulometría para la cantera Gravicon	31
Tabla 8.3. Informe del ensayo de granulometría para la cantera Otranspel	32
Tabla 8.4. Resultados obtenidos del ensayo desgaste de los Ángeles	36
Tabla 8.5. Resultados del ensayo terrones de arcilla y partículas deleznales	37
Tabla 8.6 Resultados del ensayo equivalente de área de suelos y agregados finos.....	40
Tabla 8 7. Resultados del ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznales.....	42
Tabla 8.8. Resultados del ensayo de Proctor para la cantera Gravicon.....	43
Tabla 8.9. Resultados del ensayo de Proctor para la cantera Mina Guatiquia	44
Tabla 8.10. Resultados del ensayo de Proctor para la cantera Otranspel.....	45
Tabla 8.11 Resultados obtenidos del ensayo CBR para la cantera Mina Guatiquia.....	47
Tabla 8.12. Resultados obtenidos del ensayo CBR para la cantera Otranspel	51
Tabla 8.13. Resultados obtenidos del ensayo CBR de diseño para la cantera Otranspel.....	52
Tabla 10.1. Resultados obtenidos de los ensayos realizados	56
Tabla 10.2. Impactos visualizados en el proyecto	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 6.1 Gráfico del marco de referencia	16
Figura 6.2 Equipo de límite líquido con muestra de su suelo dividida	19
Figura 6.3 Medidor cilíndrico, nominalmente de 100 ml	22
Figura 6.4 Municipio de Villavicencio	26
Figura 8.1 Material debidamente secado por 24 horas.	29
Figura 8.2 Recipiente utilizado para pesar las muestras de material.....	29
Figura 8.3 Gráfico de los límites para la cantera Mina Guatiquia	33
Figura 8.4 Gráfico de los límites para la cantera Gravicon	33
Figura 8.5 Gráfico de los límites para la cantera Otranspel.....	33
Figura 8.6 Material debidamente sacado de la máquina de los Ángeles.....	34
Figura 8.7 Muestra pasada por el tamiz N°12	34
Figura 8.8 Material lavado por el tamiz N°12.....	35
Figura 8.9 Resultados obtenidos del ensayo Desgaste de los Ángeles de las canteras Mina Guatiquía, Otranspel y Gravicon respectivamente.....	35
Figura 8.10 Material sumergido dentro del sulfato de Sodio.....	36
Figura 8.11 Material sumergido dentro de sulfato de Magnesio	37
Figura 8.12 Resultados del material usado para el ensayo índice de plasticidad .	38
Figura 8.13 Solución y material introducido dentro del tubo de ensayo	39
Figura 8.14 Resultados obtenidos de la relación arena-arcilla para el ensayo equivalente de arena.....	39
Figura 8.15 Material separado según las especificaciones de la norma.....	41
Figura 8.16 Material introducido en agua destilada	41
Figura 8.17 Demostración de la realización del ensayo Proctor.....	42
Figura 8.18 Gráfico del ensayo de Proctor para la cantera Gravicon	43
Figura 8.19 Ensayo de Proctor para la cantera Mina Guatiquía	44
Figura 8.20 Gráfico del ensayo de Proctor para la cantera Otranspel.....	45
Figura 8.21 Demostración de la realización del ensayo CBR.....	46
Figura 8.22 Gráfico penetración-esfuerzo de Mina Guatiquia	47
Figura 8.23 Gráfico de la curva CBR seco- densidad máxima de la cantera Mina Guatiquia	48
Figura 8.24 Gráfico penetración-esfuerzo de Mina Gravicon	49
Figura 8.25 Gráfico de la curva CBR seco- densidad máxima de la cantera Gravicon	50
Figura 8.26 Gráfico penetración-esfuerzo de Otranspel	51
Figura 8.27 Gráfico de la curva CBR seco- densidad máxima de la cantera Otranspel.....	52
Figura 9.1 Gráfico de los resultados para el ensayo de Máquina de los Ángeles .	54
Figura 9.2 Gráfico de los resultados para el ensayo de Pérdida en Solidez.....	54
Figura 9.3 Gráfico de los resultados para el ensayo de Equivalente de arena	55
Figura 9.4 Gráfico de los resultados para el ensayo de CBR	55

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento constante de la población en la ciudad de Villavicencio en los últimos años según el boletín realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en el 2015, presenta que esta ciudad contaba con 461,000 habitantes y se estima que para el 2020 la cifra suba a 753,871, este crecimiento ha generado colapso en la estructura vial existente ocasionando problemáticas como lo es un menor periodo de vida respecto al periodo de diseño, disminución en el nivel de servicio, aumento en los periodos de viaje, altos índices de accidentalidad, aumento de los montos necesarios para transitar la vía y desgaste de los vehículos a causa de deformaciones y fallas en el pavimento de los diferentes corredores viales.

El encontrar una malla vehicular averiada o en mal estado resulta ser uno de los escenarios más comunes en esta región, esto gracias a que el periodo para el cual fueron construidos los corredores viales de la ciudad se ven directamente afectados por el uso de materiales con menores especificaciones técnicas acorde a lo normalizado, de manera más específica, el material granular usado en la Base y Subbase, ya que el mismo no tiene un proceso de producción estandarizado, a ello se suma el mal proceder por parte de los entes gubernamentales a cargo de la calidad y el funcionamiento de la infraestructura municipal.

Es por esto, que se plantea realizar la caracterización del material granular comercial explotado en las canteras “Mina Guatiquia S.A.S” la cual tiene como punto de suministro el río Guatiquia, “Gravicon S.A” Y “Otranspel LTDA” que cuentan como punto de suministro el río Guayuriba, esto con la intención de verificar los estándares de calidad requeridos por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en el 2014 para el material granular usado como subbase en las estructuras de pavimento y así realizar un análisis del estado de estos materiales en las canteras mencionadas.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los principales problemas que enfrenta hoy en día la ciudad de Villavicencio es que no se encuentra acondicionado a nivel estructural para el continuo crecimiento poblacional de los últimos años, según el DANE se estima que entre el año 2005 y el año 2019 la población aumento 270,703 habitantes y la infraestructura vial no cuenta con las características necesarias para suplir las necesidades de la población. El estado actual de las vías se ha vuelto un problema del día a día por el constante deterioro, el cual ha generado múltiples consecuencias para toda la sociedad, entre ellas está el lento tránsito vehicular, daños en los vehículos, costos elevados en mantenimiento, pérdidas para los transportadores de carga, daños ambientales y en mayores circunstancias accidentes.

Realizando un análisis a los principales proyectos de infraestructura vial del municipio de Villavicencio, se planteó que una de las fallas causantes de la mala estructuración de estas vías es el incumplimiento de la normativa vigente, esto a causa de la desactualización de la normativa con respecto a la forma de explotación y tratamiento de materiales en las principales canteras distribuidoras en la ciudad de Villavicencio, adicionalmente la flexibilidad de la interventoría al aceptar y aprobar el uso de materiales no aptos para la construcción de subbase granular.

Por tal motivo se hace necesario revisar y evaluar las características de estos materiales granulares exportados y triturados en las canteras de los ríos Guatiquía y Guayuriba por medio de los ensayos de granulometría, índice de plasticidad, desgaste de los ángeles, terrones de arcilla, equivalente de arena, CBR, pérdida de solidez y Proctor con las especificaciones de la norma INVIAS 2014 y así buscar una calidad, idoneidad y funcionalidad de los materiales.

3. JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Villavicencio ha aumentado su población de forma notoria en los últimos diez años, según el DANE la tasa de crecimiento de Villavicencio es de 2,2%/año la cual influye directamente en el incremento de vehículos. La causante principal de las fallas en el sistema de transporte de la ciudad se da porque el desarrollo vehicular es mayor al crecimiento de la infraestructura vial y ésta no se encuentra en buen estado, a esto se le atribuye el presupuesto para mantenimiento no contemplado y el uso de materiales que no cumplen las especificaciones establecidas por el INVIAS 2014, lo que causa deterioros tempranos y una disminución considerable del nivel de servicio establecido, además se relacionan diversos problemas como el peligro al cual los conductores y peatones día a día se ven expuestos por accidentes, trancones y molestias a la comunidad.

El material granular usado como sub-base constituye un insumo fundamental para la conformación de la estructura de pavimentos, por esa razón es necesario determinar el cumplimiento de las especificaciones establecidas por el INVIAS en el 2014. A partir de esto se crea la necesidad de estudiar el material pétreo debidamente triturado procedentes de las canteras del Río Guatiquía y el Río Guayuriba ya que son las principales fuentes que explotación minera de la ciudad de Villavicencio, según la Agencia Nacional Minera (ANM) se encuentran 71 títulos mineros de los cuales el 90% son procedentes de estos ríos. Dicho esto, se considera la clasificación del agregado por ensayos de Granulometría, Límite líquido, Índice de plasticidad, Equivalente de arena, CBR, Terrones de arcilla y Desgaste de los ángeles.

Debido a esto, el presente proyecto ejecutará la identificación de las características propias del material y analizará los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio para lograr definir y evaluar el material granular producido y utilizado en la Subbase para nivel de tránsito uno (NT1), de los proyectos de infraestructura vial de la ciudad de Villavicencio y sus alrededores. De tal modo que se pueda verificar los estándares establecidos por el INVIAS 2014 para poder brindar un material que cumpla con el periodo de operación.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la Subbase Granular producida en las canteras Mina Guatiquía S.A.S, Gravicon S.A. y OTRANSPEL LTDA en la ciudad de Villavicencio-Meta bajo las especificaciones INVIAS 2014

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar muestras de Subbase Granular por el método del cuarteo producido en las canteras Mina Guatiquía S.A.S, Gravicon S.A. y Otranspel LTDA
- Desarrollar los ensayos granulometría, índice de plasticidad, desgaste de los ángeles, terrones de arcilla, equivalente de arena, CBR, pérdida de solidez y Proctor con las especificaciones de la norma INVIAS 2014
- Verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas INVIAS 2014 de Subbase Granular para un NT1
- Escribir un artículo técnico con las especificaciones físicas del material de Subbase Granular que actualmente se usa en el municipio de Villavicencio para la construcción de carreteras
- Analizar una muestra de Subbase Granular actual en la ciudad de Villavicencio con respecto al cumplimiento de las especificaciones INVIAS 2014

5. ALCANCE

En el presente proyecto se plantea la caracterización de la Subbase Granular de los ríos (Guatiquía y Guayuriba), los cuales son los que tienen mayor índice de explotación pétreo para las construcciones de infraestructura vial en el departamento del Meta y sus municipios aledaños, teniendo en cuenta las especificaciones del INVIAS 2014. Partiendo de la caracterización se busca establecer el estado y el cumplimiento del material con base a los resultados obtenidos de los siete ensayos de laboratorio que estipula la norma: Índice de plasticidad el cual se determina el límite plástico del material, desgaste de los ángeles donde se analiza la resistencia al desgaste de los áridos , terrones de arcilla para observar el porcentaje de este y partículas deleznales, equivalente de arena donde se caracteriza los áridos que se utilizan en el material seleccionado, CBR para medir la resistencia al esfuerzo cortante del material y pérdida de solidez donde se observa la solidez de los agregados mediante una adición de sulfato de magnesio para determinar la humedad óptima de compactación de cada material, de tal forma que se definirá el cumplimiento de la especificación en las tres canteras escogidas.

6. MARCO DE REFERENCIA

Para el desarrollo del actual estudio es necesario aludir diferentes marcos, los cuales sirven de sustento a la metodología del proyecto: En el marco teórico, se plantearán las diferentes teorías y ensayos necesarios para el progreso del estudio, las cuales validaran este proyecto; en el marco conceptual se observan definiciones de conceptos trabajados durante la investigación; En el marco legal se presentan y se referencia las normas necesarias según INVIAS 2014 correspondientes al análisis y evaluación de las fracciones de los triturados pétreos sobre los cuales se apoya el presente estudio, y en el marco geográfico orienta la localización detallada acerca del material presente, así mismo la localización de las canteras donde se realiza la transformación de parte de este agregado pétreos destacando las principales características geográficas de las mismas.

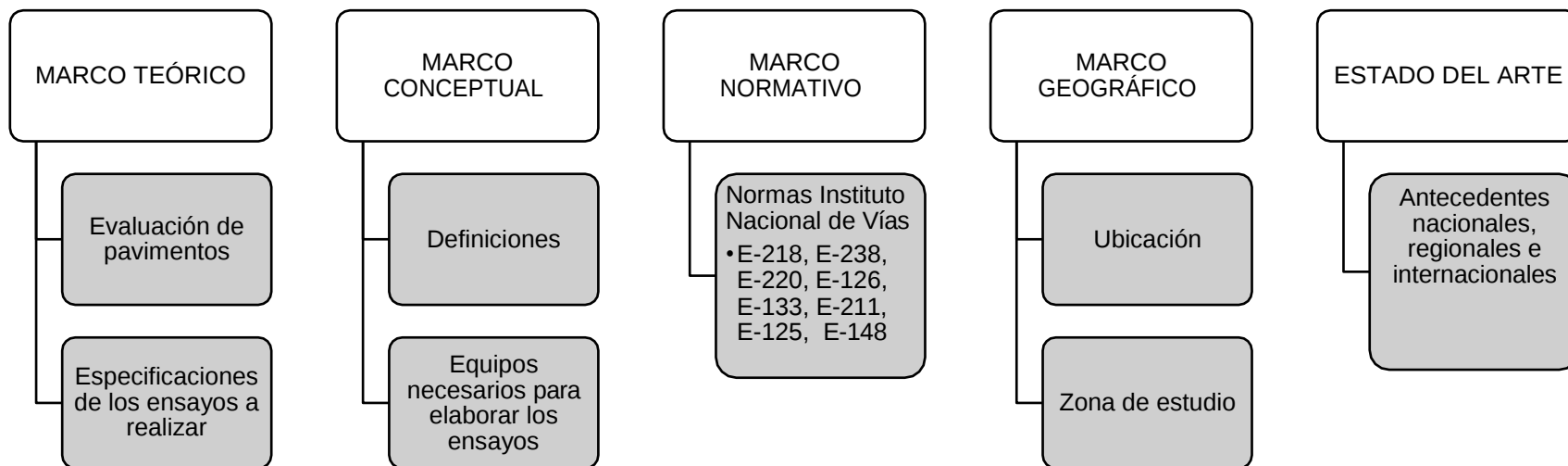


Figura 6.1 Gráfico del marco de referencia
Fuente: Autor

6.1 MARCO TEÓRICO

6.1.1 Evaluación de Pavimentos

En la realización de pavimentos se presentan algunos daños superficiales dependiendo del tipo, extensión y severidad del mismo; esto depende de la metodología de algunos manuales las cuales se realizan a nivel nacional e internacional, es por esto que se debe observar uno donde especifiquen los diferentes daños tipificados de pavimentos flexibles en Colombia, las causas que se producen y la manera adecuada de evaluarse. [1]

Estos daños se clasifican en 5 grupos: fisuras, deformaciones, pérdida de las capas de la estructura, daños superficiales y otros factores relacionados con el agua o desplazamiento de bermas [1]:

6.1.2 Subbase Granular

De igual manera la función principal de la Subbase es transmitir a la subrasante los esfuerzos que el tránsito transmite en medidas moderadas además favorece al drenaje en los procesos constructivos. Esta capa está compuesta por materiales granulares y se ubica sobre la subrasante en un espesor de 10 y 50 cm para los pavimentos flexibles y 10 y 25 para rígidos. [1]

Tabla 6.1 Requisitos mínimos de calidad de agregados pétreos gruesos para Subbases granulares acordes con INVIAS 2014

Ensayo	Método	NT1	NT2	NT3
Desgaste los ángeles (500 revoluciones)	INV.E 218,2019	50% máx.	50% máx.	50% máx.
Pérdida en solidez	Sulfato de sodio Sulfato de magnesio	12% máx. 18% máx.	12% máx. 18% máx.	12% máx. 18% máx.
Límite líquido	INV. E-125	25% máx.	25% máx.	25% máx.
Índice de plasticidad	INV. E-126	6% máx.	6% máx.	6% máx.
Equivalente de arena	INV. E-133	25% máx.	25% máx.	25% máx.
Terrones de arcilla y partículas deleznales	INV. E-211	2% máx.	2% máx.	2% máx.
CBR (al 100% de densidad seca máxima y cuatro días de inmersión en agua)	INV. E-148	30% máx.	30% máx.	30% máx.

Fuente: Pavimentos materiales, construcción y diseño; Rondón Quintana & Reyes Lizcano

La relación del porcentaje entre el tamiz 200 y 40 no se debe sobrepasar del 2/3 y el tamaño máximo nominal del espesor será máximo 1# de la capa compactada. [1]

6.1.3 Descripción de los ensayos a realizar

6.1.3.1 Desgaste de los Ángeles

El primer paso para realizar el ensayo es hallar la carga abrasiva las cuales son esferas de acero que dependen de la granulometría (A, B, C o D), después se lavara y se secará en el horno a una temperatura constante para así elegir la gradación adecuada teniendo en cuenta que debe ser parecida al agregado usado, posteriormente se separa la muestra como lo indica la tabla (6.2) de acuerdo a la granulometría escogida hasta poder obtener el tamaño de la muestra total. [2]

Tabla 6.2. Carga abrasiva

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Masa total G
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: INVIAS E-218, 2014

Una vez seleccionada la carga abrasiva con su respectiva muestra se verificará que el instrumento este limpio para así poder hacer girar el cilindro a una velocidad entre 188 y 208 rad/minuto hasta completar las 500 revoluciones, después de lo cual se separa la muestra empleando un tamiz de abertura no mayor a 1.70mm, donde se tamizará y se secará a una temperatura comprendida hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$). Finalmente se deberá hallar la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra ensayada: [2]

Ecuación 6.1. Porcentaje de desgaste

Dónde, P1 es la masa de la muestra seca antes del ensayo y P2 es la muestra seca después del ensayo, previamente lavado sobre el tamiz de 1.70mm [2]

6.1.3.2 Pérdida en solidez

Como primer paso se debe hacer una inmersión de las muestras en sulfato de sodio durante 16 horas para que el nivel de esta solución quede de 12.5 mm teniendo en cuenta que debe estar a una temperatura entre 20.3° y 21.9° . Después es necesario tener un secado de las muestras hasta que sea una masa constante, esto se puede verificar solo si es menor a 0,1%, y así mismo se

obtendrá la pérdida de masa. El ensayo se repite con ciclos especificadores para lavar la muestra hasta que quede exenta de sulfato de sodio o de magnesio y así poder tamizarla con las indicaciones de la tabla (6.3); y finalmente se hace un examen cualitativo de las muestras del ensayo. [4]

Tamaño del Agregado	Tamiz
63 mm- 37.5 mm (2 ½" – 1 ½")	31-5 mm (1 ¼")
37.5 mm- 19.0 mm (2 ½" – ¾")	16.0 mm (5/8")
19.0 mm- 9.5 mm (¾" – 3/8")	8.0 mm (5/16")
9.5 mm- 4.75 mm (3/8" – No.4)	4.00 mm (No.5)

Fuente: INVIAS E-220, 2014

6.1.3.3 Límite líquido

La muestra debe ser de 100g pasado por el tamiz 0.425 mm, después se realizará un ajuste básico para el aparato del límite líquido donde se tendrá en cuenta el pin que conecta a la cazuela ya que no puede estar tan gastado, además se deberá verificar el ranurador para que las dimensiones sean exactas. [5]

Se considera un desgaste cuando el diámetro del punto de contacto es de 13mm o cuando la ranura se hace pronunciada antes que aparezcan otros signos de desgaste. [5]

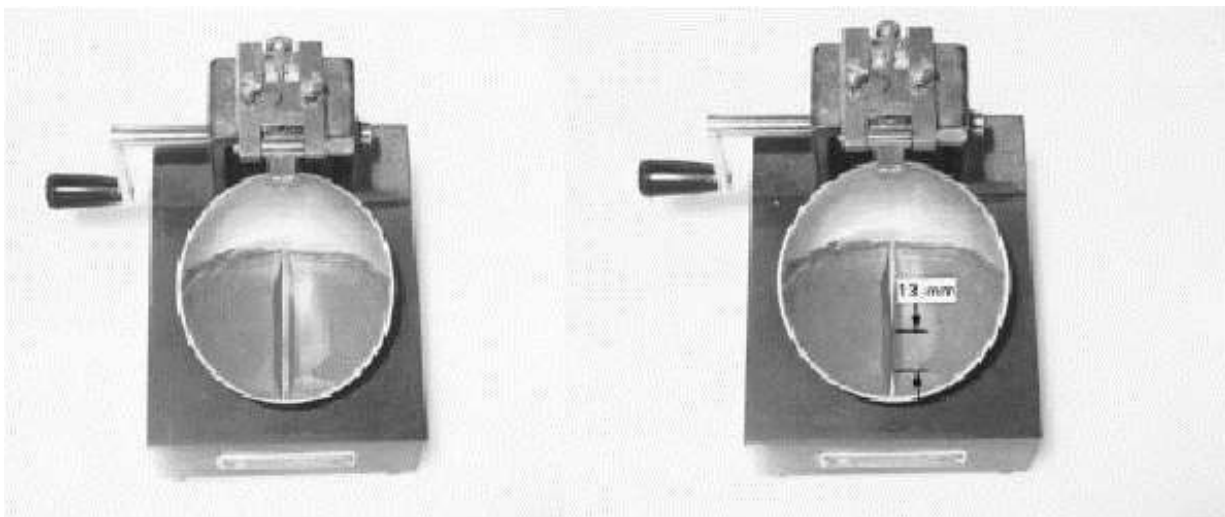


Figura 6.2 Equipo de límite líquido con muestra de su suelo dividida

Fuente: INVIAS E-125, 2014

6.1.3.4 Índice de plasticidad

En primer lugar, se selecciona una porción de 1.5 a 2.0g de acuerdo a la masa de suelo de tal forma que forme una masa elipsoidal, después se forman unos rollos

de masa de suelo de 3mm de diámetro con 80 a 90 rotaciones por minuto, tomando como base un movimiento de la mano hacia adelante y hacia atrás como una rotación. [6]

Para este ensayo se pueden emplear dos métodos, el primero es el moldeo de rollos manual que fue el anteriormente descrito y el segundo es el alternativo el cual se coloca la masa de suelo en la bandeja con la masa del suelo. [6]

6.1.3.5 Equivalente de Arena

Se realiza una mezcla en un cilindro de plástico donde se introducen las partículas y se agitan para que pierdan la cobertura arcillosa, es así como la muestra es irrigada para posteriormente forzarlo hasta que quede en suspensión encima de la arena. Finalmente se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro donde el equivalente de arena es la relación entre la altura de arena y altura de arcilla. [7]

Ecuación 6.2. Equivalente de arena (EA)

Si el equivalente de arena no da como resultado un número entero se debe redondear al número entero superior

6.1.3.6 Terrones de arcilla y partículas deleznales

Después de hacer el proceso necesario para obtener la muestra, se extiende en una capa delgada sobre el recipiente y se deja en remojo por 24 ± 4 horas. Luego con ayuda de la mano se ruedan las partículas individualmente para poder romperlas en tamaños más pequeños y así clasificarlas como terrones de arcilla o deleznales. Por último, se separa el material de menor tamaño con un tamizado en húmedo, según la tabla (6.4), para agitarlas y así remover todo el material de menor tamaño. [8]

Tabla 6.4. Intervalos de tamaños de las partículas que forman la muestra.

Intervalos de tamaños de las partículas que forman la muestra	Tamaño de tamiz para remover el residuo de arcilla y partículas deleznales
Agregado fino retenido sobre el tamiz de 1.18 mm (No.16)	850 μ m (No.20)
4.75 mm- 9.5 mm (No.4 – 3/8")	2.36 μ m (No.8)
9.5 mm- 10..0 mm (3/8" – 3/4")	4.75 μ m (No.4)
19.0 mm- 37.5 mm (3/4" – 1 1/2")	4.75 μ m (No.4)
Mayor de 37.5 mm (1 1/2")	4.75 μ m (No.4)

Fuente: INVIAS E-211, 2014

El porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 3. Porcentaje de terrones

Donde, P es el porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales, M es la masa de la muestra en el ensayo y R la masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designado. [8]

6.1.3.7 CBR

Usualmente la relación de soporte al contenido óptimo de humedad se inicia con 3 especímenes de manera que se compacten y sus densidades sean de 95% a 100%; luego se ajusta el molde de la placa de la base y se pesa con 5g para poder insertar el disco dentro del molde; por otra parte, se mezcla cada una de las 3 porciones con suficiente agua para obtener el contenido de humedad considerando que cada una deberá tener una masa de 100g para suelos de grano fino y 500g para suelos de grano grueso. [9]

La masa en gramos que se añade al suelo con la humedad se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 6.4. Masa en gramos

Dónde:

Ww = masa de agua a añadir

Wo = % de humedad inicial

Wp = % de humedad prefijada,

Wh = masa húmeda de la porción de suelo. [9]

6.2 MARCO CONCEPTUAL

6.1.2 Pavimento

Se define como una estructura de las vías las cuales son fuente de comunicación terrestre, está conformada por una o más capas de materiales, las cuales están sobre el terreno y que en algunas ocasiones se acondiciona. Así mismo brindan algunas características y propiedades especiales las cuales son la seguridad, comodidad, costo óptimo de operación, superficie uniforme, superficie impermeable, color y textura, resistencia a la repetición de cargas, resistencia a la acción del medio ambiente, y que no trasmita a las capas inferiores esfuerzos. [1]

6.1.3 Tamices

Se denomina tamiz al objeto que selecciona las partículas de distintos tamaños, en este caso las aberturas pueden ser de 6.3 mm, 9.5mm, 12.5mm, 19mm, 25mm, 37.5mm, 50mm, y 63mm. [10]

6.1.4 Medidor Cilíndrico

Se requieren las especificaciones de C o M del ASTM B 88, en las cuales indican la capacidad de 100ml, el diámetro de 39mm la altura de 86mm, el medidor de fondo deberá tener un material de metal y sellado con el tubo, tal como se observa en la ilustración 16. [11]

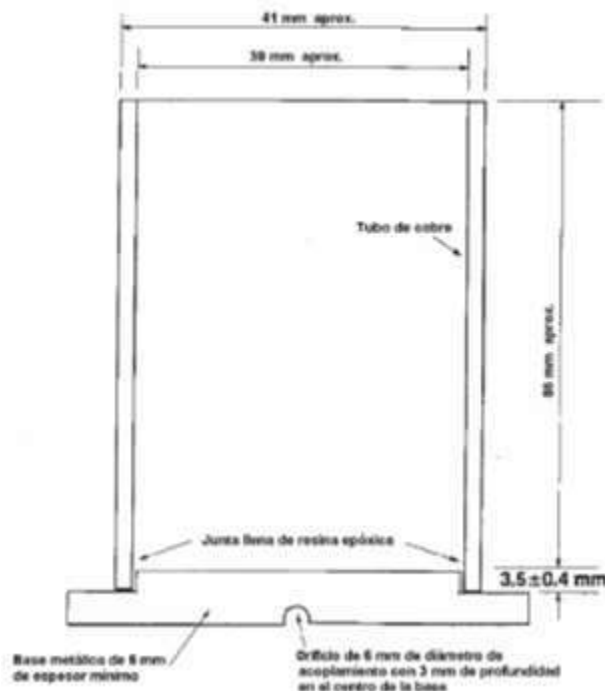


Figura 6.3 Medidor cilíndrico, nominalmente de 100 ml
Fuente: INVIAS E-239-2014

6.1.5 Medidor de Esfuerzo

Maquina o instrumento para determinar los esfuerzos a compresión, requiriendo un sistema de carga o prensa para aplicar cargas de al menos 500 KN y que garantice de manera adecuada la transmisión de cargas sin sobresaltos, aun así, se admitirá un sistema de medición en la carga con un error máximo de 1%. [12]

6.1.6 Aparato Medidor de Expansión

Es la máquina requerida para determinar la resistencia potencial de los materiales para el empleo del pavimento, para esto es necesario analizar los accesorios necesarios; en primer lugar, lo es la placa de metal la cual tiene perforaciones que no pueden exceder de 1,6mm de diámetro, posteriormente un trípode que se debe apoyar sobre un borde y cuyo vástago coincida con el de la placa, así mismo un disco espaciador de forma circular para ponerlo como un falso fondo en el molde

y finalmente sobrecargas metálicas con masas de $2,27 \pm 0,04$ Kg ($5 \pm 0,10$ Lb). [9]; observar figura (6.3).

6.1.7 Aparato de Límite Líquido

Es el equipo o instrumento para determinar el límite líquido, puede ser manual o mecánico, el primero requiere una cazuela de bronce teniendo en cuenta las dimensiones adaptadas en la ilustración (18) y el mecánico el cual tiene un motor para poder producir la elevación y después la caída de la cazuela. [5]; observar figura (6.4)

6.3 ESTADO DEL ARTE

Después de recolectar información detallada con respecto a los materiales utilizados en la malla vial de la ciudad de Villavicencio, se pudo evidenciar varios trabajos y proyectos donde realizan una investigación detallada teniendo en cuenta ensayos experimentales.

Como primer documento se propone el trabajo de grado realizado por (María Camila Lozano Chingate y Carlos Andrés Gonzales Peña) titulado “Caracterización mineralógica, porosimétrica y estructural de agregados pétreos en canteras del río Guatiquía, margen izquierda de la ciudad de Villavicencio” donde se centran en analizar el material extraído mediante ensayos de difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x y porosimetría por inyección de mercurio, para luego interrelacionar la información obtenida; es así como llegan a varias conclusiones positivas en las cuales se encuentra la resistencia mecánica, durabilidad, adherencia y textura superficial, determinando que es un material apto para poder ser utilizado. [13]

Wilver Lennys Roper Angarita y Anthony Guzmán Sarabia plantea el trabajo de grado titulado “Caracterización físico mecánica de los agregados pétreos en el municipio de Ocaña” [14], donde tienen como objetivo suministrar información de las características de los materiales en su municipio para luego realizar los procedimientos requeridos y demostrar las propiedades en un estudio comparativo con la calidad del INVIAS. En este proyecto se recomendó controlar la granulometría de los agregados y recurrir a alguna clase de aditivos que mejore la calidad de este. [14]

Edisson Forero Ramírez en su trabajo de grado “Apoyo en la caracterización y control de calidad en canteras y en vía de los materiales utilizados en la construcción de la doble calzada ruta del sol” realizado en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, tiene como objetivo principal analizar una caracterización de calidad en las canteras que serán de utilidad para la construcción de la vía en la ruta de sol, teniendo en cuenta los ensayos de laboratorio que permiten liberar o no la ejecución de los materiales utilizados, obteniendo como resultado el incumplimiento de los parámetros establecidos, por

lo que se procedió a estabilizar y mejorar las propiedades del suelo con cal viva. [15]

Yenly Giselle Herrera Álvarez y María Angélica Mejía Niño establecen el proyecto de especialización titulado “Clasificación de la fracción fina de materiales provenientes del río Guayuriba en la ciudad de Villavicencio-Meta, a partir de su valor de azul de metileno y su relación con la clasificación por el sistema unificado y sistema AASHTO”, teniendo como principal objetivo comparar los resultados por la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), donde se concluye que no es posible la caracterización por el bajo porcentaje en el tamiz número 200 y por ser un material no plástico. [16]

Laura Liset Navarro, Jimmy González y Daniel Grandas Cárdenas plantean en su trabajo de grado: “Caracterización del material de arrastre del río Guayuriba a la altura del puente el palmar en la vía que conduce el municipio de San Carlos de Guaroa- Departamento del Meta” el comportamiento del material por medio de los ensayos de laboratorio (equivalente de arena, densidad BULK, cantidad de partículas livianas y gravedad específica) donde se concluye que hay un material apto para la comercialización ya que cumple con las especificaciones de la norma NTC 174. [17]

Andrés Mateo Suárez Piñeros y Jonathan Andrés Vera Castro realizan el proyecto de grado “Caracterización físico mecánica y mineralógica de los agregados extraídos del depósito acopios en sopó Cundinamarca para su uso en pavimentos” en la universidad Santo Tomas de la Ciudad de Bogotá, donde Los materiales analizados fueron de cuatro muestras provenientes de los municipios aledaños, estos se clasificaría en grava y arena ya que ninguno cumplía con las especificaciones granulares para uso de pavimento, de tal modo que se realizaron ensayos de observación delgada en microscopio electrónico donde se obtuvo el incumplimiento a cabalidad con los requerimientos necesarios según la norma INVIAS. [18]

Mendoza Mendiola María de los Ángeles y Guadarrama Ramos José Isidro realizan una tesis para obtener el título de Ingeniero Civil nombrada “Base y Subbase” donde el objetivo principal de este proyecto fue analizar las características principales de las bases y Subbases de las vías de México, donde en primer momento se obtuvieron los tipos de caminos con los antecedentes y finalmente se realizaron procedimientos de ensayos como límite líquido, valor cementante y equivalente de arena con sus respectivas conclusiones. [19]

Amaya Novoa Cesas Augusto realiza un trabajo de grado llamado “Caracterización de materiales de las Canteras California, David Carvajal del Municipio de Girardot y material aluvial del río Coello de este mismo municipio para producción de Subbase y base granular” donde el objetivo principal es recolectar información de las propiedades físicas mediante laboratorios como granulometría, desgaste de los ángeles, dureza, CBR, índice de plasticidad,

equivalente de arena y humedad de acuerdo a los requerimientos de calidad según la norma INVIAS, donde se obtiene que la cantera David Carvajal son las más económicas ya que son de bajo costo, esto nos permite elevar su porcentaje y bajar el porcentaje de mixto del río Coello que es costoso y en algunas temporadas del año escaso. [20]

Jácome Alfonso Eddy Santiago, Landaeta Bejarano Luis Carlos y Rojas Jaramillo Natalia Andrea realizaron un trabajo de grado titulado “Caracterización de los materiales pétreos de la región, para el diseño estructural del pavimento flexible de la vía del municipio Maní y la vereda Gaviotas del departamento del Casanare” donde se reconoce los estudios necesarios para realizar un diseño de pavimento y determinar la validez de los ensayos de laboratorio, dicho lo anterior se demostró en el estudio geotécnico que allí puede construirse una estructura de pavimento flexible sin ninguna modificación, pues el CBR evidenció una capacidad portante óptima. [17]

Por último y no menos importante se manifiesta un trabajo de especialización de pavimentos hecho por Carlos Andrés Chacón Pérez ,Carlos Andrés Ordóñez Laverde y Luis Fernando Varón Rueda titulado “Clasificación de la fracción fina de materiales provenientes de canteras aledañas a Bogotá, a partir de su valor de azul de metileno y su relación con la clasificación por el sistema unificado y sistema AASHTO” donde se especifica la comparación entre los resultados obtenidos de la Clasificación de materiales granulares por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S), el sistema empleado por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y lo establecido en la Norma (INVIAS), llegando a la conclusión que a partir de las muestras de base granular se puede establecer que no es posible clasificar por el sistema AASHTO y SUCS la fracción fina presente en los materiales estudiados debido a su comportamiento No Plástico. [21].

6.4 MARCO GEOGRÁFICO

6.4.1 Localización del Departamento

Las áreas en la cual se ejecutará el proyecto se centran específicamente al cauce del río Guatiquía y Guayuriba en la ciudad de Villavicencio. El Río Guayuriba es una cuenca perteneciente a la zona del alto río Meta en el piedemonte andino, el cual se conforma por unas subcuencas; entre esas está el río Negro procedente del Parque Natural Chingaza. De igual manera el Río Guatiquía nace en el Parque Nacional Natural Chingaza y desemboca en el río Metica.

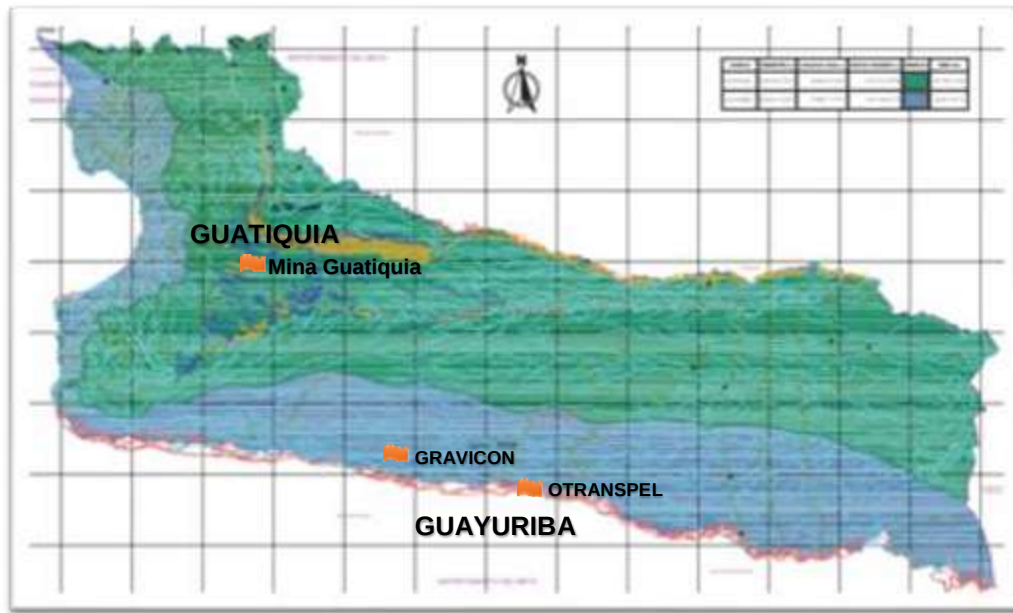


Figura 6.4 Municipio de Villavicencio
Fuente: Plan de ordenamiento territorial

6.4.2 Localización de las Canteras

6.4.2.1 Mina Guatiquía S.A.S

La cantera del río Guatiquía esta principalmente conformada por la organización “Mina Guatiquía Centro SAS” la cual se dedica a la explotación y comercialización de materiales granulares, alquiler de maquinaria, construcción de obras civiles y transporte de carga. Así mismo se realiza gran parte de trituración en los materiales granulares para poder utilizarlos en las infraestructuras viales de Villavicencio. La Mina Guatiquía es una empresa minera localizada en la vereda Vanguardia más específicamente en el sector La playa, a 1 km se encuentra el Aeropuerto de la ciudad.

6.4.2.2 Gravicon S.A

Gravicon S.A es una empresa 100% llanera, dedicada a la producción y comercialización de agregados pétreos, la cual se encarga del desarrollo de la región y participando con el suministro de materia prima en la producción de concreto, obras de ingeniería vial e infraestructura en el país. La fuente de explotación está ubicada en el Río Guayuriba lo cual permite 3 líneas de producción con 4 plantas trituradoras primarias.

6.4.2.3 Otranspel LTDA

Es una empresa dedicada a materiales para construcción, la cual se encarga de suministrar gravilla, balastro, polvo de trituración, piedra y material triturado

7. METODOLOGÍA

7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación seleccionada para este proyecto fue de tipo cuantitativa ya que es una forma detallada de recopilar información de acuerdo a los ensayos de laboratorio y además se analizarán los datos obtenidos para luego validarlos según las especificaciones de INVIAS.

7.2 FASES

7.2.1 Fase de Diseño del Proyecto

Se basó principalmente en la recopilación de información teniendo en cuenta noticias o autores especializados en el tema, es así como se determinara en primer lugar los objetivos necesarios para poder cumplir el proyecto, después se desarrollara la problemática basada en casos reales de la ciudad de Villavicencio, luego se realizara un análisis del por qué es necesario hacer esta investigación o a quien le puede beneficiar; después se buscara información de los ensayos necesarios para poder verificar la calidad del material de las canteras, finalmente se analizará la norma INVIAS, la cual nos brinda especificaciones y procedimientos detallados para realizar los ensayos necesarios para hacer una búsqueda de información acerca de los materiales como base y Subbase, antecedentes de trabajos ya hechos sobre el tema y definiciones acerca del tema propuesto.

7.2.2 Fase de Campo y de Investigación

Esta fase se inició con la localización de las canteras principales del río Guatiquía y Guayuriba ya que de allí se extraerá la muestra en la cual se va a trabajar.

7.2.3 Fase de Ensayos Aplicados

Ya teniendo una información sobre los ensayos a realizar con su respectiva muestra extraída de las canteras, se procedió a realizar todos los procedimientos de acuerdo a la norma INVIAS.

7.2.4 Fase de Caracterización a Base de Resultados

Mediante los resultados obtenidos en el laboratorio se procedió a realizar un análisis teniendo en cuenta que los materiales de las canteras cumplen con las especificaciones de la norma INVIAS.

7.2.5 Fase de Documentación de Investigación Final

7.2.5.1 Documento final

En esta fase se encuentra plasmado todo el proceso de investigación que se llevó para poder tener un análisis definitivo de los resultados, teniendo como paso final las conclusiones y recomendaciones brindadas por el autor del proyecto.

7.2.5.2 Artículo

Se realizó la publicación del artículo “CARACTERIZACIÓN BAJO ESPECIFICACIONES INVIAS 2014 DE LA SUBBASE GRANULAR PRODUCIDA EN LAS CANTERAS MINA GUATIQUEÍA S.A.S, GRAVICON S.A Y OTRANSPEL LTDA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO-META” en la “REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA” de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).

8. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

8.1 GRANULOMETRÍA

Se secó al horno aproximadamente 5000 g de material de cada cantera por 24 horas como se observa en la ilustración (8.1); luego se hizo pasar por una serie de tamices teniendo en cuenta la parte gruesa y fina; finalmente se depositó en un recipiente previamente pesado, figura (8.2) la cantidad de muestra retenida en cada uno de los tamices teniendo en cuenta el peso de esta.

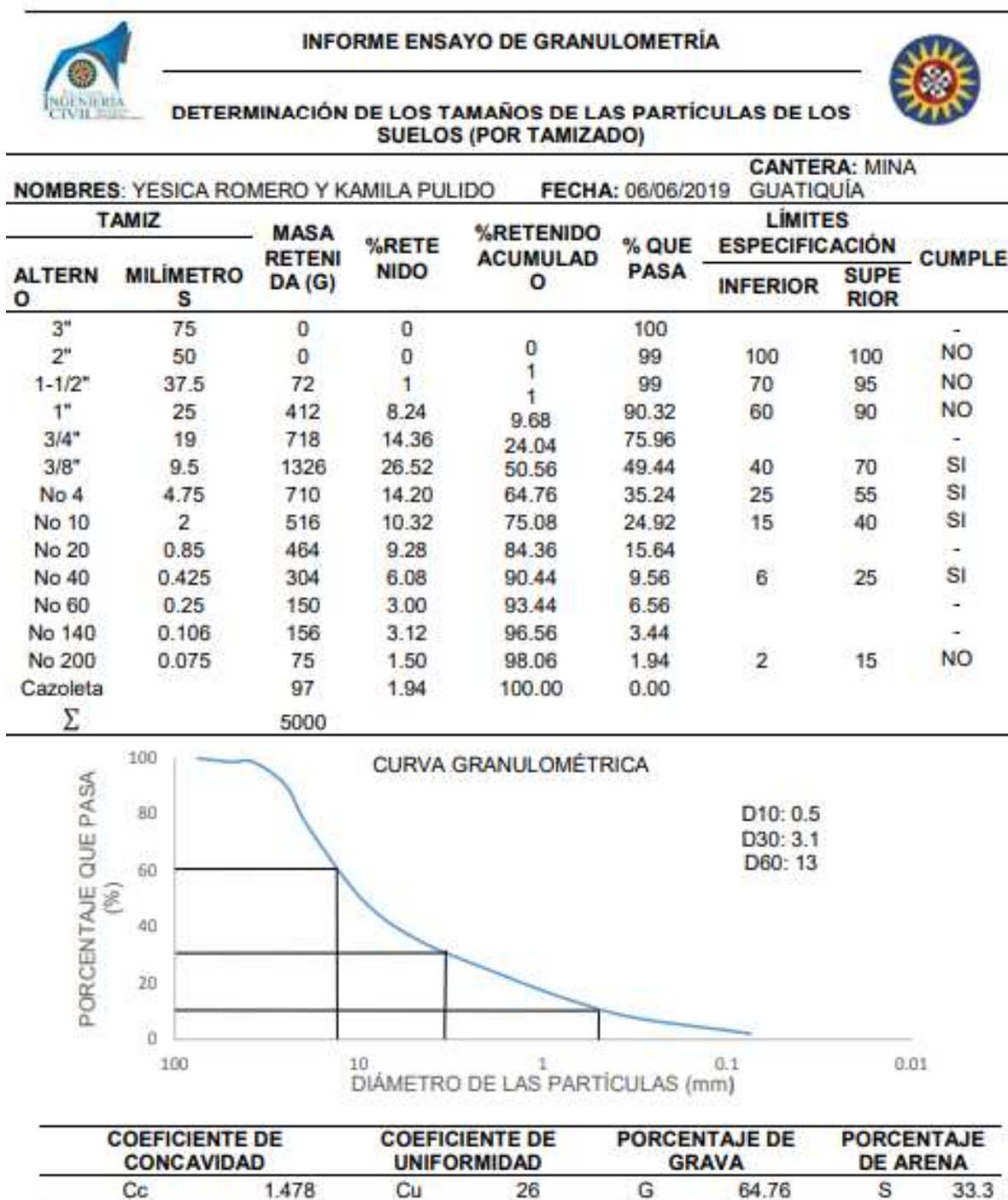


Figura 8.1 Material debidamente secado por 24 horas.
Fuente: Autor



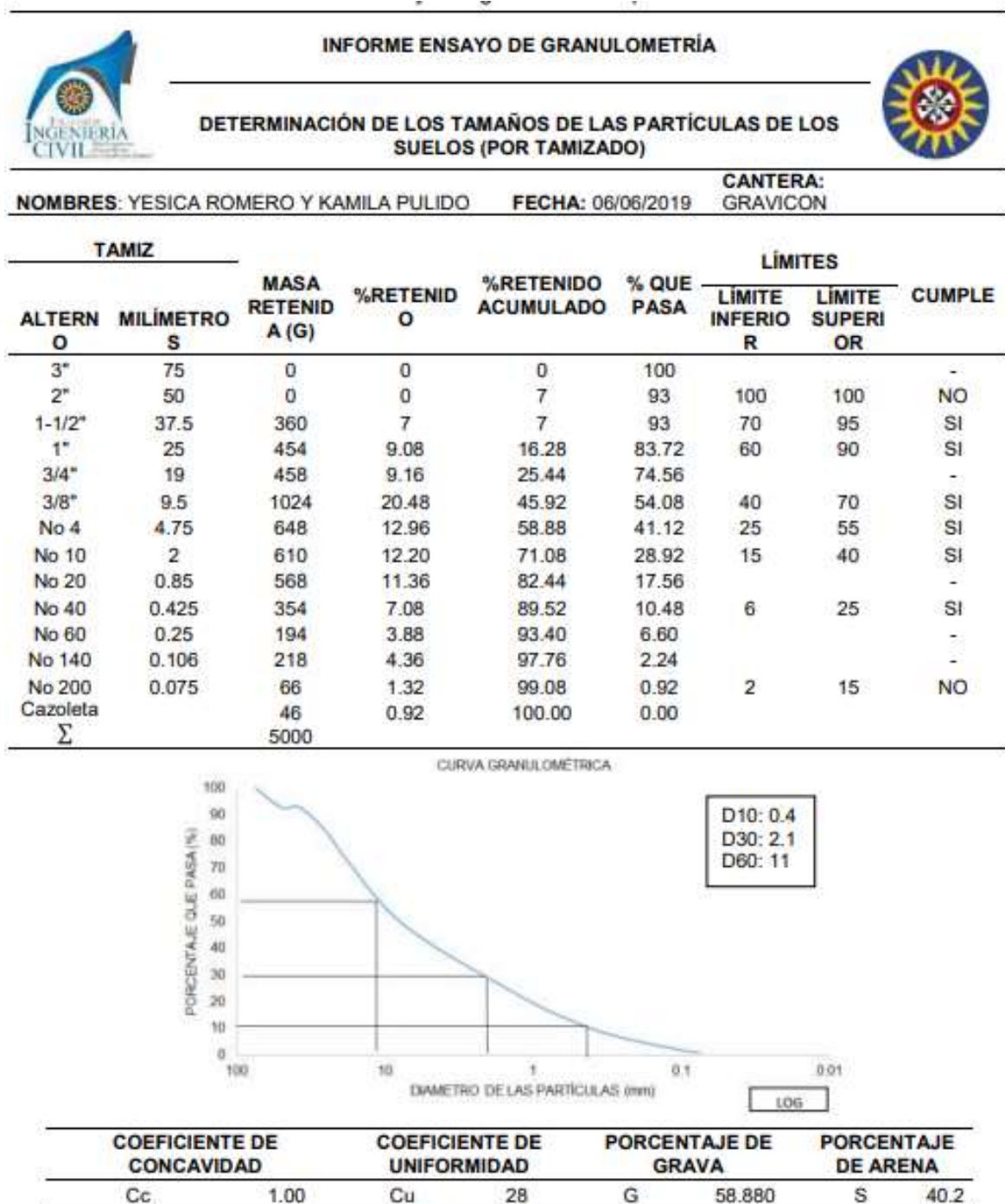
Figura 8.2 Recipiente utilizado para pesar las muestras de material
Fuente: Autor

Tabla 8.1 Informe del ensayo de granulometría para la cantera Mina Guatiquia



Fuente: Autor

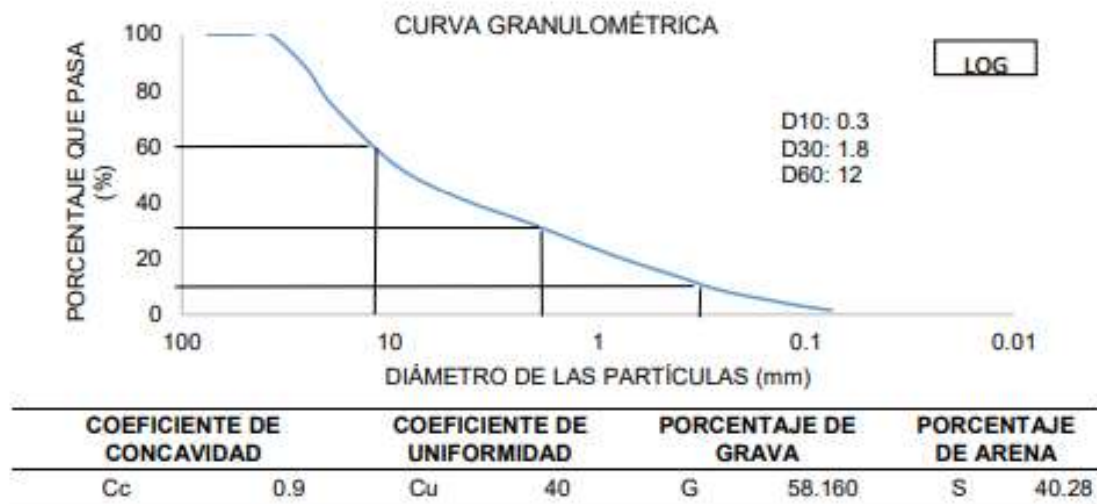
Tabla 8.2. Informe del ensayo de granulometría para la cantera Gravicon



Fuente: Autor

Tabla 8.3. Informe del ensayo de granulometría para la cantera Otranspel

		INFORME ENSAYO DE GRANULOMETRÍA						
		DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS (POR TAMIZADO)						
NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO		FECHA: 06/06/2019				CANTERA: OTRANSPEL		
TAMIZ		MASA RETENIDA (G)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES ESPECIFICACIÓN		CUM PLE
ALTERNOS	MILÍMETROS					INFERIOR	SUPERIOR	
3"	75	0	0	0	100			-
2"	50	0	0	0	100	100	100	SI
1-1/2"	37.5	0	0	0	100	70	95	NO
1"	25	614	12.28	12.28	87.72	60	90	SI
3/4"	19	632	12.64	24.92	75.08			-
3/8"	9.5	1068	21.36	46.28	53.72	40	70	SI
No 4	4.75	594	11.88	58.16	41.84	25	55	SI
No 10	2.00	504	10.08	68.24	31.76	15	40	SI
No 20	0.85	532	10.64	78.88	21.12			-
No 40	0.425	362	7.24	86.12	13.88	6	25	SI
No 60	0.25	272	5.44	91.56	8.44			-
No 140	0.106	266	5.32	96.88	3.12			-
No 200	0.075	78	1.56	98.44	1.56	2	15	NO
Cazoleta		78	1.56	100.00	0.00			
Σ		5000						



Fuente: Autor

A continuación se evidencia los gráficos correspondientes a los límites inferiores y superiores de los resultados obtenidos en el ensayo de granulometría:

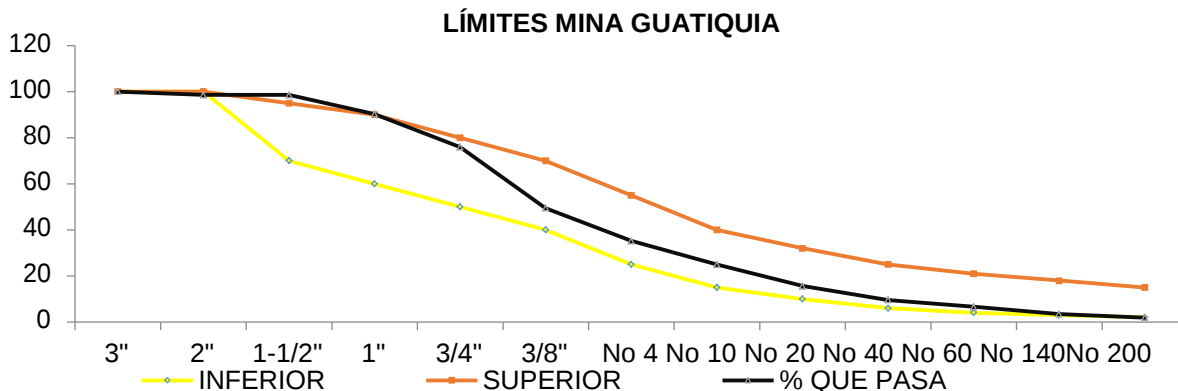


Figura 8.3 Gráfico de los límites para la cantera Mina Guatiquia
Fuente: Autor

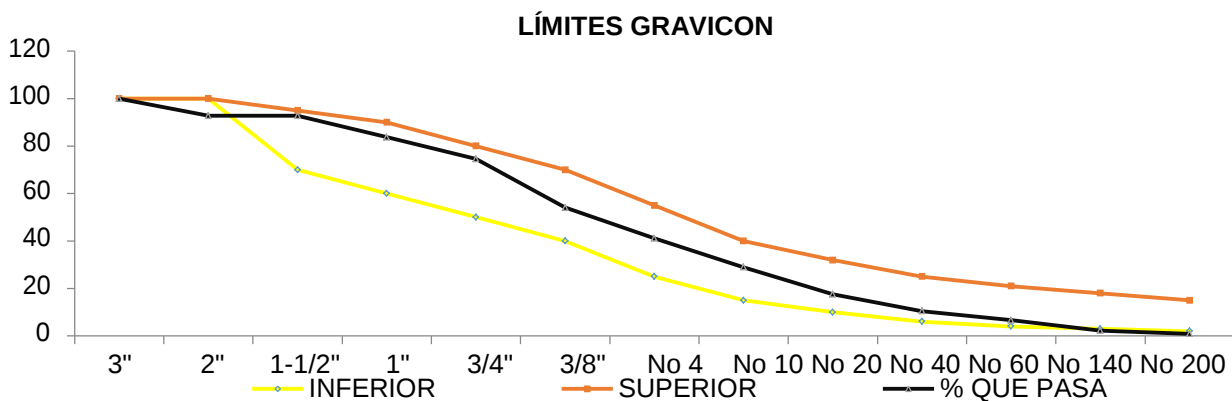


Figura 8.4 Gráfico de los límites para la cantera Gravicon
Fuente: Autor

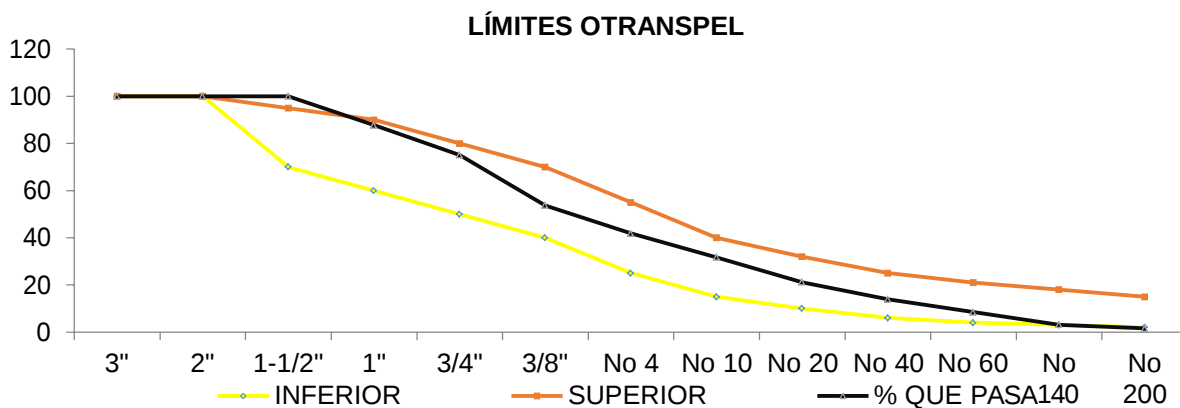


Figura 8.5 Gráfico de los límites para la cantera Otranspel
Fuente: Autor

8.2 DESGASTE DE LOS ÁNGELES (MÉTODO A)

Al realizar debidamente el número de vueltas prescrita en el numeral 6.1.3.1, se descargó el material y se separó la muestra retenida en el tamiz N°12, para ser debidamente lavada y secada como se muestra en las figuras (8.6 y 8.7); luego se procedió a pesar la muestra como se observa en la figura (8.8) para obtener los resultados.



Figura 8.6 Material debidamente sacado de la máquina de los Ángeles
Fuente: Autores



Figura 8.7 Muestra pasada por el tamiz N°12
Fuente: Autores



Figura 8.8 Material lavado por el tamiz N°12
Fuente: Autor



Figura 8.9 Resultados obtenidos del ensayo Desgaste de los Ángeles de las canteras Mina Guatiquía, Otranspel y Gravicon respectivamente
Fuente: Autor

Tabla 5.4. Resultados obtenidos del ensayo desgaste de los Ángeles

INFORME ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES (500 REVOLUCIONE)

NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO

FECHA : 05/07/2019

MINA GUATIQUEÍA

Granulometría del ensayo	A
Número de esferas	12
Peso total de la muestra para el ensayo (g)	5000
Peso retenido en el tamiz No 12 (g)	4208
Porcentaje de desgaste (%)	16%

GRAVICON

Granulometría del ensayo	A
Número de esferas	12
Peso total de la muestra para el ensayo (g)	5000
Peso retenido en el tamiz No 12 (g)	3726
Porcentaje de desgaste (%)	25%

OTRANSPEL

Granulometría del ensayo	A
Número de esferas	12
Peso total de la muestra para el ensayo (g)	5000
Peso retenido en el tamiz No 12 (g)	4378
Porcentaje de desgaste (%)	12%

Fuente: Autor

8.3 PÉRDIDA EN SOLIDEZ

En las imágenes (8.10 y 8.11) se observa el material debidamente separado como se especifica en el numeral 6.1.3.3, dentro de unas soluciones que fueron hechas siguiendo las especificaciones de la norma; sulfato de Sodio y sulfato de magnesio respectivamente.



Figura 8.10 Material sumergido dentro del sulfato de Sodio
Fuente: Autor



Figura 8.11 Material sumergido dentro de sulfato de Magnesio.
Fuente: Autor

Tabla 8.5. Resultados del ensayo terrones de arcilla y partículas deleznales

		INFORME ENSAYO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES		
NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO			FECHA: 04/10/2019	
MINA GUATIQUEÍA				
TAMAÑO DE PARTÍCULAS ENTRE LOS TAMICES		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (g)	MASA DE LAS PARTÍCULAS RETENIDAS (g)	%DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES
SULFATO DE SODIO				
No 4	3/8"	300	294	2.0%
3/8"	3/4"	1000	906.00	9.4%
3/4"	1-1/2"	1500	1480.00	1.3%
Promedio				1.3%
SULFATO DE MAGNESIO				
No 4	3/8"	300	290	3.3%
3/8"	3/4"	1000	984.00	1.6%
3/4"	1-1/2"	1500	1390.00	7.3%
Promedio				2.5%
GRAVICON				
SULFATO DE SODIO				
No 4	3/8"	300	298	0.7%
3/8"	3/4"	1000	974.00	2.6%
3/4"	1-1/2"	1500	1428.00	4.8%
Promedio				4.8%
SULFATO DE MAGNESIO				
No 4	3/8"	300	288	4.0%
3/8"	3/4"	1000	974.00	2.6%
3/4"	1-1/2"	1500	1457.00	2.9%

Promedio				3.3%
OTRANSPEL				
SULFATO DE SODIO				
No 4	3/8"	300	288	4.0%
3/8"	3/4"	1000	964.00	3.6%
3/4"	1-1/2"	1500	1469.00	2.1%
Promedio				2.1%
SULFATO DE MAGNESIO				
No 4	3/8"	300	290	3.3%
3/8"	3/4"	1000	920.00	8.0%
3/4"	1-1/2"	1500	1490.00	0.7%
Promedio				5.7%

Fuente: Autor

8.4 LÍMITE LÍQUIDO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Una vez realizado el procedimiento especificado en los numerales 6.1.3.4 y 6.1.3.5 respectivamente, se determinó 2 a 3 golpes en la cazuela de Casagrande, y se observó que el material no absorbe por completo el agua y no es posible realizarlo; por otro lado el índice de plasticidad no se puede realizar ya que al hacer los rollos manualmente se desborona y no se vuelve una masa homogénea como se observan en las figuras (8.12 y 8.13)



Figura 8.12 Resultados del material usado para el ensayo índice de plasticidad
Fuente: Autor

8.5 EQUIVALENTE DE ARENA

En las figuras (8.14) se observa la solución y material debidamente preparado introducido dentro del tubo de ensayo como se especifica en el numeral 6.1.3.6; para luego determinar el equivalente de arena observando la distribución de arena y arcilla como se observa en la figura (8.15)



Figura 8.13 Solución y material introducido dentro del tubo de ensayo
Fuente: Autor



Figura 8.14 Resultados obtenidos de la relación arena-arcilla para el ensayo equivalente de arena
Fuente: Autor

Tabla 8.6. Resultados del ensayo equivalente de área de suelos y agregados finos



INFORME ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS



NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO		FECHA: 11/09/2019	
MINA GUATIQUEÍA			
Número de cilindro	1	2	3
Tiempo (min)	2º	20	20
Lectura de arena (pul)	3.3	3.1	3.2
Lectura de arcilla (pul)	3.2	3.2	3.3
Equivalente de arena (%)	103.13 %	96.88%	96.97%
PROMEDIO		98.99%	
GRAVICON			
Número de cilindro	1	2	3
Tiempo (min)	20	20	20
Lectura de arena (pul)	3	2.5	2.9
Lectura de arcilla (pul)	3.1	3	3.2
Equivalente de arena (%)	96.77 %	83.33 %	90.63%
PROMEDIO		90.24 %	
OTRANSPEL			
Número de cilindro	1	2	3
Tiempo (min)	20	20	20
Lectura de arena (pul)	3.2	2.99	3.1
Lectura de arcilla (pul)	3.5	3.4	3.3
Equivalente de arena (%)	91.43%	87.94%	93.94%
PROMEDIO		91.10%	

Fuente: Autor

Fuente: Autor

8.6 TERRONES DE ARCILLA

En la figura (8.16) se muestra el proceso de separación del material tal como se indica en el numeral 6.1.3.6; acto seguido se introdujo en agua destilada por un determinado tiempo para poder determinar las partículas deleznales



Figura 8.15 Material separado según las especificaciones de la norma
Fuente: Autor



Figura 8.16 Material introducido en agua destilada
Fuente: Autor

Tabla 8.7. Resultados del ensayo de terrones de arcilla y partículas deleznales

		INFORME ENSAYO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES		
NOMBRES: YESICA ROMERO Y CAMILA PULIDO		FECHA: 06/06/2019		
TAMAÑO DE PARTÍCULAS ENTRE LOS TAMICES	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (g)	MASA DE LAS PARTÍCULAS RETENIDAS (g)	%DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES	
No 4	3/8"	1000	983	1.7%
3/8"	3/4"	2000	1996.00	0.2%
3/4"	1-1/2"	3000	2970.00	1.0%
Mayores de 1-1/2"	5000	4982.00		0.36%
Promedio				0.8%
GRAVICON				
No 4	3/8"	1000	983	1.7%
3/8"	3/4"	2000	1961.00	2.0%
3/4"	1-1/2"	3000	2940.00	2.0%
Mayores de 1-1/2"	5000	4982.00		0.4%
Promedio				1.5%
OTRANSPEL				
No 4	3/8"	1000	986	1.40%
3/8"	3/4"	2000	1992.00	0.40%
3/4"	1-1/2"	3000	2972.00	0.93%
Mayores de 1-1/2"	5000	4982.00		0.36%
Promedio				0.8%

Fuente: Autor

8.7 PROCTOR

En la figura (8.18) se observa el proceso manual en el que se desarrolló en ensayo, en donde consistía en realizar unos determinados golpes al material con ayuda de un pistón.



Figura 8.17 Demostración de la realización del ensayo Proctor

Fuente: Autor

Tabla 8.8. Resultados del ensayo de Proctor para la cantera Gravicon



INFORME ENSAYO DE GEOTECNIA

RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS



NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO

FECHA: 25/07/2019

GRAVICON

Tipo de ensayo de compactación:	Proctor modificado INV E 142-13			Volumen del molde (cm³):	924	
Método de compactación:	A			Tipo de martillo: Preparación de la muestra:	Manual Mecánico	
PRUEBA N°		1	2	3	4	5
Peso suelo + molde	gr	6408	6460	6509	6476	6412
Peso molde	gr	4544	4544	4544	4544	4544
Peso suelo húmedo compactado	gr	1864	1916	1965	1932	1868
Peso suelo húmedo + recipiente	gr	578	578	578	578	578
Peso del suelo seco + recipiente	gr	548	540	530	525	520
Recipiente	gr	6	6	6	6	6
Peso del agua	gr	30	38	48	53	58
Peso del suelo seco	gr	542	534	524	519	514
Contenido de agua	%	5.54	7.12	9.16	10.21	11.28
Densidad suelo húmedo	gr/cm³	2.02	2.07	2.13	2.09	2.02
Densidad suelo seco	gr/cm³	1.912	1.936	1.948	1.897	1.817
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm3)		DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm3)			1.96	
		HUMEDAD ÓPTIMA (%)			7.70%	

Fuente: Autor

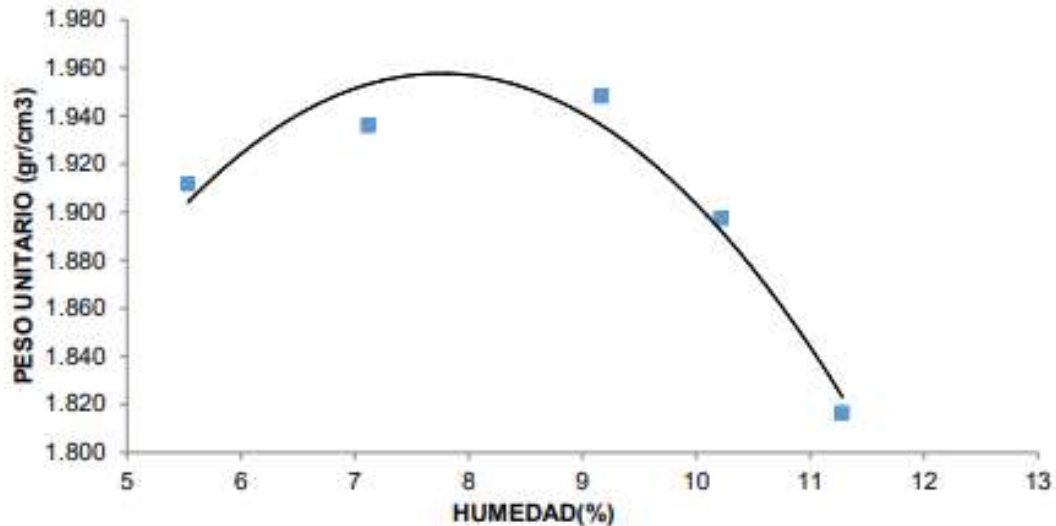


Figura 8.18 Gráfico del ensayo de Proctor para la cantera Gravicon

Fuente: Autor

Tabla 8.9. Resultados del ensayo de Proctor para la cantera Mina Guatiquía

INFORME ENSAYO DE GEOTECNIA						
RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS						
NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO FECHA: 25/07/2019 CANTERA:MINA GUATIQUEIA						
Tipo de ensayo de compactación:	Proctor modificado INV E 142-13			Volumen del molde (cm³):	924	
Método de compactación:	A			Tipo de martillo:	Manual	
				Preparación de la muestra:	Húmeda	
		1	2	3	4	5
PRUEBA N°						
Peso suelo + molde	gr	6570	6650	6678	6678	6668
Peso molde	gr	4544	4544	4544	4544	4544
Peso suelo húmedo compactado	gr	2026	2106	2134	2134	2124
Peso suelo húmedo + recipiente	gr	578	578	578	578	578
Peso del suelo seco + recipiente	gr	540	530	526	520	505
Recipiente	gr	6	6	6	6	6
Peso del agua	gr	38	48	52	58	73
Peso del suelo seco	gr	534	524	520	514	499
Contenido de agua	%	7.12	9.16	10.00	11.28	14.63
Densidad suelo húmedo	gr/cm3	2.19	2.28	2.31	2.31	2.30
Densidad suelo seco	gr/cm4	2.047	2.088	2.100	2.075	2.005
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm3)					2.09	
HUMEDAD ÓPTIMA (%)					10.20%	

Fuente: Autor

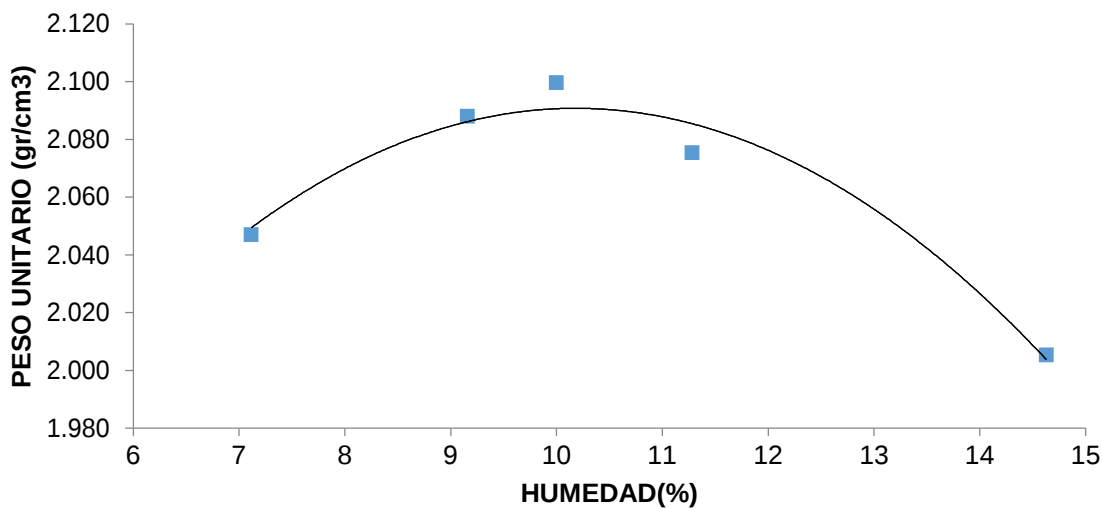


Figura 8.19 Ensayo de Proctor para la cantera Mina Guatiquía
Fuente: Autor

Tabla 8.10. Resultados del ensayo de Proctor para la cantera Otranspel



INFORME ENSAYO DE GEOTECNIA

RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS



NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO

FECHA :25/07/2019

CANTERA: OTRANSPEL

Tipo de ensayo de compactación:

Proctor modificado INV E 142-13

Volumen del molde (cm³):

924

Método de compactación

A

Tipo de martillo:

Manual

Preparación de la muestra:

Húmeda

PRUEBA N°		1	2	3	4	5
Peso suelo+molde	gr	6498	6587	6623	6618	6576
Peso molde	gr	4544	4544	4544	4544	4544
Peso suelo húmedo compactado	gr	1954	2043	2079	2074	2032
Peso suelo húmedo + recipiente	gr	578	578	578	578	578
Peso del suelo seco + recipiente	gr	546	536	530	524	518
Recipiente	gr	6	6	6	6	6
Peso del agua	gr	32	42	48	54	60
Peso del suelo seco	gr	540	530	524	518	512
Contenido de agua	%	5.93	7.92	9.16	10.42	11.72
Densidad suelo húmedo	gr/cm3	2.11	2.21	2.25	2.24	2.20
Densidad suelo seco	gr/cm4	1.996	2.049	2.061	2.033	1.968
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm3)					2.06	
HUMEDAD ÓPTIMA (%)					8.60%	

Fuente: Autor

Fuente: Autor

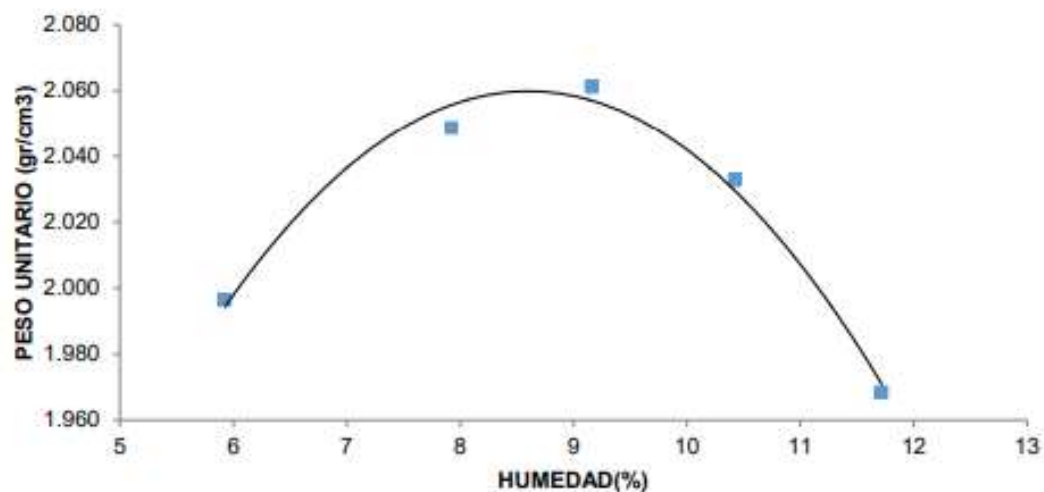


Figura 8.20 Gráfico del ensayo de Proctor para la cantera Otranspel

Fuente: Autor

8.8 CBR

A partir de los resultados que arrojó el ensayo de Proctor de la humedad óptima y densidad máxima, se añadió agua a la muestra de suelo para alcanzar la humedad óptima establecida, se compactó la muestra en tres moldes de CBR, cada uno conformado por 3 capas, posteriormente se enrazó el molde, se desmontó y se volvió a montar invertido.

En la figura (8.22) se observa la muestra en su molde después del procedimiento de compactación donde se procedió a aplicar la carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR y tomar las lecturas de la curva presión penetración para luego presentar los resultados en una gráfica densidad seca e índice CBR.



Figura 8.21 Demostración de la realización del ensayo CBR
Fuente: Autor

Tabla 8.11. Resultados obtenidos del ensayo CBR para la cantera Mina Guatiquia

INFORME ENSAYO DE LABORATORIO

CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA

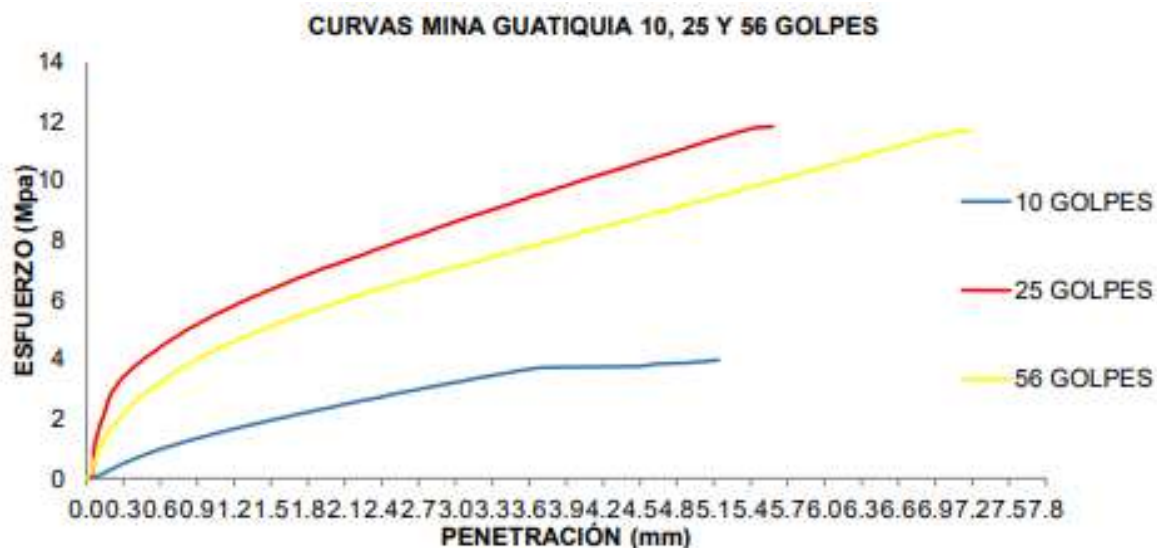
NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO **FECHA:** 16/10/2019 **CANTERA:** MINA GUATIQUEIA

CBR INALTERADOS

	Presiones (")	Presiones (mm)	Esfuerzos (Mpa)	Esfuerzos de Referencia (Mpa)	Relación de Soporte (CBR) (%)
10 GOLPES	0.100	2.540	2.879	6.900	41.718
	0.200	5.080	3.964	10.300	38.484
25 GOLPES	0.100	2.540	4.646	6.900	67.333
	0.200	5.080	5.592	10.300	54.289
56 GOLPES	0.100	2.540	6.553	6.900	94.971
	0.200	5.080	9.401	10.300	91.267

Fuente: Autor

Figura 8.22 Gráfico penetración-esfuerzo de Mina Guatiquia



Fuente: Autor

Tabla 8.12. Resultados obtenidos del ensayo CBR de diseño para la cantera Mina Guatiquia

Densidad Óptima al 100% (gr/cm3) - Proctor Modificado		2.090
Densidad Óptima al 98% (gr/cm3) - Base granular		2.048
Densidad Óptima al 95% (gr/cm3) - Subbase Granular		1.986
Número de Golpes	CBR (%)	Densidad Seca (gr/cm3)
10	41.72	1.12
25	67.33	1.86
56	91.27	2.08
CBR de Diseño al 100%		72.90%
CBR de Diseño al 98% - Base Granular		71.30%
CBR de Diseño al 95% - Subbase Granular		69.60%

Fuente: Autor

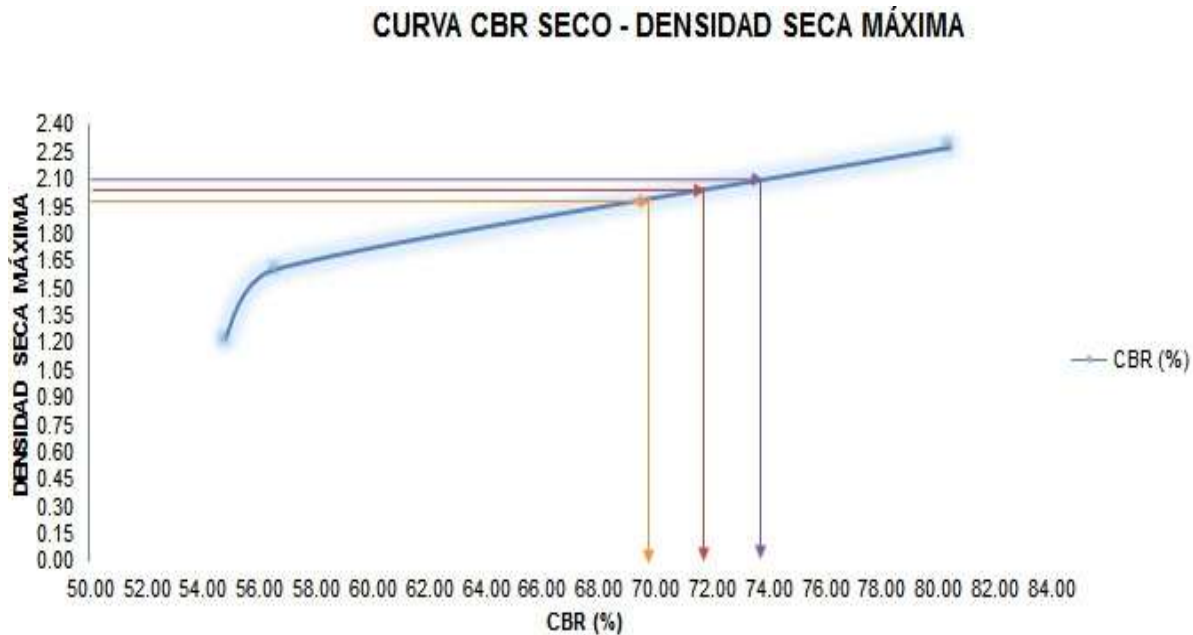


Figura 8.23 Gráfico de la curva CBR seco- densidad máxima de la cantera Mina Guatiquia

Fuente: Autor

Tabla 8.13. Resultados obtenidos del ensayo CBR para la cantera Gravicon

INFORME ENSAYO DE LABORATORIO



CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA



NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO **FECHA:** 16/10/2019 **CANTERA:**GRAVICON

	Presiones (")	Presiones (mm)	Esfuerzos (Mpa)	Esfuerzos de Referencia (Mpa)	Relación de Soporte (CBR) (%)	
10 GOLPES	0.100	2.540	5.871	6.900	85.084	
	0.200	5.080	9.163	10.300	88.959	
25 GOLPES	0.100	2.540	5.850	6.900	84.784	
	0.200	5.080	9.173	10.300	89.059	
56 GOLPES	0.100	2.540	5.850	6.900	84.784	
	0.200	5.080	9.163	10.300	88.959	

Fuente: Autor

Fuente: Autor

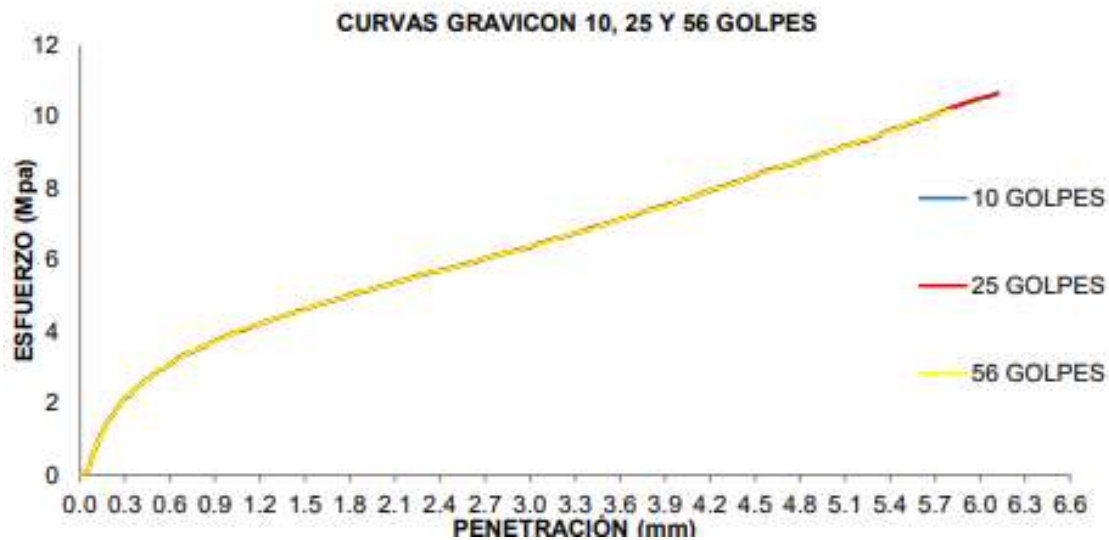


Figura 8.24 Gráfico penetración-esfuerzo de Mina Gravicon

Fuente: Autor

Tabla 8.14 Resultados obtenidos del ensayo CBR de diseño para la cantera Gravicon

Densidad Óptima al 100% (gr/cm3) - Proctor Modificado		1.960
Densidad Óptima al 98% (gr/cm3) - Base granular		1.921
Densidad Óptima al 95% (gr/cm3) - Subbase Granular		1.862
Número de Golpes	CBR (%)	Densidad Seca (gr/cm3)
10	85.08	1.27
25	84.78	1.73
56	88.96	2.30
CBR de Diseño al 100%		86.20%
CBR de Diseño al 98% - Base Granular		85.90%
CBR de Diseño al 95% - Subbase Granular		85.40%

Fuente: Autor

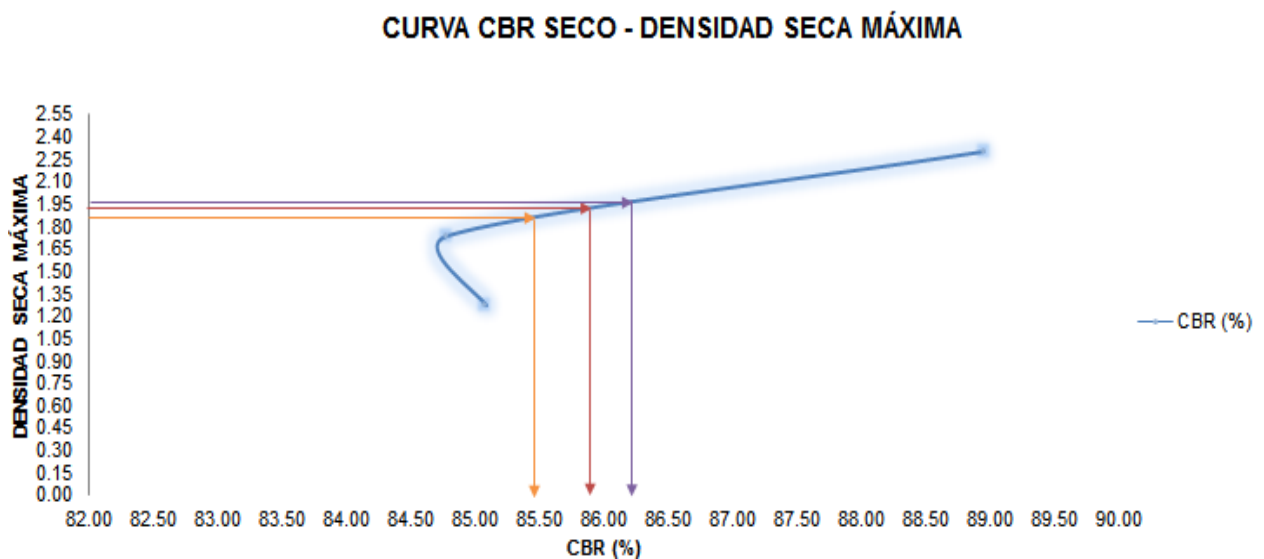


Figura 8.25 Gráfico de la curva CBR seco- densidad máxima de la cantera Gravicon

Fuente: Autor

Tabla 8.15. Resultados obtenidos del ensayo CBR para la cantera Otranspel

INFORME ENSAYO DE GEOTECNIA					
CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA					
NOMBRES: YESICA ROMERO Y KAMILA PULIDO FECHA: 16/10/2019 CANTERA:OTRANSPEL					
CBR INALTERADOS					
10 GOLPES	Presiones (")	Presiones (mm)	Esfuerzos (Mpa)	Esfuerzos de Referencia (Mpa)	Relación de Soporte (CBR) (%)
	0.100	2.540	3.623	6.900	52.503
	0.200	5.080	4.920	10.300	47.766
25 GOLPES	Presiones (")	Presiones (mm)	Esfuerzos (Mpa)	Esfuerzos de Referencia (Mpa)	Relación de Soporte (CBR) (%)
	0.100	2.540	4.078	6.900	59.094
	0.200	5.080	4.935	10.300	47.917
56 GOLPES	Presiones (")	Presiones (mm)	Esfuerzos (Mpa)	Esfuerzos de Referencia (Mpa)	Relación de Soporte (CBR) (%)
	0.100	2.540	4.165	6.900	60.368
	0.200	5.080	4.930	10.300	47.866

Fuente: Autor

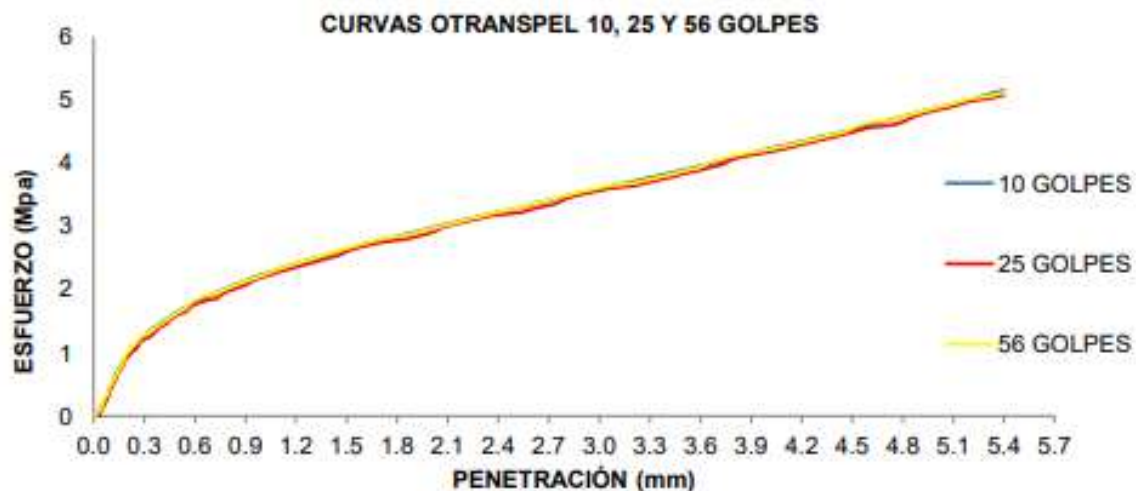


Figura 8.26 Gráfico penetración-esfuerzo de Otranspel
Fuente: Autor

Tabla 8.16. Resultados obtenidos del ensayo CBR de diseño para la cantera Otranspel

Densidad Óptima al 100% (gr/cm3) - Proctor Modificado		2.060
Densidad Óptima al 98% (gr/cm3) - Base granular		2.019
Densidad Óptima al 95% (gr/cm3) - Subbase Granular		1.957
Número de Golpes	CBR (%)	Densidad Seca (gr/cm3)
10	52.50	1.73
25	59.09	3.14
56	60.37	2.76
CBR de Diseño al 100%		53.90%
CBR de Diseño al 98% - Base Granular		53.70%
CBR de Diseño al 95% - Subbase Granular		53.60%

Fuente: Autor

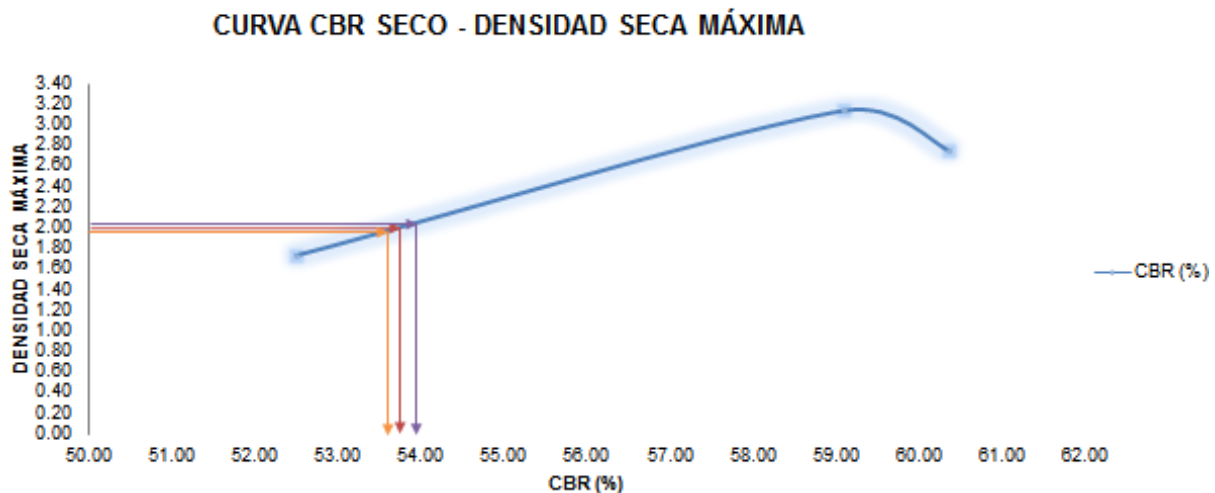


Figura 8.27 Gráfico de la curva CBR seco- densidad máxima de la cantera Otranspel

Fuente: Autor

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el desarrollo de los diferentes ensayos planteados, inicialmente se realizó la respectiva caracterización del material por el método de granulometría por tamizado, donde se evaluó el coeficiente de curvatura (C_c), el coeficiente de uniformidad (C_u), el porcentaje de grava y el porcentaje de arena de los materiales granulares provenientes de las tres canteras.

Teniendo en cuenta que un valor grande del parámetro C_u indica que los diámetros D_{60} Y D_{10} difieren un tamaño apreciable y que valores de C_c muy diferentes de 1.0 indican que faltan una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes al D_{10} y al D_{60} , se evidencia que el material granular proveniente de la cantera OTRANSPEL LTDA cuenta con mayor variedad de diámetros lo que permite garantizar que este cuenta con la capacidad de cumplir las funciones de una sub-base granular en la estructura de un pavimento, por otro lado las canteras MINA GUATIQUEIA S.A.S y GRAVICON S.A evidencian que aunque no hay mayor inexistencia entre la serie de diámetros de los tamaños correspondientes al D_{10} y al D_{60} entre estos no difieren un tamaño apreciable, lo que indica que los diámetros de estos materiales tienen un rango menor y que es un material más homogéneo.

A partir de la granulometría se establecieron los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad para los tres diferentes materiales con el fin de conocer la consistencia de estos, en donde se definió que es un material no plástico con altos porcentajes de grava y arena lo que favorece a la estructura de pavimento debido a que ante la presencia de agua el material no se deformará. Por medio de otros ensayos como Proctor, Terrones de arcilla y Partículas deleznales se determinó la densidad seca máxima y la humedad óptima necesaria para alcanzar esta densidad de los tres suelos ante la compactación y los contenidos de arcilla y partículas deleznales que se encuentran por debajo del valor máximo indicado por la norma.

Considerando la caracterización del material granular se procedió a realizar otros tipos de ensayos que permitieran conocer más de las capacidades y posibles comportamientos del material ante diferentes agentes físicos y químicos a los que puede estar sometido una sub-base granular.

Los porcentajes de desgaste que arrojo el ensayo a la resistencia de los agregados a la abrasión oscilaron entre 12% y 25%, lo que indica que el material es bastante duro, ya que estos valores están muy por debajo del 50% del total del material, el cual en la figura (9.1) se puede observar de línea roja.

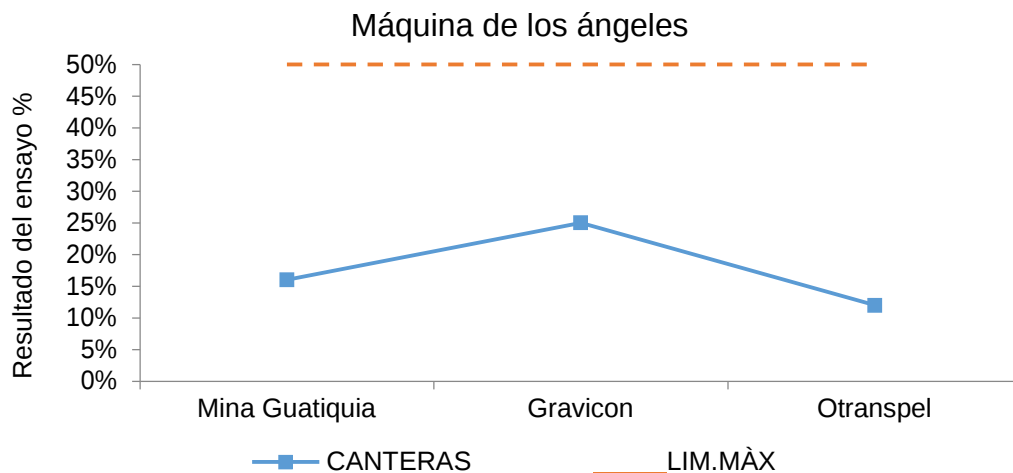


Figura 9.1 Gráfico de los resultados para el ensayo de Máquina de los Ángeles
Fuente: Autor

Los porcentajes de pérdida en solidez frente a agentes químicos como el sulfato de sodio y sulfato de magnesio oscilaron entre 1.30% y el 5.70%, manteniéndose dentro de los valores máximos que establece la norma, lo que indica que hay alta resistencia a la desintegración por la acción de soluciones saturadas, por medio de este ensayo llevamos al material a deshidratación parcial y luego rehidratación para simular la expansión del agua por congelamiento, lo que permite juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos reales. En la figura (9.2) se puede observar los límites según las especificaciones de la norma señaladas con las líneas de color azul y rojo para sulfato de sodio y sulfato de magnesio respectivamente, donde se evidencia el cumplimiento de los valores permitidos.

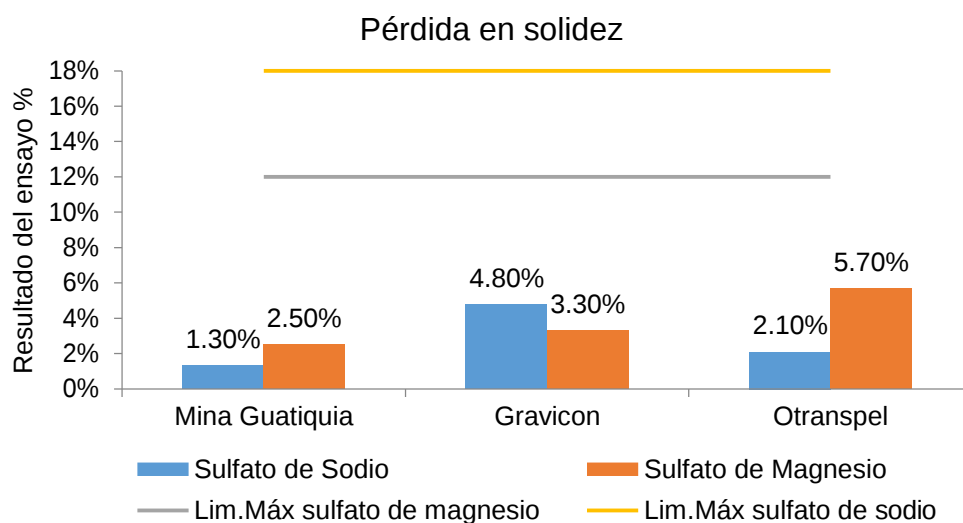


Figura 9.2 Gráfico de los resultados para el ensayo de Pérdida en Solidez
Fuente: Autor

Los porcentajes de equivalente de arena permiten evaluar la limpieza de los áridos finos o suelos poco plásticos, teniendo en cuenta que el mínimo valor establecido por la norma es 25%, por lo tanto cuanto mayor es el equivalente de arena mejor es la calidad del material y debido a que los resultados se aproximan al 100% se establece que el material contiene un gran porcentaje de finos.

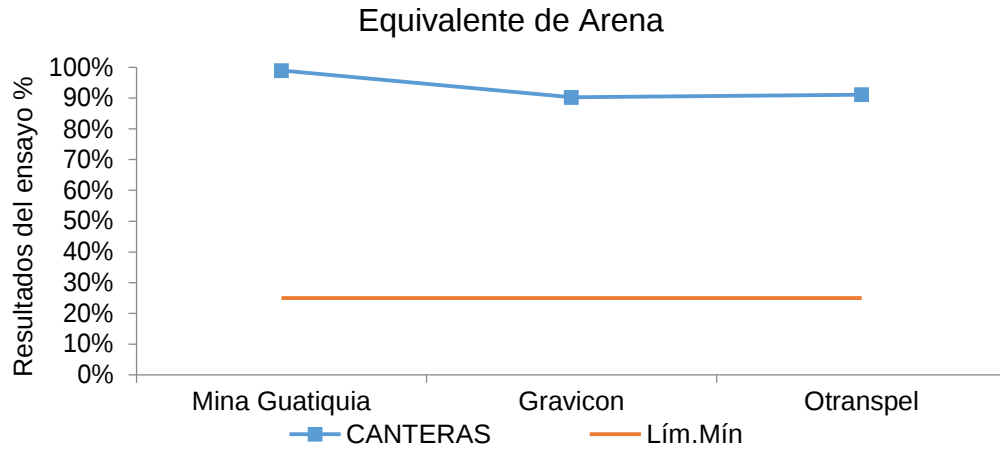


Figura 9.3 Gráfico de los resultados para el ensayo de Equivalente de arena
Fuente: Autor

Los resultados del ensayo California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) que mide en unidades de porcentaje la resistencia al esfuerzo cortante del suelo para la evaluación de la calidad del terreno para subbase de pavimentos indica que las tres canteras cumplen, los resultados fueron de 69.6%, 85.4% y 53.6% para las canteras Mina Guatiquia S.A.S, Gravicon S.A. y OTRANSPEL LTDA respectivamente como se observa en la figura (9.4) estos resultados superan el límite mínimo establecido por el INVIAS de 30%.

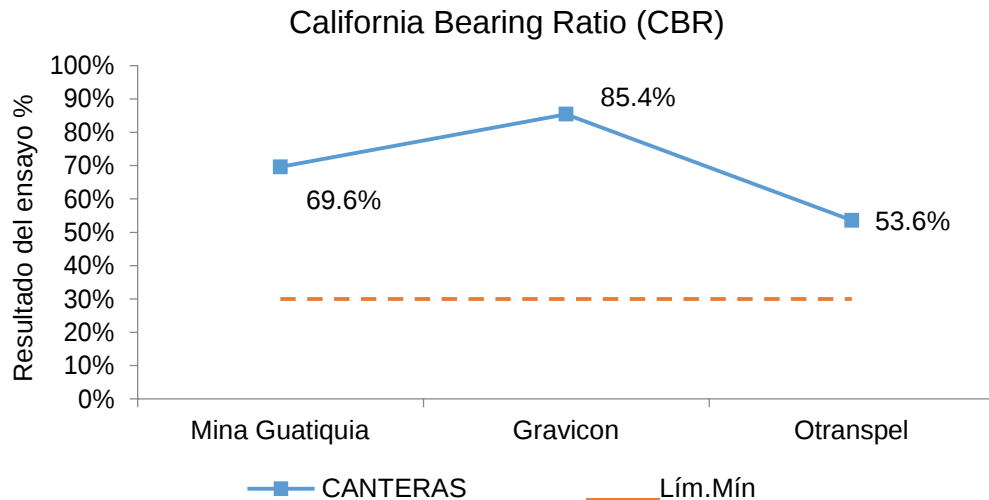


Figura 9.4 Gráfico de los resultados para el ensayo de CBR
Fuente: Autor

10. RESULTADOS E IMPACTOS

A continuación, se relacionan los valores obtenidos para cada cantera en estudio y los diferentes ensayos realizados

Tabla 10.1. Resultados obtenidos de los ensayos realizados

			CANTERA		
ENSAÑO		REQUISITOS DE LA NORMA	MINA GUATIQUEIA	GRAVICON	OTRANSPEL
	Coeficiente de curvatura (Cc)	N/A	1.478	1	0.9
Granulometría	Coeficiente de uniformidad (Cu)	N/A	26	28	40
	% grava	N/A	64.76	58.88	58.16
	% arena	N/A	33.33	40.2	40.28
Desgaste de los Ángeles (500 revoluciones)		50% Máx.	16%	25%	12%
Pérdida en Sulfato de sodio		12% Máx.	1.30%	4.80%	2.10%
Solidez Sulfato de magnesio		18% Máx.	2.50%	3.30%	5.70%
Límite Líquido		25% Máx.	0	0	0
Índice de plasticidad		6% Máx.	0	0	0
Equivalente de arena		25% Min	98.99%	90.24%	91.1%
Terrones de arcilla y partículas deleznales		2% Máx.	0.8%	1.5%	0.8%
Proctor	Densidad Máxima (gr/cm3)	N/A	2.09	1.96	2.06
	Humedad óptima (%)	N/A	10.2	7.7	8.6
CBR		30% Min	69.6%	85.4%	53.6%

Fuente: Autor

Tabla 10.2 Impactos visualizados en el trabajo realizado

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social	Mejoramiento de la calidad de la infraestructura vial, mayor durabilidad y seguridad para los conductores.	Al compactar una Subbase de manera correcta el resultado de la estructura de pavimento será mejor, de esta forma las vías tendrán más durabilidad y una alta calidad	Largo
Económico	Al establecer un buen uso de los materiales agregados los costos de mantenimiento bajaran.	Al tener un mejor resultado de las vías, estas no necesitaran de mantenimientos tan continuos.	Largo
Académico	Se aplicarán todos los conocimientos adoptados a lo largo de los semestres cursados	Con base a los conocimientos y diferentes prácticas en los laboratorios será más eficiente la realización de los ensayos establecidos.	Corto
Técnico	Realizar los ensayos en los laboratorios mediante el equipo establecido.	Se usarán los elementos de laboratorio para obtener los resultados necesarios teniendo en cuenta el funcionamiento adecuado de cada equipo.	Mediano

Fuente: Autor

11. CONCLUSIONES

Al analizar los resultados arrojados por el ensayo de granulometría, se logró establecer que las tres canteras coinciden en que el material que explotan y comercializan (subbase) se caracteriza por ser no plástico con altos porcentajes de arena, aportando al material estabilidad y rechazo a la deformación ante agentes ambientales como precipitaciones y altos de temperatura. Con respecto a los resultados obtenidos en los ensayos se evidencia el cumplimiento en su totalidad de las especificaciones establecidas por la norma INVIAS-14.

Aunque las tres canteras cumplieron con los límites establecidos por la norma para los diferentes ensayos aplicados, fue notable que una de estas tres canteras arrojó mejores resultados con respecto a las otras en la mayoría de los ensayos, a esto se contribuye que la cantera destacada obtiene el material de explotación del río Guatiquía y las otras dos del río Guayuriba, indicando que esta cantera tiene mejores procesos de explotación del material.

Con base a lo anterior y teniendo en cuenta que estas tres canteras son puntos importantes de distribución de subbase granular en la ciudad de Villavicencio y sus alrededores, se concluye que todos los materiales analizados en el presente trabajo están en óptimas condiciones para ser usados en las estructuras de pavimento, además se demuestra que esta ciudad cuenta con buen material de explotación y que el proceso de tratado del material es adecuado.

Para futuros trabajos de investigación que tengan como objetivo evaluar el material que está siendo usado para la construcción de subbase granular es recomendable añadir el ensayo de porcentaje de caras fracturadas, ya que permite incrementar la resistencia al corte y así mismo genera una mayor fricción entre las partículas, de esta manera se obtendrá más precisión a la hora de estudiar el comportamiento del material.

Por otro lado, se considera evidente que la razón por la que las estructuras de pavimentos están fallando antes de la vida útil establecida no son materiales deficientes en la subbase granular, por esto es pertinente evaluar el material usado para las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento, los procesos constructivos, las cantidades de obra, los diseños de estas estructuras de pavimentos, entre otras posibles causas de las fallas tempranas en los pavimentos para empezar a evaluar el por qué se está cometiendo el error y trabajar en la corrección y mejora del causante de la falla.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. A. Rondon Quintana y F. A. Reyes Lizcano, PAVIMENTOS Materiales, construcción y diseño, Bogota: ECOE, 2011.
- [2] I. E. 218-07, Resistencia al desgaste de los agregados " máquina de los ángeles", Colombia, 2014.
- [3] I. E-238, Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato Micro-Deval, Colombia, 2014.
- [4] I. E-220, Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, Colombia, 2014.
- [5] I. E-125, Determinación del límite líquido de los suelos, Colombia, 2014.
- [6] I. E-126, Límite plástico e índice de plasticidad de suelos, Colombia, 2014.
- [7] I. E-133, Equivalente de arena de suelos y agregados finos, Colombia, 2014.
- [8] I. E. 211, Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados, Colombia, 2014.
- [9] I. E-148, Relación de soporte del suelo en el laboratorio, Colombia, 2014.
- [10] I. E-230, Índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados para carreteras, Colombia, 2014.
- [11] I. E-239, Determinación del contenido de vacíos en agregados finos no compactados, Colombia, 2014.
- [12] I. E-224, Evaluación de la resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método de 10% de finos, Colombia, 2014.
- [13] M. C. L. Chingate Y C. A. Gonzales Peña, «Caracterización mineralógica, porosimétrica y estructural de agregados pétreos en canteras del río Guatiquía,» Bogotá, 2017.
- [14] W. L. Roperro Angarita y G. S. Antony, Caracterización físico.mécanica de los agregados pétreos en el municipio de Ocaña, OCAÑA: TRABAJO DE GRADO , 2014.
- [15] E. F. RAMIREZ, «Apoyo en la caracterización y control de calidad en las canteras y en la vía de los materiales utilizados en la construcción de la doble calzada ruta del sol sector 2,» 10 04 2012. [En línea]. Available: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1232/1/28823.pdf>. [Último acceso: 11 20 2019].
- [16] Y. G. Herrera Álvarez y M. A. Mejía Niño, Clasificación de la fracción fina de materiales provenientes del rio Guayuriba en la ciudad de Villavicencio-Meta, a partir de su valor de azul de metileno y su relación con la clasificación por el sistema unificado y sistema AASHTO, Bogotá, Programa de especialización en ingeniería de pavimentos, 2016.

- [17] «Repositorio Universitario UCC,» 07 2014. [En línea]. Available: <http://repository.ucc.edu.co/handle/ucc/5105>. [Último acceso: 01 03 2019].
- [18] «Repositorio Universitario Santo Tomas de Bogotá,» 2017. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9586/Su%C3%A1rezAndr%C3%A9s2017.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 10 03 2019].
- [19] «Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil,» 07 2008. [En línea]. Available: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/86/Tesis%20BASES%20Y%20SUBBASESmendozamendiola.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 10 03 2019].
- [20] «Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia,» 2012. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/465>. [Último acceso: 12 03 2019].
- [21] C. A. O. L. ,. F. V. R. Carlos Andrés Chacón Pérez, «clasificación de la fracción fina de materiales provenientes de canteras aledañas a bogotá, a partir de su valor de azul de metileno y su relación con la clasificación por el sistema unificado y sistema aashto,» Bogotá, 2016.
- [22] A. C. Sole, Instrumentación Industrial, México: Alfaomega, 2006.

ANEXOS

A. REGISTRO FOTOGRÁFICO

Las fotografías (1) y (2) fueron tomadas en el barrio la Rochela y barrio 20 de julio, respectivamente, de la ciudad de Villavicencio por “HSBNoticias” en la cual se observan un tipo de falla por pérdida de las capas de la estructura con un grado de severidad alto ya que están a una profundidad mayor de 2.5 cm. Este daño es denominado como bache y se caracteriza por que una parte de la capa asfáltica se desprende totalmente, dejando la capa granular expuesta.



Fotografía 1. Barrió la Rochela
Fuente: HBS Noticias.com



Fotografía 2. Barrió 20 de julio V/cio
Fuente: HBS Noticias.com

Las fotografías (3) y (4) fueron tomadas en el barrio Ruby de la ciudad de Villavicencio por “Informando noticias” donde se realizó unas manifestaciones por los daños que se presentan en las vías, donde los enmarcan con el fin de ser visualizados para mostrar la cantidad y de igual manera evitar accidentes. Esta falla se ejecuta por pérdida de las capas de la estructura y tienen un grado de severidad alto ya que están a una profundidad mayor de 2.5 cm. Este daño es denominado como bache y se caracteriza por que una parte de la capa asfáltica se desprende totalmente, dejando la capa granular expuesta.



Fotografía 3. Barrió el Ruby, Villavicencio
Fuente: Informando.com



Fotografía 4. Barrió el Ruby, Villavicencio
Fuente: Informando.com

CANTERA	FOTOGRAFÍA
MINA GUATIQUEIA SAS	
GRAVICON SA	
OTRANSPELL	

Fuente: Autor

B. COTIZACIONES



Villavicencio, 09 de febrero de 2019.

Señorita
YESICA DAYANA ROMERO VALBUENA
C.C. 1032486860
Ciudad

Asunto: COTIZACION

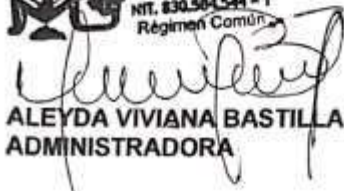
Por medio de la presente me permito cotizarle según su requerimiento el siguiente material:

MATERIAL	CANT	UNID	PRECIO
SUB - BASE GRANULAR 2"	1	M³	27.000

La empresa Mina Guatiquia Centro S.A.S. con Nit. 830-504-544-1 cuenta con Título Minero EKS – 151 y Plan de Manejo Ambiental mediante la resolución N°. 2.6.04-504, ubicada en la ciudad de Villavicencio en la vereda Vanguardia

Agradezco la atención prestada y en espera de poder servirles.

Atentamente,

MINA GUATIQUEIA C. S.A.S.
NIT. 830.504.544 - 1
Régimen Común

ALEYDA VIVIANA BASTILLA UMAÑA
ADMINISTRADORA

Carretera 33A No. 37-14 Of. 501 Edif. Naty Cel. 314 355 55 74 / 314 355 68 14 Planta: 314 355 55 91 Villavicencio (Meta) Colomb
E-mail: minaguatiquia@gmail.com- Pagina Web: www.minaguatiquia.com



Señor
YESICA ROMERO VALBUENA

Cordial saludo,

Asunto, **COTIZACION**

Respetuosamente me permito dar a conocer el valor comercial de los agregados pétreos de la Mina ZAFIRO Fuente río Guayuriba, ubicación 13 km de la Chevrolet hacia adentro por la ruta de puente caído.

PRECIOS

MATERIALES	VALOR X M3 SIN IVA	PLANTA
SUB BASE 2" TIPO INVIA	\$24.000	Zafiro

Precios sin IVA

Elizabeth Rincón
Comercial
3165219865 - 3202733573

OTRANSPEL LTDA
Calle 2 sur # 30a -75
bosques de Rosa Blanca
Teléfono: 661 31 97 Cel.: 312 450 65 17
Villavicencio - Meta - Colombia



Villavicencio, 08 Febrero 2019

SRTA:
JESICA ROMERO VALBUENA

REF: COTIZACION SUMINISTRO AGREGADOS PETREOS.

Cordial saludo, con el fin de suministrar nuestro agregado pétreo a su nuevo proyecto, me permito dar a conocer el valor comercial del agregado pétreo que producimos en nuestra planta Gravicon S.A. – ubicada en Villavicencio – Meta.

Valor comercial agregado:

PRODUCTO	VALOR M3
SUB-BASE GRANULAR	\$ 29.000

*Los precios anteriores incluyen el costo del IVA.

El Agregado pétreo es procedente del Rio Guayuriba y se suministrara de acuerdo a las especificaciones técnicas Acordadas.

Quedo atento a cualquier comentario,

Cordialmente;

HUGO ANDRES BAQUERO MEDINA
Gerente – Gravicon S.A.
Elaboro: Paola Baquero.

Oficina P/pal: Cra. 15 No. 73-32 Oficina 306 Tel. (1) 3170454 Cel. 315-200-3036 Bogotá D.C.
Oficina Villavicencio: Cra 32 No. 38 – 70 Of. 1202 Tels.: (8) 6722309 – 6627177 Fax: 6621073
Planta: Km. 12 vía Villavicencio a Acacias Cel: 318-280-1960 Tels. 6659737/38/39