

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Incidencia de la calidad de agregados y calidad de agua en el
tiempo de mezcla de micropavimentos dentro del Distrito
Metropolitano de Quito**

Edwin Alexander Monteros Sánchez

Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 16 de diciembre de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

**Incidencia de la calidad de agregados y calidad de agua en
micropavimentos dentro del Distrito Metropolitano de Quito**

Edwin Alexander Monteros Sánchez

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico:

Luis Gustavo Boada Parra, MSc

Firma del profesor:

Quito, 16 de diciembre de 2019

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Edwin Alexander Monteros Sánchez

Código: 127026

Cédula de Identidad: 172449669-8

Lugar y fecha: Quito, 16 de diciembre de 2019

RESUMEN

La presente investigación se fundamenta en el estudio de la incidencia de los agregados minerales y agua de fuentes hídricas cercanas a cada cantera estudiada usado en la conformación de micropavimentos en el Distrito Metropolitano de Quito, de ese modo analizando la calidad, limpieza y actividad de los mismos, además de examinar el tiempo de mezcla esperado para cada una de las diferentes mezclas, junto con su granulometría y dosificación. Para ello fue necesario realizar un muestreo de material de cinco diferentes canteras, las cuales son: cantera Pifo, cantera Javier Robalino, cantera Nayón, cantera Naranjo López y cantera de Guayllabamba, con el fin de comparar las características físicas y mecánicas de los agregados que estas minas ofrecen por medio de ensayos de laboratorio como, Azul de Metileno, Equivalente de Arena, Abrasión, Sanidad de agregados mediante el uso de sulfato de magnesio, cada una de ellas basadas específicamente por las normas ISSA, ASTM, INEN y INV las cuales regulan y garantizan su correcta aplicación.

Palabras clave: Agregado mineral, micropavimentos, canteras, abrasión, agua, tiempo de mezcla

ABSTRACT

This investigation bases on the incidence of mineral aggregates and water founts, which are located near the analyzed quarries; used in micro surfacing from the metropolitan district of Quito. The parameters analyzed were quality, cleanness, activity and the mix time expected for every different kind of mix. In order to do the analysis, five different material sampling were made from different quarries: Pifo, Javier Robalino, Nayon, Naranjo Lopez and Guayllabamba. The mechanical and chemical properties were analyzed and compared with each other through laboratory tests: Qualitative detection of harmful clays of the smectite group in aggregates using methylene blue, sand equivalent value of soils and fine aggregate, resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine, use of sodium sulfate of magnesium sulfate. Each test was based on ISSA, ASTM, INEN, INV standards that regulate and guaranties the correct application of each test.

Key words: Mineral aggregate, micro-surfacing, quarry, resistance to degradation, water, mixing time.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Justificación	18
1.3. Uso de micropavimento	21
1.4. Tipos de micropavimentos	21
2. ÁRIDOS	22
2.1. Árido Grueso	22
2.2. Árido fino	24
2.3. Limpieza	25
2.4. Canteras	26
2.4.1. Cantera Guayllabamba	26
2.4.2. Cantera Javier Robalino	27
2.4.3. Cantera Pifo	28
2.4.4. Cantera Nayón	28
2.4.5. Cantera Naranjo López	29
2.5. Objetivos Generales	29
2.6. Objetivos Específicos	29
2.7. Normativa	30
3. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	31

3.1. Muestreo de Agregados	31
3.2. Ensayo Valor de Azul de Metileno	32
3.2.1. Descripción del ensayo	32
3.2.2. Materiales	33
3.2.3. Procedimiento	34
3.2.4. Resultados.....	35
3.3. Ensayo de Abrasión	36
3.3.1. Descripción del ensayo	36
3.3.2. Equipos y Materiales	38
3.3.3. Procedimiento	39
3.3.4. Resultados.....	40
3.4.1. Descripción del ensayo.	41
3.4.2. Equipos y Materiales	42
3.4.3. Procedimiento	43
3.4.4. Resultados.....	45
3.5. Ensayo Equivalente de Arena	46
3.5.1. Descripción del ensayo	46
3.5.2. Equipos y Materiales	46
3.5.3. Procedimiento	47
3.5.4. Resultados.....	48
4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	49
4.1. Definición	49

4.2.	Impurezas del Agua	49
4.3.	Agua en Emulsiones asfálticas	51
4.4.	pH fuentes hídricas.	52
5.	MEZCLAS ASFALTICAS EN FRÍO.....	53
5.1.	Granulometría.....	53
5.2.	Tiempos de Rotura.....	54
5.3.	Mezclas Bituminosas en frío	55
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYOS REALIZADOS	59
6.1.	Ensayo Azul de Metileno.....	59
6.2.	Ensayo de Abrasión	60
6.3.	Ensayo de sanidad de los agregados mediante el uso de Sulfato de Magnesio.....	61
6.4.	Ensayo Equivalente de Arena	61
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
8.	BIBLIOGRAFÍA	66
9.	ANEXOS.....	68
9.1.	ANEXO A	68
9.1.1.	Cantera Nayón.....	68
9.1.2.	Cantera Guayllabamba	68
9.1.3.	Cantera Naranjo López.....	69
9.1.4.	Cantera Pifo	69
9.1.5.	Cantera Javier Robalino	70

9.2. ANEXO B	71
9.2.1. Granulometría cantera Nayón	71
9.2.2. Granulometría cantera Guayllabamba	72
9.2.3. Granulometría cantera Naranjo López	73
9.2.4. Granulometría cantera Pifo	74
9.2.5. Granulometría cantera Javier Robalino	75
9.3. ANEXO C	76
9.3.1. Relación tiempo de rotura cantera Nayón.	76
9.3.2. Relación tiempo de rotura cantera Naranjo López.	76
9.3.3. Relación tiempo de rotura cantera Guayllabamba.	77
9.3.4. Relación tiempo de rotura cantera Pifo.	77
9.3.5. Relación tiempo de rotura cantera Javier Robalino.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa del Distrito Metropolitano de Quito (Municipio de Quito).....	15
Figura 2 Deterioro del pavimento.....	18
Figura 3 Mapa Red vial del Ecuador (MTOPE)	19
Figura 4 Granulometría para micropavimentos, tomada de la norma A 143 de la ISSA.	20
Figura 5 Geometría de lajas.....	23
Figura 6 Cantera Guayllabamba.....	27
Figura 7 Cantera Javier Robalino	27
Figura 8 Cantera Pifo.....	28
Figura 9 Cantera Nayón.....	28
Figura 10 Cantera Naranjo López	29
Figura 11 Muestreo de agregados.....	32
Figura 12 Materiales ensayo de Azul de Metileno.....	33
Figura 13 Lechada incluyendo la solución de Azul de Metileno.....	34
Figura 14 Diagrama de barras resultados ensayo Azul de Metileno.....	36
Figura 15 Especificaciones Máquina de los Ángeles tomado de la norma ASTM C133.	38
Figura 16 Material junto a las esferas de acero	40
Figura 17 Máquina de los Ángeles	40
Figura 18 %Pérdida por Abrasión	41
Figura 19 Material Seco	45
Figura 20 Estado de inmersión.....	45
Figura 21 %Ponderado de Pérdida	46
Figura 22 % Equivalente de Arena.....	49

Figura 23 Valor pH fuentes hídricas.....	52
Figura 24 curva granulométrica cantera Guayllabamba.....	53
Figura 25 Mezcla sin llegar a la rotura	54
Figura 26 Mezcla rota.....	54
Figura 27 pH agua básica.	57
Figura 28 pH agua ácida.....	58
Figura 29 pH agua potable.....	58
Figura 30 Variación de tiempo de mezcla con diferente pH.	59
Figura 31 Curva granulométrica cantera Nayón.....	71
Figura 32 Curva granulométrica cantera Guayllabamba.	72
Figura 33 Curva granulométrica cantera Naranjo López	73
Figura 34 Curva granulométrica cantera Pifo.....	74
Figura 35 Curva granulométrica cantera Nayón.....	75
Figura 36 Relación tiempo de rotura cantera Nayón.	76
Figura 37 Relación tiempo de rotura cantera Naranjo López.	76
Figura 38 Relación tiempo de rotura cantera Guayllabamba.	77
Figura 39 Relación tiempo de rotura cantera Pifo.....	77
Figura 40 Relación tiempo de rotura cantera Javier Robalino.	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valor de azul de metileno y desempeño futuro.	35
Tabla 2 Resultados generales ensayo Azul de Metileno.	36
Tabla 3 Graduaciones de muestra de ensayo.	37
Tabla 4 Cargas de esferas de acero según graduación de la muestra.	38
Tabla 5 Resultados ensayo de Abrasión.	41
Tabla 6 Serie de tamices agregado fino.	42
Tabla 7 Fracciones de tamices por muestra.	44
Tabla 8 Resultados ensayo Sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de magnesio.	45
Tabla 9 Resultados Equivalente de Arena.	48
Tabla 10 Granulometría cantera Guayllabamba.	53
Tabla 11 Fuente y cantera más cercana.	55
Tabla 12 Porcentaje de emulsión, agua y cemento usado.	56
Tabla 13 Tiempo de rotura utilizando agua de la fuente cercana.	56
Tabla 14 Tiempo de rotura utilizando agua potable.	57
Tabla 15 Tiempo de rotura pH utilizando agua básica y ácida.	58
Tabla 16 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Nayón.	68
Tabla 17 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Guayllabamba.	68
Tabla 18 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Naranjo López.	69
Tabla 19 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Pifo.	69

Tabla 20 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Javier Robalino.....	70
Tabla 21 Granulometría cantera Nayón.....	71
Tabla 22 Granulometría cantera Guayllabamba.....	72
Tabla 23 Granulometría cantera Naranjo López.	73
Tabla 24 Granulometría cantera Pifo.....	74
Tabla 25 Granulometría cantera Javier Robalino	75

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El distrito metropolitano de Quito se encuentra ubicado en el centro norte de la provincia de Pichincha en la región Sierra de la república del Ecuador, con una superficie de 4230.6 kilómetros cuadrados. El distrito se encuentra limitado al norte con la Provincia de Imbabura, al sur con los cantones Rumiñahui y Mejía, al este con los cantones Pedro Moncayo, Cayambe y la provincia del Napo, al oeste con los cantones Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos y Provincia de Santo domingo de los Tsáchilas.

El distrito se divide en 32 parroquias urbanas y 32 parroquias rurales.

Parroquias urbanas, Belisario Quevedo, Carcelén, Centro Histórico, Chilibulo, Chillogallo, Chimbacalle, Cochapamba, Comité del Pueblo, Concepción, Cotocollao, El Condado, El Inca, Guamaní, Ñaquito, Itchimbía, Jipijapa, Kennedy, La Argelia, La Ecuatoriana, La Ferroviaria, La Libertad, La Mena, Magdalena, Mariscal Sucre, Ponceano, Puengasí, Quitumbe, Rumipamba, San Bartolo, San Juan, Solanda, Turubamba. Fuente: Municipio de Quito.

Parroquias rurales, Alangasí, Amaguaña, Atahualpa, Calacalí, Calderón, Chavezpamba, Checa, Conocoto, Cumbayá, El Quinche, Gulea, Guangopolo, Guayllabamba, La Merced, Llano Chico, Lloa, Nanegal, Nanegalito, Nayón, Nono, Pacto, Perucho, Pifo, Píntag, Pomasqui, Puéllaro, Puembo, San Antonio de Pichincha, San José de Minas, Tababela, Tumbaco, Yaruquí, Zámbiza. Fuente: Municipio de Quito.

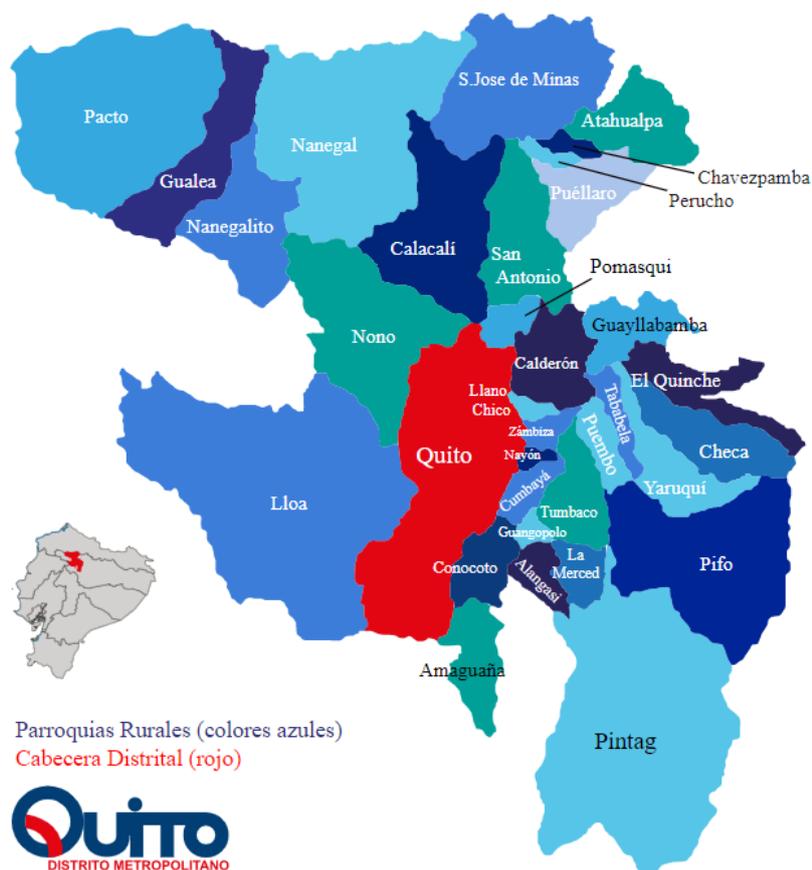


Figura 1 Mapa del Distrito Metropolitano de Quito (Municipio de Quito)

Fuente: Municipio de Quito.

Desde el descubrimiento de la rueda el ser humano ha impulsado la comunicación y el transporte entre comunidades aledañas, para ello es necesario tener un terreno firme y estable, debido a ello se originó la construcción de carreteras, los romanos fueron los pioneros en utilizar el pavimento “científicamente”, así mismo, fueron los primeros en comprender la importancia de conservar y mantener las vías en un buen estado. Para la época se desarrolló un método de conteo de vehículos y animales que utilizarán la vía, con ello estimando la cantidad de material necesario para diseñar la carretera, de ese modo manteniendo en óptimas condiciones la red vial de ese entonces. (Fundora Ayuso, 2019)

El pavimento es una estructura constituida por capas, establecida sobre una subrasante, con el principal objetivo de soportar y disipar las cargas ejercidas por tránsito

de vehículos. De ese modo transmitiendo una carga mínima a los mantos inferiores, la estructura está conformada por varias capas de diferentes materiales, el espesor de la capa asfáltica es proporcional al tiempo de vida que se espera que sea útil la carretera.

El pavimento constituye el elemento de mayor aporte a la capacidad estructural y funcional de las carreteras, por otro lado, también es el componente más importante de una carretera, al representar casi el 50% de los egresos en el presupuesto de construcción de proyectos viales. Dada la gran inversión, cualquier manejo o mantenimiento muestra un considerable ahorro de dinero y un significativo incremento de los beneficios para los usuarios. (Fundora Ayuso, 2019)

El mantenimiento vial es una acción primordial para una carretera, se define como las actividades que prevé o soluciona daños no tan considerables, existe tres tipos de mantenimiento.

- **Mantenimiento rutinario.**

Consta de actividades menores, como limpieza, reposición puntual de la demarcación, estas actividades pueden ser desarrolladas de manera manual. (Recuenco Aguado, 2017)

- **Mantenimiento periódico.**

Consta de actividades proyectadas de 1 a 3 años desde la apertura de la carretera, renovando las condiciones iniciales del pavimento, comúnmente está constituida por tratamientos superficiales como aplicación de lechadas asfálticas, aplicación de lastre. con ello se logra mejorar la capacidad de la superficie del pavimento existente, la conservación se realiza en carreteras con daños puntuales, los cuales han sido provocados por el tráfico, clima o eventos naturales. (Recuenco Aguado, 2017)

- **Rehabilitación y mejoramiento.**

Constituye una reconstrucción total de la estructura vial, removiendo el pavimento deteriorado y colocando un nuevo diseño. De ese modo aumentando la capacidad estructural del pavimento. (Recuenco Aguado, 2017)

La mejor manera de conocer la condición del pavimento es el método de PCI (Pavement Condition Index), el cual consiste en la evaluación visual, severidad, identificando fallas encontradas, este método objetivo fue desarrollado para obtener el índice de la integridad estructural del pavimento, el mismo que es usado para dar un valor que represente el estado del pavimento, de esa manera planificar los trabajos de mantenimiento necesarios. (Rodríguez Velásquez, 2009)

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del pavimento si recibe mantenimiento, sea este rutinario o periódico, en este caso al dar mantenimiento se alarga de una manera considerable la vida útil de la carretera, invirtiendo una cantidad pequeña de dinero, caso contrario se observa que el comportamiento tiende a un valor de 17% de la vida útil en un periodo de tiempo entre 10 y 15 años. Los costos de rehabilitación pueden ser de 1 a 8 veces el costo de mantenimiento así lo describe Gregory Kelly et al. (Kelly, Delaney, & Mohamed, 2016)

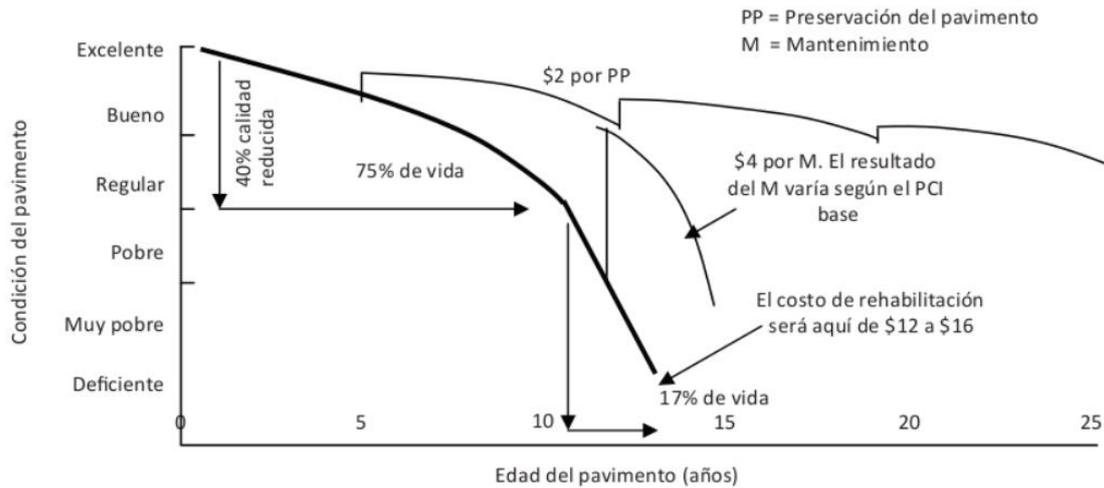


Figura 2 Deterioro del pavimento

Fuente: (Kelly, Delaney, & Mohamed, 2016)

1.2. Justificación

La red vial ecuatoriana consta de 3 tipos, Red vial Estatal la cual constan vías primarias y secundarias la misma que está controlada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Red vial Provincial consta de vías terciarias, la cual se encuentra controlada por el Gobierno Provincial, por último, la Red vial Cantonal, la misma que está conformada por caminos vecinales y calles urbanas, controladas por el gobierno municipal.

normado y estandarizado por ISSA (International Slurry Surfacing Association). (Urgiles Guarderas & Boada Parra, 2011)

La mezcla asfáltica se caracteriza también por ser un sistema de rápida apertura al tránsito, es decir debe ser apto para aceptar el tránsito después de un corto periodo de tiempo de ser aplicado sobre el terreno preparado, en cada proyecto el tiempo de apertura es distinto y se debe analizar de manera independiente, pero se estima que el tiempo promedio de apertura al tránsito es de una hora, cuando el espesor del micropavimento no supera la media pulgada (12,7 mm), por otro lado, también se conoce que la temperatura empleada es de 24°C y 50% o menos de humedad. (Barrionuevo Aldaz, 2012)

La ISSA en su norma A 143 recomienda la granulometría a utilizar para desarrollar micropavimentos, donde basándose en las normas AASTHO T 27 (ASTM C 136) y AASTHO T 11 (ASTM C 117) deben ser los siguientes:

SIEVE SIZE	TYPE II PERCENT PASSING	TYPE III PERCENT PASSING	STOCKPILE TOLERANCE
3/8 (9.5 mm)	100	100	
# 4 (4.75 mm)	90 - 100	70 - 90	± 5%
# 8 (2.36 mm)	65 - 90	45 - 70	± 5%
# 16 (1.18 mm)	45 - 70	28 - 50	± 5%
# 30 (600 um)	30 - 50	19 - 34	± 5%
# 50 (330 um)	18 - 30	12 - 25	± 4%
#100 (150 um)	10 - 21	7 - 18	± 3%
#200 (75 um)	5 - 15	5 - 15	± 2%

Figura 4 Granulometría para micropavimentos, tomada de la norma A 143 de la ISSA.

FUENTE: Norma ISSA A143

1.3. Uso de micropavimento

Como ya se dijo anteriormente, la forma más factible de usar el micropavimento es de manera superficial, de ese modo corrigiendo los problemas de ahuellamiento, sellado de grietas, estas operaciones son antiguas pero eficientes, consiguiendo así una superficie de rodadura rugosa e impermeable. (Fernandez del Campo, 1983)

A continuación, se enlista los posibles usos del micropavimento.

- Pérdida de fricción, desprendimientos superficiales.
- Nivelación mínima.
- Sellado de grietas.
- Llenado de vacíos.
- Problemas de bacheo poco profundos.
- Tratamiento Estético.

1.4. Tipos de micropavimentos

Al conocer que el micropavimento es una mezcla asfáltica de alto rendimiento, se tiene una estricta clasificación dependiendo el tamaño nominal del agregado, a continuación, se muestra la clasificación realizada por el ISSA (International Slurry Surfacing Association)

Tipo I: Principalmente es utilizada en zonas de tráfico bajo, se utiliza para realizar sellados superficiales, sellante de agregado, y método previo a un recabado asfáltico. (Urgiles Guarderas & Boada Parra, 2011)

Tipo 2: Es la lechada más usualmente usada, ya que este tipo de micropavimento tiene la capacidad de proteger del desgaste excesivo y daño por efecto de erosión, del

mismo modo mejora la fricción superficial en carreteras de tráfico moderado. (Urgiles Guarderas & Boada Parra, 2011)

Tipo 3: Principalmente usado para corregir problemas superficiales graves, como ahuellamiento y llenado de vacíos en carreteras de alto nivel de tráfico. (Urgiles Guarderas & Boada Parra, 2011)

2. ÁRIDOS

Los áridos son elementos granulares pétreos formados por fragmentos de roca o arena utilizados especialmente en la construcción de obras civiles, como viviendas, calles, carreteras, autopistas, vías de ferrocarril, etc. Este material conforma gran porcentaje (mayor al 80%) en la construcción de firmes, que proporciona una superficie de rodadura regular y cómoda para el tránsito, también llamada esqueleto mineral, esta capa tiene como finalidad soportar las cargas repetitivas generadas por el tráfico. Los áridos se clasifican en gruesos y finos.

2.1. Árido Grueso

Según la norma INEN 696:2011 el árido grueso tiene partículas superiores a 9.5mm, como tamaño máximo nominal, el árido grueso es el principal encargado de componer el esqueleto mineral, con ello es el responsable de la resistencia mecánica.

Los áridos según su aplicación y las propiedades se clasifican en,

- **Propiedades Geométricas.**

La Geometría del material se califica en, redondeadas, cúbicas, lajas y agujas, redondeada se define al árido con forma esférica o elíptica, no es recomendable trabajar con áridos de esta forma, ya que proporciona grandes

vacíos entre capas, el momento de redistribución de material puede ser causante de figuración de la capa superficial. Los áridos cúbicos son los mejores ya que por su geometría su resistencia es similar en todas sus caras, por otro lado, también el número de vacíos entre capas es mínimo, su forma permite una distribución uniforme, en cambio, se denomina lajas al árido que tiende a ser plano, suponiendo que un árido tiene un prisma rectangular y siendo:

$$E < A < L$$

Donde:

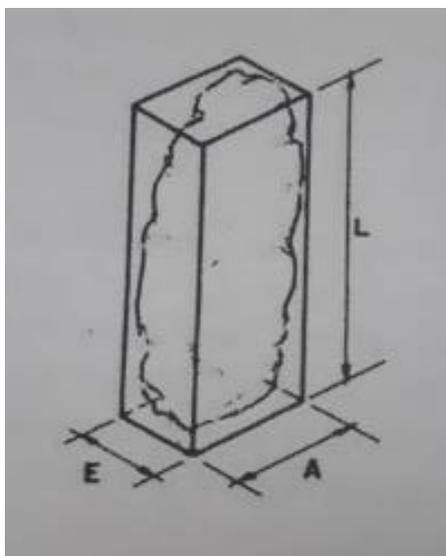


Figura 5 Geometría de lajas

FUENTE: (Recuenco Aguado, 2017)

Una laja se define cuando la relación $\left(\frac{E}{A} = \frac{3}{5}\right)$ las lajas no son utilizadas ya que su resistencia es sumamente limitada, tiende a fracturarse con facilidad en la compactación o en la generación de carga por el tráfico cuando la carretera este en servicio, trayendo con ello problemas y cambios en la granulometría usada para

generar el esqueleto mineral, mostrando problemas estructurales, disminución considerable de la resistencia mecánica. Por otra parte, se define como árido tipo aguja cuando la relación $(\frac{E}{A} = \frac{9}{5})$ claramente este tipo de material tampoco es recomendable ya que tiene igual o peor consecuencia que el material tipo lajas. (Recuenco Aguado, 2017)

- **Propiedades Mecánicas.**

Las propiedades mecánicas de los áridos fundamentalmente se caracterizan por: Resistencia a la fragmentación por aplastamiento, Resistencia al desgaste por rozamiento entre partículas y Resistencia al pulimiento de superficie. Emilio Recuenco muestra que la mejor manera de calcular la resistencia a la fragmentación es el coeficiente de friabilidad, el cual mide el porcentaje de material fino generado por la rotura de vértices y aristas. La resistencia al desgaste se determina mediante el ensayo Desgaste mediante Máquina de los Ángeles, y finalmente la resistencia al pulimiento se calcula mediante el ensayo de pulimiento acelerado, mostrando un coeficiente de rozamiento que muestra la velocidad con la cual un material llega a desgastarse frente a una rueda de caucho. (Recuenco Aguado, 2017)

- **Propiedades Químicas.**

Los áridos pueden tener consigo sustancias perjudiciales para la generación del pavimento, generando problema de adhesividad con ligantes, proporcionando problemas en el firme a la acción del agua. (Recuenco Aguado, 2017)

2.2. Árido fino

Igualmente, la norma INEN 696-2011 describe al árido fino las partículas inferiores a 9.5 mm como tamaño máximo nominal hasta el material retenido del tamiz N°200, estas partículas están encargadas en rellenar los vacíos que genera el árido grueso, de ese modo intensificando la densidad del conjunto. (Mathew & Rao, 2007)

Las propiedades del árido fino no necesariamente son las mismas, se aclara que el árido fino no cumple con la funcionalidad del árido grueso en la formación de firmes, la principal característica de agregado fino es que no debe ser plástico en el ensayo de los límites de Atterberg, la contaminación con partículas $< 80\mu$ es común, para detectar este tipo de problemas se utiliza el ensayo equivalente de arena. (Mathew & Rao, 2007)

2.3. Limpieza

El problema más importante que se encuentra el momento de la selección del material es el contenido de impurezas orgánicas, ya que estas producen reacciones químicas el momento de la hidratación, afectando considerablemente a la adherencia del agregado y de ese modo la resistencia y durabilidad del pavimento. (Montejo Fonseca, 2006).

Los áridos deben estar libres de polvo, suciedad, arcilla u otras materias externas, este tipo de impurezas producen problemas de adhesividad con ligates, no es sencillo conseguir una limpieza completa, en el momento de generación, transporte y acopio el material tiende a contaminarse, la limpieza se puede evaluar mediante un ensayo que consiste en lavar el material y separar las partículas menores a 0.5mm, expresando un coeficiente de limpieza superficial que generalmente se mantiene en valores entre 0.5 y 2%. (Recuenco Aguado, 2017)

2.4. Canteras

Las canteras de material pétreo son indispensables el momento de realizar un proyecto de construcción, sea este de cualquier tipo, ya que el material pétreo es usado tanto para la conformación de hormigón, como la conformación de asfaltos, en los dos campos de ingeniería es imprescindible la localización de la cantera, ya que los costos de transporte son altos, en este caso, es importante conocer que las canteras y yacimientos en explotación otorgan áridos naturalmente explotados o triturados, de distinto tamaño.

Es necesario conocer el tipo de material que se puede obtener, grandes canteras se han ubicado en las faldas del volcán Antisana, por otro lado, también están ubicadas a orillas de diferentes ríos distribuidos por los alrededores del Distrito de Quito. (Urgiles Guarderas & Boada Parra, 2011)

Es clave conocer el tipo de material pétreo se puede encontrar en las diferentes canteras, por ello se realizará una comparación analítica como mecánicamente, de los agregados minerales usados para la formación de micropavimentos en el Distrito Metropolitano de Quito, se realizó el respectivo muestreo de agregados de cinco diferentes canteras distribuidas por el Distrito, a continuación, se realizará una breve reseña y se mencionará características de cada cantera visitada.

2.4.1. Cantera Guayllabamba.



Figura 6 Cantera Guayllabamba.

Se encuentra ubicada en la panamericana norte (28B), (tramo Calderón-Guayllabamba) a las orillas del río Guayllabamba, con coordenadas UTM 792340.84E 999292.28N 17M

2.4.2. Cantera Javier Robalino.



Figura 7 Cantera Javier Robalino

Javier Robalino más conocida como los pica piedras se encuentra ubicada en San Antonio de Pichincha, con coordenadas UTM 785243.86E 330216.16N 17N.

2.4.3. Cantera Pifo.



Figura 8 Cantera Pifo

Ubicado al este de la población de Pifo, en la vía Quito-Papallacta, con coordenadas UTM 803701.17E 9973619.33N 17M, principalmente está formado por el afloramiento relacionado con el Antisana, el flujo de lava con transición a brechas.

2.4.4. Cantera Nayón.



Figura 9 Cantera Nayón

Ubicada en la parroquia de Nayón, a pocos minutos de la central hidroeléctrica Nayón, con coordenadas UTM 788079.94E 9981125.15N 17M

2.4.5. Cantera Naranjo López



Figura 10 Cantera Naranjo López

Ubicada en la panamericana E35, a pocos minutos del relleno sanitario de Quito, con coordenadas en UTM 793612.48E 9967793.47N 17M

2.5. Objetivos Generales

- Examinar la influencia de la calidad del agregado y agua en el tiempo de mezcla de micropavimentos para el Distrito Metropolitano de Quito.
- Generar una tendencia de variación entre el tiempo de mezcla y el pH del agua utilizada.
- Determinar la calidad de los agregados mediante ensayos de laboratorio aplicando normas específicas.

2.6. Objetivos Específicos

- Discutir la importancia de la calidad del agua en la formación de micropavimentos.

- Investigar las zonas de abastecimiento de agregado para la conformación de micropavimento usado para el Distrito Metropolitano de Quito.
- Reportar conclusiones obtenidos al final del proyecto.

2.7. Normativa

ASTM C 136	STANDART TEST METHOD FOR SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES
ISSA A143	RECOMMENDED PERFORMANCE GUIDELINE FOR MICRO SURFACING
ISSA A105	RECOMMENDED PERFORMANCE GUIDELINE FOR EMULSIFIED ASPHALT SLURRY SEAL
ISSA TB113	TEST METHOD FOR DETERMINING MIX TIME FOR SLURRY SURFACING SYSTEMS
INEN 696:2011	ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMETRICO EN LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO
INEN695:2010	ÁRIDOS MUESTREO
ASTM D75-03	PRÁCTICA NORMATIVA PARA EL MUESTREO DE AGREGADOS
I.N.V.E – 235	VALOR DE AZUL DE METILENO EN AGREGADOS FINOS
AASHTO T 330	STANDART METHOD OF TEST FOR THE QUALITATIVE DETECTION OF HARMFUL CLAYS OF THE SMECTITE GROUP IN AGGREGATES USING METHYLENE BLUE
INEN 860:2011	DETERMINACION DE LA DEGRADACIÓN DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 MM POR MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ANGELES.
ASTM C131	STANDART TEST METHOD FOR RESISTANCE TO DEGRADATION OF SMALL-SIZE COARSE AGGREGATE BY ABRASION AND IMPACT IN THE LOS ANGELES MACHINE
ASTM D977-98	STANDART SPECIFICATION FOR EMULSIFIED ASPHALT
I.N.V.E – 133	EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS

ASTM D2419-14	STANDART TEST METHOD FOR EQUIVALENT VALUE OF SOILS AND FINE AGGREGATE
AASHTO T 176	STANDART METHOD OF TEST FOR PLASTIC FINES IN GRADED AGGREGATES AND SOILS BY USE OF THE SAND EQUIVALENT TEST
INEN 863:2011	DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS MEDIANTE EL USO DEL SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO

3. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

3.1. Muestreo de Agregados

El muestreo de los agregados se realizó en base a la norma ASTM D75, la cual describe la importancia de realizar una correcta práctica, ya que es igual de importante que los demás ensayos, la persona o el técnico que lo realiza debe tomar todas las precauciones necesarias para obtener una muestra que reflejen las condiciones físicas y mecánicas de la fuente del material, el procedimiento de recolección fue completamente al azar, tomando muestras de diferentes bandas transportadoras y de almacenamientos de materiales de las diferentes canteras analizadas, de igual manera se utilizó sacos herméticamente sellados con el fin de prevenir la pérdida o contaminación de la muestra, cada muestra contiene una etiqueta, la cual muestra la identificación del material y de que cantera fue obtenida.



Figura 11 Muestreo de agregados.

3.2. Ensayo Valor de Azul de Metileno

3.2.1. Descripción del ensayo

La limpieza en el agregado mineral fino ha sido un gran problema el momento de realizar el diseño del pavimento en cuestión, ya que reduce considerablemente la resistencia, produce fisuras, filtración de agua, de ese modo generando erosión y el desgaste excesivo del pavimento, adicionalmente produce problemas en el proceso de hidratación, incrementa de una manera significativa el uso de agua, por ello es de suma importancia conocer la cantidad de material orgánico posee.

El ensayo de azul de metileno es uno de los procedimientos de laboratorio más confiable e imprescindible para determinar la cantidad de arcillas dañinas y materia orgánica que se encuentra en el agregado, mediante la capacidad de absorción iónica del agregado fino en presencia de solución de Azul de Metileno de concentración al 5%, su nombre científico es cloruro de metiltionita, el mismo que es un colorante orgánico, la sustancia tiene una forma cristalina, y tiene un tono verde oscuro, es inodoro y estable al aire.

3.2.2. Materiales

- Bureta
- Agitador magnético
- Soporte universal
- Balanza
- Gotero
- Cronómetro
- Platón y tamiz de 75μ (N° 200)
- Matraz volumétrico
- Papel filtro
- Vasos de precipitación de 500 ml tipo griffin
- Azul de metileno
- Agua destilada
- Horno



Figura 12 Materiales ensayo de Azul de Metileno.

3.2.3. Procedimiento

En primer lugar, se tamiza la muestra, se toma 10.0g de pasante del tamiz N° 200, y se coloca en el horno hasta masa constante, esto quiere decir a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas, una vez que se tenga todas las muestras de arena en masa constante se coloca en un vaso de precipitación junto con el agitador magnético y se adiciona 30ml de agua destilada, se bate hasta obtener una lechada, se coloca la bureta sostenida en un soporte universal y se agrega 5ml de la solución azul de metileno y se deja agitar por un minuto, con la ayuda del gotero se toma una gota de la lechada formada, y se la deja caer sobre el papel filtro, a continuación se debe realizar una inspección visual, si la gota al caer en el papel filtro se ha formado alrededor un anillo o aureola azul el ensayo ha llegado a su fin, caso contrario, se adiciona nuevamente 5ml de solución de azul de metileno a la lechada y dejando agitar por 1 minuto hasta obtener la aureola de color azul.

Una vez que se obtiene este punto se continúa agitando durante 5 minutos, se repite el proceso con la prueba del papel filtro como confirmación, si se continúa visualizando la aureola de color azul en el perímetro de la gota se da por terminado el procedimiento, caso contrario se debe seguir realizando el ensayo.

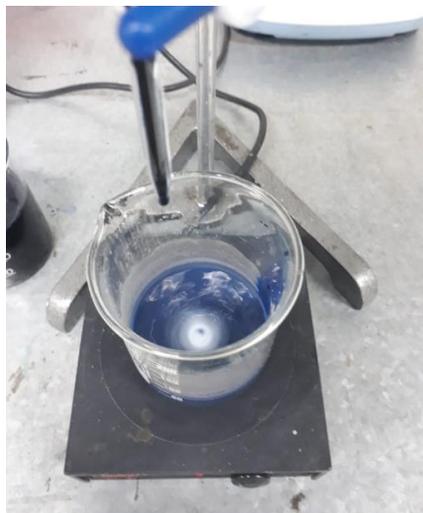


Figura 13 Lechada incluyendo la solución de Azul de Metileno.

Para determinar el desempeño obtenido de cada muestra se debe comparar con la siguiente tabla, la misma que indica el valor de azul de metileno.

Tabla 1 Valor de azul de metileno y desempeño futuro.

Valor de Azul de Metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
≤ 6	Excelente
7-12	Marginalmente aceptable
13-19	Problemas/Posible falla
≥ 20	Fallado

FUENTE: Norma INV E 235

3.2.4. Resultados

La norma INV E-235-07 resalta que la forma para calcular el valor de azul de metileno por gramo de material es el siguiente:

$$VA = \frac{C \times V}{W}$$

Donde:

VA= Valor de Azul de Metileno en mg por gramo de material seco pasante del tamiz N° 200

C= Concentración de la solución Azul de Metileno, en mg de azul por ml de solución.

V= ml de solución de Azul de Metileno requerida.

W= gramos de material seco utilizado en la prueba.

Tabla 2 Resultados generales ensayo Azul de Metileno.

Cantera	Peso de la muestra (g)	Concentración (mg/ml)	Gotas realizadas	Cantidad de Azul de Metileno por gota (ml)	VA (mg/g)
Guayllabamba	10,09	5,00	7	0,50	1,73
Javier Robalino	10,04	5,00	8	0,50	1,99
Pifo	10,08	5,00	7	0,50	1,74
Nayón	10,00	5,00	3	0,50	0,75
Naranjo López	10,01	5,00	10	0,50	2,50

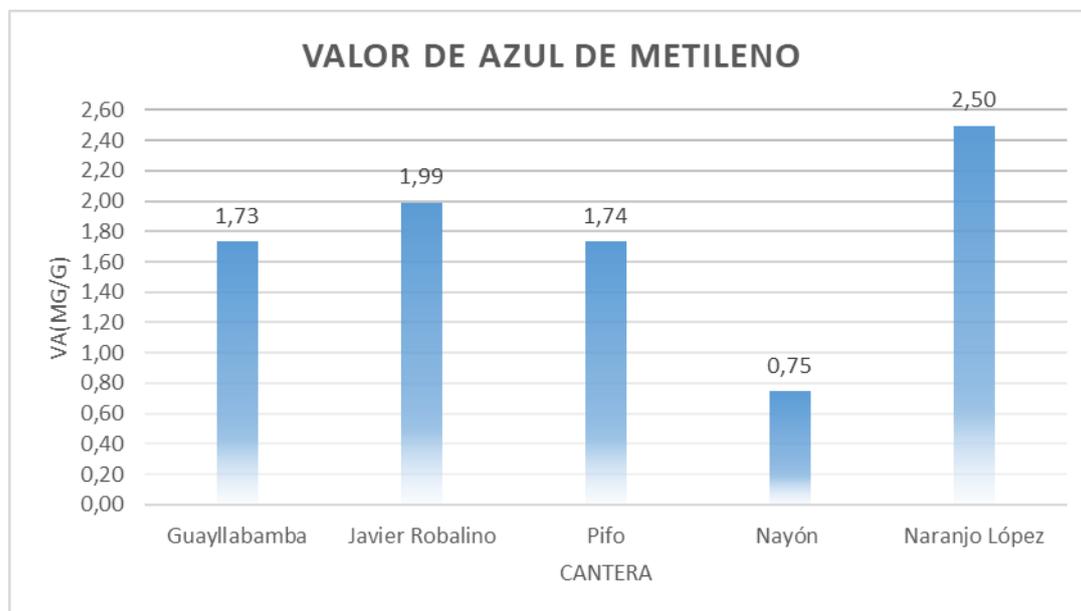


Figura 14 Diagrama de barras resultados ensayo Azul de Metileno.

3.3. Ensayo de Abrasión

3.3.1. Descripción del ensayo

Conocer el desgaste que sufrirá el material pétreo frente a esfuerzos mecánicos es determinante el momento de diseñar un micropavimento, ya que con ello se puede conocer la durabilidad del mismo, como ya conocemos el micropavimento es utilizado principalmente para restaurar la capa superficial de la carpeta asfáltica, si los materiales no tienen la suficiente resistencia al impacto y fricción tendrán un desgaste prematuro.

El ensayo de abrasión muestra el porcentaje de desgaste de los agregados minerales, que resulta al ser sometidas a acciones de abrasión, impacto y trituración, dentro de un tambor rotatorio de acero, el mismo que contiene un número específico de esferas graduadas, el número de estas esferas depende únicamente de la graduación de la muestra sometida a este ensayo. Es importante aclarar que este ensayo no permite realizar comparaciones entre material de diferente origen, composición, y estructura, al conocer que los materiales usados para este procedimiento tienen una composición mineral similar se puede continuar con el ensayo.

La muestra en cuestión se determinó como graduación tipo D, ya que como se explicó anteriormente la ISSA determina que para micropavimentos el tamaño máximo nominal del agregado no debe exceder de (4.75mm).

Tabla 3 Graduaciones de muestra de ensayo.

Tamaño del tamiz, mm (in)		Masa de los tamaños indicados (g)			
		Tipo de Graduaciones			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5 (1 1/2)	25 (1)	1250±25			
25,0 (1)	19,0 (3/4)	1250±25			
19,0 (3/4)	12,5 (1/2)	1250±10	2500±10		
12,5 (1/2)	9,5 (3/8)	1250±10	2500±10		
9,5 (3/8)	6,3 (1/4)			2500±10	
6,3 (1/4)	4,75 (N°4)			2500±10	
4,75 (N°4)	2,36 (N°8)				5000±10
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

FUENTE: Norma INEN 860:2011

Las esferas de acero cuentan con un diámetro promedio de 46.8mm y con una masa entre 390 g y 445 g cada una.

Para determinar el número de esferas de acero se toma en cuenta la siguiente tabla según la graduación de la muestra.

Tabla 4 Cargas de esferas de acero según graduación de la muestra.

Graduación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±25
D	6	2500±25

FUENTE: INEN 860:2011

3.3.2. Equipos y Materiales

- Máquina de los ángeles

La Máquina de los Ángeles debe cumplir con las características esenciales mostradas a continuación:

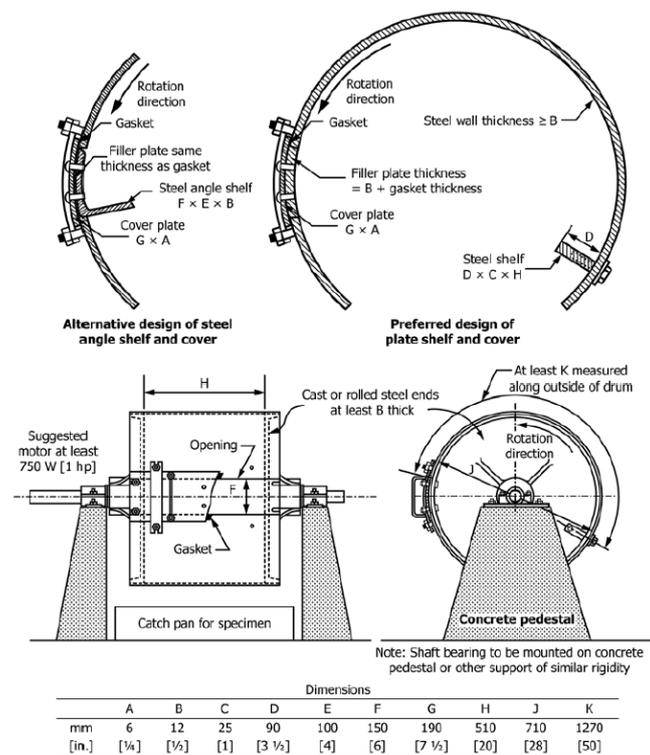


FIG. 1 Los Angeles Testing Machine

Figura 15 Especificaciones Máquina de los Ángeles tomado de la norma ASTM C133.

- Tamices
- Tamizadora

- Balanza
- Esferas de acero
- Horno capaz de llegar a ($110^{\circ}\text{C} \pm 10$)
- Taras
- Brocha
- Muestras

3.3.3. Procedimiento

La preparación de la muestra consiste en realizar la tamización de la muestra hasta llegar al peso esperado según lo detallado anteriormente en la **Tabla 2**, una vez que se tenga el peso total de la muestra se procede a lavarla, con el objetivo de separar las partículas finas del material, finalmente se deja secar en el horno hasta masa constante con una temperatura de 110 ± 10 °C durante 48 horas.

Cumplidas ese tiempo se procede a retirar el material del horno y a pesarlo, ya que ese es el peso inicial que se analizara en los resultados, se prepara la Máquina de los Ángeles, se visualiza detalladamente que no se encuentre partículas de anteriores ensayos dentro del tambor, se introduce en el tambor las esferas de acero, posteriormente, se coloca la muestra y se inicia un total de 500 revoluciones con una velocidad de 30 - 33rpm, una vez terminada el número de revoluciones se procede a retirar la muestra ensayada del tambor, cuidadosamente se retiran las esferas y se deja caer la muestra sobre un recipiente limpio, tratando de tener el mínimo de pérdidas, se lava nuevamente el material ensayado en el tamiz de diámetro de 1.70mm, se coloca en el horno hasta masa constante, finalmente se toma el peso seco del material ensayado.



Figura 16 Material junto a las esferas de acero



Figura 17 Máquina de los Ángeles

3.3.4. Resultados

La norma ASTM C131 determina que la manera de calcular el porcentaje de pérdida es la siguiente:

$$\%Perdida = \frac{C - Y}{C} \times 100\%$$

Donde:

C: Masa constante inicial de la muestra.

Y: Masa final constante de la muestra.

Tabla 5 Resultados ensayo de Abrasión.

Ensayo de Abrasión			
Cantera	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	% Pérdida
Guayllabamba	5000	4008	19,84%
Javier Robalino	5000	3898	22,04%
Pifo	5000	3896	22,08%
Nayón	5000	3698	26,04%
Naranjo López	5000	3977	20,46%

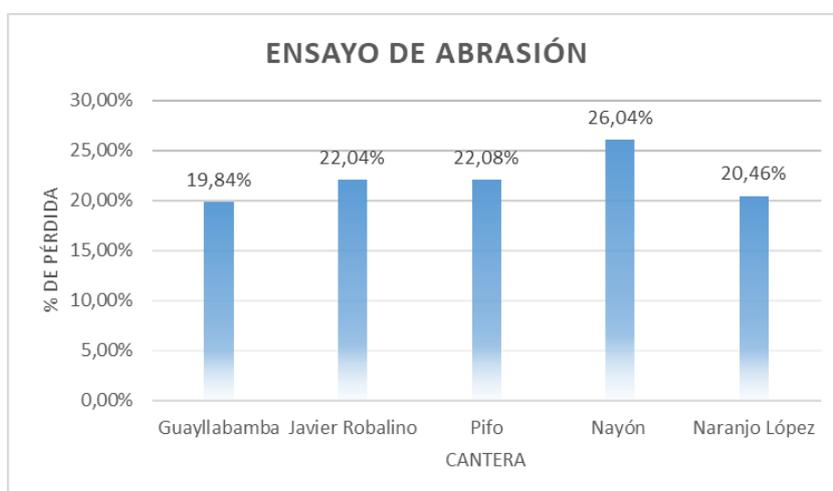


Figura 18 %Pérdida por Abrasión

3.4. Ensayo de sanidad de los agregados mediante el uso de Sulfato de Magnesio.

3.4.1. Descripción del ensayo.

Es importante conocer la resistencia del agregado pétreo frente a estados ambientales críticos, obteniendo así información útil para conocer el valor de la resistencia frente a agentes atmosféricos de las canteras ya antes mencionadas, este

ensayo se concentra principalmente en simular estados de inmersión periódica en una solución saturada de sulfato de magnesio, seguida con una serie de repeticiones de secado al horno para deshidratar total o parcialmente las sales introducida en los poros de las partículas analizadas, al realizar este proceso por 5 ciclos aparece una fuerza de expansión interna, la cual, fisura o descompone a los áridos menos resistentes. Los resultados obtenidos mediante este método se asemejan a una evaluación preliminar de la firmeza del agregado conocido para la formación de hormigón, pavimento o micropavimento.

3.4.2. Equipos y Materiales

- **Recipientes para muestras**

Los recipientes deben ser capaces de almacenar herméticamente el árido junto con la solución saturada de sulfato de magnesio.

- **Tamices**

Para este ensayo se analizará agregado fino, ya que es el usado para la conformación de micropavimentos, la norma INEN 896 aconseja usar la siguiente serie de tamices.

Tabla 6 Serie de tamices agregado fino.

Agregado Fino
Serie de Tamices
150 μ m (No. 100)
300 μ m (No. 50)
600 μ m (No. 30)
1,18mm (No. 16)
2,36mm (No. 8)
4,00mm (No. 5)
4,75mm (No. 4)

FUENTE: norma INEN 896

- Regulador de Temperatura
- Termómetro
- Balanza
- Horno
- Medidor de Gravedad Especifica
- Agua destilada
- Sulfato de magnesio
- Solución saturada de Sulfato de Magnesio

Para preparar la solución saturada de sulfato de magnesio se debe utilizar agua destilada que se encuentre entre (25-30) °C y con una concentración de 1400g por cada litro de agua.

3.4.3. Procedimiento

En primer lugar, se realiza la solución de sulfato de magnesio, se disolvió en un recipiente metálico sobre una cocineta, con el fin de elevar la temperatura del agua destilada en el que será disuelto (25-30°C), se disuelve el soluto en pequeñas cantidades, en este caso por la cantidad de muestras que serán sometidas se utilizó 4 kilos de sulfato de magnesio para ser disuelto en 3 litros de agua, así obteniendo la concentración necesaria, una vez terminado de disolver se observa que no exista sedimentos en la base del recipiente, si es así, se coloca una tapa hermética evitando la evaporación y se deja reposar la solución durante un periodo de 48 horas en una temperatura de $21 \pm 1^\circ\text{C}$.

El agregado fino se obtiene a partir de tamizar la muestra total, debe pasar completamente en el tamiz 9.5mm y su cantidad retenida entre en cada una de las fracciones debe ser mínimo 100g si al realizar el pesaje de cada muestra se obtiene que existe una pérdida del 5% ese grupo no deberá ser sometido al ensayo.

Tabla 7 Fracciones de tamices por muestra

Tamices		Muestra
Pasante	Retenido	
600 μm (No. 30)	300 μm (No. 50)	100g
1,18 mm (No. 16)	600 μm (No. 30)	100g
2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	100g
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	100g
9,5 mm	4,75 mm (No. 4)	100g

FUENTE: norma INEN 896

Al finalizar la preparación de muestras se debe realizar el respectivo lavado eliminando las partículas menores a 4.75 μm , seguidamente se coloca todas las muestras lavadas dentro del horno a una temperatura de 110 \pm 5 $^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas así obteniendo masa constante de cada muestra. Se sacó del horno todas las fracciones secas, se coloca la solución antes preparada sobrepasando la muestra con 12.5mm, se deja reposar por no menor a 16 horas y no mayor a 18 horas, los recipientes deben estar cubiertos para evitar contaminación, una vez terminada el lapso de inmersión se escurre toda el agua de los recipientes que alberga la solución como la muestra en un periodo de 15 minutos, seguidamente, se coloca dentro del horno hasta masa constante, removiendo las muestras en intervalos de 4 horas, esto se realiza por 5 ciclos consecutivos, la eficiencia del secado varía considerablemente mientras avanza el número de ciclos, es importante remover en periodos de tiempo cortos para evitar el secado superficial, tratando de obtener un secado general.



Figura 19 Material Seco



Figura 20 Estado de inmersión.

3.4.4. Resultados

Se expondrá resultados resumidos del ensayo, para conocer más detalle diríjase a ANEXO A.

Tabla 8 Resultados ensayo Sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de magnesio.

Cantera	Porcentaje ponderado de perdida (%)
Pifo	9,16%
Guayllabamba	6,73%
Nayón	17,38%
Javier Robalino	10,57%
Naranjo López	10,72%

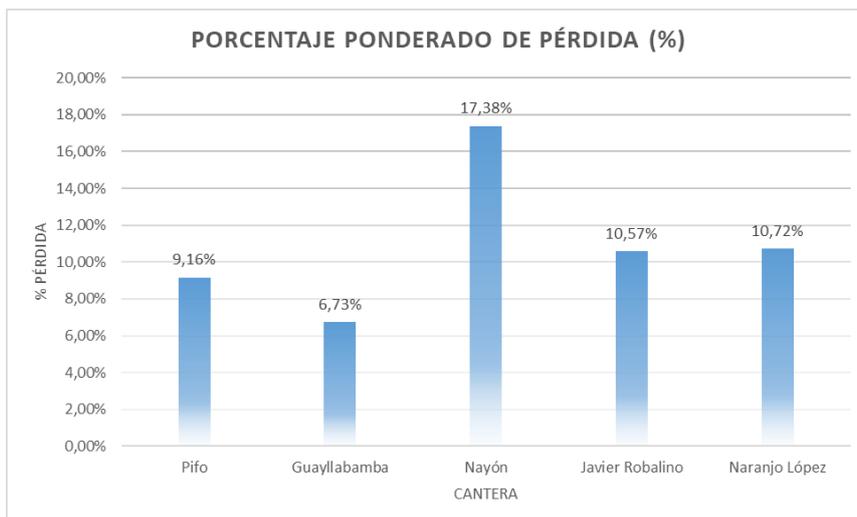


Figura 21 %Ponderado de Pérdida

3.5. Ensayo Equivalente de Arena

3.5.1. Descripción del ensayo

El ensayo equivalente de arena permite conocer la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso perjudicial para la conformación de micropavimentos, este ensayo da como resultado un valor empírico relativo de la cantidad de material fino que se encuentra presente en la muestra de suelo, también permite determinar de manera rápida las variaciones de calidad que se está produciendo o por utilizar.

3.5.2. Equipos y Materiales

- Probeta graduada y normalizada para ensayo de equivalente de arena.
- Tapón macizo de goma.
- Tubo irrigador de acero o cobre
- Tubo flexible de caucho
- Botellón

- Cronómetro
- Embudo
- Recipiente normado
- Solución Stock

La solución stock se realizó de la siguiente manera: Se disuelve 454g de cloruro de calcio ($CaCl_2$) en 1.9 litros de agua destilada, se remueve hasta que no quede solidos suspendidos, se deja enfriar y se pasa por papel filtro de manera inmediata, se adiciona 2050g de glicerina y 47g de formaldehido en solución al 40%, se añade agua destilada hasta llegar a 3.79 litros.

3.5.3. Procedimiento

Para obtener la muestra se tomó 1500g de material pasante del tamiz N°4 (4.75mm), se observó que no exista terrones de arena en el material a utilizar, con la ayuda del tubo irrigador de cobre, tubo flexible y el botellón lleno de solución stock se introduce la solución en la probeta graduada hasta una altura de 4in, con el uso del recipiente graduado y el embudo se coloca la muestra dentro de la probeta junto con la solución, se golpea con la palma de la mano la base de la probeta evitando así la formación de burbujas. Se deja en reposo durante 10 minutos, al finalizar este tiempo se tapa la probeta con el tapón de goma, se sostiene la probeta de manera horizontal y se procede a agitar en 90 ciclos en 30 segundos (un ciclo está definido como el movimiento completo lateralmente) asegurándose que las partículas se estén dispersando a lo largo de la probeta, al finalizar el número de ciclos se coloca la probeta de manera vertical y nuevamente utilizando el tubo flexible y tubo irrigador se lava el material que se encuentra en las paredes de la probeta.

Se realiza el proceso de irrigación el cual consiste en aplicar pulsos de presión sobre el material que se encuentra en la base de la probeta hasta que llegue a la altura de 15in, finalizando este proceso se deja reposar la probeta durante 20 minutos. Al finalizar este tiempo se notará notables líneas de separación en la parte superior e inferior, en primer lugar, se realiza en primer lugar la lectura de arcilla, se toma la lectura de la parte superior con aproximación a un solo decimal, a continuación, se realiza la lectura de arena, se introduce en la probeta el conjunto del disco, varilla y sobrepeso lentamente hasta que se sostenga sobre la arena, se toma la lectura del disco y el ensayo llega a su fin.

3.5.4. Resultados

Los resultados del ensayo se calcularán con aproximación a una décima, de la siguiente manera:

$$\text{Equivalente de Arena (EA)} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100\%$$

Tabla 9 Resultados Equivalente de Arena.

Cantera	Lectura de arena (in)	Lectura de arcilla (in)	EA
Guayllabamba	3,4	3,8	89,5%
Javier Robalino	3,3	4,2	78,6%
Pifo	3,3	3,7	89,2%
Naranjo López	2,9	4	72,5%
Nayón	3,5	4,2	83,3%

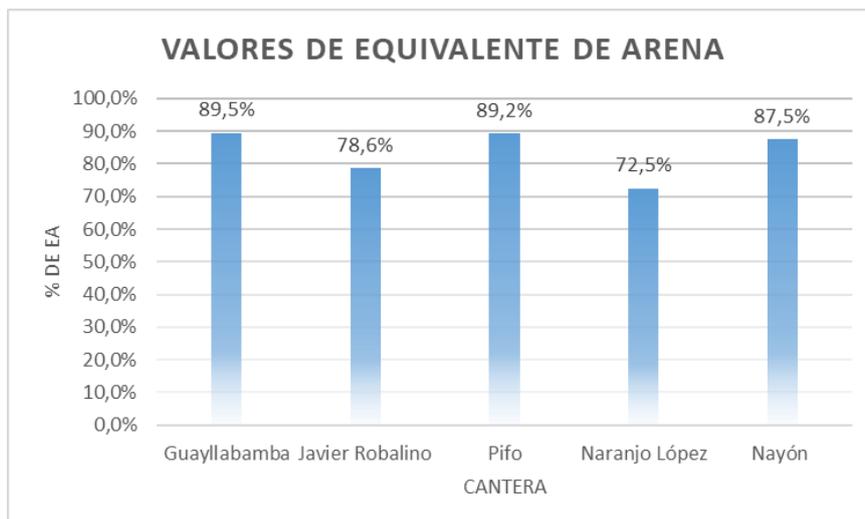


Figura 22 % Equivalente de Arena

4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

4.1. Definición

El agua o químicamente llamada dihidruro de oxígeno es un compuesto formado a partir de enlaces covalentes, dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, su fórmula molecular es H_2O , es un líquido incoloro, inodoro e insípido, su composición molecular son las responsables de distinguir de otras composiciones líquidas. El agua constituye $\frac{3}{4}$ partes del planeta Tierra, es un elemento más abundante de la naturaleza en ecosistemas naturales con el 70%, pero tan solo el 2% es consumible para los seres humanos. (Romero Rojas, 2002)

4.2. Impurezas del Agua

En la naturaleza no existe el agua completamente pura, el líquido debe pasar por varios procesos de descontaminación para llegar a un estado alto de pureza, el agua superficial absorbe impurezas del aire mediante la lluvia, de igual manera al recorrer por

el terreno para llegar a ríos o quebradas, como sabemos la mayoría las aguas residuales son descargadas directamente a los ríos, transportando a lagos y mares. Las aguas subterráneas contraen impurezas mediante combinaciones de minerales disueltas por estratos de suelos, también por la contaminación filtrada, el agua de pozos poco profundas son las más susceptibles a este tipo de contaminación, principalmente el agua es contaminada mediante alcantarillas rotas, manipulación y sustracción del agua. Por otro lado, los pozos de agua que se encuentran cercanos al mar pueden adquirir sales, Jairo Romero muestra las causas de este problema “cuando la marea es baja permite la percolación del agua salada y cuando el bombeo es excesivo e invierte la dirección natural del flujo y extrae el agua del mar” (Romero Rojas, 2002).

La pureza del agua se la mide según el uso que se la vaya a dar, si el agua será utilizada para fines agrícolas será un tipo de limpieza, caso contrario, si el agua será utilizada para consumo humano tendrá que tener un tratamiento de descontaminación más estricto, la impureza del agua se mide con la cantidad de contribuyentes físicos, químicos y bacteriológicos. (Romero Rojas, 2002)

En el distrito metropolitano de Quito las principales fuentes de agua para el uso en emulsiones asfálticas es el río Guayllabamba, río Monjas, río Machángara y pozos subterráneos, claramente la captación del agua no es directamente del río sino desde sequias cercanas a la fuente, lastimosamente la contaminación de los principales ríos de Quito es alta, ya que las aguas residuales tanto industriales y domésticas son descargadas sobre ellos, el recurso hídrico para el distrito se constituye por conjuntos montañosos, como lo son: Atacazo, Cotopaxi, Lloa, Pichincha, entre otros.

El tratamiento de aguas subterráneas en el Ecuador es pobre, según la Secretaria Nacional del Agua (SENAMI) únicamente el 12% de las aguas residuales recibe tratamiento antes de ser descargadas sobre ríos o quebradas, al ser infectada con un sin

número de material evita y condiciona la autodepuración que el río realiza mediante el ciclo del agua al ser utilizada; provocando graves problemas el momento generar emulsiones con este tipo de agua. (Quinga, 2017)

El pH es un valor numérico que representa la concentración de iones de hidrogeno presentes en disoluciones, el pH se mide con una escala de que puede variar desde 0 a 14, se considera ácida cuando el pH es inferior a 7 (menor cantidad de iones de Hidrógeno), el agua con un pH superior a 7 se considera básica (menor cantidad de iones de Hidrógeno), en cambio, se considera neutra cuando el agua contiene un pH igual a 7.

La dureza del agua es definida por Alberto Romero en su libro Calidad del Agua como “la concentración de cationes metálicos no alcalinos presentes y se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y es un parámetro significativo para conocer la calidad del agua”. Es calculado mediante una escala, la cual expresa la cantidad de $CaCO_3$ (Carbonato de calcio) en mg se encuentra presente en un litro de agua.

$0 - 75 \frac{mg}{L}$	<i>Blanda</i>
$75 - 150 \frac{mg}{L}$	<i>Moderadamente dura</i>
$150 - 300 \frac{mg}{L}$	<i>Dura</i>
$> 300 \frac{mg}{L}$	<i>Muy dura</i>

FUENTE: (Romero Rojas, 2002)

4.3. Agua en Emulsiones asfálticas

En la construcción vial el agua es usada para la conformación de emulsión, la emulsión es definida como la unión entre partículas de asfalto con las partículas de agua,

generando así una sustancia jabonosa de color marrón, esta sustancia es aplicada al agregado o superficie existente, el color cambia a negro, llegando a la conclusión que la emulsión se ha “roto”, también en la conformación de micropavimentos el agua cumple un rol importante, ya que es el regulador para que la mezcla sea trabajable y estable

El agua puede contener minerales o químicos durante la elaboración de emulsiones, por ese motivo, la ISSA A143 aconseja que el agua utilizada debe estar completamente libre de sales, reactivos químicos o cualquier otro contaminante, que pueden afectar directamente a la estabilidad de la mezcla, por ello es recomendable trabajar con agua potable.

4.4. pH fuentes hídricas.

Las fuentes hídricas a analizar fueron seleccionadas de acuerdo a la cercanía a las canteras ya antes descritas, son las siguientes:

- Río Guayllabamba.
- Río Monjas
- Río Machángara
- Río San Pedro

Con la ayuda de un medidor de pH Hanna HI 98103 se tomó el pH respectivo de cada fuente, teniendo como resultado los siguientes valores:

Fuente	pH medido in situ
Río Guayllabamba	7,6
Río Monjas	7,03
Río San Pedro	6,1
Río Machangara	7,4
Laboratorio (Potable)	6,7

Figura 23 Valor pH fuentes hídricas.

5. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

5.1. Granulometría

La granulometría empleada para la conformación de mezclas asfálticas está basada en la norma ISSA A143, descrita en la figura 4, muestra los tamaños de tamiz y límites tanto superiores como inferiores para la curva granulométrica, se realizó la respectiva granulometría para cada cantera y se obtuvo lo siguiente.

A continuación, se muestra únicamente la granulometría de la cantera de Guayllabamba, las curvas de las canteras faltantes están expuestas en ANEXO B.

Tabla 10 Granulometría cantera Guayllabamba.

Cantera Guayllabamba								
Granulometria Inversa								
Peso inicial (g)				1000				
Diámetro (mm)		Límite superior	Límite inferior	% pasante	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acumulado Retenido (g)
0,375	9,5	100	100	100	0	0	0	0
4,00	4,75	100,00	90,00	97,00	3,00	3,00	30,00	30,00
8,00	2,36	90,00	65,00	80,00	20,00	17,00	170,00	200,00
16,00	1,18	70,00	45,00	63,00	37,00	17,00	170,00	370,00
30,00	0,60	50,00	30,00	45,00	55,00	18,00	180,00	550,00
50,00	0,30	30,00	18,00	25,00	75,00	20,00	200,00	750,00
100,00	0,15	21,00	10,00	20,00	80,00	5,00	50,00	800,00
200,00	0,02	15,00	5,00	6,00	94,00	14,00	140,00	940,00
Peso total acumulado (g)								1000

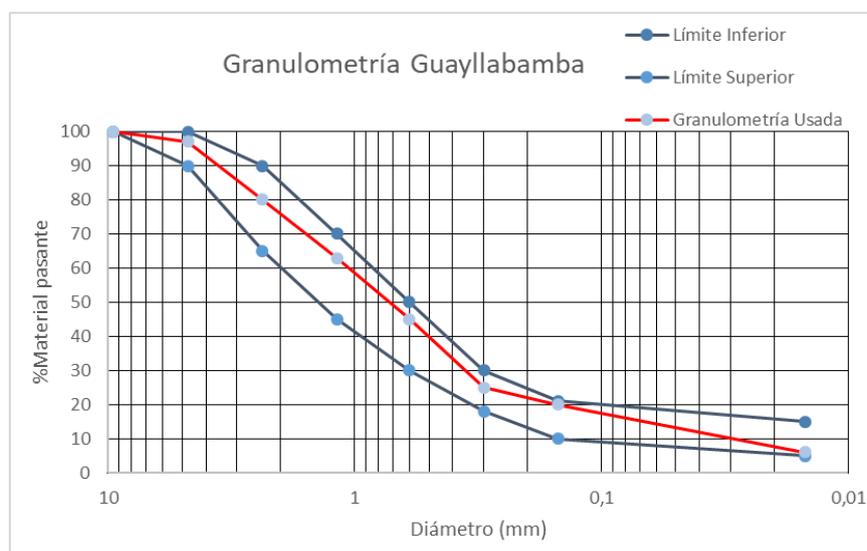


Figura 24 curva granulométrica cantera Guayllabamba.

5.2. Tiempos de Rotura

El termino rotura en emulsiones asfálticas se refiere al tiempo que demora la mezcla de emulsión asfáltica, cemento y agua a perder su trabajabilidad, perdiendo el estado de pasta y formando un estado más seco, el momento de colocar una toalla de papel no debe absorber ni agua ni emulsión cuando llega a este estado.



Figura 25 Mezcla sin llegar a la rotura



Figura 26 Mezcla rota.

La ISSA A105 aconseja que el tiempo mínimo que la mezcla debe llegar a este estado es de 180 segundos. La presencia de ácidos o sulfatos en el agua generan un retraso considerable en el rompimiento de enlaces catiónicos en emulsiones con carga positivo, caso contrario, la presencia de calcio o hierro en forma de carbonatos (Dureza) o partículas en suspensiones llegan a acelerar el rompimiento de la emulsión y perdiendo de ese modo la estabilidad esperada. El hierro ocasionalmente está presente cuando el agua es obtenida por pozos o de manera orgánica esto puede influenciar en las líneas de proceso y equipos utilizados. (Ulloa , 2012)

5.3. Mezclas Bituminosas en frío

El agua y material pétreo utilizados, en este caso, para la conformación de mezclas asfálticas en frío se rigen a la proximidad más cercana entre la fuente hídrica y la cantera, las cuales se organizó de la siguiente manera:

Tabla 11 Fuente y cantera más cercana.

Fuente cercana	Cantera
Río Guayllabamba	Guayllabamba
Río Monjas	Javier Robalino
Río San Pedro	Pifo
Río San Pedro	Naranjo López
Río Machangara	Nayón

El porcentaje de emulsión, agua y cemento utilizados para conformar la mezcla se tomó del estudio realizado por Luis Urgiles y Luis Boada en su tesis de pregrado “Diseño y evaluación de micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros para

agregados de canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el distrito metropolitano de Quito” los cuales se detallan a continuación.

Tabla 12 Porcentaje de emulsión, agua y cemento usado.

Cantera	Muestra (g)	Agua (%)	Cemento (%)	Emulsion (%)
Guayllabamba	100,00	18,00	0,50	17,00
Javier Robalino	100,00	18,00	0,30	15,00
Pifo	100,00	20,00	1,00	14,00
Naranjo López	100,00	12,00	1,00	16,50
Nayón	100,00	20,00	1,00	19,00

FUENTE: (Urgiles Guarderas & Boada Parra, 2011)

Utilizando el porcentaje de cada material ya indicado, se utilizará diferente origen de agua para conformar las mezclas, es decir se tendrá una variabilidad en el valor de pH utilizado en cada caso, en primer lugar, se utilizó el agua captada desde la fuente hídrica cercana; se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 13 Tiempo de rotura utilizando agua de la fuente cercana.

Fuente cercana	pH	Cantera	Tiempo Rotura (s)
Río Guayllabamba	7,10	Guayllabamba	17,40
Río Monjas	6,20	Javier Robalino	12,00
Río San Pedro	5,20	Pifo	58,00
Río San Pedro	5,20	Naranjo López	56,00
Río Machangara	6,70	Nayón	47,00

Seguidamente se realizó la mezcla con agua del laboratorio con un pH de 6.7 (Agua Potable), manteniendo los porcentajes de cada material, los resultados son los siguientes:

Tabla 14 Tiempo de rotura utilizando agua potable

Mezcla pH = 6,7	
Cantera	Tiempo de rotura (s)
Guayllabamba	180,00
Javier Robalino	143,00
Pifo	156,00
Naranjo López	163,00
Nayón	143,00

Finalmente, para obtener una mejor recopilación de tiempos se formó agua ácida pH de 9 utilizando 400mg carbonato de calcio ($CaCO_3$) en 500mL de agua destilada obteniendo así agua excesivamente dura, del mismo modo se formó agua básica pH de 1.8 utilizando 400mg de ácido cítrico $C_6H_8O_7$. Obteniendo los siguientes resultados.



Figura 27 pH agua básica.



Figura 28 pH agua ácida.



Figura 29 pH agua potable.

Tabla 15 Tiempo de rotura pH utilizando agua básica y ácida.

Cantera	pH	Tiempo de rotura (s)
Guayllabamba	1,80	103,00
	9,00	15,00
Javier Robalino	1,80	110,00
	9,00	12,00
Pifo	1,80	100,00
	9,00	22,00
Naranjo López	1,80	104,00
	9,00	17,35
Nayón	1,80	115,00
	9,00	10,00

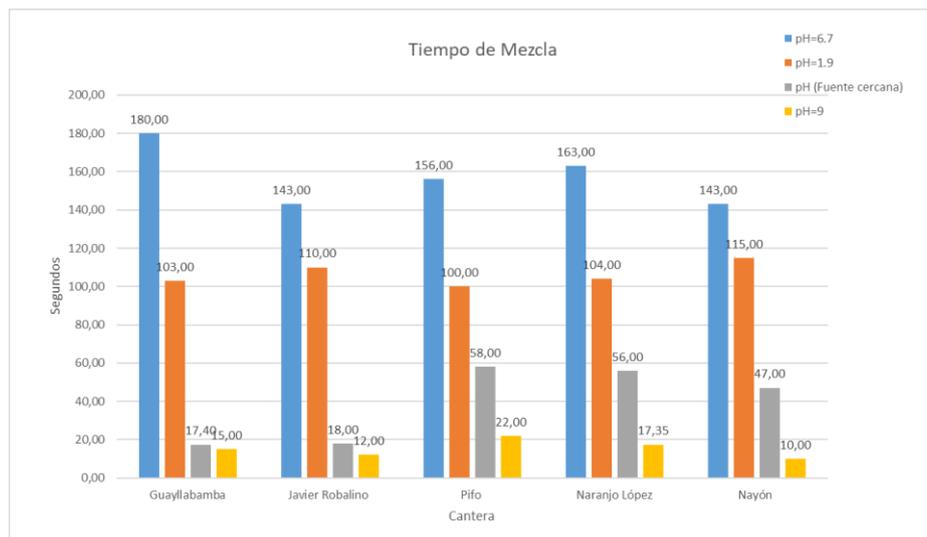


Figura 30 Variación de tiempo de mezcla con diferente pH.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYOS REALIZADOS

6.1. Ensayo Azul de Metileno

El ensayo de azul de metileno realizado a las 5 muestras de diferentes canteras ha sido satisfactorio en todo sentido, con respecto a la Tabla 1, donde se expresa los valores sugeridos por la norma INV E 235 de azul de metileno aptos para un buen desempeño futuro donde el valor de VA (Valor de Azul de Metileno) está dado ente los valores de ≤ 6 refiere a un desempeño excelente, en cambio, ≥ 20 representa a un desempeño completamente fallido.

En este caso la primera muestra puesta a prueba con este ensayo fue la cantera de Guayllabamba, el cual, obtuvo un valor VA de 1.73 mg/g, por parte de la muestra correspondiente a la cantera Javier Robalino tuvo un resultado Va de 1.99 mg/g, la muestra de la cantera Pifo un valor de VA de 1.74 mg/g, Nayón por su parte obtuvo un valor de 0.75 mg/g y, por último, la cantera Naranjo López obtuvo un valor de 2.5 mg/g. Todos los resultados son completamente favorables, la cantera de Nayón es la muestra un

VA menor a las demás muestras, mostrando así una mayor limpieza a materiales orgánicos y menor presencia de arcillas sobre las demás, para generar este valor de VA se realizó únicamente 3 gotas de azul de metileno con una concentración de 0.5 mg/ml siendo de igual manera la más rápida al generar la aureola sobre el perímetro de la gota.

En cambio, la muestra de Naranjo López muestra un valor VA de 2.5 mg/g siendo así la cantera que más cantidad de reactivo que necesitó para generar la aureola, obviamente es un valor más que aceptable con relación a la Tabla 1 ya descrita anteriormente, la cantidad de material orgánico no es excesiva y cumple con los rangos recomendados por la norma AASHTO

6.2. Ensayo de Abrasión

El análisis de resultados de cada muestra obtenidos mediante el ensayo de abrasión se realizará según las recomendaciones dadas por la norma INEN 860:2011 la graduación de cada muestra fue tipo D, la cantera que mayor resistencia al desgaste fue Guayllabamba que obtuvo un 19.84%, el momento de colocar en el horno y simultáneamente en la Máquina de los Ángeles se observó poca o nula la cantidad de lascas en el agregado, y por ello se esperaba un mejor rendimiento en el ensayo. Este valor puede variar por la correcta manera de extracción el material desde su yacimiento, cabe recalcar que este proceso es sumamente importante, un mal proceso de explotación puede traer como consecuencias fisuras sobre el agregado, reduciendo así considerablemente la resistencia que tendrá al ser empleado en micropavimento.

La cantera de Nayón obtuvo un el valor más alto de las cinco analizadas, con un 26.04% en la muestra a tratar se observó una pequeña cantidad de lascas y roca volcánica, por ello se esperaba un resultado mayor que las demás muestras analizadas, ya que este tipo de roca no generan la misma capacidad mecánica, en cambio, las muestras de las

canteras Javier Robalino, Pifo y Naranjo López obtuvieron un porcentaje bueno, obteniendo un porcentaje de pérdida de 22.04% y 20.46% respectivamente.

6.3. Ensayo de sanidad de los agregados mediante el uso de Sulfato de Magnesio.

El ensayo de sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de magnesio se realizó basándose estrictamente en la norma INEN 863:2011 la cual describe el procedimiento tanto para un ensayo con agregado grueso y el procedimiento para agregado fino, cumpliendo con la granulometría sugerida para micropavimentos por la norma ISSA A143 se obtuvo los siguientes resultados.

La cantera con menor cantidad de pérdida por desgaste fue Guayllabamba, con un 6.732%, generalmente esta cantera ha proporcionado material sin presencia de material orgánico o áridos generados mediante la sedimentación del suelo, caso contrario la cantera de Nayón presento gran cantidad de rocas volcánicas trituradas o formadas por sedimentación siendo así la cantera que mayor cantidad de perdida ha conseguido con un 17.37%, con la presencia de la solución de sulfato de magnesio, este tipo de rocas tienden a deshacerse, generando una consistencia gelatinosa al final de las repeticiones ya descritas anteriormente, finalizando el ensayo al lavar las muestras únicamente se realiza el pesaje del árido que aún mantiene sus propiedades mecánicas.

Por su parte, las canteras Naranjo López, Javier Robalino y Pifo obtuvieron un valor de 10.72%, 10.56 y 9.163% respectivamente, estos valores se encuentran semejantes ya que la limpieza y consistencia de los agregados durante el ensayo era similar.

6.4. Ensayo Equivalente de Arena

El ensayo de equivalente de arena se realizó basada estrictamente en la norma ASTM D 2419-02 la cual describe tanto los materiales, procedimiento a realizar para finalizar con un ensayo correctamente finalizado, este ensayo permite observar la cantidad de agregado fino nocivo, el porcentaje menor obtuvo la cantera Naranjo López, esto prácticamente pudo ser generado ya que dicha cantera genera la mayoría de su agregado fino mediante la trituración de piedra, al tener este tipo de arena es menos probable que contenga finos no deseados, por otro lado la cantera de Nayón obtuvo la mayor porcentaje de finos nocivos, como ya se dijo anteriormente la cantera de Nayón contiene una alta cantidad de material orgánico mezclado en su material pétreo.

Por otro lado, la cantera de Pifo, Javier Robalino y Guayllabamba mantienen un buen porcentaje de EA, obteniendo cada una de ellas el 89.2% 78.6% y 89.5% respectivamente, este porcentaje es generalmente bueno para la aplicación en la conformación de micropavimentos.

Finalmente, se presenta una gráfica donde se muestra los valores obtenidos de los ensayos de abrasión, sanidad de agregados mediante el uso de Sulfato de Magnesio y Equivalente de Arena, estos 3 ensayos se pueden representar en la misma gráfica ya que están representados por porcentaje, tanto de pérdida como porcentaje de valor de equivalente de arena.

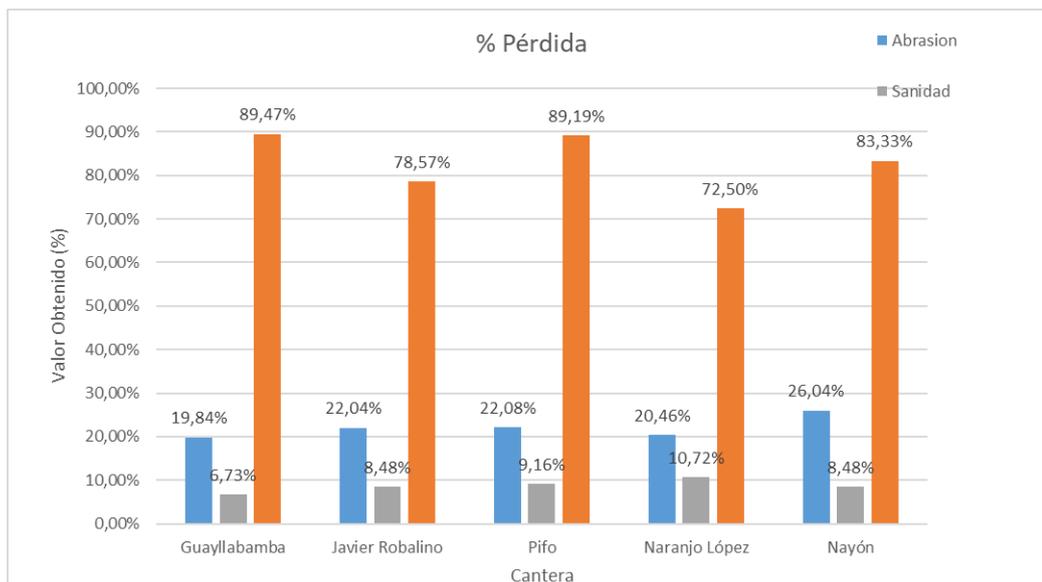


Figura 31 Relación entre ensayos

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar correctamente los ensayos planificados al inicio del proyecto, se obtuvieron resultados satisfactorios respecto a la calidad de los agregados utilizados para la conformación de micropavimentos en el Distrito Metropolitano de Quito, los porcentajes de pérdida tanto en el ensayo de abrasión y sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de magnesio no sobrepasan los límites máximos de desgaste recomendados por la norma ISSA A143, la cual describe que el desgaste máximo por abrasión sea 30% y por la acción de sulfato de magnesio es de 25%.

Con respecto al ensayo de Equivalente de Arena se obtuvo que la cantera de Guayllabamba obtuvo el porcentaje más alto, con un valor de 89.5% la sobrepasa lo estipulado en la norma AISSA A143 la cual recomienda que el porcentaje mínimo de EA es de 65%. En comparación con la cantera Naranjo López la cual obtuvo el menor EA de las canteras analizadas, con un valor de 72.5%, de la misma manera sobrepasa lo recomendado por la norma. Se evidencia que la calidad mecánica de los materiales

usados para micropavimentos en Quito son buenos dentro de los rangos estipulados por las normas ya descritas.

El tiempo de mezcla no tiene una variabilidad significativa por causa del material mineral utilizado, de igual manera la norma ISSA A143 aconseja que el tiempo mínimo de mezcla debe ser 120 segundos, al utilizar agua potable y el árido con su respectiva granulometría y dosificación, no se tuvo mayor problema para superar este tiempo, todo lo contrario, al analizar el tiempo de mezcla con diferentes fuentes hídricas, al tener diferentes valores de pH el tiempo de mezcla varía considerablemente, como se muestra en la figura 29 el tiempo de mezcla es menor cuando el pH del agua utilizada es demasiado alta, la mezcla se mantiene seca, a pesar de añadirle la dosificación exacta de agua no tiende a formar la pasta esperada con los demás materiales, por otro lado, si el pH del agua es demasiado baja, el tiempo de mezcla aumenta, pero no cumple con el tiempo mínimo estipulado por la norma ya descrita anteriormente, la en los primeros segundos de abigarrar la mezcla, tiende a comportarse demasiado líquida, pero al continuar con el mezclado llega a su punto de rotura drásticamente, con ello se puede concluir que el pH favorable para la conformación de mezclas es neutro, es decir, con un valor cercano a 7. Claramente, es necesario que el agua a utilizar no contenga contaminantes químicos o naturales perjudiciales que puedan reaccionar con los materiales utilizados para generar la mezcla, es por ello que la mezcla realizada con la cantera Guayllabamba junto con la fuente hídrica del mismo nombre, con un pH de 7.1 no supero el tiempo esperado de mezcla, es por esto que la norma recomienda el uso de agua potable para prevenir este tipo de problemas.

En el Anexo C se muestra la relación encontrada entre el tiempo de mezcla de las diferentes muestras de canteras analizadas junto con la variación de pH del agua utilizada para generar las mezclas asfálticas, al realizar la línea de tendencia se implementa una

regresión cuadrática ya que es la que mejor se adapta a los datos encontrados, se han considerado únicamente 4 puntos, los cuales proporciona una idea inicial de la tendencia, sin embargo es recomendable realizar una mayor cantidad de ensayos para generar una relación más aproximada entre el pH y el tiempo de mezcla

8. BIBLIOGRAFÍA

- ASSOCIATION, I. S. (2010). *Recommended Performance Guideline for micro surfacing*.
- Barrionuevo Aldaz, L. G. (2012). *DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA*. Quito.
- Boada Parra, L. G. (2017). *Clase de Diseño de Pavimentos, Presentación*. Quito.
- Bracho, C. (2005). *Emulsiones Asfálticas*. Mérida: Universidad de los Andes.
- Fernandez del Campo, J. A. (1983). *Pavimentos Bituminosos en frío*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A.
- Fundora Ayuso, G. (2019). *Conservación de Carreteras*. Bogotá: Félix Varela.
- Higuera Sandoval, C. H. (2015). *Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos*. Cauca, Colombia .
- Kelly, G., Delaney, D., & Mohamed, S. (2016). *Optimising local council's return on investment from annual pavement rehabilitation budgets through targeting of the average pavement condition index*. Original Research Paper.
- Mallick, R., & El-Korchi, T. (2013). *Paviment Engineering*. New York : Taylor & Francis Group .
- Mathew, T., & Rao, K. (2007). *Introduction to Transportation Engineering* .
- Montejo Fonseca, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos Evaluación estructural, obras y nuevas tecnologías*. (Vol. 2). (U. C. Colombia, Ed.) Bogotá, Colombia.
- Olivera Bustamante, F. (2002). *Estructuración de vías terrestres*. Mexico DF: Compañía Editorial Continental .
- Quinga, M. (2017). *Contaminación del Río Machángara y el Derecho al Buen Vivir*. Quito : Universidad Central del Ecuador .
- Quito, M. d. (Viernes 9 de Agosto de 2019). *Quito grande otra vez*. Obtenido de <http://www.quito.gob.ec/>
- Recuenco Aguado, E. (2017). *Firmes y pavimentos de carreteras y otras infraestructuras*. Madrid: Garceta .
- Rodríguez Velásquez, E. D. (2009). *Cálculo del Índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Monteros, Distrito de Castilla*. . Puria.
- Rojas Ruales, F., Romero Flores, P., & Vinuesa, C. (s.f.). *METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICROPAVIMENTO DE BAJO COSTO PARA SUELO TIPO LIMO ORGÁNICO ARENOSO (OL)*. Quito .
- Romero Rojas, J. A. (2002). *Calidad del Agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ulloa , A. (2012). *Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio .*

Urgiles Guarderas, L. M., & Boada Parra, L. G. (2011). *DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MICROPAVIMENTOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS, PARA AGREGADOS DE CANTERAS DE GUAYLLABAMBA, PINTAG, PIFO, SAN ANTONIO Y NAYÓN EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.* Quito.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO A

Desgaste sanidad de agredido mediante el uso de sulfato de magnesio.

9.1.1. Cantera Nayón.

Tabla 16 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Nayón.

Cantera Nayón						
Tamices		Graduacion de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, despues del ensayo (g)	Porcentaje que pasa por el tamiz desigando luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
Pasante	Retenido					
150 µm (No. 100)		6	-	-	-	-
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	11	-	-	-	-
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	26	100	74,4	25,6	6,656
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25	100	79,2	20,8	5,2
2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	17	100	75,6	24,4	4,148
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	11	100	91,6	8,4	0,924
9,5 mm	4,75 mm (No. 4)	4	-	93	11,2	0,448
		100				17,376

9.1.2. Cantera Guayllabamba

Tabla 17 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Guayllabamba

Cantera Guayllabamba						
Tamices		Graduacion de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, despues del ensayo (g)	Porcentaje que pasa por el tamiz desigando luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
Pasante	Retenido					
150 µm (No. 100)		6	-	-	-	-
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	11	-	-	-	-
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	26	100	89	11	2,86
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25	100	90,4	9,6	2,4
2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	17	100	95,4	4,6	0,782
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	11	100	97,8	2,2	0,242
9,5 mm	4,75 mm (No. 4)	4	-	94,2	11,2	0,448
		100				6,732

9.1.3. Cantera Naranja López

Tabla 18 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Naranja López

Cantera Naranja López						
Tamices		Graduacion de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, despues del ensayo (g)	Porcentaje que pasa por el tamiz desigando luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
Pasante	Retenido					
150 µm (No. 100)		6	-	-	-	-
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	11	-	-	-	-
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	26	100	73,8	26,2	6,812
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25	100	93,2	6,8	1,7
2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	17	100	95,6	4,4	0,748
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	11	100	90,8	9,2	1,012
9,5 mm	4,75 mm (No. 4)	4	-	96,4	11,2	0,448
		100				10,72

9.1.4. Cantera Pifo

Tabla 19 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Pifo

Cantera Pifo						
Tamices		Graduacion de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, despues del ensayo (g)	Porcentaje que pasa por el tamiz desigando luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
Pasante	Retenido					
150 µm (No. 100)		6	-	-	-	-
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	11	-	-	-	-
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	26	100	79,6	20,4	5,304
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25	100	94,2	5,8	1,45
2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	17	100	95	5	0,85
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	11	100	89,9	10,1	1,111
9,5 mm	4,75 mm (No. 4)	4	-	95,2	11,2	0,448
		100				9,163

9.1.5. Cantera Javier Robalino

Tabla 20 Sanidad de agregados con el uso de sulfato de magnesio cantera Javier Robalino

Cantera Javier Robalino						
Tamices		Graduacion de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, despues del ensayo (g)	Porcentaje que pasa por el tamiz desigando luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
Pasante	Retenido					
150 µm (No. 100)		6	-	-	-	-
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	11	-	-	-	-
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	26	100	90,4	9,6	2,496
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25	100	89,4	10,6	2,65
2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	17	100	90,8	9,2	1,564
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	11	100	69	31	3,41
9,5 mm	4,75 mm (No. 4)	4	-	95,6	11,2	0,448
		100				10,568

9.2. ANEXO B

9.2.1. Granulometría cantera Nayón

Tabla 21 Granulometría cantera Nayón

Cantera Nayón								
Granulometría Inversa								
Peso inicial (g)			1000					
Diámetro (mm)		Límite superior	Límite inferior	% pasante	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acumulado Retenido (g)
0,375	9,5	100	100	100	0	0	0	0
4,00	4,75	100,00	90,00	95,00	5,00	5,00	50,00	50,00
8,00	2,36	90,00	65,00	73,00	27,00	22,00	220,00	270,00
16,00	1,18	70,00	45,00	60,00	40,00	13,00	130,00	400,00
30,00	0,60	50,00	30,00	40,00	60,00	20,00	200,00	600,00
50,00	0,30	30,00	18,00	20,00	80,00	20,00	200,00	800,00
100,00	0,15	21,00	10,00	15,00	85,00	5,00	50,00	850,00
200,00	0,02	15,00	5,00	9,00	91,00	6,00	60,00	910,00
Peso total acumulado (g)								1000

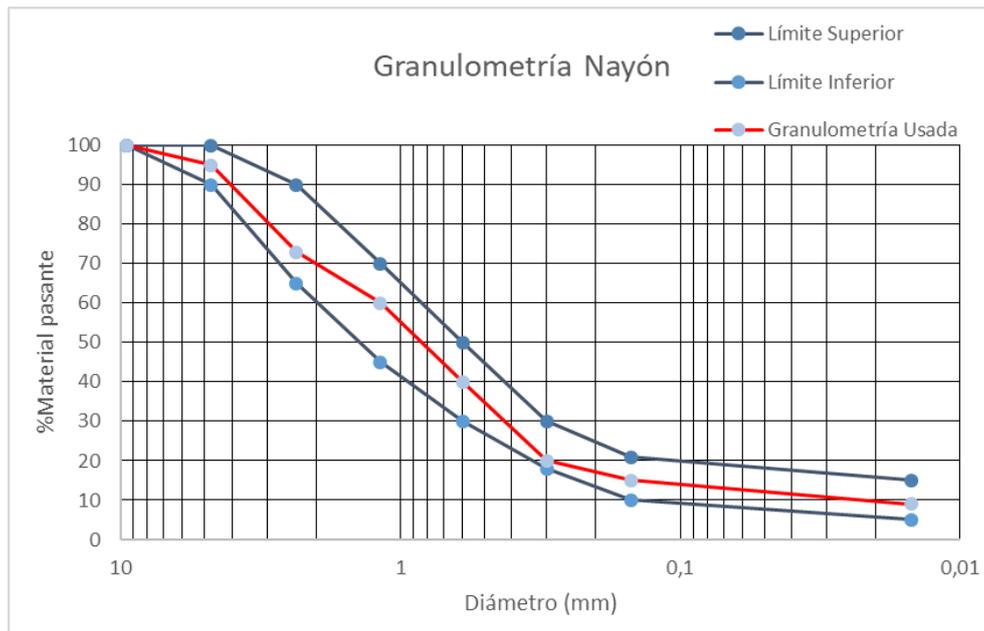


Figura 32 Curva granulométrica cantera Nayón.

9.2.2. Granulometría cantera Guayllabamba

Tabla 22 Granulometría cantera Guayllabamba

Cantera Guayllabamba								
Granulometría Inversa								
Peso inicial (g)			1000					
Diámetro (mm)		Límite superior	Límite inferior	% pasante	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acumulado Retenido (g)
0,375	9,5	100	100	100	0	0	0	0
4,00	4,75	100,00	90,00	97,00	3,00	3,00	30,00	30,00
8,00	2,36	90,00	65,00	80,00	20,00	17,00	170,00	200,00
16,00	1,18	70,00	45,00	63,00	37,00	17,00	170,00	370,00
30,00	0,60	50,00	30,00	45,00	55,00	18,00	180,00	550,00
50,00	0,30	30,00	18,00	25,00	75,00	20,00	200,00	750,00
100,00	0,15	21,00	10,00	20,00	80,00	5,00	50,00	800,00
200,00	0,02	15,00	5,00	6,00	94,00	14,00	140,00	940,00
Peso total acumulado (g)								1000

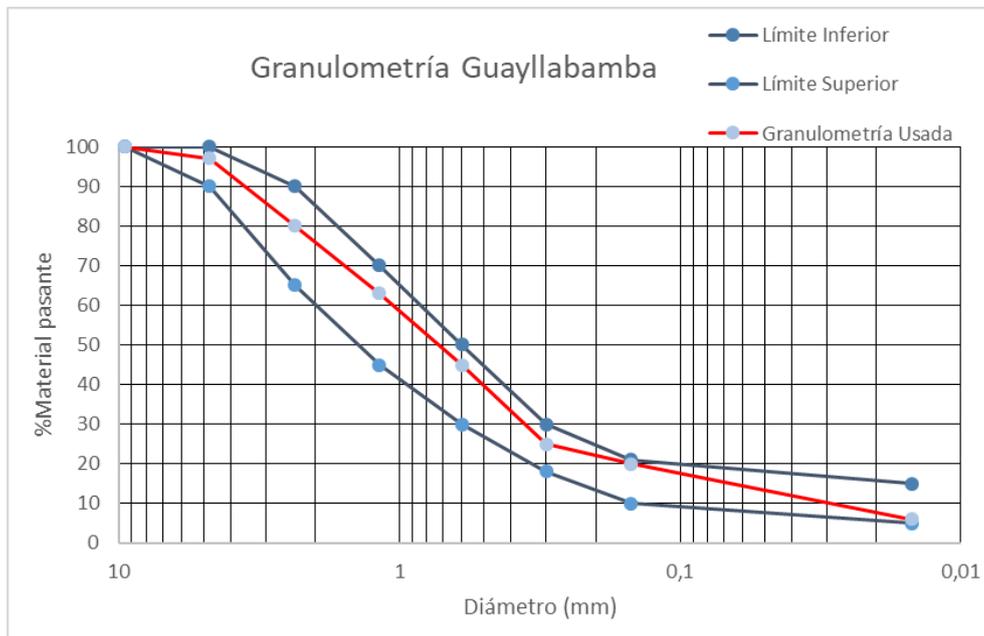


Figura 33 Curva granulométrica cantera Guayllabamba.

9.2.3. Granulometría cantera Naranjo López

Tabla 23 Granulometría cantera Naranjo López.

Cantera Naranjo López								
Granulometría Inversa								
Peso inicial (g)				1000				
Diámetro (mm)		Límite superior	Límite inferior	% pasante	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acumulado Retenido (g)
0,375	9,5	100	100	100	0	0	0	0
4,00	4,75	100,00	90,00	92,00	8,00	8,00	80,00	80,00
8,00	2,36	90,00	65,00	72,00	28,00	20,00	200,00	280,00
16,00	1,18	70,00	45,00	52,00	48,00	20,00	200,00	480,00
30,00	0,60	50,00	30,00	35,00	65,00	17,00	170,00	650,00
50,00	0,30	30,00	18,00	15,00	85,00	20,00	200,00	850,00
100,00	0,15	21,00	10,00	10,00	90,00	5,00	50,00	900,00
200,00	0,02	15,00	5,00	6,00	94,00	4,00	40,00	940,00
Peso total acumulado (g)								1000

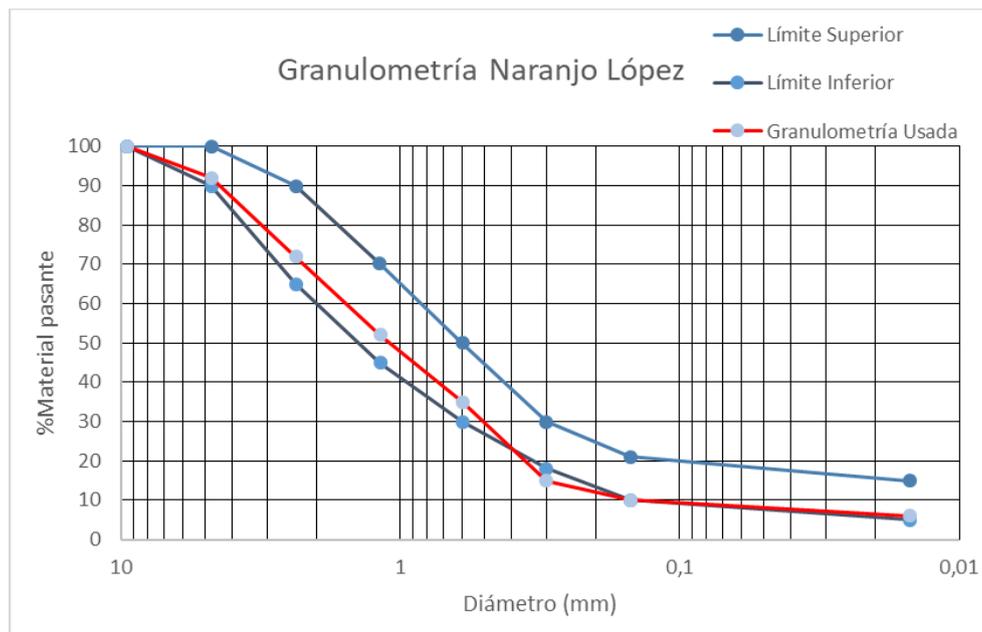


Figura 34 Curva granulométrica cantera Naranjo López

9.2.4. Granulometría cantera Pifo

Tabla 24 Granulometría cantera Pifo

Cantera Pifo								
Granulometría Inversa								
Peso inicial (g)			1000					
Diámetro (mm)		Límite superior	Límite inferior	% pasante	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acumulado Retenido (g)
0,375	9,5	100	100	100	0	0	0	0
4,00	4,75	100,00	90,00	88,00	12,00	12,00	120,00	120,00
8,00	2,36	90,00	65,00	68,00	32,00	20,00	200,00	320,00
16,00	1,18	70,00	45,00	55,00	45,00	13,00	130,00	450,00
30,00	0,60	50,00	30,00	32,00	68,00	23,00	230,00	680,00
50,00	0,30	30,00	18,00	20,00	80,00	12,00	120,00	800,00
100,00	0,15	21,00	10,00	15,00	85,00	5,00	50,00	850,00
200,00	0,02	15,00	5,00	8,00	92,00	7,00	70,00	920,00
Peso total acumulado (g)								1000

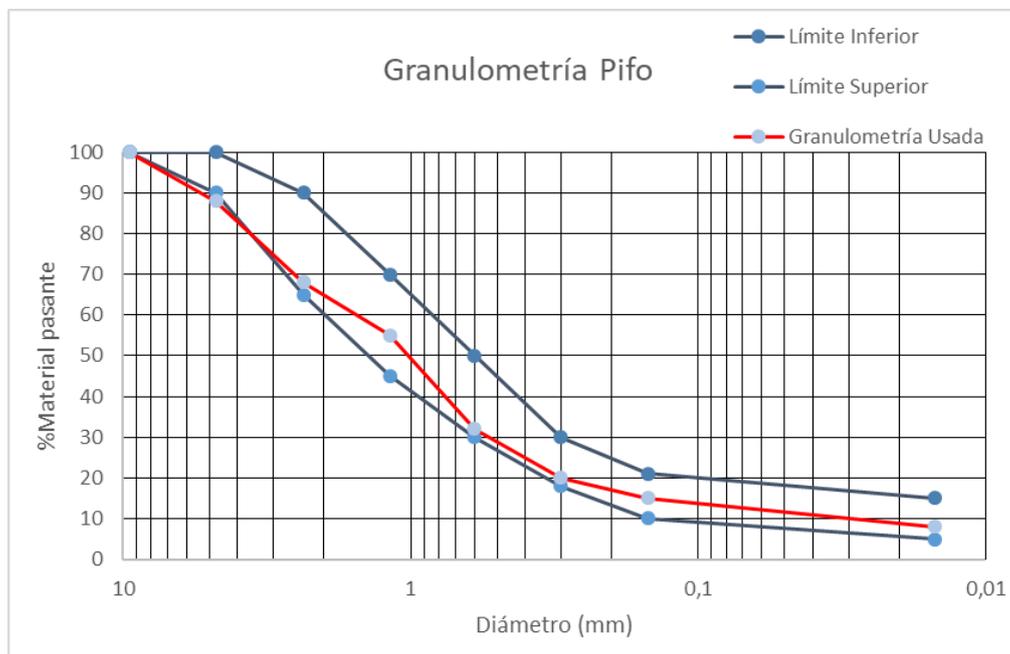


Figura 35 Curva granulométrica cantera Pifo.

9.2.5. Granulometría cantera Javier Robalino

Tabla 25 Granulometría cantera Javier Robalino

Cantera Javier Robalino								
Granulometría Inversa								
Peso inicial (g)			1000					
Diámetro (mm)		Limite superior	Limite inferior	% pasante	% Retenido Acumulado	% Retenido Parcial	Peso Parcial Retenido (g)	Peso Acumulado Retenido (g)
0,375	9,5	100	100	100	0	0	0	0
4,00	4,75	100,00	90,00	99,00	1,00	1,00	10,00	10,00
8,00	2,36	90,00	65,00	87,00	13,00	12,00	120,00	130,00
16,00	1,18	70,00	45,00	48,00	52,00	39,00	390,00	520,00
30,00	0,60	50,00	30,00	35,00	65,00	13,00	130,00	650,00
50,00	0,30	30,00	18,00	28,00	72,00	7,00	70,00	720,00
100,00	0,15	21,00	10,00	19,00	81,00	9,00	90,00	810,00
200,00	0,02	15,00	5,00	6,00	94,00	13,00	130,00	940,00
Peso total acumulado (g)								1000

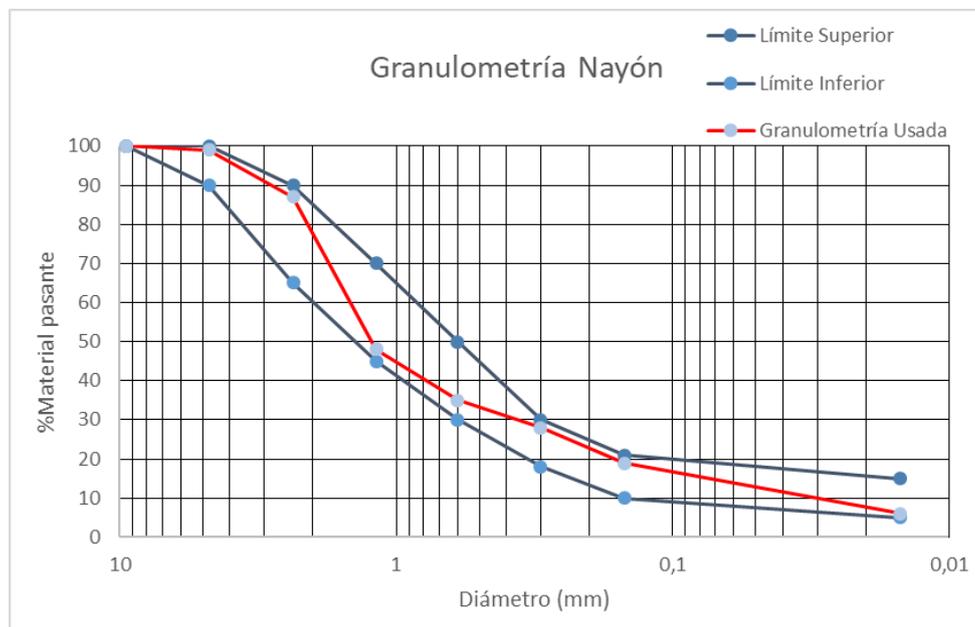


Figura 36 Curva granulométrica cantera Nayón.

9.3. ANEXO C

9.3.1. Relación tiempo de rotura cantera Nayón.

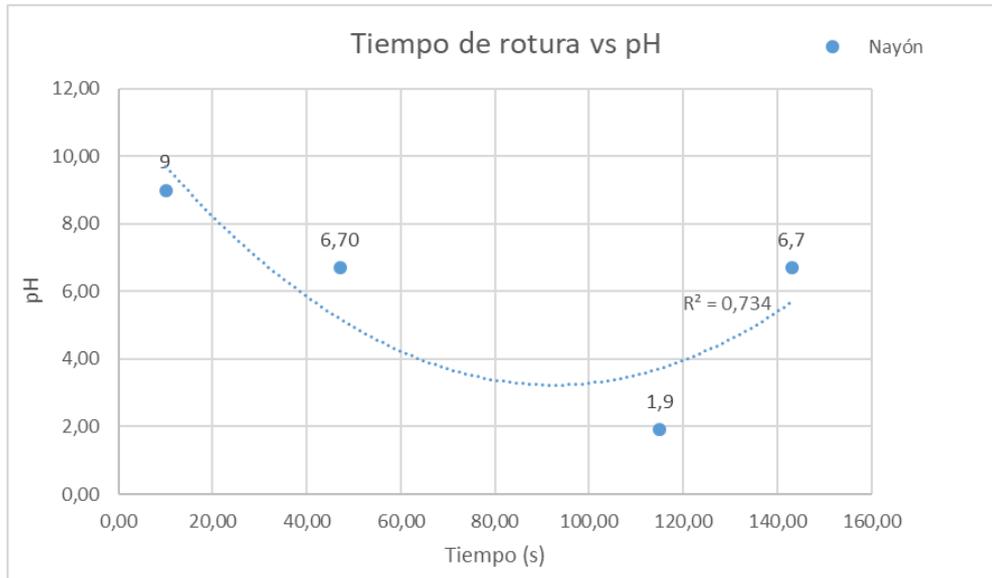


Figura 37 Relación tiempo de rotura cantera Nayón.

9.3.2. Relación tiempo de rotura cantera Naranjo López.

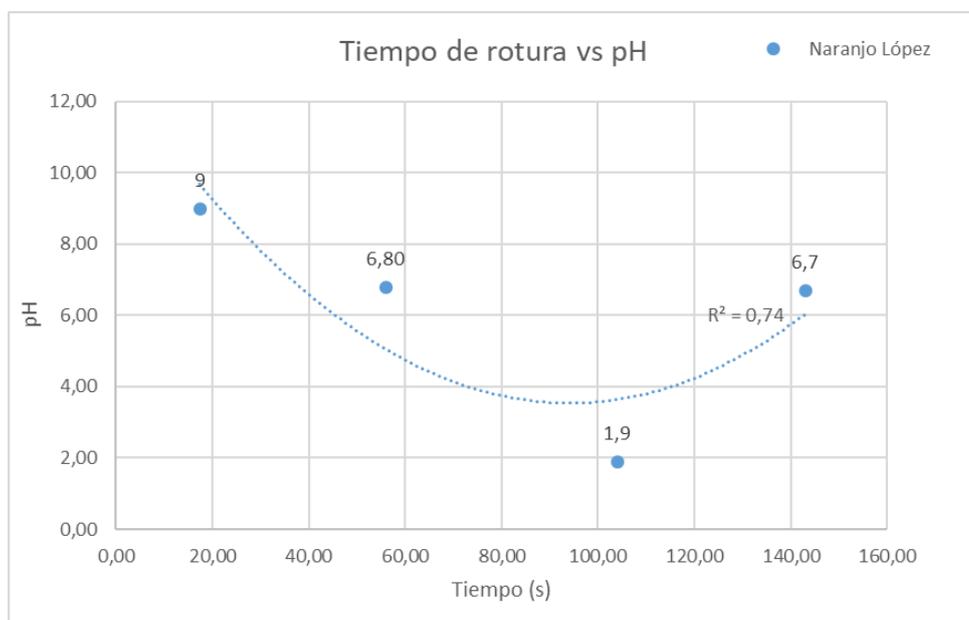


Figura 38 Relación tiempo de rotura cantera Naranjo López.

9.3.3. Relación tiempo de rotura cantera Guayllabamba.

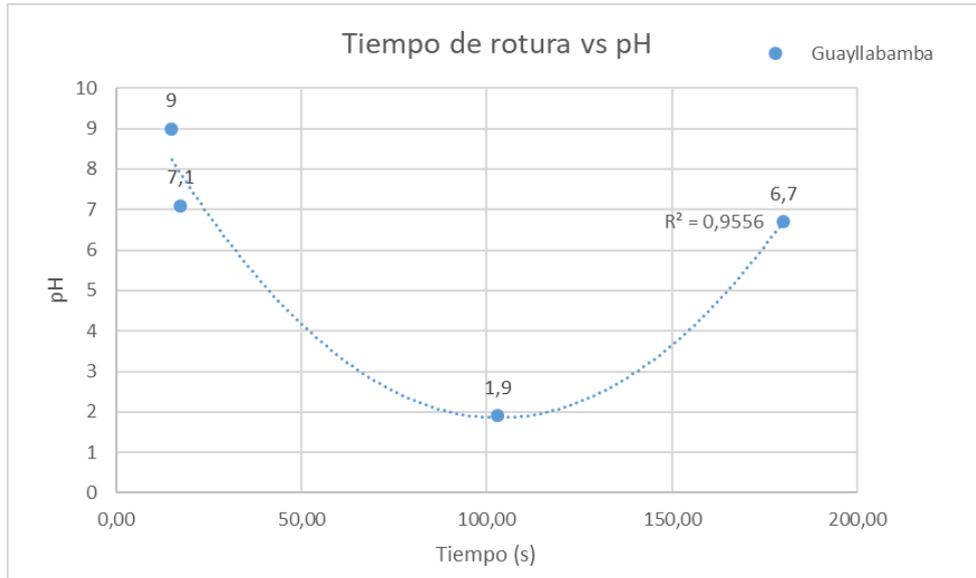


Figura 39 Relación tiempo de rotura cantera Guayllabamba.

9.3.4. Relación tiempo de rotura cantera Pifo.

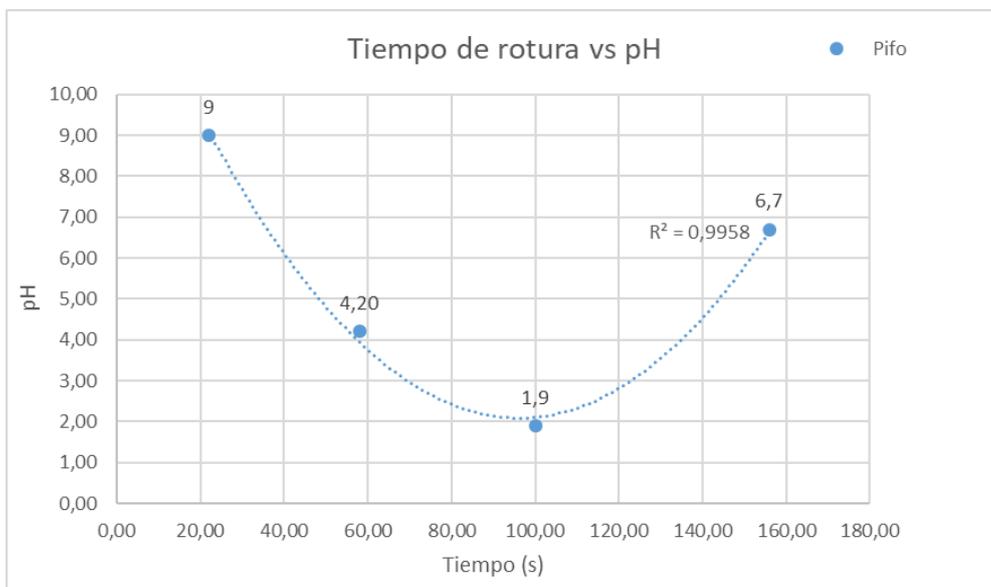


Figura 40 Relación tiempo de rotura cantera Pifo.

9.3.5. Relación tiempo de rotura cantera Javier Robalino.

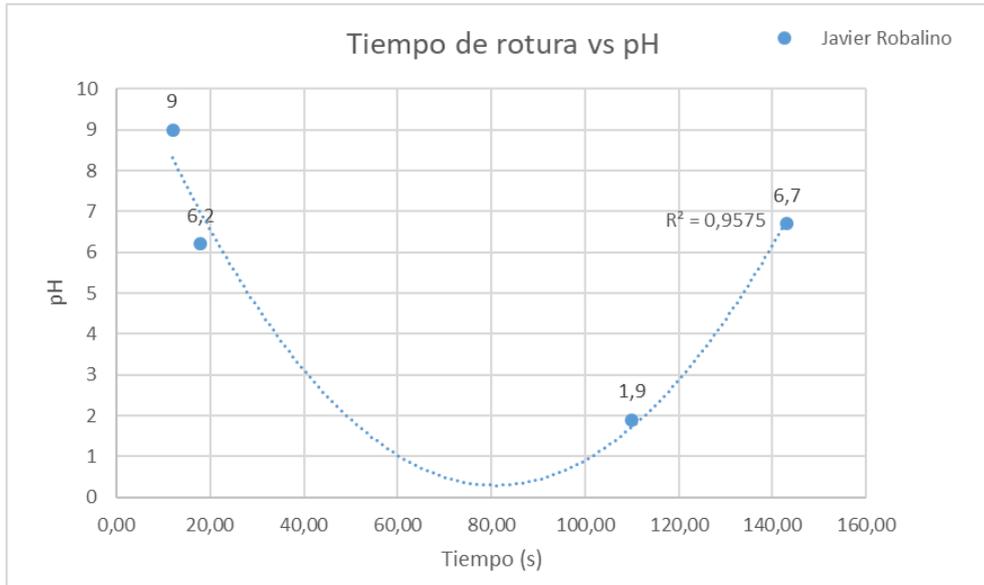


Figura 41 Relación tiempo de rotura cantera Javier Robalino.