



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL PROVENIENTE DE LAS  
MINAS: “KUMOCHI”, “LOS MUELLES” Y “CANTERA EL SALVADOR”  
DEL CANTÓN AMBATO UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE BASE  
Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.”**

---

**AUTOR:** Alexis Emilio Aldas Ramos

**TUTOR:** Ing. Alex Gustavo López Arboleda Mg.

**AMBATO - ECUADOR**

**Marzo - 2023**

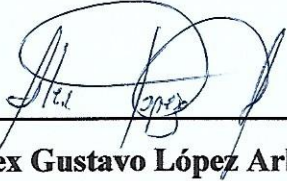
## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL PROVENIENTE DE LAS MINAS: “KUMOCHI”, “LOS MUELLES” Y “CANTERA EL SALVADOR” DEL CANTÓN AMBATO UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE BASE Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.”**; elaborado por el señor Alexis Emilio Aldas Ramos, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804854865, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



---

**Ing. Alex Gustavo López Arboleda Mg.**

**TUTOR**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, **Alexis Emilio Aldas Ramos**, con C.I. 1804854865, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL PROVENIENTE DE LAS MINAS: “KUMOCHI”, “LOS MUELLES” Y “CANTERA EL SALVADOR” DEL CANTÓN AMBATO UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE BASE Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.”**, así como también los análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



---

**Alexis Emilio Aldas Ramos**  
**C.I. 1804854865**  
**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



---

**Alexis Emilio Aldas Ramos**  
**C.I. 1804854865**  
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Alexis Emilio Aldas Ramos, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el Tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MATERIAL PROVENIENTE DE LAS MINAS: “KUMOCHI”, “LOS MUELLES” Y “CANTERA EL SALVADOR” DEL CANTÓN AMBATO UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE BASE Y SUBBASE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS”**.

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



---

Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado Mg.  
**MIEMBRO CALIFICADOR**



---

Ing. Mg. Dilon Germán Moya Medina  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

El presente documento está dedicado a mi familia y amigos que me han brindado su apoyo a lo largo de toda la carrera, que sin su apoyo no habría podido lograrlo, acompañándome una y tantas veces brindándome su tiempo y sus ánimos para que yo salga adelante, haciendo que siempre dé mi cien por ciento a pesar de los problemas que se han presentado a lo largo de este camino que he elegido.

En especial, está dedicado para mi abuelita que ha sido un pilar fundamental en mi vida, siendo mi segunda madre que sin ella no estaría donde estoy ahora.

**Emilio Aldas**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a mi madre María Eliza Ramos por ser siempre mi sustento y el pilar fundamental de mi vida, que siempre estuvo brindándome su apoyo en las buenas y en las malas, por enseñarme a ser una persona de bien y disciplinada para lograr mis metas.

A mis amigos y demás familiares que me han apoyado durante toda mi vida y más aún durante mi etapa universitaria haciendo que sea más fácil lidiar con los problemas y frustración que ha conllevado este período, en especial a mi amigo Diego Pizarro que me ha brindado su ayuda y apoyo incondicional durante este proceso.

A mi tutor Ing. Mg. Alex López por guiarme y saber transmitirme sus conocimientos a lo largo de la elaboración de este estudio. Así como al Ing. Mg. Byron López y al Ing. Christian Frías que me han sabido ayudar y guiar en la etapa experimental de este estudio.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.2. HIPÓTESIS.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	6
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	6
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
2.1. MATERIALES.....	7
2.2. MÉTODOS.....	13
2.2.1. <i>Estudios preliminares</i> .....	13
2.2.2. <i>Proceso de determinación de las propiedades índice de los agregados:</i> .....	15
2.2.3. <i>Proceso de determinación de la capacidad portante de las muestras de base y subbase:</i> .....	29
2.2.4. <i>Proceso para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados</i> .....	34
2.2.5. <i>Proceso para determinar el porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso:</i> .....	41
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>44</b>
3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	44
3.1.1. <i>Determinación de las propiedades índice de los agregados</i> .....	44
3.1.2. <i>Determinación de la capacidad portante de las muestras de base y subbase</i> .....	53
3.1.3. <i>Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados</i> .....	54
3.1.4. <i>Determinación del porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso</i> .....	57
3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	57



<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>60</b>
4.1 CONCLUSIONES.....	60
4.2 RECOMENDACIONES .....	61
<b>MATERIALES DE REFERENCIA .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1: ENSAYO, NORMA Y MUESTRA DE MATERIAL PARA ENSAYO. ....</b>	<b>5</b>
<b>TABLA 2: MATERIALES Y EQUIPOS USADOS EN LA REALIZACIÓN DE LOS RESPECTIVOS ENSAYOS.....</b>	<b>7</b>
<b>TABLA 3: EQUIPOS DE LABORATORIO .....</b>	<b>9</b>
<b>TABLA 4: COSTO POR METRO CÚBICO DE MATERIAL. ....</b>	<b>14</b>
<b>TABLA 5: REQUISITOS MÍNIMOS PARA LA MASA DE LAS MUESTRAS DE PRUEBA Y LEGIBILIDAD DE EQUILIBRIO.....</b>	<b>17</b>
<b>TABLA 6: TAMAÑO DE MUESTRA MÍNIMA PARA AGREGADO GRUESO .....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 7: ORDEN DESCENDENTE DE TAMICES Y SU ABERTURA EN MILÍMETROS PARA AGREGADO FINO. ....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA 8: ORDEN DESCENDENTE DE TAMICES Y SU ABERTURA EN MILÍMETROS PARA AGREGADO GRUESO. ....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA 9: TIPOS DE MÉTODOS PARA PROCTOR MODIFICADO. ....</b>	<b>35</b>
<b>TABLA 10: TAMICES ESTÁNDAR PARA AGREGADO FINO .....</b>	<b>37</b>
<b>TABLA 11: TAMICES ESTÁNDAR PARA AGREGADO GRUESO .....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 12: TAMICES USADOS PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA DEL AGREGADO GRUESO. ....</b>	<b>39</b>
<b>TABLA 13: GRANULOMETRÍA MUESTRA DE ENSAYO. ....</b>	<b>40</b>
<b>TABLA 14: MASA DE LA CARGA PARA LOS TIPOS DE GRANULOMETRÍA.....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 15: MUESTRA MÍNIMA DE PRUEBA DE ACUERDO A SU TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO. ....</b>	<b>43</b>
<b>TABLA 16: RESULTADOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL.....</b>	<b>44</b>
<b>TABLA 17: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG.....</b>	<b>45</b>
<b>TABLA 18: RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA. ....</b>	<b>52</b>

<b>TABLA 19: DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS – RESUMEN CANTERAS</b> .....	<b>53</b>
<b>TABLA 20: RESULTADOS DEL ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO.</b> .....	<b>53</b>
<b>TABLA 21: RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.</b> .....	<b>55</b>
<b>TABLA 22: VALORES DE CBR</b> .....	<b>55</b>
<b>TABLA 23: RESULTADOS DEL ENSAYO DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS.</b> .	<b>56</b>
<b>TABLA 24: RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.</b> .....	<b>57</b>
<b>TABLA 25: RESULTADOS DEL ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS.</b> .....	<b>57</b>

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1: UBICACIÓN DE LAS MINAS EN EL CANTÓN AMBATO</b> .....	<b>13</b>
<b>FIGURA 2: AGUA GRAVITACIONAL.</b> .....	<b>15</b>
<b>FIGURA 3: AGUA CAPILAR.</b> .....	<b>15</b>
<b>FIGURA 4: AGUA HIGROSCÓPICA</b> .....	<b>16</b>
<b>FIGURA 5: ÍNDICE DE PLASTICIDAD</b> .....	<b>18</b>
<b>FIGURA 6: MUESTRA DE SUELO EN LA COPA DE CASAGRANDE.</b> .....	<b>20</b>
<b>FIGURA 7: MUESTRA DE SUELO DESPUÉS DEL ENSAYO.</b> .....	<b>21</b>
<b>FIGURA 8: ROLADO DE ROLLOS.</b> .....	<b>22</b>
<b>FIGURA 9: ENSAYO DE GRANULOMETRÍA CON TAMICES.</b> .....	<b>23</b>
<b>FIGURA 10: DENSIDAD DE PARTÍCULAS</b> .....	<b>27</b>
<b>FIGURA 11: ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO.</b> .....	<b>30</b>
<b>FIGURA 12: MOLDE CON COLLARÍN EXTENSOR Y DISCO ESPACIADOR.</b> .....	<b>31</b>
<b>FIGURA 13: VÁSTAGO PORTAPESAS</b> .....	<b>32</b>
<b>FIGURA 14: POSICIÓN DEL DIAL SOBRE EL MOLDE.</b> .....	<b>32</b>
<b>FIGURA 15: ESTILADO DE AGUA DE MOLDES.</b> .....	<b>33</b>
<b>FIGURA 16: DENSIDAD PROMEDIO DE LAS CAPAS DE ACUERDO AL PROCTOR MODIFICADO</b> .....	<b>34</b>
<b>FIGURA 17: DESINTEGRACIÓN DE ROCA POR FENÓMENOS FÍSICOS Y MECÁNICOS.</b> .....	<b>37</b>

<b>FIGURA 18: MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 19: ESQUEMA DE UNA PARTÍCULA FRACTURADA CON UNA CARA FRACTURADA.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 20: CURVA GRANULOMÉTRICA ARENA LAVADA MINA “EL SALVADOR”. 46</b>	
<b>FIGURA 21: CURVA GRANULOMÉTRICA RIPIO TRITURADO MINA “EL SALVADOR”. .....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 22: CURVA GRANULOMÉTRICA ARENA LAVADA MINA “KUMOCHI”.....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 23: CURVA GRANULOMÉTRICA RIPIO TRITURADO MINA “KUMOCHI”... 47</b>	
<b>FIGURA 24: CURVA GRANULOMÉTRICA ARENA LAVADA MINA “LOS MUELLES”. 48</b>	
<b>FIGURA 25: CURVA GRANULOMÉTRICA RIPIO TRITURADO “LOS MUELLES”. .....</b>	<b>48</b>
<b>FIGURA 26: CURVA GRANULOMÉTRICA BASE CLASE 1 TIPO B “EL SALVADOR”... 49</b>	
<b>FIGURA 27: CURVA GRANULOMÉTRICA SUBBASE CLASE 2 “EL SALVADOR”. .....</b>	<b>49</b>
<b>FIGURA 28: CURVA GRANULOMÉTRICA BASE CLASE 1 TIPO B “KUMOCHI”.....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 29: CURVA GRANULOMÉTRICA SUBBASE CLASE 2 “KUMOCHI”. .....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 30: CURVA GRANULOMÉTRICA BASE CLASE 1 TIPO B “LOS MUELLES”... 51</b>	
<b>FIGURA 31: CURVA GRANULOMÉTRICA SUBBASE CLASE 2 “LOS MUELLES”. .....</b>	<b>51</b>

## RESUMEN

Debido al estado en que se encuentran las vías del Cantón Ambato en general, surgió la iniciativa de estudiar a fondo la construcción de las mismas, puesto que el proceso constructivo de una vía conlleva generalmente tres capas, que a su vez están compuestas por material proveniente de las diferentes minas calificadas del cantón. A partir del material seleccionado de estas minas, se tomaron muestras de agregado fino (arena lavada) y agregado grueso (ripio cribado) con las cuales se realizaron ensayos de laboratorio que determinaron sus propiedades índice (humedad natural, límites de Atterberg, granulometría, Proctor modificado y densidad relativa), el ensayo California Bearing Ratio para determinar la capacidad portante, ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas (solidez de los agregados y resistencia a la abrasión) y el ensayo para determinar el porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso; donde el material de la mina “El Salvador” resultó como aquel con mejores características además de tener un menor costo por metro cúbico; no obstante, los agregados de las minas “Kumochi” y “Los Muelles” también cumplieron con los estándares de calidad estipulados por la Norma Ecuatoriana Vial; además de que los agregados de todas las minas presentaron valores normales de acuerdo a su tipo.

**PALABRAS CLAVE:** Arena lavada, Ripio cribado, Propiedades índice, Capacidad portante, Propiedades físicas, Propiedades mecánicas, Caras fracturadas.

## ABSTRACT

Due to the state of the roads of the Ambato Canton in general, the initiative arose to study in depth the construction of the same, since the construction process of a road generally involves three layers, which in turn are composed of material from the different qualified mines of the canton. From the material selected from these mines, samples of fine aggregate (washed sand) and coarse aggregate (screened gravel) were taken with which laboratory tests were carried out that determined their index properties (natural humidity, Atterberg limits, granulometry, modified Proctor and relative density), the California Bearing Ratio test to determine the bearing capacity, tests to determine the physical and mechanical properties (strength of the aggregates and resistance to abrasion) and the assay to determine the percentage of fractured faces of the coarse aggregate; where the material of the mine "El Salvador" was as the one with better characteristics in addition to having a lower cost per cubic meter; however, the aggregates from the "Kumochi" and "Los Muelles" mines also met the quality standards stipulated by the Ecuadorian Road Standard; In addition, the aggregates of all the mines presented normal values according to their type.

**KEY WORDS:** Washed sand, Swept screening, Index properties, Bearing capacity, Physical properties, Mechanical properties, Fractured faces.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

Los caminos tuvieron su origen cuando el ser humano comenzó a recorrer las mismas sendas una y otra vez en busca de comida, agua y demás necesidades primordiales. Es instinto natural el buscar rutas que nos lleven de un lugar a otro de forma fácil, rápida y segura, he ahí la importancia de un camino. Desde un inicio, las vías han tenido gran importancia para el desarrollo de la humanidad, son vitales para la comunicación con otros poblados, el transporte de artículos para intercambio y venta, fortaleciendo el comercio y a los pueblos en sí. Visto de esta manera, aquella ciudad que estaba más comunicada con las demás crecía y se desarrollaba de una manera más rápida que la que no tenía vías de comunicación ya que una civilización más comunicada con otras tenía acceso a más cultura, tecnología y recursos. Conforme el humano iba evolucionando, los caminos lo hacían con él, creciendo tanto en longitud como en ancho para permitir el paso de animales y posteriormente de máquinas de tracción animal hasta finalmente llegar a lo que se conoce hoy como carreteras por donde circulan vehículos de tracción mecánica.[1]

Los caminos construidos de mayor antigüedad que han sido descubiertos hasta la fecha pertenecen a la zona mesopotámica en el territorio que actualmente es Irak, datan de aproximadamente el año 4000 a. C. y estaban ubicadas en las ciudades de Ur y Babilonia, se usaron ladrillos de barro fijados con betún para su construcción, este material ligante es una sustancia pegajosa de color negro natural del asfalto así pues se usó por primera vez un asfalto rudimentario en el mundo.[2]

La “Carretera Real Persa” es la carretera de larga distancia más antigua que ha estado en uso desde el año 3500 al 300 a. C. con una distancia total de 2.957 km, otras carreteras más modernas que la anterior mencionada (700-600 a. C.) fueron las “Procesionales” que atravesaban las ciudades de Asur y Babilonia, mismas que para su construcción usaban ladrillo cocido y piedra siendo unidas por un mortero bituminoso. Coexistió junto con carreteras de China, las cuales eran amplias y cubiertas con piedra, además de tener puentes, ferry y escaleras de huella ancha. Esta red china se extendía por alrededor de 3.200 kilómetros. Otro país donde existen carreteras muy antiguas es India (Baluchistan y Punjab), donde las carreteras estaban cubiertas de ladrillos cocidos unidos con betún. No obstante, las primeras carreteras

construidas científicamente fueron las romanas, que se denominaban calzadas debido al nombre proveniente de la palabra calx, calcis (piedra caliza).[3]

La necesidad del uso de bases y subbases para una carretera ha sido conocida desde hace cientos de años por la civilización romana que construyó cerca de 85.000 kilómetros de caminos para hacer más sencillo el proceso de movilizar los ejércitos y provisiones. Los romanos protegieron la tierra natural (subrasante) del impacto de la carga de carretas y animales, sobre la cual se asentaron sus vías mediante varias capas de piedra, además de darle una inclinación para de este modo mantener el agua fuera de la carretera, la vía más antigua de este tipo data del 312 a. C. [[4]

Las primeras bases y subbases fueron de materiales muy gruesos, el tamaño del material se fue reduciendo conforme se incursionó en el uso de capas de rodadura con ligantes asfálticos y cemento. En el Continente Americano, la implementación de la capa base y subbase se dio en contexto militar ya que con el fin de apoyar a los aviones bombarderos pesados se le asignó la responsabilidad del diseño y construcción de aeródromos militares al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. en 1940. Las aeronaves le imprimían al pavimento una carga que nunca fue vista antes, de tres a cinco veces que lo que se veía normalmente, debido a estas cargas tan grandes se optó por cambiar el diseño de pavimento rígido apoyado directamente sobre la subrasante sin ninguna capa debajo del pavimento. Así se implementaron las capas de base/subbase para elevar la capacidad estructural del pavimento rígido y así reducir el espesor de la capa de rodadura.[5]

La infraestructura ecuatoriana es consecuencia del mejoramiento de las rutas coloniales que fueron trazadas a lo largo y ancho de nuestro país reguladas por Juntas de Caminos Regionales, en 1962 la extensión de la red vial se registró en 14.384 kilómetros contando con 857 kilómetros asfaltados, es decir solamente el 6% aproximadamente eran carreteras asfaltadas. Para 1967 la red creció hasta abarcar 22.537 km. En 2017 la red vial nacional, como se conoce al conjunto de caminos y carreteras de Ecuador abarcó unos 42.000 km donde 15.000 kilómetros están pavimentados (35,7% pavimentadas).[6]

Una vez que se implementó alrededor de todo el mundo esta metodología donde el pavimento se asienta sobre dos o tres capas dependiendo si es pavimento rígido o

flexible respectivamente; para las nuevas vías, fue necesaria la creación o actualización de la normativa para regular aspectos del material que se usará en el diseño, construcción y mantenimiento de las mismas. Con este fin se han desarrollado normas en todo el mundo, un ejemplo son las Normas Europeas que han sido desarrolladas por el CEN (Comité Europeo de Normalización) que fue fundado en 1961. A partir de esta, los países de la unión europea elaboran normativa propia adaptándose a sus necesidades y condiciones pero que guardan relación entre sí, estas son las llamadas “Normas Armonizadas”. [7]

En el continente americano en cambio se puede destacar la norma ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales) que se han creado en el año 1898 en Estados Unidos. Esta normativa rige varias industrias como metales, construcción, petróleo, entre otras. [8]

Las normas ASTM han servido de base para la creación de normativa alrededor del mundo, es el caso de Ecuador que con sus normas INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) rige y controla varias industrias. Además, en el país, la infraestructura vial se ve amenazada tanto por el riesgo sísmico como por el clima es por esto que ha sido necesario tomar soluciones inmediatas creando nueva normativa dedicada a aspectos puntuales, por ejemplo, las normas MOP (Ministerio de Obras Públicas) y NEVI (Norma Vial Ecuatoriana) que se encargan de regular los aspectos de diseño, ejecución y control de calidad de obras civiles. [9]

Esta normativa (ASTM, INEN y MOP) ha ayudado en el desarrollo del presente trabajo experimental ya que este conjunto de normas recopila: objetivos, alcances, definiciones, disposiciones generales, métodos, procedimientos, entre otros aspectos para la ejecución de los respectivos ensayos que serán necesarios para evaluar la calidad del material usado en la ejecución de proyectos viales.

Para determinar la calidad de un paquete asfáltico, es necesario evaluar sus componentes, es decir: base, subbase, subrasante y la carpeta asfáltica; no obstante, para un análisis más exhaustivo se podrá analizar los subcomponentes de cada una de estas capas, para el presente trabajo se evaluarán los componentes de base y subbase, es decir: arena y ripio. [10]



Actualmente una capa Subbase se conoce como la fracción de la estructura del pavimento que se encuentra entre la capa de rodadura y la capa base, generalmente compuesta por material granular compactado ya sea tratado o no. Además de su posición en el paquete asfáltico se diferencia de las demás capas debido a que cumple con requisitos menos estrictos. La importancia de esta capa radica principalmente en el costo de construcción debido a que si el espesor de la misma es el adecuado se puede reducir el gasto en material de base, reduciendo su espesor, también tiene funciones como minimizar el daño causado por heladas y evitar la acumulación de agua entre la estructura del pavimento.[11]

En cambio, una capa Base se define como la fracción de la estructura del pavimento que se encuentra debajo de la capa de rodadura y se construye encima de la capa Subbase o sobre la Subrasante. Debe cumplir con estándares más estrictos.[12]

Según Xiao, Tumuler y Siekmer, la importancia de la calidad del agregado no ligado (agregado fino y grueso) para las capas de cimentación del pavimento flexible es que rigen el agrietamiento por fatiga en sentido de abajo hacia arriba, un agregado de mejor calidad minimiza las deformaciones en la capa de rodadura.[13]

Estudios similares se han realizado en Ecuador, el estudio de Parra, et. al. en el año 2019 usando el material de la mina Copeto ubicada en Toachi en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas ha puesto a prueba la capacidad portante de bases y subbases de diferentes clases usando el material de la mina mencionada anteriormente, además de que se ha realizado la caracterización del agregado individualmente.[14]

Entonces, el desempeño de este material, así como su calidad se determina a través de un conjunto de pruebas que han sido diseñadas específicamente para evidenciar que los materiales tengan un comportamiento apropiado bajo el criterio de que serán usados en infraestructura vial, además de comprobar que los valores arrojados por los ensayos estén dentro de los rangos establecidos por cada país mediante sus normas viales. Para caracterizar los agregados y llevar un correcto control de calidad se evaluarán las propiedades índice, además de físicas y mecánicas.[15]

Se ha realizado la caracterización del material proveniente de tres minas estratégicamente seleccionadas debido a su ubicación en el Cantón Ambato, tomando

muestras significativas y realizando los ensayos siguiendo la respectiva normativa expuesta en la siguiente tabla:

**Tabla 1:** Ensayo, norma y muestra de material para ensayo.

Ensayo	Norma	Material			
		Arena Lavada	Ripio Cribado	Base Clase 1-B	Subbase Clase 2
Contenido de humedad natural	ASTM D2216-19	X	X		
Límites de Atterberg	INEN 691/692	X			
Granulometría	ASTM C136/136M-19	X	X	X	X
Proctor Modificado	ASTM D1557-12			X	X
Densidad Relativa	ASTM C127/128-15	X	X		
California Bearing Ratio	ASTM D1883-16			X	X
Solidez de los agregados	ASTM C88-18	X	X		
Resistencia a la abrasión	ASTM C131/131M-20		X		
Porcentaje de caras fracturadas	ASTM D5821-13		X		

**Fuente:** Autor.

## 1.2. Hipótesis

¿Cumplen las bases y subbases elaboradas a partir de los materiales provenientes de las minas “El Salvador”, “Kumochi” y “Los Muelles” pertenecientes al cantón Ambato, provincia de Tungurahua en Ecuador con el requisito de la Norma Ecuatoriana Vial de alcanzar un valor de California Bearing Ratio (CBR) de más de 80% para bases y de más de 30% para subbases?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad de los materiales de las minas: “Kumochi”, “Los Muelles” y “Cantera El Salvador” empleados como base y subbase en la construcción de carreteras mediante un análisis comparativo.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades índice de las muestras mediante los ensayos de: límites de Atterberg, contenido de humedad, granulometría, Proctor modificado y densidad relativa.
- Determinar la capacidad portante de las muestras mediante el ensayo California Bearing Ratio (CBR).
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras extraídas de las minas mediante los ensayos de durabilidad y resistencia a la abrasión.
- Determinar el porcentaje de caras fracturadas de las muestras de agregado grueso.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Materiales

En la siguiente tabla se recopilaron los materiales y equipos que se usaron para la realización de cada ensayo:

**Tabla 2:** Materiales y equipos usados en la realización de los respectivos ensayos.


Ensayo	Materiales	Equipos
Muestreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pala</li> <li>• Costales</li> <li>• Fundas</li> <li>• Cinta de embalaje</li> </ul>	-----
Límite líquido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Muestra de arena lavada pasada por el tamiz No. 40</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Copa de Casagrande</li> <li>• Mortero</li> <li>• Balanza</li> <li>• Pistilo</li> <li>• Espátula</li> <li>• Horno</li> <li>• Acanalador</li> <li>• Recipientes para horno</li> </ul>
Límite plástico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Muestra de arena lavada pasada por el tamiz No. 40</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motero</li> <li>• Pistilo</li> <li>• Balanza</li> <li>• Placa de vidrio</li> <li>• Horno</li> <li>• Recipientes para horno</li> </ul>
Contenido de humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de arena y ripio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horno</li> <li>• Recipientes para horno</li> <li>• Balanza</li> </ul>
Granulometría	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de arena y ripio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego de tamices</li> <li>• Balanza</li> <li>• Recipientes</li> <li>• Brocha</li> </ul>
Proctor modificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Muestra de base que pase por el tamiz <math>\frac{3}{4}</math></li> <li>• Muestra de subbase que pase por el tamiz <math>\frac{3}{4}</math></li> <li>• Palustre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bandeja</li> <li>• Recipientes</li> <li>• Balanza</li> <li>• Molde cilíndrico</li> <li>• Pistón compactador</li> <li>• Enrasador</li> <li>• Probeta</li> </ul>









Densidad Relativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Balde</li> <li>• Muestra de arena</li> <li>• Muestra de ripio</li> <li>• Franela</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canastilla</li> <li>• Picnómetro</li> <li>• Pipeta</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Embudo</li> <li>• Máquina de baño María</li> <li>• Recipiente para horno</li> <li>• Balanza</li> <li>• Horno</li> <li>• Campana</li> <li>• Pistón</li> </ul>
California Bearing Ratio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Muestra de base que pase por el tamiz <math>\frac{3}{4}</math></li> <li>• Muestra de subbase que pase por el tamiz <math>\frac{3}{4}</math></li> <li>• Palustre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molde cilíndrico</li> <li>• Pistón compactador</li> <li>• Bandeja</li> <li>• Probeta</li> <li>• Enrasador</li> <li>• Balanza</li> <li>• Deformímetro</li> <li>• Vástago porta pesas</li> <li>• Pesas</li> <li>• Horno</li> <li>• Recipientes para horno</li> <li>• Máquina Multispeed</li> </ul>
Solidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de arena</li> <li>• Muestra de ripio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamices</li> <li>• Recipientes</li> <li>• Termómetro</li> <li>• Balanza</li> <li>• Solución de sulfato de sodio</li> </ul>
Resistencia a la abrasión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de ripio</li> <li>• Agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de los ángeles</li> <li>• Balanza</li> <li>• Tamiz No. 12</li> <li>• Esferas de acero</li> </ul>
Porcentaje de caras fracturadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra de ripio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza</li> </ul>

**Fuente:** Autor.

El laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Ambato ha sido quien proporcionó los equipos citados anteriormente, a continuación, se detallan los equipos que fueron utilizados para la realización de los respectivos ensayos:

**Tabla 3:** Equipos de laboratorio

<p><b>Recipientes para horno</b></p> 	<p><b>Pipeta</b></p> 
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Modelo:</p>
<p><b>Balanza De Precisión</b></p> 	<p><b>Embudo</b></p> 
<p>Marca: Satorius Modelo: M-Power</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Horno</b></p> 	<p><b>Canastilla</b></p> 
<p>Marca: HUMBOLDT Modelo: MFG-2011</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Copa de Casagrande</b></p> 	<p><b>Bandeja</b></p> 
<p>Marca: Humboldt Modelo: H-4226</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Mortero</b></p>	<p><b>Campana</b></p>

	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Pistilo</b></p>	<p><b>Pistón</b></p>
	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Espátula</b></p>	<p><b>Máquina Baño María</b></p>
	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Humboldt Modelo: H1390</p>
<p><b>Placa de Vidrio</b></p>	<p><b>Máquina Multispeed</b></p>
	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: CONTROLS Modelo: 73V1174</p>
<p><b>Juego de Tamices</b></p>	<p><b>Pesa Ranurada</b></p>

	
<p>Marca: Humboldt</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Recipientes</b></p>	<p><b>Tamizadora</b></p>
	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Controls Modelo: D407</p>
<p><b>Molde Cilíndrico</b></p>	<p><b>Máquina de los Ángeles</b></p>
	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Adatec Modelo: 48-D0500</p>
<p><b>Pistón Compactador</b></p>	<p><b>Esferas de Acero</b></p>
	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Palustre</b></p>	<p><b>Termómetro</b></p>



	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Probeta</b></p>	<p><b>Sulfato de Sodio</b></p>
	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Pesa Anular</b></p>	<p><b>Bandeja de Recolección</b></p>
	
<p>Marca: Sin marca</p>	<p>Marca: Sin marca</p>
<p><b>Picnómetro</b></p>	
	
<p>Marca: LMS Modelo: 61319526</p>	

Fuente: Autor

## 2.2. Métodos

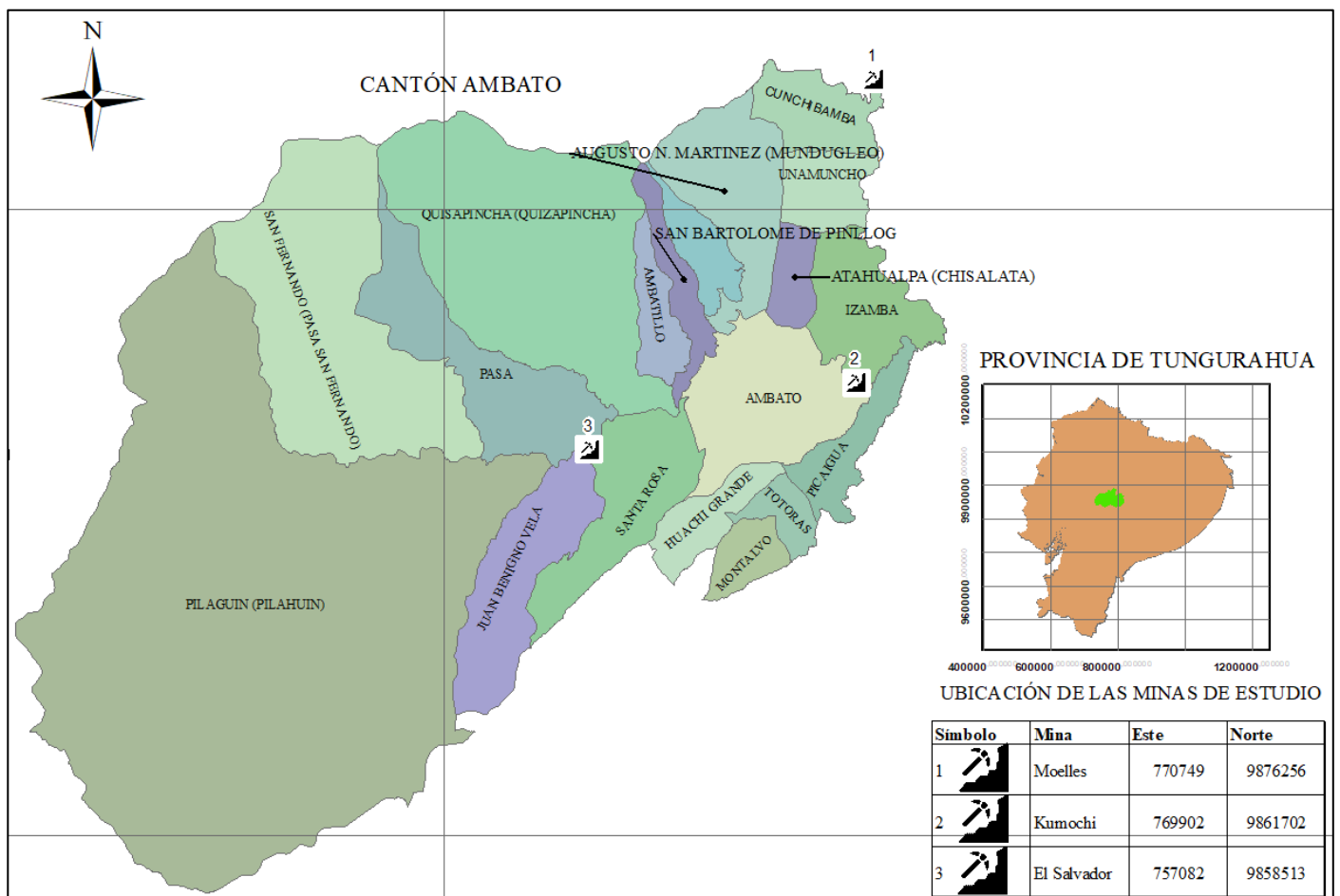
Se realizó una investigación experimental de laboratorio, ya que es necesario tener un ambiente controlado para reducir al mínimo variables que puedan afectar los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, además de que es necesario equipo que cumpla con la normativa para realizar la caracterización del agregado y las mezclas tanto base clase 1B como subbase clase 2 separando esta caracterización de acuerdo a los siguientes procesos:

### 2.2.1. Estudios preliminares

#### 2.2.1.1. Extracción de muestras

Se extrajo arena lavada y ripio triturado de las minas que se muestran a continuación:

**Figura 1:** Ubicación de las minas en el cantón Ambato



**Fuente:** Autor.

La cantera “El Salvador” se encuentra ubicada entre las parroquias: Santa Rosa, Juan Benigno Vela y Pasa en el centro del cantón Ambato; la mina “Kumochi” se encuentra ubicada entre las parroquias Ambato, Izamba y Picaigua al Este del cantón Ambato mientras que la mina “Muelles” se encuentra en el límite de la parroquia Cunchibamba al Noreste del cantón.

El costo por metro cúbico de cada tipo de material en cada mina se tabuló a continuación:

**Tabla 4:** Costo por metro cúbico de material.

<b>Costo por metro cúbico de material</b>			
<b>Mina</b>	<b>Material</b>	<b>Costo</b>	<b>Promedio</b>
El Salvador	Arena lavada	\$ 5,00	\$ 6,50
	Ripio cribado	\$ 8,00	
Kumochi	Arena lavada	\$ 4,75	\$ 8,13
	Ripio cribado	\$ 11,50	
Muelles	Arena lavada	\$ 5,00	\$ 7,00
	Ripio cribado	\$ 9,00	

**Fuente:** Autor.

Donde se puede ver que, en cuanto a la arena lavada, el costo más bajo fue de la mina “Kumochi” mientras que para el ripio cribado fue de la mina “El Salvador”

El proceso se realizó usando una pala y fundas grandes para evitar que los finos del material salgan por los orificios de las lonas.

#### **2.2.1.2. Conformación de base y subbase**

Para la conformación de base y subbase se recurrió a los límites establecidos por la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI), mediante un promedio se logró sacar una línea que muestra el porcentaje de agregado retenido por cada tamiz que es necesario para lograr la granulometría especificada para Base clase 1 tipo B y para Subbase clase 2.

Se tamizó el ripio cribado y la arena lavada las veces que fueron necesarias para obtener el material requerido para conformar alrededor de 54000 gramos de muestra específicamente para los ensayos de CBR y Proctor modificado.

## 2.2.2. Proceso de determinación de las propiedades índice de los agregados:

### 2.2.2.1. Humedad natural

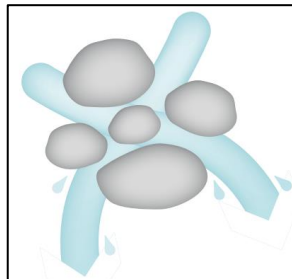
Para evaluar las características de los agregados es necesario comenzar por el contenido de humedad natural, que se define como la relación de la masa de agua alojada en los poros del agregado fino o grueso con la masa de las partículas sólidas, esta relación se expresa en porcentaje.[16]

La determinación de esta relación servirá para determinar con cuánto de humedad aporta el agregado naturalmente o por el contrario si el agregado no aporta humedad de forma natural. El contenido de humedad es la propiedad más importante para establecer relaciones entre el comportamiento del suelo con sus propiedades índice, el contenido de humedad se usa para expresar las relaciones entre las fases del suelo (aire, agua y sólidos) para un volumen determinado.[17]

El agua en el suelo podrá estar presente de tres formas:

Gravitacional: se drena de forma natural del suelo por acción de la gravedad.[18]

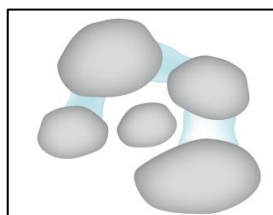
**Figura 2:** Agua Gravitacional.



**Fuente:** Guía para la compactación de suelos, Caterpillar.

Capilar: se introduce en los poros del suelo, su eliminación solamente se podrá hacer mediante evaporación.[19]

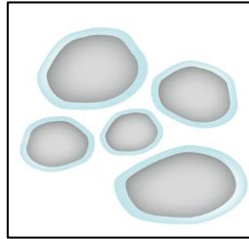
**Figura 3:** Agua Capilar.



**Fuente:** Guía para la compactación de suelos, Caterpillar.

Higroscópica: permanece en el suelo luego de eliminar los dos tipos anteriores de humedad y es retenida debido tanto a la afinidad física como química de los componentes granulares del suelo.[20]

**Figura 4:** Agua higroscópica



**Fuente:** Guía para la compactación de suelos, Caterpillar.

El exceso de humedad hace inestable al suelo mientras que con poca humedad pierde cohesión y no se puede llegar a un estado de densidad alto.[21]

- Procedimiento para el ensayo de contenido de humedad natural (ASTM D2216-19): Este método de prueba regula la determinación del contenido de humedad natural de un suelo, roca o material similar mediante una relación de masa.

Existen dos tipos de métodos para realizar este ensayo que son:

Método A: El contenido de humedad se registrará al 1% más cercano.

Método B: El contenido de humedad se registrará al 0.1% más cercano.

Este ensayo se realizó para las muestras de agregado fino y agregado grueso de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Arena lavada:

Para la prueba se usaron 100 gramos de muestra mínima, que según la Tabla 5 es la cantidad necesaria para el material que pase el Tamiz No. 4 (4.75mm) siguiendo el método B.

**Tabla 5:** Requisitos mínimos para la masa de las muestras de prueba y legibilidad de equilibrio

Tamaño máximo de partícula (100% de paso)		Método A Contenido de agua registrado a $\pm 1\%$		Método B Contenido de agua registrado a $\pm 0,1\%$	
Tamaño del tamiz	Tamaño de tamiz alternativo	Masa mínima de muestra	Legibilidad de equilibrio (g)	Masa mínima de muestra	Legibilidad de equilibrio (g)
75,0 mm	3 in	5 kg	10	50 kg	10
37,5 mm	1 1/2 in	1 kg	10	10 kg	10
19,0 mm	3/4 in	250 g	0,1	2,5 kg	0,1
9,5 mm	3/8 in	50 g	0,1	500 g	0,1
4,75 mm	No. 4	-	-	100 g	0,01
2,00 mm	No. 10	-	-	20 g	0,01

**Fuente:** Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, American Society for Testing and Materials.

Ripio cribado:

Según la Tabla 5, se usaron 5 kg de muestra mínima ya que el 100% de material pasa por el tamiz de 3" (75.0mm).

Una vez que se tiene las muestras mínimas de ensayo se las colocó en recipientes para horno previamente pesados cuidando que estén limpios y libres de residuos. Posteriormente se llevó al horno a una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C hasta que alcanzó una masa constante, en este caso se dejaron las muestras por  $24 \pm 4$  horas.

Finalmente se retiraron las muestras del horno y se las pesaron. Se tabularon los datos siguiendo el formato del Anexo 1.

El contenido de humedad se calculó mediante las siguientes ecuaciones:

$$W_w = (W_m + rec) - (W_s + rec)$$

**Ecuación 1**

$$W_s = (W_s + rec) - rec$$

**Ecuación 2**

$$\omega\% = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) * 100$$

**Ecuación 3**

Donde:

$W_w$ : Peso del agua.

$W_m$ : Peso húmedo del suelo.

$W_s$ : Peso seco del suelo.

rec: Peso del recipiente.

$\omega\%$ : Contenido de humedad.

#### 2.2.2.2. Límites de Atterberg

Los métodos para determinar los límites de consistencia de los suelos fueron resultado de la investigación del químico Albert Atterberg y de la posterior estandarización de su uso para la ingeniería civil por Terzaghi y Casagrande.[22]

##### Límite líquido.

Se define como el contenido de humedad por debajo del que el suelo fino no se comporta como un líquido.[23]

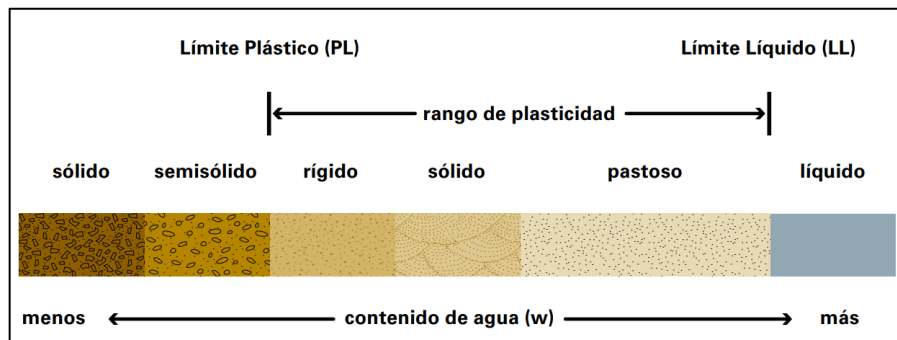
Para determinar este límite se usa un dispositivo mecánico (Copa de Casagrande).[24]

##### Límite plástico.

Originalmente propuesto por Atterberg este método consiste en rodar el suelo húmedo hasta cumplir con la forma y dimensión establecida en la norma. Determina la transición de comportamiento del suelo de frágil a plástico. El determinar estos límites ayuda a caracterizar el suelo además de medir la cohesión de este. [25]

Se realiza mediante el rolado de una masa de suelo con humedad idónea para que pueda ser manipulada y no se disgregue.[26]

**Figura 5:** Índice de plasticidad.



**Fuente:** Guía para la compactación de suelos, Caterpillar.

El índice de plasticidad muestra el rango del contenido de humedad en el que el suelo sigue siendo plástico.

- Procedimiento para determinar los límites de Atterberg (INEN 691/692):

Este ensayo se realizó sólo para la arena lavada, puesto que el ripio cribado no cumple con el requisito de pasar por el tamiz No. 40.

- Procedimiento para determinación del límite líquido:

Existen dos métodos para realizar este ensayo que son: Multipunto y un punto, el uso del método debió ser especificado por la autoridad pertinente; en caso de que no haya sido especificado se usa el método Multipunto.

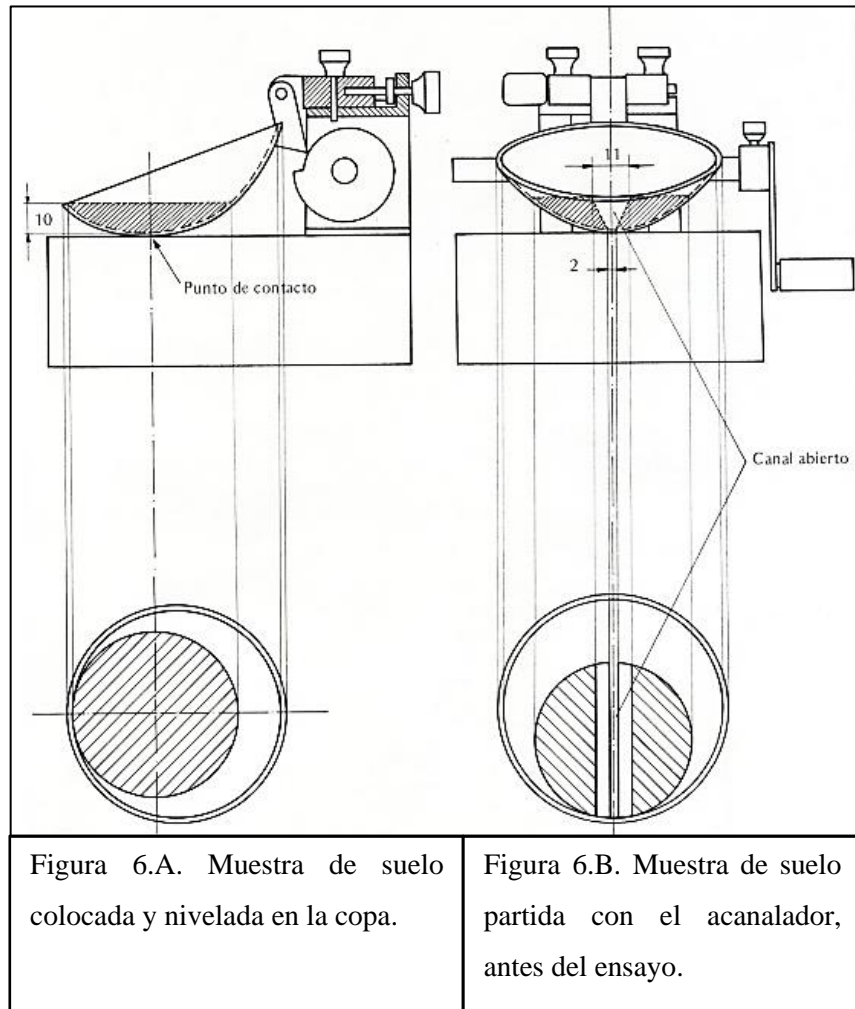
Para este ensayo se usó el método multipunto donde fue necesaria una muestra de 200 gramos de material que pase el tamiz No. 40 (425 micras). Se humedeció arbitrariamente la muestra con agua en el mortero y con ayuda del pistilo o de la espátula se mezcló cuidadosamente. Con la espátula se colocó la mezcla en la Copa de Casagrande cuidando que en la misma no exista residuos de suelo o agua como se demuestra en la figura 6.A. y usando el acanalador se realizó un surco en la mitad como lo indica la figura 6.B. teniendo cuidado de no romper o fisurar la muestra, para lo cual se permiten hasta seis pasadas del acanalador sobre la muestra, donde sólo la última pasada debe tocar el fondo de la copa, se encendió el dispositivo para verificar que el surco se cierre con 25 a 35 golpes de la copa como lo indica la figura 7. Una vez esto sucedió se procedió a añadir progresivamente agua para cumplir con los rangos de golpes establecidos en el Anexo 2.

Nota: es necesario repetir el proceso en cada rango al menos tres veces consecutivas con un rango de error de  $\pm 1$  golpe.

Del lugar donde se juntan los bordes del surco se tomaron aproximadamente 10 gramos para la determinación del contenido de humedad.

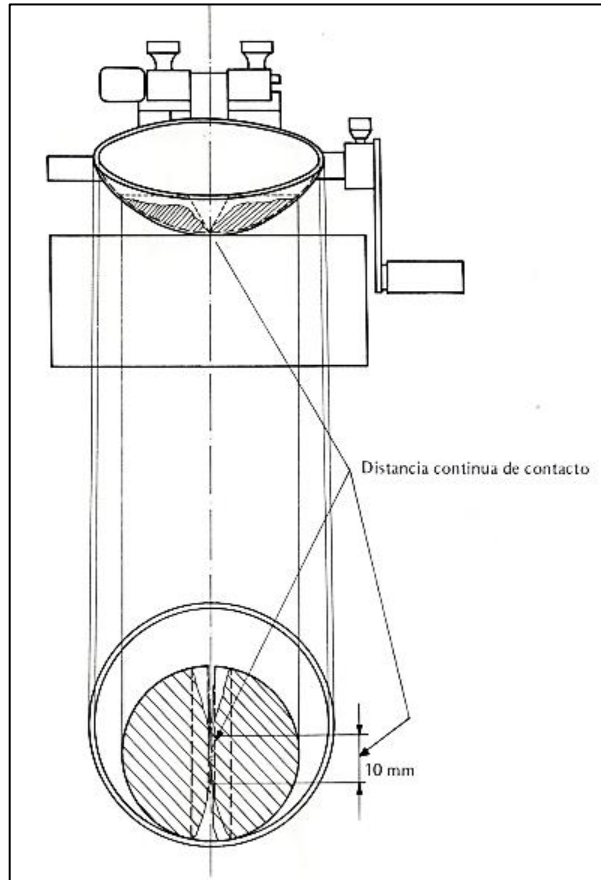


**Figura 6:** Muestra de suelo en la copa de Casagrande.



**Fuente:** Determinación del límite líquido método de Casagrande, INEN.

**Figura 7:** Muestra de suelo después del ensayo.



**Fuente:** Determinación del límite líquido método de Casagrande, INEN.

- Procedimiento para determinación del límite plástico:

Se usaron 100 gramos de muestra que pase el tamiz No. 40 (425 micras), se procedió a añadir agua arbitrariamente hasta obtener una pasta de suelo con la cual se pudo moldear una bola con los dedos sin que resulte pegajosa al comprimir la misma.

Esta muestra se la amasó con los dedos para formar un rollo contra una placa de vidrio como se indica en la figura 8, el rollo debe tener aproximadamente 3 mm de diámetro y 5 cm de largo en 5 a 15 movimientos de la mano.

**Figura 8:** Rolado de rollos.



**Fuente:** Autor.

En caso de que el rollo se disgregue antes de los 3 mm de diámetro y 5cm de largo añadir más agua, volver a amasar y formar el rollo.

Se colocaron los rollos en recipientes apropiados para extraer el contenido de humedad.

Los datos se tabularon de acuerdo al formato del Anexo 2.

Para la determinación del límite líquido se trazó la recta poniendo en el eje Y el contenido de humedad mientras que en el eje X el número de golpes, el límite líquido es el valor de la intersección entre la curva con la ordenada 25 redondeada al entero más cercano. Se utilizaron las ecuaciones 1, 2 y 3 ya que el cálculo principal corresponde a contenido de humedad.

El índice de plasticidad se calculó haciendo uso de la ecuación:

$$IP = LL - LP$$

**Ecuación 4**

Donde:

IP: Índice de plasticidad.

LL: Límite líquido.

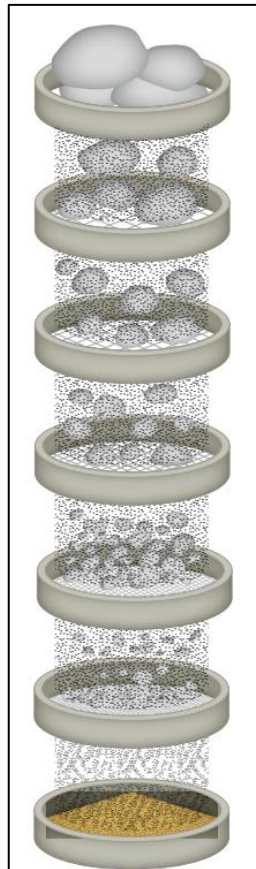
LP: Límite plástico.

### 2.2.2.3. Granulometría

El ensayo de granulometría es tasar la cantidad y tamaño de partículas que componen un suelo o agregado seco mediante el uso de tamices con aberturas de tamaños específicos ordenados de mayor a menor abertura.[27]

Así se podrá pesar el material retenido en cada tamiz y expresarlo como un porcentaje del peso total del agregado. Este análisis permite que mediante la cantidad y el tamaño de partículas se pueda conocer su origen y propiedades mecánicas, además de poder clasificarlo. [28]

**Figura 9:** Ensayo de granulometría con tamices.



**Fuente:** Guía para la compactación de suelos, Caterpillar.

- Procedimiento para el análisis Granulométrico (ASTM C136/136M-19):  
Mediante este ensayo se determina la distribución de partículas que componen el agregado, tanto fino como grueso mediante el uso de tamices normalizados con distintas aberturas.

Se realizó para las muestras de agregado fino y de agregado grueso conforme el siguiente procedimiento:

**Tabla 6:** Tamaño de muestra mínima para agregado grueso

<b>Tamaño máximo nominal, aberturas cuadradas, mm (pulg.)</b>	<b>Tamaño de muestra de prueba, min, kg (lb)</b>
9.5 (3/8)	1(2)
12.5 (1/2)	2(4)
19.0 (3/4)	5(11)
25.0 (1)	10(22)
37.5 (1 1/2)	15(33)
50 (2)	20(44)
63(2 1/2)	35(77)
75 (3)	60(130)
90(3 1/2)	100(220)
100 (4)	150(330)
125 (5)	300(660)

**Fuente:** Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials.

Arena lavada:

Se tomaron 1000 gramos de material previamente secado en un horno de temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C por  $24 \pm 4$  horas, se ordenaron los tamices de acuerdo a la tabla 7. Posteriormente se puso la muestra dentro teniendo cuidado de no regar nada por los lados del tamiz, luego se colocó esta torre de tamices con la muestra sobre la tamizadora eléctrica que hace vibrar el conjunto, para así facilitar el tamizado de las partículas y lograr que todas tengan oportunidad de tener contacto con el tamiz.

**Tabla 7:** Orden descendente de tamices y su abertura en milímetros para agregado fino.

# TAMIZ	ABERTURA (mm)
4	4,75
8	2,36
10	2
16	1,18
30	0,6
40	0,425
50	0,3
60	0,25
100	0,15
200	0,075

**Fuente:** Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials.

Ripio cribado:

El proceso es similar, con diferencia de que se usaron tamices con aberturas más grandes ordenadas como se muestra en la tabla 8, además de que el tamizado se realizó manualmente debido a las dimensiones de los mismos.

**Tabla 8:** Orden descendente de tamices y su abertura en milímetros para agregado grueso.

# TAMIZ	ABERTURA (mm)
2	50,8
1 1/2	38
1	25
3/4	19
1/2	12,7
3/8	10
4	4,75

**Fuente:** Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, American Society for Testing and Materials.

La tabulación de datos se realizó en el formato que se indica en el Anexo 3.

Los cálculos se realizaron calculando el peso retenido acumulado sumando el peso retenido más el anterior; el porcentaje retenido acumulado se calculó como una parte de la masa total de la muestra. El tamaño máximo nominal (TNM) se define como la abertura de tamiz más pequeña a través de la cual se permite pasar toda la cantidad del agregado (se puede retener hasta un 15%). Mientras que el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura se calcularon con las ecuaciones 5 y 6. [29]

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

**Ecuación 5**

Donde:

Cu: Coeficiente de uniformidad.

$D_{60}$ : Diámetro dimensional.

$D_{10}$ : Diámetro efectivo.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

**Ecuación 6**

Donde:

Cc: Coeficiente de curvatura.

$D_{30}$ : Diámetro equiparable.

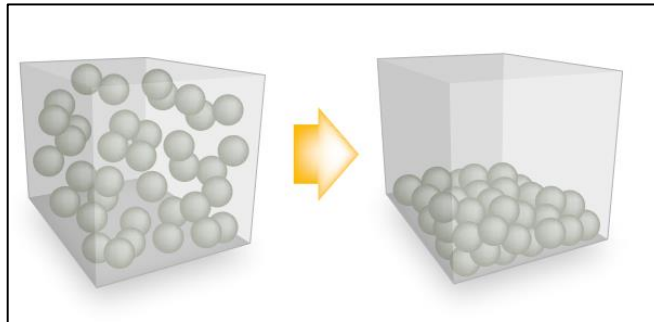
$D_{60}$ : Diámetro dimensional.

$D_{10}$ : Diámetro efectivo.

#### **2.2.2.4. Densidad relativa**

Mayormente usada para calcular el volumen del agregado en diferentes mezclas es la relación entre el espacio que ocupa un suelo y su peso. Se determina comparando la densidad del material y la de otra sustancia de densidad conocida. Este ensayo arrojará valores de absorción que podrán usarse para determinar la variación de la masa de un agregado por la absorción de agua a través de sus poros.[30]

**Figura 10:** Densidad de partículas.



**Fuente:** Guía para la compactación de suelos, Caterpillar.

- Procedimiento para determinación de la densidad relativa (ASTM C127/128-15):  
Para la densidad relativa se usaron dos normas ya que para cada tipo de agregado el proceso es diferente:  
Arena lavada (ASTM C128-15):  
Se sumergieron alrededor de 1000 gramos de muestra secada previamente, en un recipiente con agua durante  $24 \pm 4$  horas. Una vez cumplido este tiempo se sacó la muestra del agua dejando que la misma se seque extendiéndola sobre una bandeja, revolviendo periódicamente la misma para que el secado sea uniforme, una corriente de aire es permitida con un agitador, esto ayuda a conseguir el estado SSS (saturado superficialmente seco). Se realizó la comprobación de humedad superficial poniendo dos capas de muestra en la campana y golpeando 25 veces cada capa con el pistón, solamente dejando caer el mismo por acción de la gravedad, si al retirar la campana, el suelo se derrama quiere decir que se consiguió la condición SSS y se procede a realizar el ensayo.  
Siguiendo el procedimiento gravimétrico, se llenó el picnómetro con agua hasta la marca de aforo y se lo pesó, posteriormente se vació aproximadamente tres cuartas partes del contenido del picnómetro para verter  $50 \pm 10$  gramos de árido y volver a aforar el picnómetro con agua. Los vacíos se los retira con ayuda de calor, para esto se colocó el picnómetro con el árido y agua en la máquina de baño maría durante alrededor de 15 minutos, se sacó el picnómetro para secarlo con una franela y girarlo para eliminar por completo las burbujas de aire. Se dejó enfriar el picnómetro junto con su contenido hasta los  $21^\circ\text{C}$ .  
Si es necesario aforar el picnómetro se lo hace, para posteriormente tomar la temperatura del agua y pesar el picnómetro nuevamente, luego se vertió el contenido



del picnómetro en un recipiente para poder meterlo al horno y una vez toda el agua se haya evaporado poder pesarlo.

Los datos se tabularon de acuerdo con el Anexo 5.

Los cálculos se realizaron de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$SH = \frac{A}{(B + S - C)}$$

**Ecuación 9**

$$SH_{(sss)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

**Ecuación 10**

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

**Ecuación 11**

Donde:

SH: Densidad relativa.

A: Masa de la muestra secada al horno.

B: Masa del picnómetro lleno con agua hasta el nivel de aforo.

C: Masa del picnómetro lleno con la muestra y agua hasta el nivel de aforo.

S: Masa de la muestra en condición SSS (sumergida superficialmente seca).

$SH_{(sss)}$ : Densidad relativa saturada superficialmente seca.

Ripio cribado (ASTM C127-15):

Para este ensayo se sumergieron 1000 gramos de muestra de agregado grueso durante  $24 \pm 4$  horas para llenar los poros del agregado. Luego de este tiempo, se sacó la muestra del agua y secó con un paño absorbente, se permite una corriente de aire para ayudar a obtener el estado SSS del agregado; pero, sobre todo, evitar la evaporación del agua de los poros del agregado, se procedió a pesar la muestra. Se pesó la canastilla sumergida y suspendida en el aire por una cuerda, posteriormente se puso la muestra dentro de la canastilla para pesarla de igual manera al aire y sumergida. Al sumergir la canastilla se movió de lado a lado para eliminar las burbujas de aire que puedan quedar. Se sacó la muestra del agua y se la colocó en un recipiente para poder secarla en el horno y se determinó su masa.

Los datos se tabularon de acuerdo con el Anexo 5.

$$SH = \frac{A}{(B - C)}$$

**Ecuación 12**

$$SH_{(sss)} = \frac{B}{(B - C)}$$

**Ecuación 13**

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{(A - C)}$$

**Ecuación 14**

Donde:

SH: Densidad relativa.

A: Masa de la muestra ensayada secada al horno.

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca.

C: Masa aparente en agua de la muestra saturada.

$SH_{(sss)}$ : Densidad relativa saturada superficialmente seca.

### **2.2.3. Proceso de determinación de la capacidad portante de las muestras de base y subbase:**

#### **2.2.3.1. California Bearing Ratio**

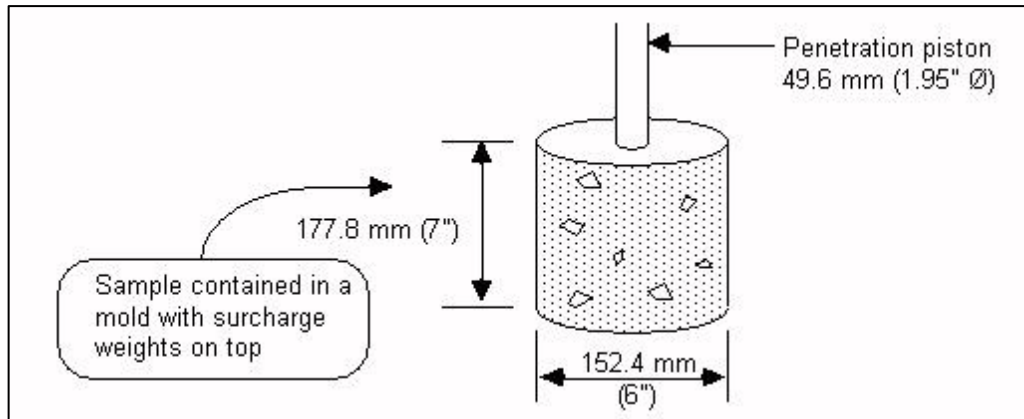
En síntesis, se define como la comparación expresada en porcentaje entre la capacidad de soporte de un material con la de roca bien graduada que debería tener un CBR de 100%, El valor de esta relación se obtiene mediante la presión de un pistón sobre el suelo compactado en un molde.[31]

El diseño de la estructura de un pavimento está basado principalmente en las características de cada una de las capas de forma individual (subrasante, base, subbase y capa de rodadura) y a su vez del material que compone a cada una de estas. El método CBR todavía es usado para evaluar la resistencia de las capas que conforman el paquete asfáltico de forma individual.[32]

La prueba de California Bearing Ratio (CBR) es de gran importancia para el diseño de pavimentos ya que los valores obtenidos de CBR sirven para diseñar los espesores de cada capa del paquete asfáltico, esto repercute directamente tanto en el tema económico como en el de vida útil.[33]

Este método de prueba tiene varias aplicaciones como evaluar la resistencia potencial de: subrasante, subbase, base además de materiales reciclados que serán usados en diseños viales.[34]

**Figura 11:** Ensayo California Bearing Ratio.



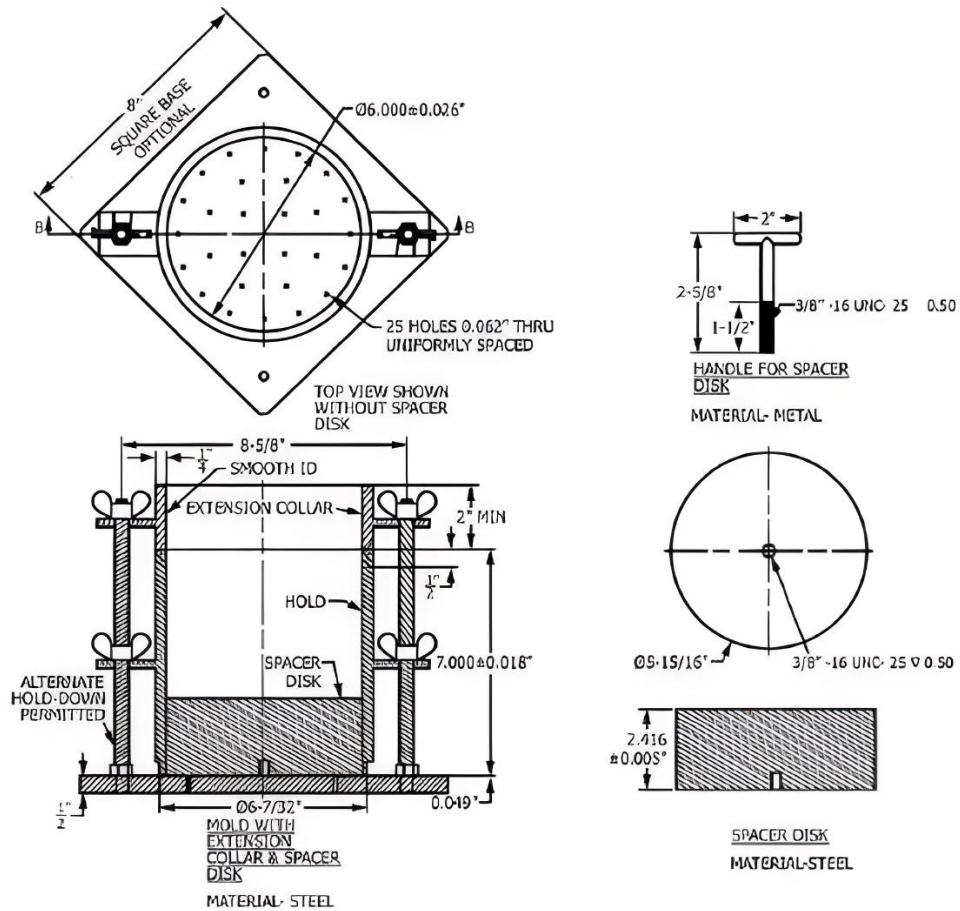
**Fuente:** California Bearing Ratio, Pavement Interactive.

- California Bearing Ratio (ASTM D1883-16):

La muestra usada para este ensayo correspondió a 6000 gramos de material que pasa por el tamiz  $\frac{3}{4}$  de pulgada (19mm) con la respectiva corrección para la porción de muestra que sea retenida en el mismo, retirándola y reemplazándola con material que pase el tamiz  $\frac{3}{4}$  de pulgada y sea retenido en el tamiz No. 4 (4.75 mm).

Utilizando tres moldes de diámetro de 152.4 mm con espaciador (retorta) y papel filtro para evitar que el espaciador se pegue a la muestra húmeda, como se muestra en la figura 13, se comenzó con el proceso de compactación mezclando previamente 6000 gramos de muestra con el contenido de humedad óptima hallada en el ensayo de Proctor modificado.

**Figura 12:** Molde con collarín extensor y disco espaciador.



**Fuente:** Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, American Society for Testing and Materials.

Una vez que se tiene la muestra húmeda se procedió a colocar cinco capas golpeando cada una 56 veces hasta llegar al borde del collarín, se tomó una muestra para contenido de humedad de la bandeja de mezclado y una muestra después de retirar el collarín y antes de enrasar para verificar el contenido de humedad que se ha añadido. Una vez enrasado, con mucho cuidado, se dio la vuelta el molde, retirando el espaciador y asegurando nuevamente; en el espacio que queda se colocó el vástago con las respectivas pesas como se muestra en la figura 14.

**Figura 13:** Vástago portapesas.



**Fuente:** Autor.

Posteriormente se sumergió el molde y se colocó el deformímetro tal que el mismo se encuentre como indica la figura 15 y se tomó la altura inicial para calcular la expansión o esponjamiento del material.

**Figura 14:** Posición del dial sobre el molde.



**Fuente:** Autor.

Se dejó que el material se remoje durante  $96 \pm 2$  horas manteniendo un nivel de agua constante durante este periodo, el esponjamiento se calculó con una precisión de 0.1% como porcentaje de la altura inicial que se tomó anteriormente.

Transcurrido este tiempo se sacó el molde y se dejó escurrir posicionándolo como se muestra en la figura 16, por aproximadamente 15 minutos teniendo sumo cuidado de

no alterar la superficie de la muestra que estará en contacto con el pistón de la máquina de ensayo.

Posteriormente se colocaron las pesas sin el vástago para llevarlo a ensayar en la máquina multispeed.

Se colocó en la máquina y se procedió con el ensayo.

**Figura 15:** Estilado de agua de moldes.



**Fuente:** Autor.

Este proceso se realizó de igual manera cambiando el número de golpes en el proceso de compactación con 25 y 10 golpes por capa para los otros moldes.

Los datos obtenidos se tabularon como lo indica el Anexo 6.

Los cálculos se realizaron de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\gamma_d = \frac{M_{sac}}{V_m}$$

**Ecuación 15**

$$M_{sac} = \frac{M_{m+ws} - M_m}{(1 + w_{ac})}$$

**Ecuación 16**

Donde:

$M_{sac}$ : Masa de suelo compactado.

$M_{m+ws}$ : Masa de suelo húmedo más masa del molde.

$M_m$ : Masa del molde

$w_{ac}$ : Contenido de humedad durante el proceso de compactación.

$V_m$ : Volumen del molde de compactación.

$$s = \left( \frac{S}{h_i} \right) * 100$$

## Ecuación 17

Donde:

s: Hinchamiento durante el remojo.

S: Hinchamiento vertical determinado a partir de la lectura final menos inicial.

$h_i$ : Altura de la muestra antes del hinchamiento.

El contenido de humedad se determinó haciendo uso de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

### 2.2.4. Proceso para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados

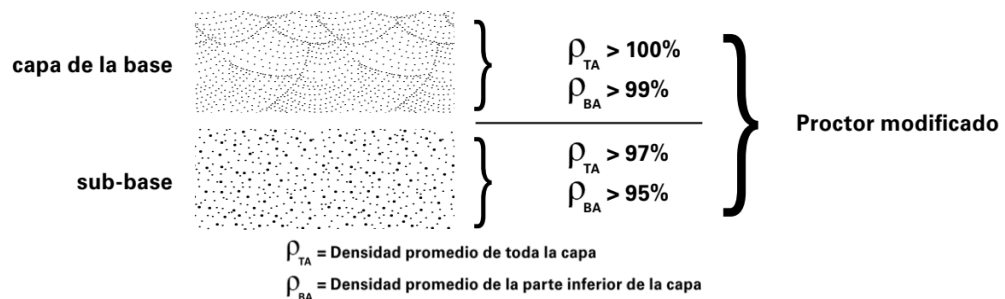
#### 2.2.4.1. Proctor modificado

Llamado así por el ingeniero Ralph Proctor, fue publicado en 1933 siendo desde entonces hasta la actualidad un ensayo que permite estudiar la compactación de un suelo. Estos estudios permiten que se pueda determinar la compactación máxima además del contenido de humedad óptimo con el que se logra esto.[35]

La importancia de este ensayo radica en que, mediante el mismo se puede optimizar la cantidad de agua que se necesita para llegar a la mayor densidad seca posible, es decir del grado de compactación al que se puede o se debe llegar, en este caso para capa base y subbase aplicando fuerzas de compactación. [21]

El grado de compactación necesario para alcanzar las propiedades requeridas por la ingeniería civil se especifica como un porcentaje del peso unitario seco máximo.[36]

**Figura 16:** Densidad promedio de las capas de acuerdo al Proctor modificado



**Fuente:** Guía para la compactación de suelos, Caterpillar.

- Procedimiento para el ensayo de Proctor modificado (ASTM D1557-12):

Este método es usado para determinar la relación entre el contenido de humedad en el suelo y el peso unitario seco del mismo, compactados en un molde de dimensiones normalizadas de acuerdo al método usado con un pistón de 10 lb que se deja caer a una altura de 18 pulgadas lo que produce una compactación con 2,7000 kN-m/m<sup>3</sup> de esfuerzo.

Existen 3 métodos para realizar este ensayo según la norma vigente ASTM que se han detallado en la tabla 9.

**Tabla 9:** Tipos de métodos para Proctor modificado.

MÉTODO	DIÁMETRO DE MOLDE	MATERIAL	CAPAS	Golpes por capa	Uso
A	4 in (101,6 mm)	Pasa el tamiz No. 4 (4,75 mm)	5	25	Si el 25% o menos en masa del material es retenido en el tamiz No. 4 (4.75-mm).
B	4 in (101,6 mm)	Pasa el tamiz de 3/8 de pulgada (9,5 mm)	5	25	Si el 25% o menos en masa del material es retenido en el tamiz de 3/8-pulgada (9.5-mm)
C	6 in (152,4 mm)	Pasa el tamiz de 3/4 de pulgada (19,0 mm)	5	56	Si el 30% o menos en masa del material es retenido en el tamiz de 3/4 de pulgada.

**Fuente:** Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, American Society for Testing and Materials.

Se usó el método C ya que menos del 30% de la mezcla de agregados se retiene en el tamiz de ¾ de pulgada (19 mm), debido a que contiene material granular de tamaño considerable.

El ensayo se realizó de la misma forma para base y subbase. Se tomaron 30000 gramos de muestra que pase el tamiz de ¾ de pulgada y se dividió la muestra en porciones de 6000 gramos a cada una se le añadió un porcentaje de agua que aumentó progresivamente. Se mezcló el agregado con el agua en una bandeja hasta que la humedad fue homogénea, con ayuda de un palustre, se puso esta mezcla en el molde previamente ensamblado con su respectivo collarín y fue medido para calcular su



volumen; una capa a la vez, se golpeó con el pistón 56 veces hasta lograr 5 capas. Al terminar la quinta capa se retiró el collarín y se enraza el excedente, se llevó a pesar el molde para posteriormente extraer muestra para contenido de humedad de la parte superior e inferior de dicho molde. Este proceso se repitió para los 5 puntos con humedades diferentes y progresivas.

Los datos se registraron en el formato del Anexo 4.

Los cálculos se realizaron con ayuda de las siguientes fórmulas:

$$\gamma_m = K * \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

**Ecuación 7**

Donde:

$\gamma_m$ : Densidad húmeda.

K: Constante de conversión, usar 1 para g/cm<sup>3</sup> y volumen en cm<sup>3</sup>, 1000 para g/cm<sup>3</sup> y volumen en m<sup>3</sup>, 0.001 para kg/cm<sup>3</sup> y 1000 para kg/m<sup>3</sup> y volumen en cm<sup>3</sup>.

$M_t$ : Masa de suelo húmedo en el molde.

$M_{md}$ : Masa del molde de compactación.

V: Volumen del molde de compactación en cm<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{\omega}{100}}$$

**Ecuación 8**

Donde:

$\gamma_d$ : Densidad seca.

$\gamma_m$ : Densidad húmeda.

$\omega$ : Contenido de humedad.

El contenido de humedad se calculó con las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

#### **2.2.4.2. Solidez**

El método de ensayo determina el grado de desintegración de los agregados al ser sometidos a la acción del tiempo, permite la evaluación previa de los agregados que serán usados para la construcción de obras viales.[37]

Las partículas de los áridos que componen las capas del paquete del pavimento, además de resistir desintegración física también están sometidos a la desintegración mineralógica a causa de los ciclos de humedecimiento y secado que suceden durante la construcción, diseño y uso. La durabilidad del agregado es un factor de gran importancia al escoger los agregados que serán usados en las distintas capas, puesto que deben ser materiales resistentes a la acción del clima durante la vida útil del pavimento.[38]

**Figura 17:** Desintegración de roca por fenómenos físicos y mecánicos.



**Fuente:** Desintegración de roca granítica, M. Miller.

- Procedimiento para determinar la solidez de los agregados (ASTM C88-18):  
Este ensayo se realizó tanto para agregado grueso como fino, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

Ripio cribado:

Se lavó la muestra completamente y se la secó en el horno a temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C, posteriormente se separó la muestra con ayuda de los tamices especificados en la siguiente tabla:

**Tabla 10:** Tamices estándar para agregado fino

<b>Pasa el Tamiz</b>	<b>Retenido en el tamiz</b>
600 $\mu\text{m}$ (N° 30)	300 $\mu\text{m}$ (N° 50)
1,18 mm (N° 16)	600 $\mu\text{m}$ (N° 30)
2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N° 16)
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)
9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (N° 4)

**Fuente:** Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, American Society for Testing and Materials.

**Tabla 11:** Tamices estándar para agregado grueso

<b>Tamaño (Tamices de abertura cuadrada)</b>	<b>Masa, g.</b>
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1000 ± 10
Consistente en:	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	330 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ± 10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1500 ± 50
Consistente en:	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1000 ± 50
63 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5000 ± 300
Consistente en:	
Material de 50 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2000 ± 200
Material de 63 mm (2 1/2") a 50 mm (2")	3000 ± 300

**Fuente:** Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, American Society for Testing and Materials.

Se conformaron 2000 gramos de muestra de agregado fino y 10000 gramos de agregado grueso.

Se sumergió la muestra en la solución de sulfato de sodio durante 16 horas procurando que la muestra cubra hasta ½ de pulgada sobre el agregado. Se cubrieron los recipientes para evitar la evaporación o el ingreso de otras sustancias provenientes del exterior, las muestras se mantuvieron a temperatura de 21±1 °C durante el proceso de inmersión.

Luego de cumplido el tiempo de inmersión se secó durante 15±5 minutos y se colocó en el horno de secado a temperatura constante de 110±5 °C hasta que se obtuvo un peso constante, se verificó esto sacando y pesando la muestra en intervalos de 2 a 4 horas hasta que la pérdida de peso fue menor al 0.1 % de la muestra total en 4 horas de secado. Luego de que se alcanzó un peso constante se dejaron enfriar las muestras a temperatura ambiente para volver a sumergirlas en la solución.

Se repitió el proceso durante diez ciclos de inmersión y secado, una vez finalizado el décimo ciclo y luego de haber dejado enfriar la muestra se la lavó para retirar el sulfato

de sodio con agua a una temperatura de  $43 \pm 6$  °C teniendo cuidado de no someterlas a impactos o abrasión.

El examen cuantitativo se realizó luego de secar cada fracción del agregado a  $110 \pm 5$  °C. Se tamizó usando el tamiz que retuvo el agregado antes de la inmersión mientras que para el agregado grueso se usó un tamiz de los señalados a continuación de acuerdo a su tamaño:

**Tabla 12:** Tamices usados para determinar la pérdida del agregado grueso.

Tamaño de los áridos	Tamiz usado para determinar la pérdida
63 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	31,5 mm (1 1/4")
37,5 mm (1 1/20") a 19,0 mm (3/4")	16,00 mm (5/8")
19,0 mm (3/4") a 9,5mm (3/8")	8,0 mm (5/16")
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4)	4,0 mm (N° 5)

**Fuente:** Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, American Society for Testing and Materials.

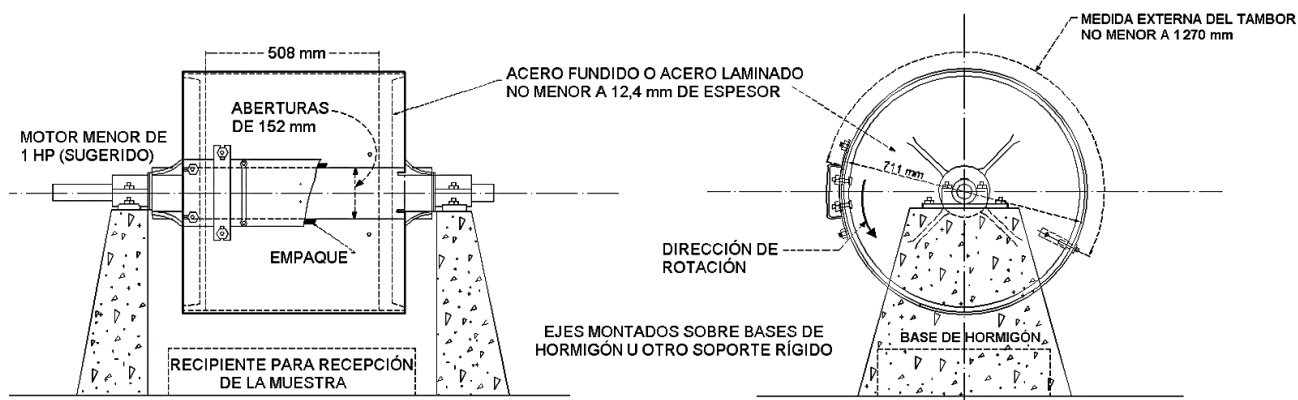
La pérdida de material se calculó como un porcentaje de la masa total de la muestra ensayada.

El examen cualitativo se realizó para las muestras mayores de  $\frac{3}{4}$  de pulgada separando las muestras de acuerdo a la acción producida ya que el agregado puede: partirse, desmenuzarse, agrietarse, escamarse, etc. Y se anotó el número de partículas que representa cada tipo de daño producido.

#### **2.2.4.3. Resistencia a la abrasión**

Esta prueba es uno de los mayores indicadores de la calidad de los agregados gruesos, es generalmente probada usando la máquina de Los Ángeles que determina la resistencia a la abrasión y fragmentación del agregado por impacto siendo de gran ayuda para determinar la aptitud del material para un uso específico. El trabajo de impacto se realiza por esferas de acero que son puestas en movimiento por la máquina.[39]

**Figura 18:** Máquina de los Ángeles.



**Fuente:** Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles, INEN.

- Resistencia a la abrasión (ASTM C131/131M-20):

Para este ensayo se tamizó el agregado para lograr la granulometría que se describe en la tabla 13 para el método A, cuya carga se observa en la tabla 14, posteriormente se lavó, y secó en el horno dicha muestra a una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C hasta que la masa pesada fue constante. Se colocó el agregado junto con las esferas de acero dentro de la máquina que previamente fue limpiada cuidadosamente. Se programó la máquina para las 500 vueltas que dicta la norma y se la encendió. Una vez terminado el proceso se descargó el material junto con las esferas de acero del interior de la máquina y se tamizó el material separando el material fino del grueso mediante el tamiz No. 12 (1.70 mm).

Finalmente se lavó y secó el material grueso restante para determinar su peso.

**Tabla 13:** Granulometría muestra de ensayo.

Tamaño del tamiz (Aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños indicados (g)			
		Granulometría			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5mm (1 1/2 ")	25,0 mm (1")	1.250±25	...	...	...
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1.250±25	...	...	...
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1.250±10	2.500±10	...	...
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1.250±10	2.500±10	...	...
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	...	...	2.500±10	...
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N°4)	...	...	2.500±10	...
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N° 8)	...	...	...	5.000±10
<b>Total</b>		5.000±10	5.000±10	5.000±10	5.000±10

**Fuente:** Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, American Society for Testing and Materials.

**Tabla 14:** Masa de la carga para los tipos de granulometría.

Granulometría	No. de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5.000±25
B	11	4.584±25
C	8	3.330±20
D	6	2.500±15

**Fuente:** Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, American Society for Testing and Materials.

Los resultados se tabularon en el formato del Anexo 8.

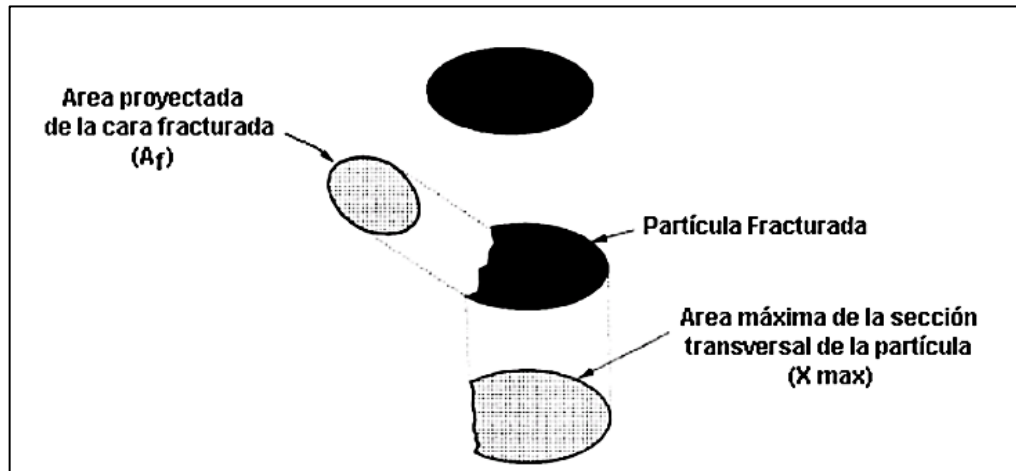
Los cálculos se realizaron como porcentajes, la pérdida de masa será un porcentaje de la masa original de la muestra ensayada.

### **2.2.5. Proceso para determinar el porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso:**

#### **2.2.5.1. Caras fracturadas**

Este procedimiento determina la cantidad en porcentaje de rocas con caras fracturadas por medio de inspección visual. La importancia de este ensayo radica en que la resistencia al corte y la fricción interparticular de mezclas de agregados dependen directamente de esta propiedad además de que partículas con bordes fracturados ayudan a estabilizar agregados en tratamientos superficiales y dar mayor fricción y textura a las mezclas para pavimentos superficiales. La cara fracturada de cada partícula de roca deberá tener un mínimo de sección transversal para cumplir con las especificaciones.[40]

**Figura 19:** Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada



**Fuente:** INV E 227, Instituto Nacional de Vías.

- Porcentaje de caras fracturadas ASTM D5821-13:  
Para este ensayo se tamizó el agregado para separar el material de distinto tamaño de forma que se pudo hacer una inspección más exhaustiva de la muestra, se tamizó la muestra para obtener las cantidades aproximadas que indica la tabla 15, posteriormente se lavó el agregado para eliminar todo rastro de material fino y que así la inspección sea más cuidadosa se secó la muestra en el horno a  $110 \pm 5$  °C y se retiró la muestra cuando la masa fue constante, para extenderla en una franela y esperar a que su temperatura sea manejable. Una que vez se pudo manejar la muestra con las manos, se inspeccionó cada elemento cuidadosamente para determinar si cumple con el criterio de partícula fracturada: *“Una superficie fracturada constituye un área de al menos el 25% del área proyectada por la partícula vista perpendicularmente.”*[40]  
Se tomó en cuenta para este ensayo, que cada partícula de agregado tenga por lo menos dos caras fracturadas.

**Tabla 15:** Muestra mínima de prueba de acuerdo a su tamaño nominal máximo.

Tamaño nominal abierto (mm)	Masa de muestras mínima de Prueba (g)
9,5	200
12,5	500
19,0	1500
25,0	3000
37,5	7500
50,0	15000
63,0	30000
75,0	60000
90,0	90000

**Fuente:** Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate, American Society for Testing and Materials.

Luego de realizado este proceso de inspección, se separaron las partículas con caras fracturadas de las que no presentan esta característica para pesar cada grupo de forma separada.

La tabulación de datos se la realizó en el formato del Anexo 9.

Se calculó el porcentaje de masa de las partículas de acuerdo a la fórmula:

$$P = \left[ \frac{F}{(F + N)} * 100 \right]$$

**Ecuación 18**

Donde:

P: Porcentaje de partículas con caras fracturadas.

F: Masa de partículas con caras fracturadas.

N: Masa de partículas que no cumplen el criterio de partículas fracturadas.



## CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Análisis y discusión de los resultados

#### 3.1.1. Determinación de las propiedades índice de los agregados.

- Contenido de humedad:

Se determinó el contenido de humedad natural que tienen las muestras de Arena lavada y Ripio cribado antes del mezclado para la conformación de base y subbase con el objeto de saber cuánta agua tiene el agregado naturalmente para cuando se use la base y/o subbase en campo saber la cantidad correcta de agua que se debe añadir para el proceso de compactación agregando solamente una parte de la humedad óptima ya que tanto el agregado grueso como el fino ya tienen un porcentaje de esta humedad, así se optimizará el uso del agua.

Cabe recalcar que se tomó las muestras en época lluviosa en el cantón Ambato, además de que cada mina tiene su manera de acopiar el agregado lo que puede inferir en su exposición al clima, específicamente a la lluvia.

El Ingeniero E. Garavito en su publicación “Humedad en agregados y control de inventarios” recomienda que, la humedad en agregado tanto grueso como fino sea menor a 8% para arena y a 3% en gravas (ripio).[41]

Se puede observar en la siguiente tabla los valores de contenido de humedad que se obtuvieron luego de realizado el ensayo.

**Tabla 16:** Resultados de contenido de humedad natural.

Contenido de humedad			
Mina	Material	Valor (%)	Límites Recomendados
El Salvador	Arena lavada	3,94	< 8%
	Ripio cribado	1,29	< 3%
Kumochi	Arena lavada	4,00	< 8%
	Ripio cribado	1,80	< 3%
Muelles	Arena lavada	4,09	< 8%
	Ripio cribado	1,85	< 3%

**Fuente:** Autor.

Los valores para la arena lavada oscilan entre 4,09 y 3,94 % mientras que para el ripio cribado entre 1.85 y 1.29 % en los patios de acopio de cada mina, mismos que se encuentran dentro de los límites recomendados para que no exista ningún escurrimiento durante su transporte.

- Límites de Atterberg

La característica principal de las arenas es que son suelos no cohesivos, esto implica que serán suelos con plasticidad nula, para este propósito se realizaron los respectivos ensayos de límites de Atterberg arrojando los siguientes resultados:

**Tabla 17:** Resultados de los ensayos de Límites de Atterberg.

Mina	El Salvador	Kumochi	Muelles	Límites (NEVI)
Material	Arena lavada	Arena lavada	Arena lavada	
Límites de Atterberg	Valor	Valor	Valor	
Límite Líquido	17,95	19,60	13,69	≤ 25
Límite Plástico	23,38	22,68	20,39	-
Índice de Plasticidad	-5,43	-3,08	-6,70	< 6

**Fuente:** Autor.

Un valor de índice de plasticidad negativo significa que es de plasticidad nula o no plástico (N.P)

Cabe recalcar que la NEVI-12 (Norma Ecuatoriana Vial) en su tercer volumen, secciones 403 y 404 correspondientes a subbases y bases respectivamente estipula que: *“la porción que pase el tamiz N°40 del agregado fino deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido de máximo 25.”*[9]

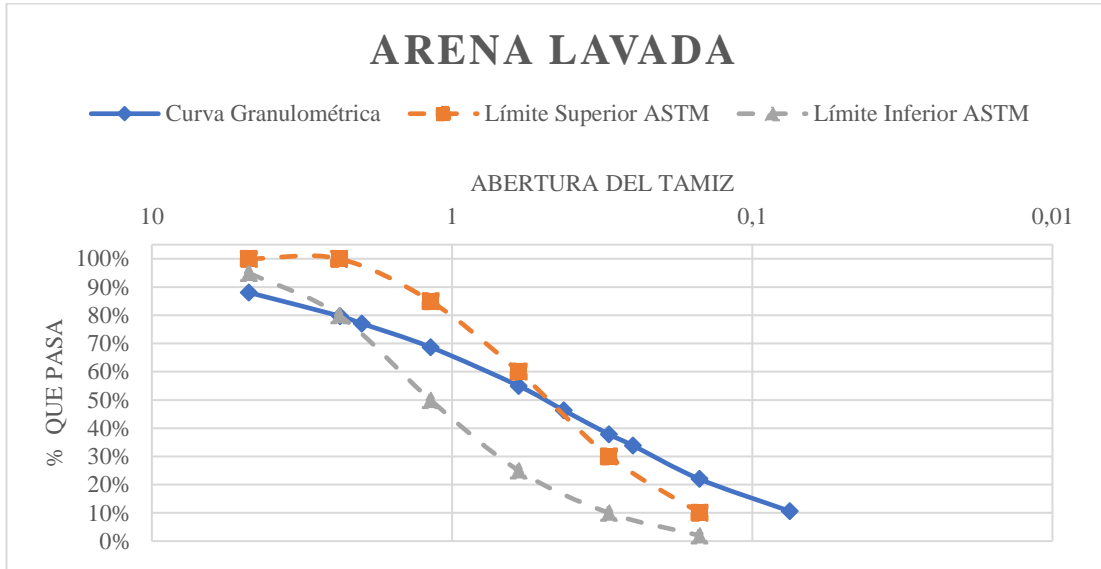
Se pudo observar que los datos obtenidos de la arena de las tres minas entran en los límites de la Norma Ecuatoriana Vial, ninguno presenta anomalías y son valores similares.

- Granulometría

En cuanto a la granulometría, se realizó para verificar si tanto la curva granulométrica del árido fino como del grueso se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma ASTM. Además, se realizó el proceso de mezclado de base y subbase para posteriormente haber comprobado con los límites que se encuentran en la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI).

Se realizó el ensayo de granulometría obteniendo los siguientes resultados:

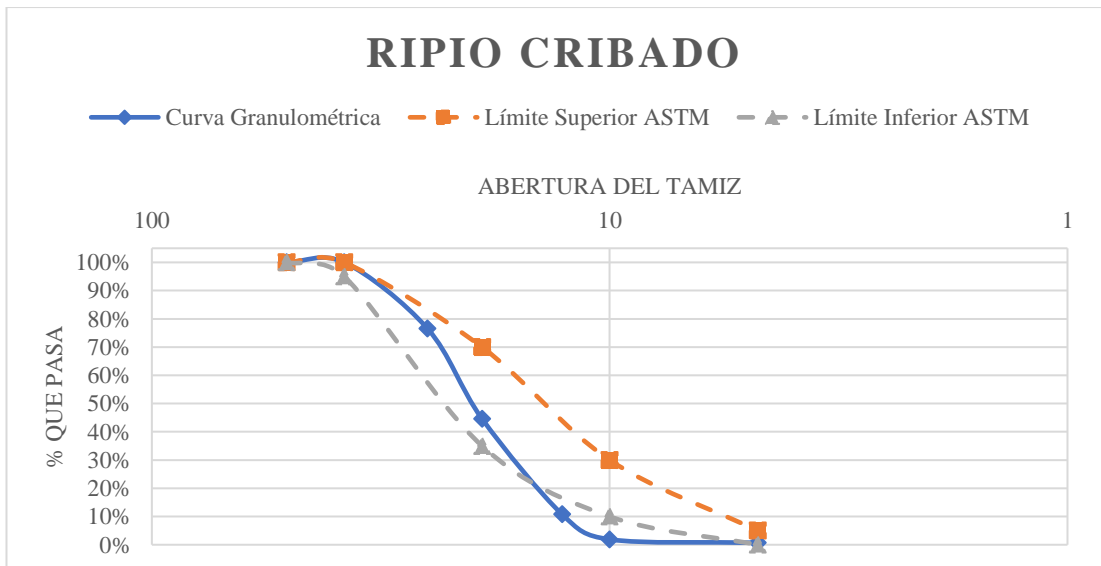
**Figura 20:** Curva granulométrica Arena Lavada Mina “El Salvador”.



**Fuente:** Autor.

La curva granulométrica no está dentro de los parámetros de la ASTM debido a que hubo mayor cantidad de partículas gruesas hasta el tamiz No. 16 y a partir del tamiz No. 40 existió menor cantidad de material fino resultando en un material con distribución de partículas irregular.

**Figura 21:** Curva granulométrica Ripio Triturado Mina “El Salvador”.

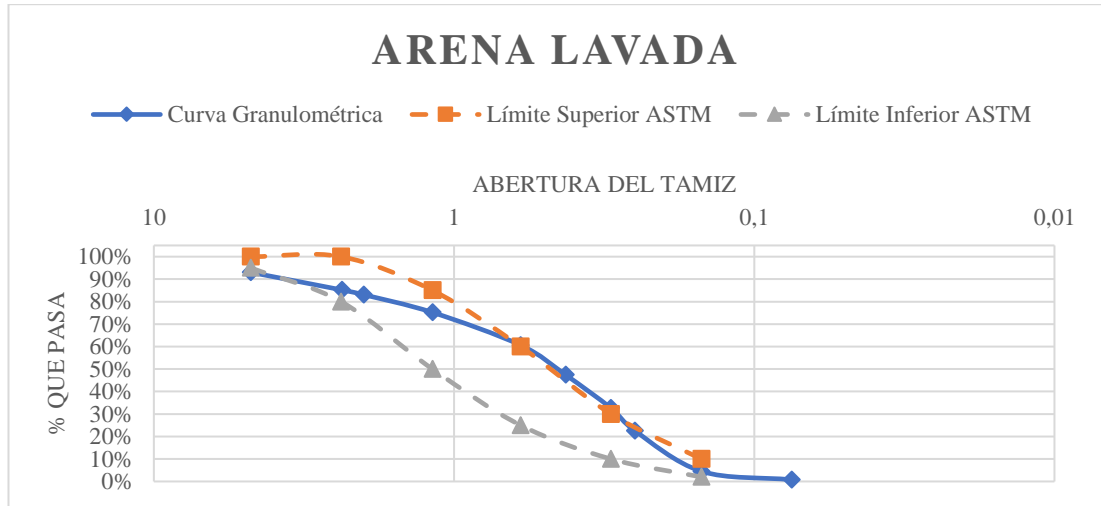


**Fuente:** Autor.

La curva granulométrica del ripio cribado evidenció que a partir del tamiz  $\frac{3}{4}$  la cantidad de partículas se incrementó es decir que el ripio de esta mina presentó mayor

cantidad de partículas más finas que 19mm resultando en una mala distribución granulométrica.

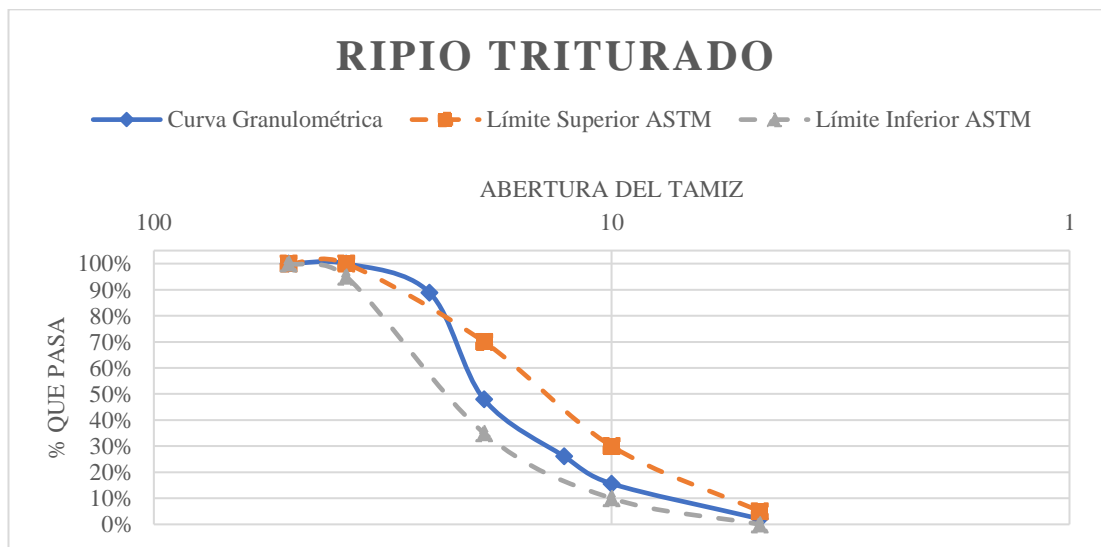
**Figura 22:** Curva granulométrica Arena Lavada Mina “Kumochi”.



**Fuente:** Autor.

Según la curva granulométrica presentada por el material se pudo observar que a partir del tamiz No. 30 hasta el tamiz No. 60 existe menor cantidad de partículas de este tamaño lo que resulta en que esta sección de la curva se acerque al límite superior establecido por la ASTM y salga del mismo por una pequeña fracción haciendo que el material no sea tan irregular en cuanto a su distribución de partículas.

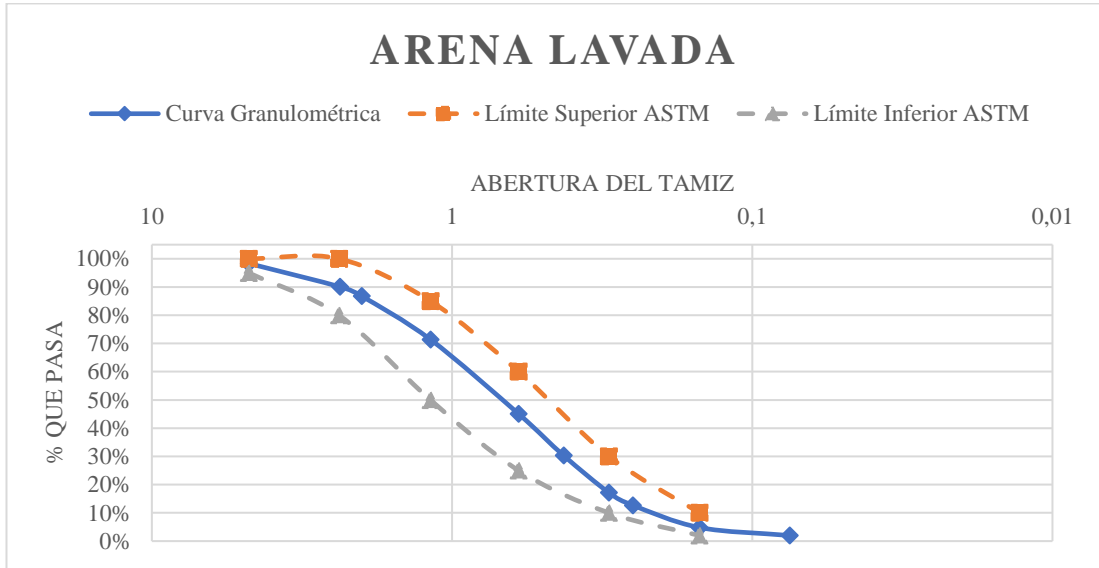
**Figura 23:** Curva granulométrica Ripio Triturado Mina “Kumochi”.



**Fuente:** Autor.

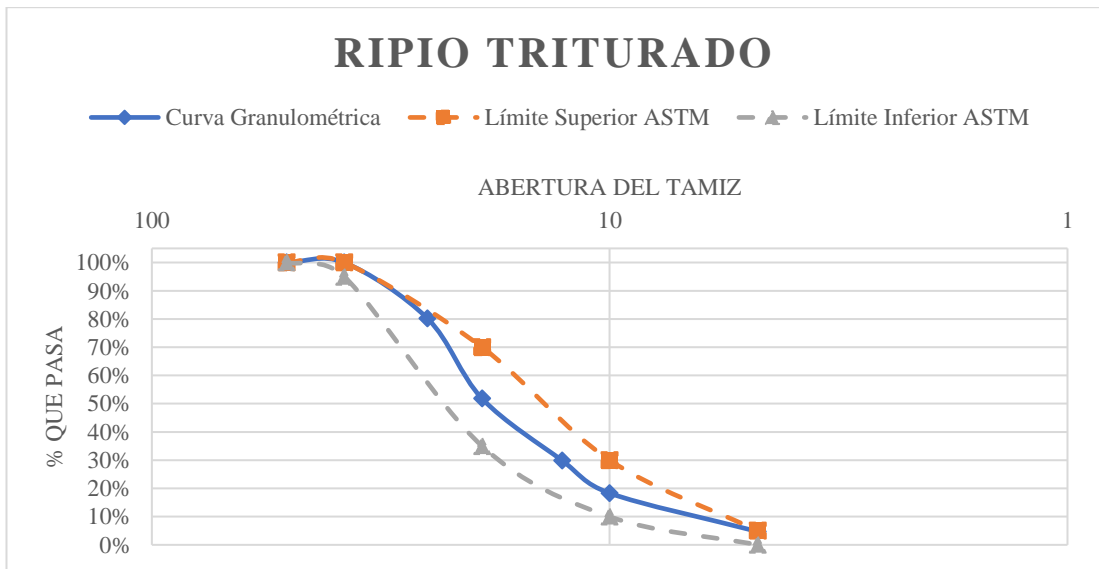
La curva granulométrica de este material presentó un rango en específico que sale del límite superior normado exactamente en el tamiz de 1'' debido a que se necesitan más partículas de este tamaño para dar uniformidad a la curva.

**Figura 24:** Curva granulométrica Arena Lavada Mina “Los Muelles”.



**Fuente:** Autor.

**Figura 25:** Curva granulométrica Ripio Triturado “Los Muelles”.

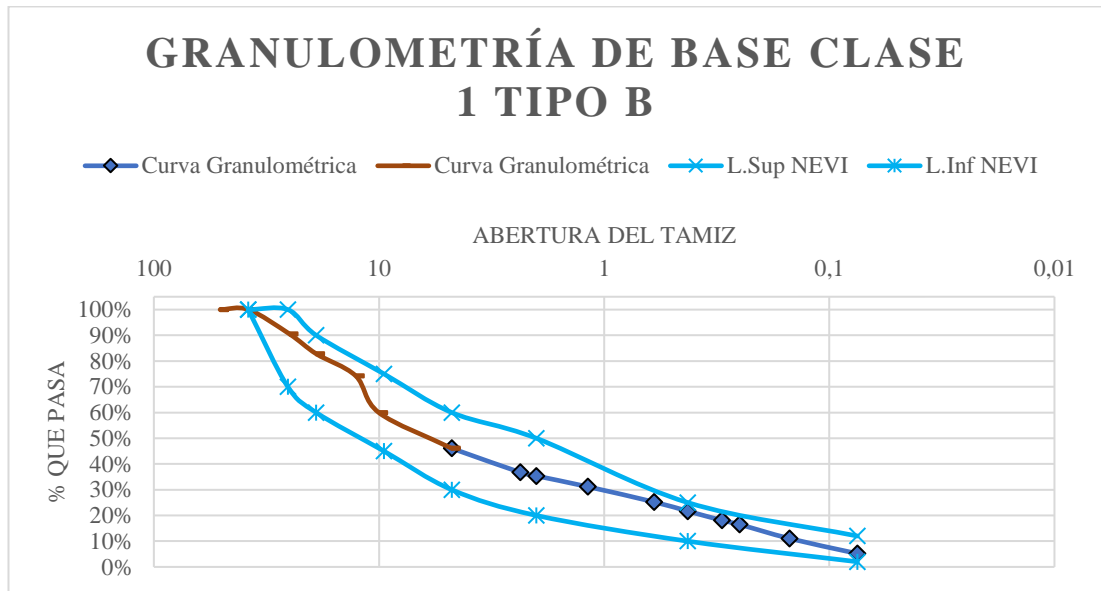


**Fuente:** Autor.

Se pudo determinar que tanto la curva granulométrica del árido fino como del grueso entran en los límites establecidos por la norma ASTM.

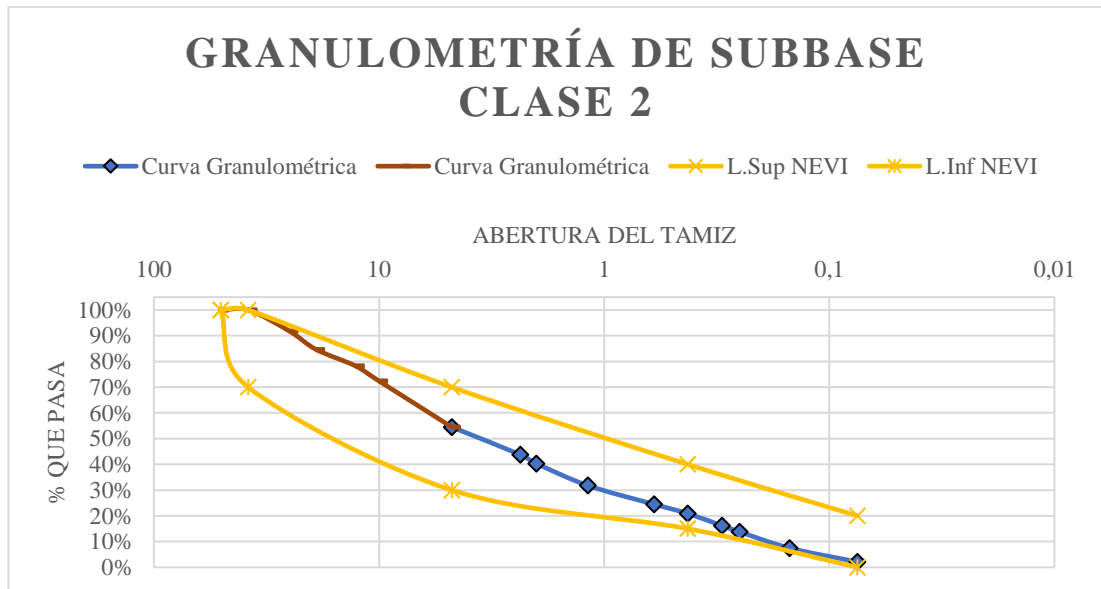
Ambas curvas granulométricas se mantienen en el medio del límite superior e inferior lo que indica una alta calidad y buena distribución de partículas en cuanto al estándar de granulometría que establece la norma.

**Figura 26:** Curva granulométrica Base clase 1 tipo B “El Salvador”.



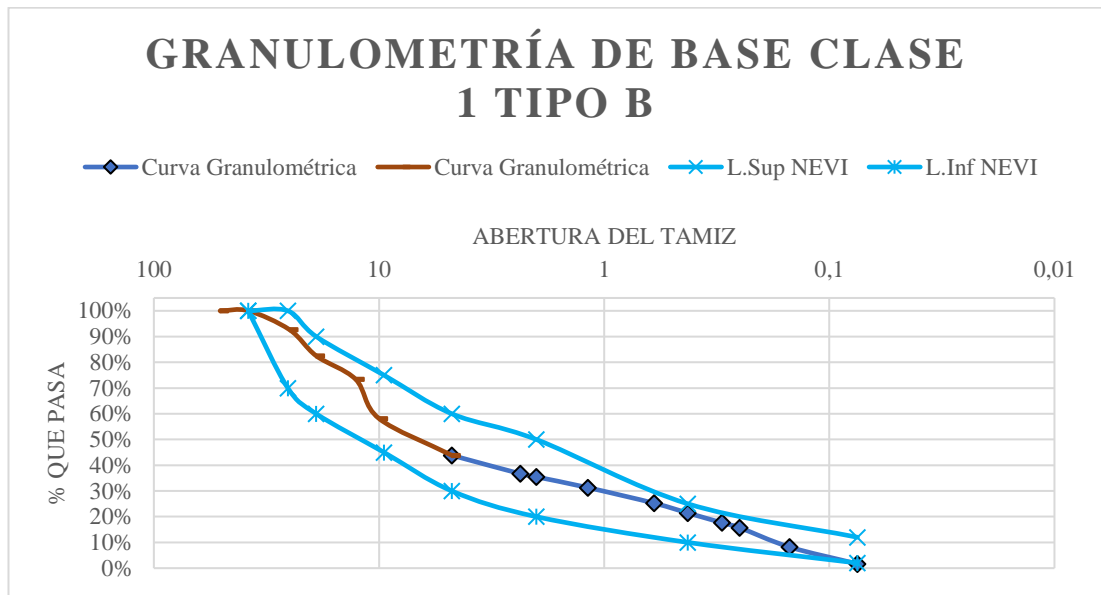
FUENTE: AUTOR.

**Figura 27:** Curva granulométrica Subbase clase 2 “El Salvador”.



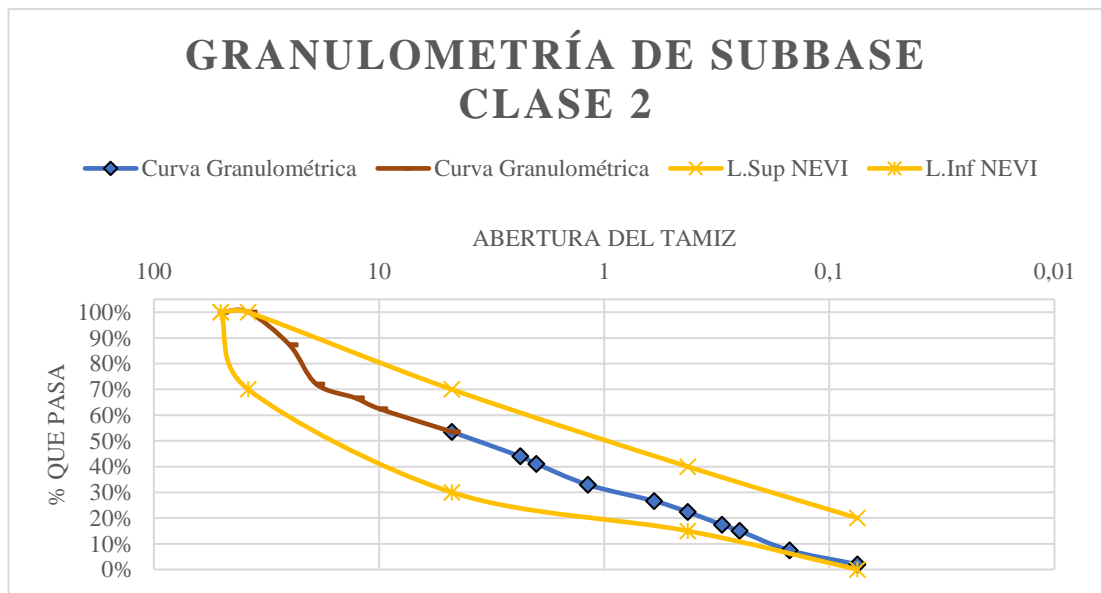
FUENTE: AUTOR.

**Figura 28:** Curva granulométrica Base clase 1 tipo B “Kumochi”.



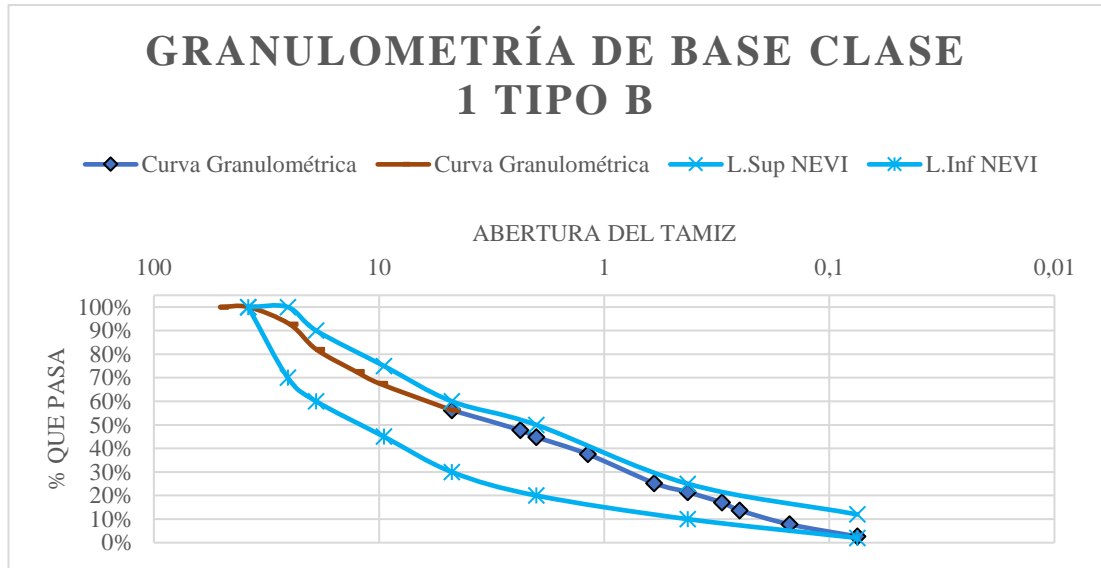
FUENTE: AUTOR.

**Figura 29:** Curva granulométrica Subbase clase 2 “Kumochi”.



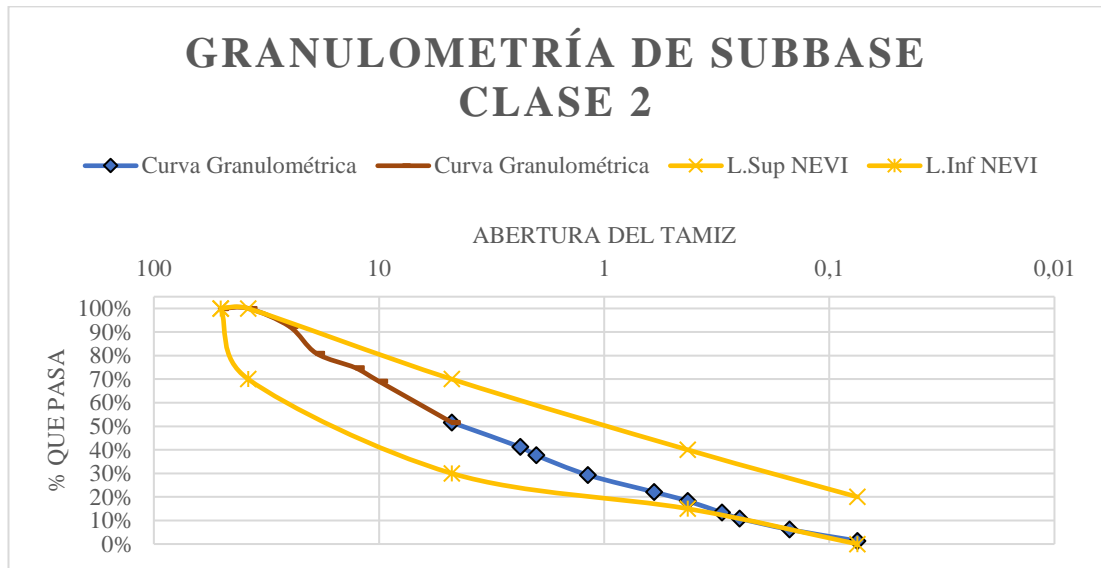
FUENTE: AUTOR.

**Figura 30:** Curva granulométrica Base clase 1 tipo B “Los Muelles”.



FUENTE: AUTOR.

**Figura 31:** Curva granulométrica Subbase clase 2 “Los Muelles”.



FUENTE: AUTOR.

Se evidenció que tanto la Base clase 1 tipo B como la Subbase clase 2 elaborada con el material proveniente de las tres minas cumplieron con los límites establecidos por la Norma Ecuatoriana vial (NEVI) debido a que la mezcla de áridos fue cuidadosamente realizada con este propósito mediante un proceso arduo de tamizado,



por lo que una vez este requisito fue cumplido se procedió a realizar los respectivos ensayos de compactación y capacidad portante.

- Densidad Relativa

Se realizó el ensayo de densidad relativa junto con el porcentaje de absorción para determinar la fracción de humedad que será absorbida por el agregado fino y grueso, es decir para saber cuánta humedad será retenida en los poros de las partículas del árido (esto sirve como un indicador de la porosidad del agregado), además de saber cuánto volumen ocupará el agregado en la mezcla de base y subbase, luego de realizados los respectivos ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 18:** Resultados del ensayo de densidad relativa.

		Densidad Relativa	Valores típicos	Absorción	Valores recomendados
Mina	Material	Valor	Rango	Valor (%)	Valor (%)
El Salvador	Arena lavada	2,29	2,5-3,00	0,6	4 % máx.
	Ripio cribado	2,49		3,0	
Kumochi	Arena lavada	2,23		1,4	
	Ripio cribado	2,45		1,0	
Muelles	Arena lavada	2,36		4,0	
	Ripio cribado	2,41		2,0	

**Fuente:** Autor.

Para la arena lavada, el material con mayor densidad es el proveniente de la mina “Muelles”, mientras que el de menor densidad es el de la mina Kumochi.

Con respecto al ripio cribado, aquel con mayor densidad es el procedente de la mina “El Salvador” contrastando con el de la mina “Muelles” que fue aquel con menor densidad relativa.

Según Mishra G. los valores de gravedad específica comúnmente usados en la construcción de carreteras oscilan entre 2,5 y 3,00 con un promedio de 2,68; se pudo observar que los valores obtenidos con el material de las minas del cantón Ambato alcanzan un promedio de 2,37 lo que no está en el rango antes descrito, pero tampoco se aleja excesivamente de él.[42]

En la Tabla 21, se pueden observar valores de densidad relativa obtenidos por Veintimilla L, mismos que reflejan valores similares a los obtenidos en el presente trabajo.[43]

**Tabla 19:** Densidad Real y Capacidad de absorción de los agregados –  
Resumen Canteras

CANTERAS:	KUMOCHI		PUERTA DEL SOL		MINA MORA	
FACTOR:	DR (gr/cm <sup>3</sup> )	CA (%)	DR (gr/cm <sup>3</sup> )	CA (%)	DR (gr/cm <sup>3</sup> )	CA (%)
RIPIO - PCA	2,25	2,68	2,32	3,75	2,30	5,18
RIPIO - STOCK	2,35	3,75	2,41	4,06	2,34	6,13
ARENA - PCA	2,56	0,90	2,47	3,70	1,75	2,88
ARENA - STOCK	2,69	0,94	2,42	4,74	1,78	3,00

**Fuente:** “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN Y EXHALACIÓN DE RADÓN-222 EN AGREGADOS PÉTREOS DE LAS CANTERAS KUMOCHI, MORA Y PUERTA DEL SOL, UBICADAS EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INFLUENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN.”, Veintimilla L.

Mientras que, el porcentaje de absorción obtenido se encuentra dentro de lo recomendado por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos de Norteamérica que es de 4% como máximo.[44]

### 3.1.2. Determinación de la capacidad portante de las muestras de base y subbase

Una vez obtenidos los datos del ensayo Proctor modificado de densidad seca máxima y humedad óptima se procedió con el ensayo California Bearing Ratio que determinará en porcentaje la capacidad de resistencia potencial de cada capa.

**Tabla 20:** Resultados del ensayo California Bearing Ratio.

California Bearing Ratio			
Mina	Material	CBR 0,2 pulg (%)	Límites (NEVI)
El Salvador	Base	104	≥ 80%
	Subbase	74	≥ 30%
Kumochi	Base	100	≥ 80%
	Subbase	67	≥ 30%
Muelles	Base	101	≥ 80%
	Subbase	62	≥ 30%

**Fuente:** Autor.

Como se pudo notar, el CBR obtenido por las Bases obtuvo valores superiores a 100 que cumplen con el requisito de la Norma Ecuatoriana Vial que indica: *“el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80%”*

Mientras que para la subbase también se obtuvieron valores que entran en los estándares de la norma que dice: *“La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30%”*[9]

Así, se puede observar que los valores de C.B.R conseguidos superan con creces los límites inferiores estipulados por la norma.

Por otro lado, se han comparado los valores de C.B.R del presente trabajo con los obtenidos por Parra, et. al. (Tabla 18) donde el valor para subbase clase 2 fue de 74,5% mientras que para base clase 1 tipo A fue de 99,2%. Mientras que para el presente trabajo el valor promedio de C.B.R para subbase clase 2 fue de 67,67% y para la base clase 1 tipo B fue de 101,67% indicando que los valores obtenidos fueron coherentes y guardan relación con el estudio mencionado anteriormente además de cumplir con la normativa.

Para este ensayo también se tomó en cuenta lo detallado en la Nota 1.

Cabe recalcar que la base y subbase con mayor porcentaje fueron aquellas elaboradas con el material de la mina “El Salvador”.

### **3.1.3. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados**

#### **- Proctor Modificado**

Una vez conformada la base y la subbase con el material extraído de cada mina y realizado el respectivo ensayo de Proctor modificado para saber cómo se comportarán cuando sean compactadas en campo, además de la cantidad de agua que será necesaria para lograr el máximo grado de compactación, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 21:** Resultados del ensayo de Proctor modificado.

<b>Proctor Modificado</b>			
<b>Mina</b>	<b>Material</b>	<b>Densidad seca máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Humedad óptima (%)</b>
El Salvador	Base	2,007	10,00
	Subbase	2,187	9,45
Kumochi	Base	1,893	10,45
	Subbase	2,051	8,15
Muelles	Base	1,891	8,80
	Subbase	1,996	9,50

**Fuente:** Autor.

Se determinó que la base que mayor densidad seca máxima obtuvo fue la elaborada con el material proveniente de la mina “El Salvador”.

Con respecto a la humedad necesaria para llegar a la máxima densidad seca máxima analizando aquella que necesitó menor humedad en el proceso de compactación fue la elaborada a partir de los agregados de la mina “Muelles”.

En cuanto a las subbases aquella con la mayor densidad seca máxima fue de la mina “El Salvador”.

Mientras que la que menor porcentaje de humedad necesitó para llegar a su punto máximo de densidad seca fue la de la mina Kumochi.

**Tabla 22:** Valores de CBR

<b>TIPO</b>	<b>DENSIDAD MÁXIMA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD MÁXIMA (95%) (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>	<b>C.B.R (%)</b>
SUBBASE CLASE 1	1,972	1,873	9,81	77,8
SUBBASE CLASE 2	1,988	1,889	9,64	74,5
SUBBASE CLASE 3	1,926	1,830	10,9	70,2
BASE CLASE 1 TIPO A	2,187	2,078	10,06	99,2
BASE CLASE 2	2,131	2,024	9,95	95,2
BASE CLASE 3	2,079	1,975	10,29	89,5
BASE CLASE 4	2,045	1,943	9,64	86,1

**Fuente:** CORRELACIÓN ANALÍTICA-TÉCNICA ENTRE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO RESILIENTE Y CALIFORNIA BEARING RATIO DE LA MINA COPETO, Parra et. al.

Según el estudio realizado en Toachi – Santo Domingo de Los Tsáchilas-Ecuador por Parra, et. al. se pudo evidenciar que la subbase clase 2 obtuvo una densidad máxima de 1,988 g/cm<sup>3</sup> mientras que la humedad óptima fue de 9,64 %. Así mismo, para la

Base clase 1 tipo A, el valor de densidad máxima fue de 2,187 gr/cm<sup>3</sup> mientras que la humedad óptima se encontró en 10,06%.

Para el presente trabajo, el valor promedio de densidad seca máxima para subbase clase 2 fue de 2,078 gr/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 9,75%, por otro lado, la base clase 1 tipo B obtuvo una densidad seca máxima de promedio de 1,930 gr/cm<sup>3</sup> con una humedad óptima de 9,03 % evidenciando así que estos valores son coherentes y similares a los obtenidos por Parra, et. al.

Nota 1: Cabe recalcar que, aunque el tipo de base no sea exactamente el mismo ya que en el estudio de Parra, et. al. Se usó el tipo A y en el presente trabajo se usó el tipo B la clase sigue siendo la misma, y los límites granulométricos no difieren entre sí en gran medida.

- Solidez

Luego de realizado el ensayo de durabilidad bajo acción de sulfato de sodio que determina la vulnerabilidad del agregado a factores de intemperismo y ataque por químicos se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 23:** Resultados del ensayo de durabilidad de los agregados.

<b>Durabilidad de los áridos en Sulfato de Sodio</b>			
<b>Mina</b>	<b>Material</b>	<b>Valor (%)</b>	<b>Límite (NEVI)</b>
El Salvador	Arena lavada	3,2	< 10%
	Ripio cribado	1,6	< 12%
Kumochi	Arena lavada	3,9	< 10%
	Ripio cribado	1,8	< 12%
Muelles	Arena lavada	4,7	< 10%
	Ripio cribado	2,3	< 12%

**Fuente:** Autor.

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana Vial, se pudo observar que los valores hallados en cuanto a la solidez frente a sulfato de sodio se encuentran en el rango estimado ya que ningún porcentaje supera el 10% en el caso de la arena lavada ni el 12% en cuanto al ripio cribado.

- Resistencia a la abrasión

Se realizó el ensayo de resistencia a la abrasión método A para determinar en qué porcentaje el agregado grueso se disgrega debido al impacto, dando como resultados los siguientes valores presentados en la tabla 22:

**Tabla 24:**Resultados del ensayo de Resistencia a la abrasión.

<b>Resistencia a la abrasión</b>			
<b>Mina</b>	<b>Material</b>	<b>Valor (%)</b>	<b>Límite (NEVI)</b>
El Salvador	Ripio cribado	12	< 40%
Kumochi	Ripio cribado	11	< 40%
Muelles	Ripio cribado	9	< 40%

**Fuente:** Autor.

Se pudo notar que los valores de abrasión de las muestras de ripio triturado están dentro de los estándares que la Norma Ecuatoriana Vial indica: “*El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40%*”. [9]

Lo cual indica que el desgaste que sufrió el agregado es inferior a lo establecido por la norma, entrando así en el estándar de calidad buscado.

#### **3.1.4. Determinación del porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso**

Luego de realizado el ensayo para determinar el porcentaje de dos o más caras fracturadas de las partículas del agregado grueso debido a que este parámetro influye directamente sobre la fricción inter particular y por tanto en la resistencia de la mezcla no ligada en sí, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 25:**Resultados del ensayo de porcentaje de caras fracturadas.

<b>Porcentaje de caras fracturadas</b>			
<b>Mina</b>	<b>Material</b>	<b>Valor (%)</b>	<b>Límite (NEVI)</b>
El Salvador	Ripio cribado	80	≥ 75%
Kumochi	Ripio cribado	76	≥ 75%
Muelles	Ripio cribado	77	≥ 75%

**Fuente:** Autor.

Los valores obtenidos cumplen con el requisito estipulado por la Norma Ecuatoriana Vial: “*Los agregados gruesos retenidos en el tamiz 4.75 mm deben tener cierta angularidad, debiendo contener al menos el 75% en peso de elementos triturados que contengan dos o más caras fracturadas*” [9]

Lo que quiere decir que el material presenta caras que al contacto con el agregado fino y entre sí logrará una buena fricción y por tanto una alta resistencia al corte.

#### **3.2. Verificación de hipótesis**

¿Cumplen las bases y subbases elaboradas a partir de los materiales provenientes de las minas “El Salvador”, “Kumochi” y “Los Muelles” pertenecientes al cantón

Ambato, provincia de Tungurahua en Ecuador con el requisito de la Norma Ecuatoriana Vial de alcanzar un valor de California Bearing Ratio (CBR) de más de 80% para bases y de más de 30% para subbases?

Ensayo	Mina	Material	Resultado		Norma (NEVI)		Observación
			Tamiz (mm)	%Pasa	Tamiz (mm)	%Pasa	
Granulometría	El Salvador	Base	38,1	100	38,1	100	Cumple
			25,4	91	25,4	70-100	Cumple
			19	83	19	60-90	Cumple
			9,5	60	9,5	45-75	Cumple
			4,75	46	4,75	30-60	Cumple
			2	35	2	20-50	Cumple
			0,425	22	0,425	5-30	Cumple
			0,075	5	0,075	0-5	Cumple
		Subbase	50,4	100	50,4	100	Cumple
			38,1	100	38,1	70-100	Cumple
			4,75	55	4,75	30-70	Cumple
			0,425	21	0,425	15-40	Cumple
			0,075	2	0,075	0-20	Cumple
			Kumochi	Base	38,1	100	38,1
	25,4	93			25,4	70-100	Cumple
	19	83			19	60-90	Cumple
	9,5	58			9,5	45-75	Cumple
	4,75	44			4,75	30-60	Cumple
	2	35			2	20-50	Cumple
	0,425	21			0,425	5-30	Cumple
	0,075	2			0,075	0-5	Cumple
	Subbase	50,4		100	50,4	100	Cumple
		38,1		100	38,1	70-100	Cumple
		4,75		54	4,75	30-70	Cumple
		0,425		22	0,425	15-40	Cumple
		0,075		2	0,075	0-20	Cumple
		Muelles		Base	38,1	100	38,1
	25,4		93		25,4	70-100	Cumple
19	82		19		60-90	Cumple	
9,5	68		9,5		45-75	Cumple	

			4,75	56	4,75	30-60	Cumple
			2	45	2	20-50	Cumple
			0,425	21	0,425	5-30	Cumple
			0,075	3	0,075	0-5	Cumple
		Subbase	50,4	100	50,4	100	Cumple
			38,1	100	38,1	70-100	Cumple
			4,75	52	4,75	30-70	Cumple
			0,425	18	0,425	15-40	Cumple
		0,075	1	0,075	0-20	Cumple	
Plasticidad	El Salvador	Arena	No plástico		Ip<6		Cumple
		Ripio	No plástico		Ip<6		Cumple
	Kumochi	Arena	No plástico		Ip<6		Cumple
		Ripio	No plástico		Ip<6		Cumple
	Muelles	Arena	No plástico		Ip<6		Cumple
		Ripio	No plástico		Ip<6		Cumple
CBR (%)	El Salvador	Base	104		>80%		Cumple
		Subbase	74		>30%		Cumple
	Kumochi	Base	100		>80%		Cumple
		Subbase	67		>30%		Cumple
	Muelles	Base	101		>80%		Cumple
		Subbase	62		>30%		Cumple
Abrasión (%)	El Salvador	Ripio	12		<40%		Cumple
	Kumochi	Ripio	11		<40%		Cumple
	Muelles	Ripio	9		<40%		Cumple

Después de realizados los ensayos para caracterizar y determinar las propiedades tanto individualmente como en conjunto (mezclas no ligadas) se pudo afirmar que las bases y subbases elaboradas a partir de los materiales provenientes de las minas “El Salvador”, “Kumochi” y “Los Muelles” pertenecientes al cantón Ambato, provincia de Tungurahua en Ecuador **cumplen** con el requisito de la Norma Ecuatoriana Vial de alcanzar un valor de California Bearing Ratio (C.B.R) de más de 80% para bases y de más de 30% para subbases



## **CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 Conclusiones**

- Se determinó que, para los límites de Atterberg, contenido de humedad, Proctor modificado y densidad relativa cumplen con la Norma Ecuatoriana Vial y son valores que corresponden al tipo de material; en cuanto a la granulometría, únicamente el agregado tanto fino como grueso proveniente de la mina “Los Muelles” cumple con los límites establecidos por la ASTM.
- Las mezclas no ligadas elaboradas a partir del material proveniente de las tres minas el promedio de C.B.R es de 102% para base clase 1 tipo B y 68% para subbase clase 2, lo cual entra en el estándar de la Norma Ecuatoriana Vial que recomienda un valor superior a 80% y 30% respectivamente para cada tipo de mezcla no ligada; cabe recalcar que, las mezclas que mayor valor de California Bearing Ratio alcanzaron son las elaboradas con el material de la mina “El Salvador”.
- Se obtuvieron valores promedios de 3,93% y 1,90% de porcentaje ponderado de pérdida para agregado fino y grueso respectivamente en el ensayo de resistencia a los sulfatos, valores que se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Ecuatoriana Vial que recomienda valores menores al 10% para arena y 12% para ripio; cabe recalcar que aquellos agregados que menor porcentaje ponderado de pérdida obtenido son los provenientes de la mina “El Salvador”, por lo tanto estos agregados serán menos susceptibles a los factores químicos y de intemperismo.
- Luego de realizado el ensayo de resistencia a la abrasión para agregado grueso se obtuvo un valor promedio de porcentaje de pérdida de 10,67% lo cual cumple con la Norma Ecuatoriana Vial que recomienda que el valor sea inferior al 40%; cabe señalar que el agregado que menor pérdida obtuvo fue el proveniente de la mina Muelles con 9%, lo que significa que este agregado será menos susceptible al desgaste mecánico.
- El promedio de porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso fue de 77,67% lo cual está dentro del estándar de la Norma Ecuatoriana Vial que recomienda valores mayores o iguales a 75% por tanto se puede decir que el

agregado grueso de las tres minas pasó por un correcto proceso de trituración, no obstante, el agregado con mayor porcentaje de caras fracturadas fue el proveniente de la mina “El Salvador” con 80%.

- En conclusión, el material que mejores características presentó es el proveniente de la mina “El Salvador” además de que es el que en promedio tiene menor costo por metro cúbico (\$6,50).
- Se evaluó la calidad de los materiales provenientes de las minas “Kumochi”, “Los Muelles” y “Cantera El Salvador” mediante ensayos de laboratorio, dando como resultado que los agregados procedentes de estas minas son aptos para la elaboración de Base y Subbase para la construcción de carreteras.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda que para el mezclado en laboratorio de base y subbase se cuente con un tamizado apropiado del material ya que la granulometría es el factor principal que influirá en la capacidad portante y humedad óptima de la mezcla no ligada.
- A los profesionales de la ingeniería civil se recomienda evaluar la calidad de cada componente que será usado en la construcción de vías ya que su vida útil, así como su eficacia depende de los factores que componen cada uno de estos aspectos.
- A la Universidad Técnica de Ambato se recomienda la adquisición de más equipo para realizar ensayos de laboratorio, ya que el limitado equipo produce que los tiempos de espera para poder usar los materiales se alargue, por tanto que el tiempo que se tarda en obtener resultados también se alargue.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### Referencias bibliográficas

- [1] SoluAsfalt, “El origen de los caminos.,” 2017. <https://asfaltomadrid.com/origen-caminos/> (accessed Oct. 29, 2022).
- [2] Rickie Longfellow, “General Highway History,” 2017. <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/back0506.cfm> (accessed Jan. 17, 2023).
- [3] V. Zorío, “Historia de las carreteras,” *Vialidad y Transporte Latinoamericano*, Lima, p. 74, Mar. 2015.
- [4] “El estudio que muestra cómo la impresionante red de caminos del Imperio romano sigue generando prosperidad 2.000 años después - BBC News Mundo.” <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45151498> (accessed Nov. 24, 2022).
- [5] D. Hein, S. Suresh, S. Tayabji, and H. Lee, “Tech Brief Bases and Subbases for Concrete Pavements,” 2017.
- [6] R. Agosta *et al.*, “Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040,” 2020.
- [7] “Normalización en Europa - requisitos técnicos - normas armonizadas - mercado CE - Your Europe.” [https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/standards/standards-in-europe/index\\_es.htm](https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/standards/standards-in-europe/index_es.htm) (accessed Nov. 02, 2022).
- [8] “Detailed overview - Overview - About Us.” <https://www.astm.org/about/overview/detailed-overview.html> (accessed Nov. 02, 2022).
- [9] Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES,” in *NORMA ECUATORIANA VIAL*, vol. 3, 2013.
- [10] American Foundry Society, “Bases and Subbases.” <https://www.afsinc.org/bases-and-subbases> (accessed Jan. 17, 2023).

- [11]P. Garnica, A. José, A. Gómez, L. Jesús, and A. Sesma Martínez, “MECÁNICA DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS”.
- [12]American Association of state Highway and transportation officials, *AASHTO GUIDE FOR Design of Pavement Structures 1993*. 1993.
- [13]Y. Xiao, E. Tutumluer, and J. Siekmeier, “Aggregate Base/Granular Subbase Quality Affecting Fatigue Cracking of Conventional Flexible Pavements in Minnesota,” 2012.
- [14]F. Parra P., P. Espinoza-Montero, L. Fernández, H. Zambrano, and W. Cando T., “CORRELACIÓN ANALÍTICA-TÉCNICA ENTRE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO RESILIENTE Y CALIFORNIA BEARING RATIO DE LA MINA COPETO,” *infoANALÍTICA*, vol. 8, no. 1, pp. 139–152, Jan. 2020, doi: 10.26807/ia.v8i1.123.
- [15]A. U. Calderón, “Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico,” *Métodos y materiales*, vol. 1, pp. 39–50, 2011.
- [16]Roy Whitlow, *Fundamentos de Mecánica de Suelos*, 2nd ed. México: Compañía Editorial Continental, 1999.
- [17]American Society for Testing and Materials, “Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass,” in *Soil and Rocks*, vol. 04.08, 2019.
- [18]J. Abedi-Koupai, F. Sohrab, and G. Swarbrick, “Evaluation of Hydrogel Application on Soil Water Retention Characteristics,” *J Plant Nutr*, vol. 31, no. 2, pp. 317–331, 2008, doi: 10.1080/01904160701853928.
- [19]J. S. Úbeda Rivera and Y. Delgado Dallatorre, “La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura,” *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, vol. 4, no. 7, pp. 889–896, Jul. 2018, doi: 10.5377/ribcc.v4i7.6299.

- [20]E. Arthur *et al.*, “Estimating Atterberg limits of soils from hygroscopic water content,” *Geoderma*, vol. 381, p. 114698, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114698>.
- [21]Caterpillar Inc., *Guía para compactación de suelos*. 2013.
- [22]P. R. N. Hobbs, L. D. Jones, M. P. Kirkham, D. A. Gunn, and D. C. Entwisle, “Shrinkage limit test results and interpretation for clay soils Shrinkage limit of clay soils.”
- [23]P. v Sivapullaiah<sup>1</sup> and A. Sridharan<sup>1</sup>, “Liquid Limit of Soil Mixtures,” 1985.
- [24]INEN, “MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO MÉTODO DE CASA GRANDE,” in *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1982.
- [25]B. C. O’Kelly, “Review of recent developments and understanding of Atterberg limits determinations,” *Geotechnics*, vol. 1, no. 1, pp. 59–75, 2021.
- [26]INEN, “MECÁNICA DE SUELOS DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO,” in *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1982.
- [27]American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,” in *Concrete And Aggregates*, vol. 04.02, 2019.
- [28]“Granulometría. SAIT. Universidad Politécnica de Cartagena.” <https://www.upct.es/sait/es/reologia-y-granulometria/granulometria/> (accessed Nov. 02, 2022).
- [29]American Society for Testing and Materials, “Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates,” in *Concrete and Aggregates*, vol. 04.02, 2021.
- [30]American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate,” in *Concrete And Aggregates*, vol. 04.02, 2015.

- [31]“California Bearing Ratio – Pavement Interactive.”  
<https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/design-parameters/california-bearing-ratio/> (accessed Nov. 03, 2022).
- [32]A. Rehman, K. Farooq, H. Mujtaba, and O. Altaf, “ESTIMATION OF CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) FROM INDEX PROPERTIES AND COMPACTION CHARACTERISTICS OF COARSE GRAINED SOIL.” Jan. 2015. doi: 10.13140/RG.2.2.16135.96168.
- [33]“What is CBR (California Bearing Ratio) Testing? - EMS Geotech Can Help.”  
<https://www.ems-geotech.co.uk/cbr-testing/> (accessed Nov. 03, 2022).
- [34]American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils,” in *Soil And Rock (I): D420 – D5876/D5876m*, vol. 04.08, 2021.
- [35]“El ensayo Proctor para la medición de compactaciones,” *Aristegui Maquinaria*, Dec. 2015. <https://www.aristegui.info/el-ensayo-proctor-para-la-medicion-de-compactaciones/>
- [36]American Society for Testing and Materials, “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>)),” in *Soil And Rock (I): D420 – D5876/D5876m*, vol. 04.08, 2021.
- [37]American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate,” in *Concrete And Aggregates*, vol. 04.02, 2018.
- [38]F. Sanchez Sabogal, “CURSO BÁSICO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PRIMERA PARTE-PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.”
- [39]American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine,” in *Concrete And Aggregates*, vol. 04.02, 2020.

[40]American Society for Testing and Materials, “Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregat,” in *Road And Paving Materials; Vehicle-pavement Systems*, vol. 04.03, 2017.

[41]E. Garavito, “HUMEDAD EN AGREGADOS Y CONTROL DE INVENTARIOS - 360 EN CONCRETO,” 2022. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/humedad-en-agregados-y-control-de-inventarios-1/> (accessed Dec. 25, 2022).

[42]G. Mishra, “Specific Gravity and Water Absorption Tests on Aggregates - The Constructor.” <https://theconstructor.org/building/aggregates-specific-gravity-water-absorption-test/1358/> (accessed Feb. 06, 2023).



[43]L. Veintimilla, “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN Y EXHALACIÓN DE RADÓN-222 EN AGREGADOS PÉTREOS DE LAS CANTERAS KUMOCHI, MORA Y PUERTA DEL SOL, UBICADAS EN EL CANTÓN AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA Y SU INFLUENCIA EN LA CONSTRUCCIÓN.” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021.

[44]U.S Departament of Transportation, “STANDARD SPECIFICATIONS FOR CONSTRUCTION OF ROADS AND BRIDGES ON FEDERAL HIGHWAY PROJECTS FP-14,” 2014.



## ANEXOS

### Anexo 1: Contenido de humedad.

➤ Mina “El Salvador”

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM D2216-19</b> 					
MINA:		El Salvador			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Tipo de material:		Arena lavada		Ripio Cribado	
Recipiente N.º		<i>h4</i>	<i>zv1</i>	<i>11</i>	<i>58</i>
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec	124,42	127,19	103,17	104,36
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec	120,76	123,61	102,18	103,50
Peso del recipiente (gr)	rec	30,52	30,1	30,91	30,87
Peso del agua (gr)	Ww	3,66	3,58	0,99	0,86
Peso suelo seco (gr)	Ws	90,24	93,51	71,27	72,63
Contenido humedad (%)	$\omega\%$	4,06	3,83	1,39	1,18
<b>Contenido humedad promedio (%)</b>	<b><math>\omega\%</math></b>	<b>3,94</b>		<b>1,29</b>	

➤ Mina “Kumochi”

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM D2216-19</b> 					
MINA:		Kumochi			
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD					
Tipo de material:		Arena lavada		Ripio Cribado	
Recipiente N.º		<i>18</i>	<i>27</i>	<i>91</i>	<i>84</i>
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec	128,50	133,00	263,18	263,48
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec	124,96	128,41	259,50	258,98
Peso del recipiente (gr)	rec	25,5	25	32,48	32,43
Peso del agua (gr)	Ww	3,54	4,59	3,68	4,50
Peso suelo seco (gr)	Ws	99,46	103,41	227,02	226,55
Contenido humedad (%)	$\omega\%$	3,56	4,44	1,62	1,99
<b>Contenido humedad promedio (%)</b>	<b><math>\omega\%</math></b>	<b>4,00</b>		<b>1,80</b>	



➤ Mina “Muelles”

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: ASTM D2216-19		Muelles			
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
Tipo de material:		Arena lavada		Ripio Cribado	
Recipiente N.º		18	27	91	84
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec	131,60	136,52	141,80	149,93
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec	127,56	132,42	139,83	148,09
Peso del recipiente (gr)	rec	29,95	30,74	31,29	50,73
Peso del agua (gr)	Ww	4,04	4,10	1,97	1,84
Peso suelo seco (gr)	Ws	97,61	101,68	108,54	97,36
Contenido humedad (%)	ω%	4,14	4,03	1,81	1,89
<b>Contenido humedad promedio (%)</b>	<b>ω%</b>	<b>4,09</b>		<b>1,85</b>	

Anexo 2: Límites de Atterberg



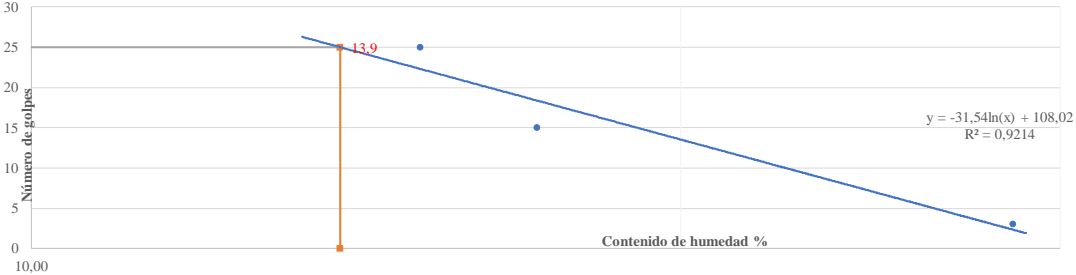
➤ Mina “El Salvador”

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMAS: INEN 691/692		El Salvador							
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO</b>									
Nº de golpes		35-40		25-35		15-25		0-15	
Nº Recipiente				07A1	34	H3	721	61	321
Peso muestra húmeda + rec (gr)	Wm+rec			15,50	16,10	13,00	12,82	14,75	14,66
Peso muestra seca + rec (gr)	Ws+rec			14,71	15,17	12,68	12,51	14,14	14,01
Peso recipiente (gr)	rec			10,30	9,80	11,00	10,98	11,39	11,20
Peso agua (gr)	Ww	0,00	0,00	0,79	0,93	0,32	0,31	0,61	0,65
Peso sólidos (gr) Ws	Ws	0,00	0,00	4,41	5,37	1,68	1,53	2,75	2,81
Contenido de humedad (%)	ω%			17,91	17,32	19,05	20,26	22,18	23,13
Contenido de humedad promedio (%)	ω%			17,62		19,65		22,66	
Número de golpes				27		16		3	
<b>LÍMITE LÍQUIDO (LL%)</b>		<b>17,95</b>							
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>									
<p>El gráfico muestra una curva de ajuste logarítmico inverso que relaciona el número de golpes (eje vertical, de 0 a 30) con el contenido de humedad en porcentaje (eje horizontal, de 10,00 a 30). La ecuación de la línea es <math>y = -95,18 \ln(x) + 299,85</math> con un coeficiente de determinación <math>R^2 = 0,9993</math>. Un punto de datos está etiquetado con el valor 18,0.</p>									
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO</b>									
Recipiente				47	54	44	A2	71	
Peso muestra húmeda + rec (gr)	Wm+rec			7,12	6,98	6,94	7,00	7,41	
Peso muestra seca + rec (gr)	Ws+rec			6,93	6,80	6,77	6,84	7,16	
Peso recipiente (gr)	rec			6,09	6,02	6,00	6,13	6,22	
Peso agua (gr)	Ww			0,19	0,18	0,17	0,16	0,25	
Peso sólidos (gr)	Ws			0,84	0,78	0,77	0,71	0,94	
Contenido de humedad (%)	ω%			22,62	23,08	22,08	22,54	26,60	
Contenido de humedad promedio (%)	ω%			23,38					
<b>LÍMITE PLÁSTICO (LP%)</b>		<b>23,38</b>							
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP = LL - LP)</b>		<b>N.P</b>							

➤ Mina “Kumochi”

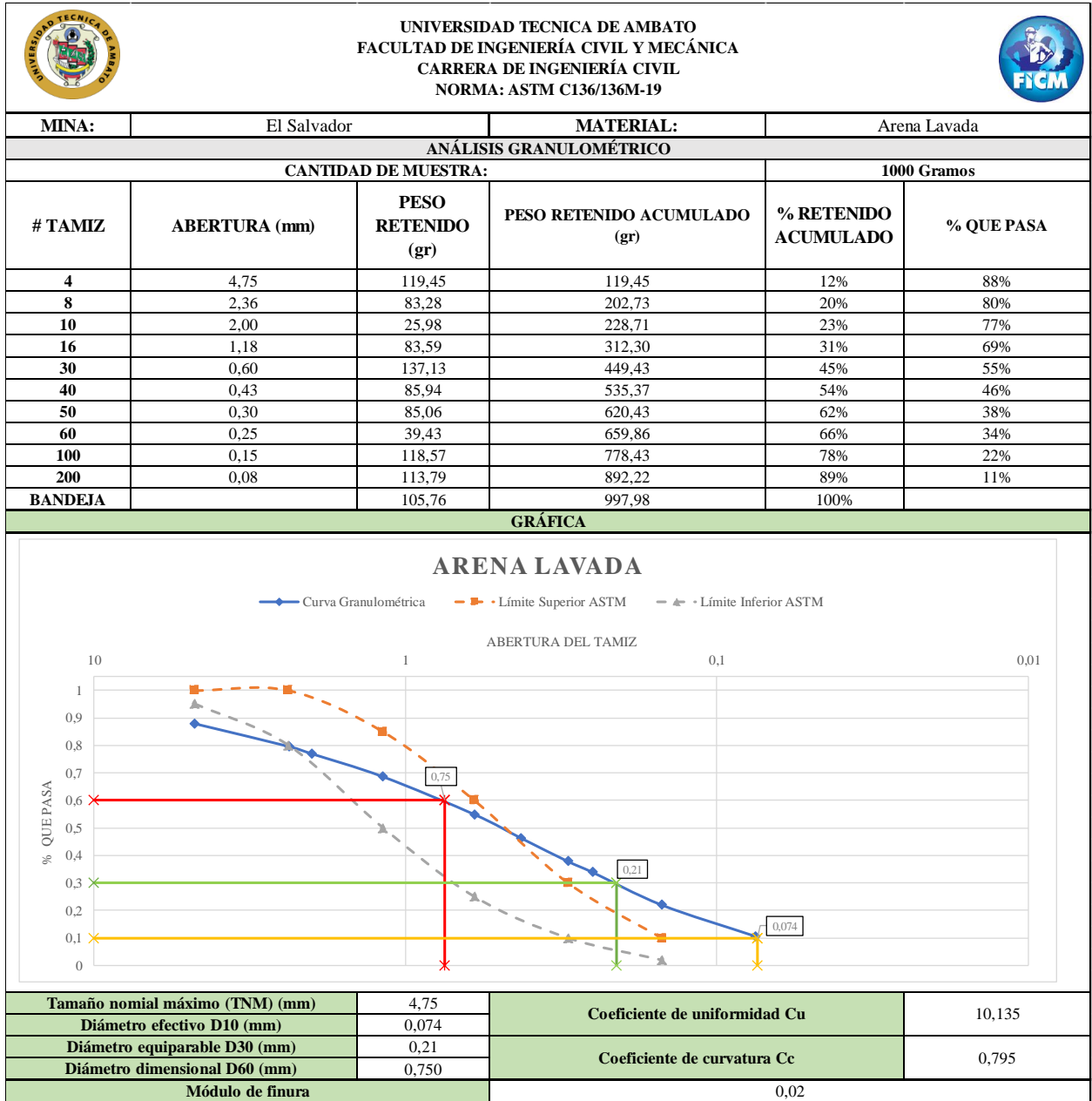
MINA:		Kumochi							
<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMAS: INEN 691/692									
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO</b>									
N° de golpes		35-40		25-35		15-25		0-15	
N° Recipiente				8	7	9	5	69	78
Peso muestra húmeda + rec (gr)	Wm+rec			15,90	18,02	15,13	21,13	17,97	20,11
Peso muestra seca + rec (gr)	Ws+rec			15,14	16,80	14,41	20,56	16,71	18,48
Peso recipiente (gr)	rec			11,20	10,50	11,06	17,78	11,47	11,56
Peso agua (gr)	Ww	0,00	0,00	0,76	1,22	0,72	0,57	1,26	1,63
Peso sólidos (gr) Ws	Ws	0,00	0,00	3,94	6,30	3,35	2,78	5,24	6,92
Contenido de humedad (%)	ω%			19,29	19,37	21,49	20,50	24,05	23,55
Contenido de humedad promedio (%)	ω%			19,33		21,00		23,80	
Número de golpes				28		15		5	
<b>LÍMITE LÍQUIDO (LL%)</b>		<b>19,60</b>							
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>									
<p>Gráfico de LÍMITE LÍQUIDO. El eje vertical representa el número de golpes (de 0 a 30) y el eje horizontal representa el contenido de humedad en porcentaje (de 10,00 a 30). Se muestran tres puntos de datos y una línea de tendencia lineal. La ecuación de la línea es <math>y = -108\ln(x) + 346,36</math> con un coeficiente de determinación <math>R^2 = 0,9636</math>. Una línea vertical naranja indica el valor de LL = 19,6%.</p>									
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO</b>									
Recipiente			9ms	792	66	53	50		
Peso muestra húmeda + rec (gr)	Wm+rec	7,86	16,82	7,56	8,28	7,51			
Peso muestra seca + rec (gr)	Ws+rec	7,52	16,52	7,28	7,89	7,26			
Peso recipiente (gr)	rec	6,06	15,05	6,08	6,21	6,18			
Peso agua (gr)	Ww	0,34	0,30	0,28	0,39	0,25			
Peso sólidos (gr)	Ws	1,46	1,47	1,20	1,68	1,08			
Contenido de humedad (%)	ω%	23,29	20,41	23,33	23,21	23,15			
Contenido de humedad promedio (%)	ω%			22,68					
<b>LÍMITE PLÁSTICO (LP%)</b>		<b>22,68</b>							
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP = LL - LP)</b>		<b>N.P</b>							

➤ Mina “Muelles”

MINA:		Muelles							
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMAS: INEN 691/692 									
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO									
Nº de golpes		35-40		25-35		15-25		0-15	
Nº Recipiente				7	24	9	5	69	78
Peso muestra húmeda + rec (gr)	Wm+rec			16,12	15,87	16,71	16,09	15,98	13,98
Peso muestra seca + rec (gr)	Ws+rec			14,96	14,77	15,35	14,82	14,07	12,55
Peso recipiente (gr)	rec			7,30	7,51	7,49	7,34	7,46	7,46
Peso agua (gr)	Ww	0,00	0,00	1,16	1,10	1,36	1,27	1,91	1,43
Peso sólidos (gr) Ws	Ws	0,00	0,00	7,66	7,26	7,86	7,48	6,61	5,09
Contenido de humedad (%)	ω%			15,14	15,15	17,34	16,98	28,86	28,19
Contenido de humedad promedio (%)	ω%			15,15		17,16		28,52	
Número de golpes				25		15		3	
<b>LÍMITE LÍQUIDO (LL%)</b>		<b>13,90</b>							
LÍMITE LÍQUIDO									
									
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO									
Recipiente		9ms	792	66	53	50			
Peso muestra húmeda + rec (gr)	Wm+rec	7,93	16,91	7,49	8,32	7,47			
Peso muestra seca + rec (gr)	Ws+rec	7,61	16,59	7,25	7,96	7,26			
Peso recipiente (gr)	rec	6,06	15,05	6,08	6,21	6,18			
Peso agua (gr)	Ww	0,32	0,32	0,24	0,36	0,21			
Peso sólidos (gr)	Ws	1,55	1,54	1,17	1,75	1,08			
Contenido de humedad (%)	ω%	20,65	20,78	20,51	20,57	19,44			
Contenido de humedad promedio (%)	ω%			20,39					
<b>LÍMITE PLÁSTICO (LP%)</b>		<b>20,39</b>							
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP = LL - LP)</b>		<b>N.P</b>							

### Anexo 3: Granulometría.

➤ Mina “El Salvador”

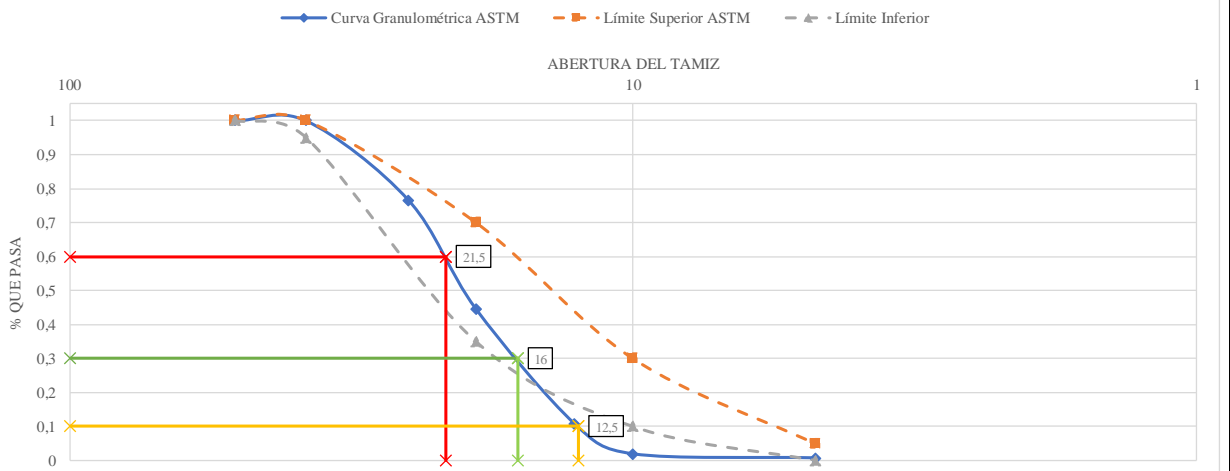




<b>MINA:</b>	El Salvador	<b>MATERIAL:</b>	Ripio triturado		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
CANTIDAD DE MUESTRA:			10000 Gramos		
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1,5	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	2338,30	2338,30	23%	77%
3/4	19,00	3189,08	5527,38	55%	45%
1/2	12,70	3377,02	8904,40	89%	11%
3/8	10,00	885,10	9789,50	98%	2%
4	4,75	118,12	9907,62	99%	1%
<b>BANDEJA</b>		69,76	9977,38	100%	

**GRÁFICA**

**RIPIO TRITURADO**

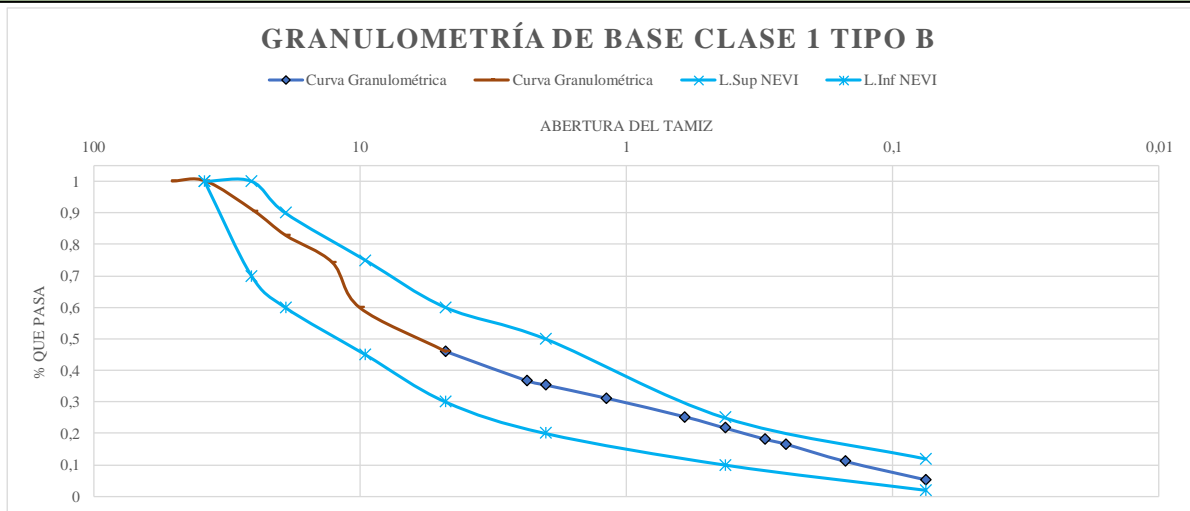


<b>Tamaño nominal máximo (TNM) (mm)</b>	25	<b>Coefficiente de uniformidad Cu</b>	1,720
<b>Diámetro efectivo D10 (mm)</b>	12,5	<b>Coefficiente de curvatura Cc</b>	0,953
<b>Diámetro equiparable D30 (mm)</b>	16		
<b>Diámetro dimensional D60 (mm)</b>	21,500		



<b>MINA:</b>	El Salvador		<b>MATERIAL:</b>	Base Clase 1 Tipo B	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>					
<b>CANTIDAD DE MUESTRA:</b>			<b>5520 Gramos</b>		
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1 1/2	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	521,20	521,20	9%	91%
3/4	19,00	427,32	948,52	17%	83%
1/2	12,70	470,25	1418,77	26%	74%
3/8	10,00	792,40	2211,17	40%	60%
4	4,75	764,17	2975,34	54%	46%
8	2,36	513,81	3489,15	63%	37%
10	2,00	77,34	3566,49	65%	35%
16	1,18	232,32	3798,81	69%	31%
30	0,60	326,80	4125,61	75%	25%
40	0,43	196,60	4322,21	78%	22%
50	0,30	197,10	4519,31	82%	18%
60	0,25	89,49	4608,80	84%	16%
100	0,15	300,54	4909,34	89%	11%
200	0,08	323,06	5232,40	95%	5%
<b>BANDEJA</b>		285,51	5517,91	100%	

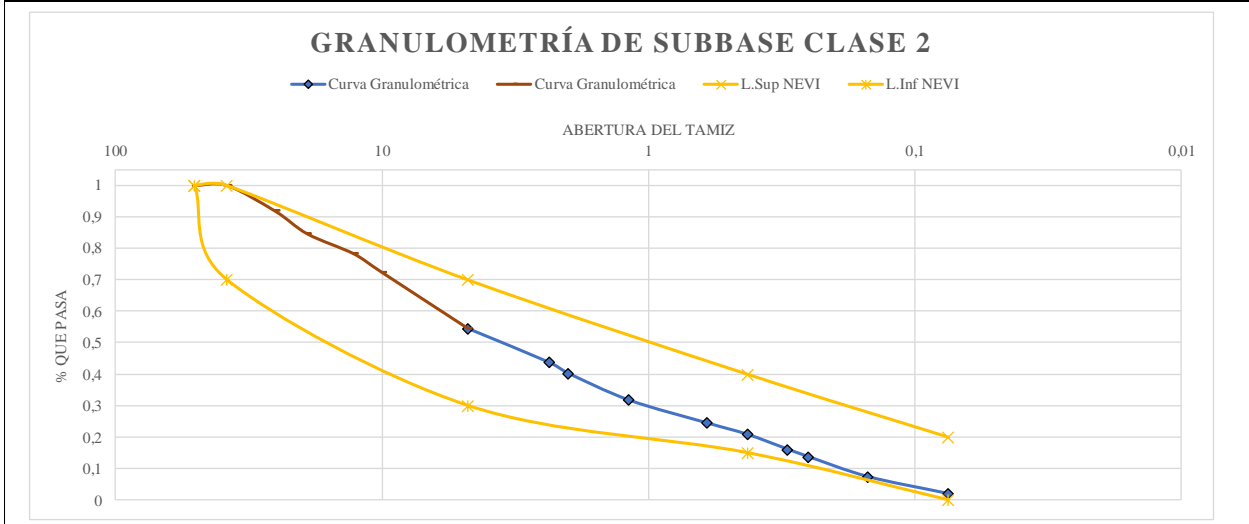
**GRÁFICA**



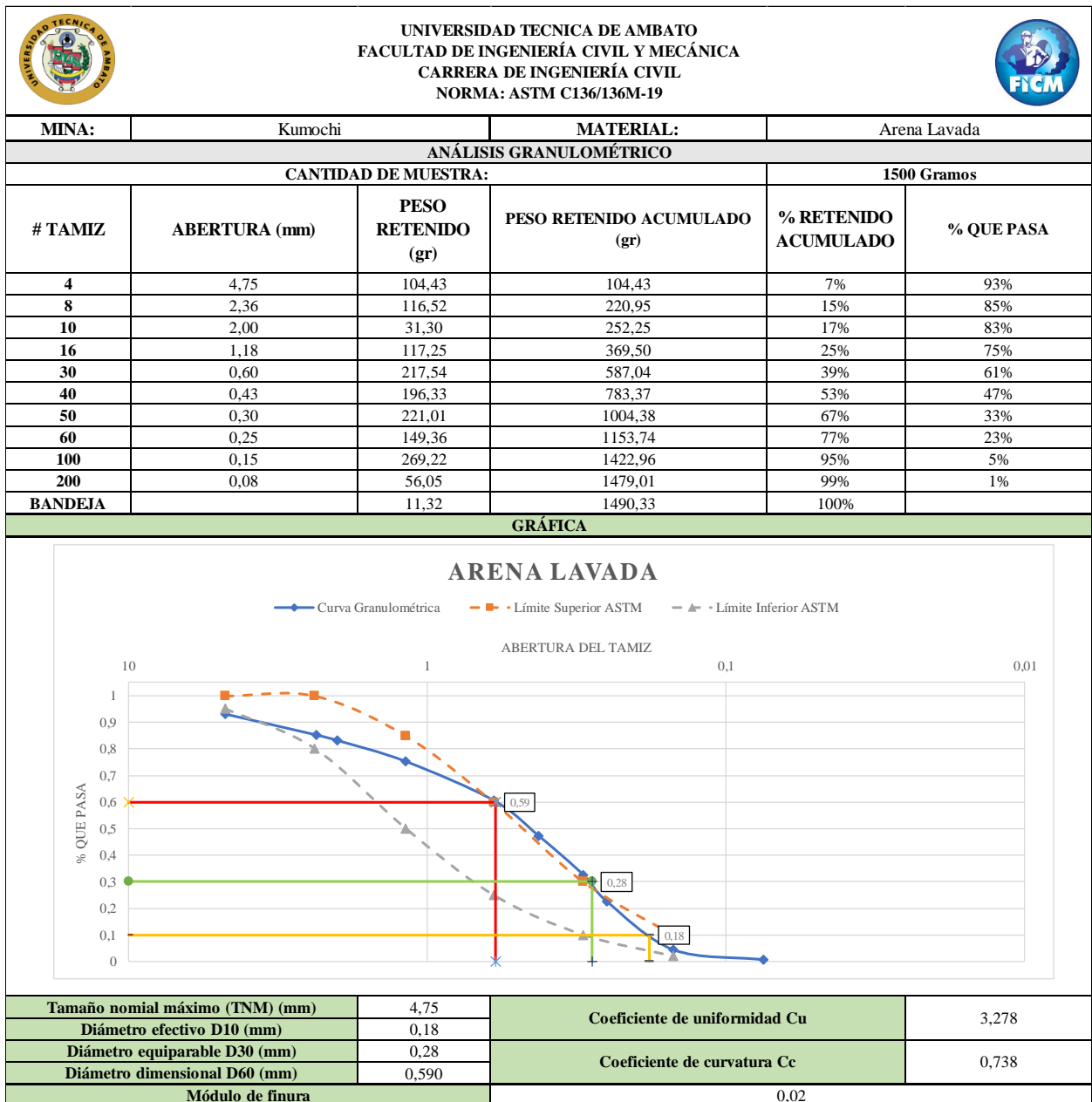


<b>MINA:</b>	El Salvador		<b>MATERIAL:</b>	Subbase Clase 2	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
CANTIDAD DE MUESTRA:			5000 Gramos		
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1 1/2	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	410,33	410,33	8%	92%
3/4	19,00	358,35	768,68	15%	85%
1/2	12,70	318,52	1087,20	22%	78%
3/8	10,00	291,65	1378,85	28%	72%
4	4,75	895,12	2273,97	45%	55%
8	2,36	535,27	2809,24	56%	44%
10	2,00	172,73	2981,97	60%	40%
16	1,18	428,25	3410,22	68%	32%
30	0,60	363,95	3774,17	76%	24%
40	0,43	179,46	3953,63	79%	21%
50	0,30	235,70	4189,33	84%	16%
60	0,25	120,14	4309,47	86%	14%
100	0,15	314,90	4624,37	93%	7%
200	0,08	269,18	4893,55	98%	2%
<b>BANDEJA</b>		104,63	4998,18	100%	

**GRÁFICA**



➤ Mina “Kumochi”

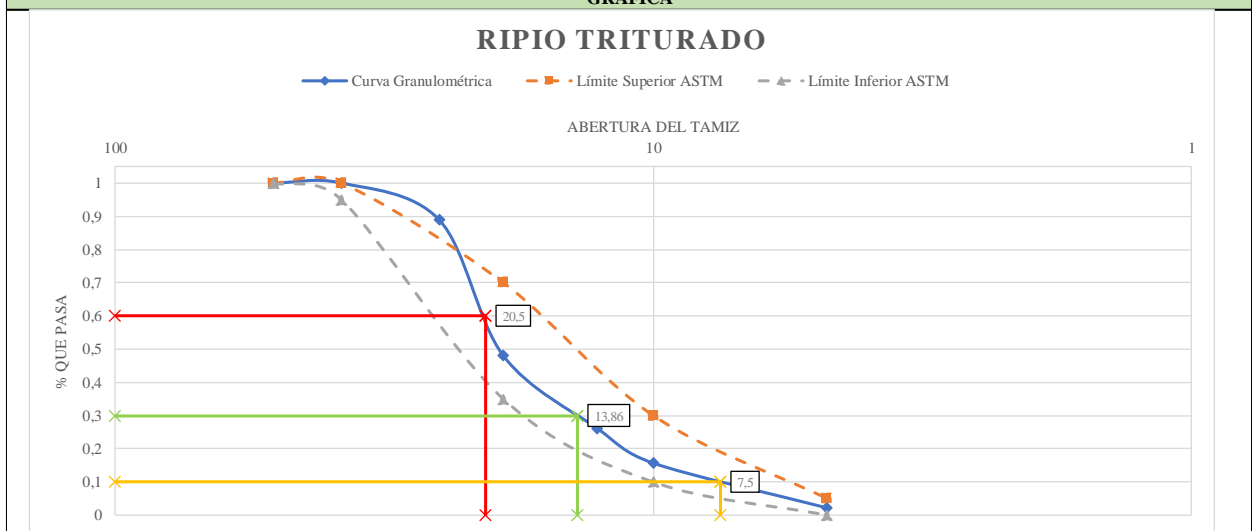






<b>MINA:</b>	Kumochi	<b>MATERIAL:</b>	Ripio triturado		
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>					
<b>CANTIDAD DE MUESTRA:</b>			<b>10010 Gramos</b>		
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1,5	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	1110,77	1110,77	11%	89%
3/4	19,00	4093,80	5204,57	52%	48%
1/2	12,70	2190,66	7395,23	74%	26%
3/8	10,00	1044,36	8439,59	84%	16%
4	4,75	1350,41	9790,00	98%	2%
<b>BANDEJA</b>		211,05	10001,05	100%	

**GRÁFICA**



<b>Tamaño nominal máximo (TNM) (mm)</b>	25	<b>Coefficiente de uniformidad Cu</b>	2,733
<b>Diámetro efectivo D10 (mm)</b>	7,5		
<b>Diámetro equiparable D30 (mm)</b>	13,86	<b>Coefficiente de curvatura Cc</b>	1,249
<b>Diámetro dimensional D60 (mm)</b>	20,500		

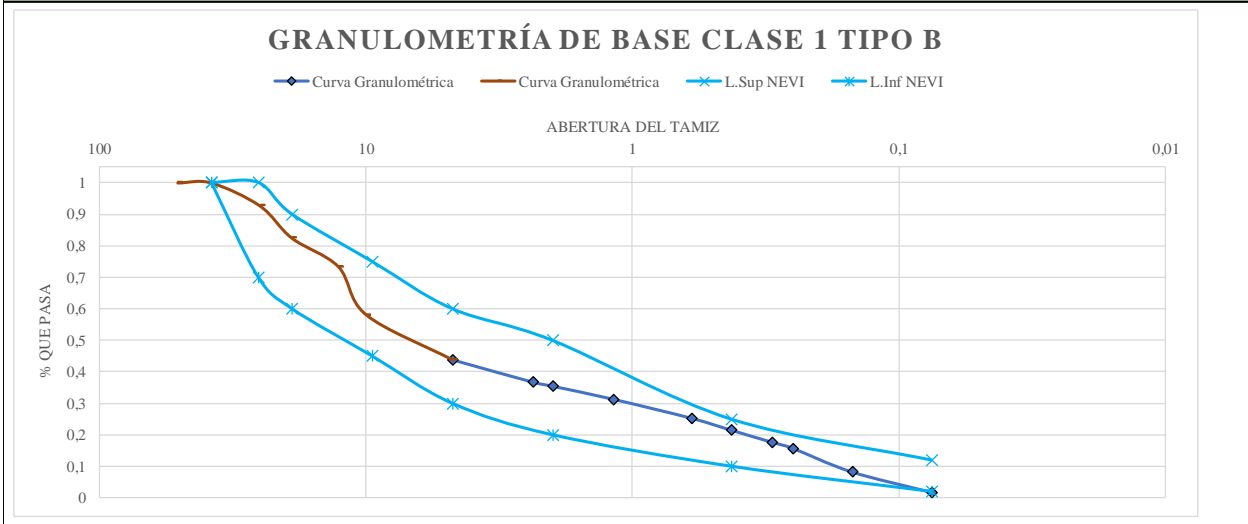


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
NORMA: ASTM C136/136M-19



<b>MINA:</b>	Kumochi	<b>MATERIAL:</b>	Base Clase 1 Tipo B		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
CANTIDAD DE MUESTRA:				5000 Gramos	
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1 1/2	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	364,47	364,47	7%	93%
3/4	19,00	510,26	874,73	17%	83%
1/2	12,70	455,11	1329,84	27%	73%
3/8	10,00	762,48	2092,32	42%	58%
4	4,75	714,85	2807,17	56%	44%
8	2,36	357,43	3164,60	63%	37%
10	2,00	61,96	3226,56	65%	35%
16	1,18	208,72	3435,28	69%	31%
30	0,60	302,31	3737,59	75%	25%
40	0,43	189,77	3927,36	79%	21%
50	0,30	190,01	4117,37	82%	18%
60	0,25	97,44	4214,81	84%	16%
100	0,15	375,41	4590,22	92%	8%
200	0,08	327,30	4917,52	98%	2%
<b>BANDEJA</b>		82,29	4999,81	100%	

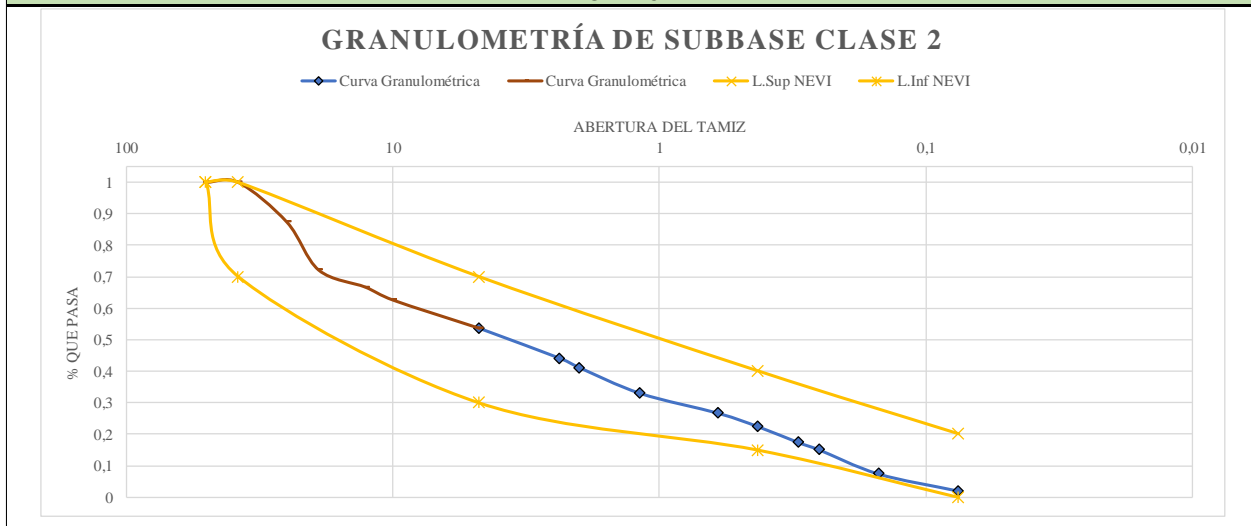
**GRÁFICA**



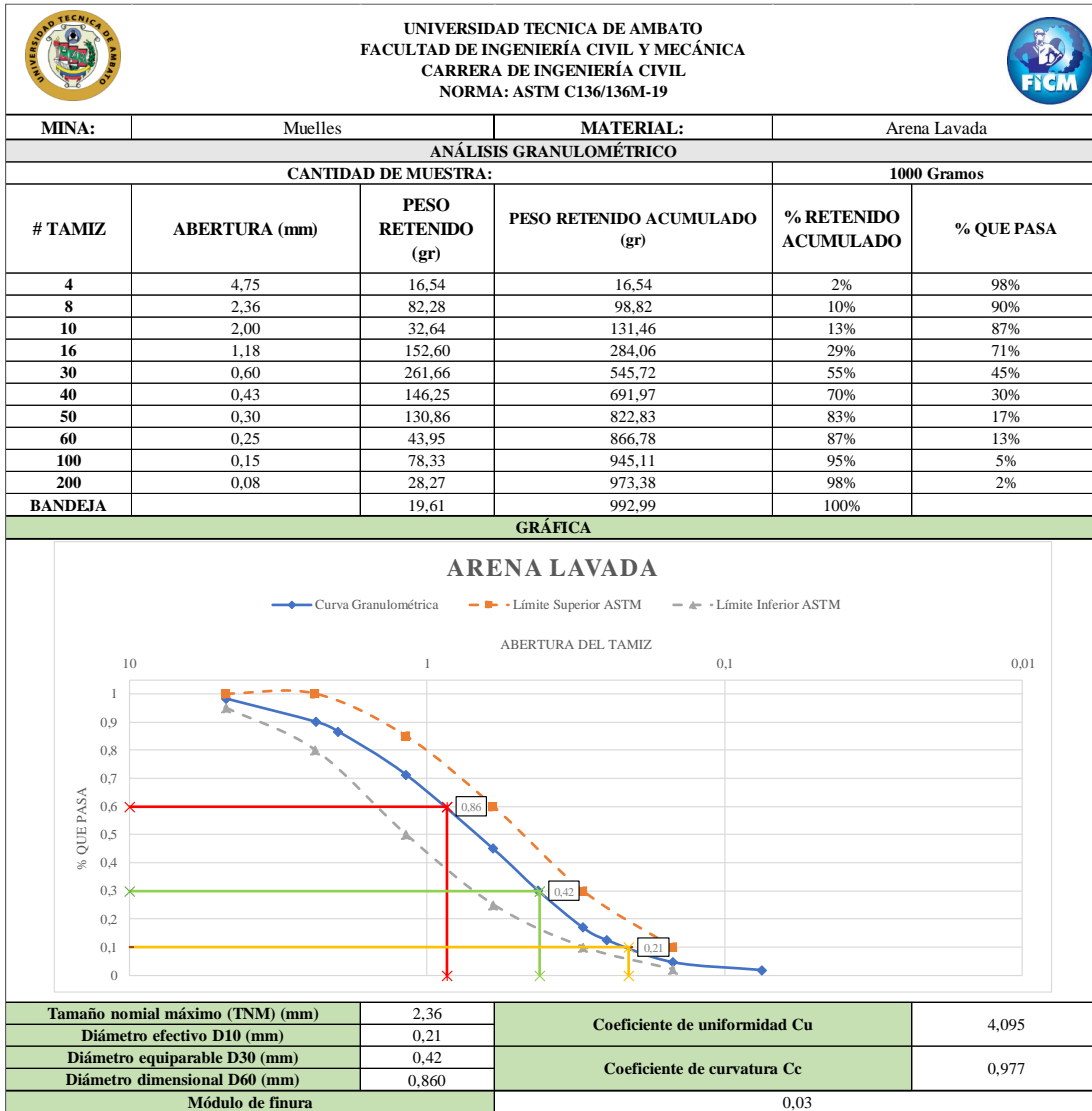


MINA:	Kumochi	MATERIAL:	Subbase Clase 2		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
CANTIDAD DE MUESTRA:				5000 Gramos	
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1 1/2	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	632,27	632,27	13%	87%
3/4	19,00	763,86	1396,13	28%	72%
1/2	12,70	271,42	1667,55	33%	67%
3/8	10,00	206,53	1874,08	37%	63%
4	4,75	449,61	2323,69	46%	54%
8	2,36	475,97	2799,66	56%	44%
10	2,00	144,67	2944,33	59%	41%
16	1,18	408,84	3353,17	67%	33%
30	0,60	315,12	3668,29	73%	27%
40	0,43	212,26	3880,55	78%	22%
50	0,30	250,63	4131,18	83%	17%
60	0,25	117,47	4248,65	85%	15%
100	0,15	379,22	4627,87	93%	7%
200	0,08	271,12	4898,99	98%	2%
BANDEJA		100,69	4999,68	100%	

GRÁFICA



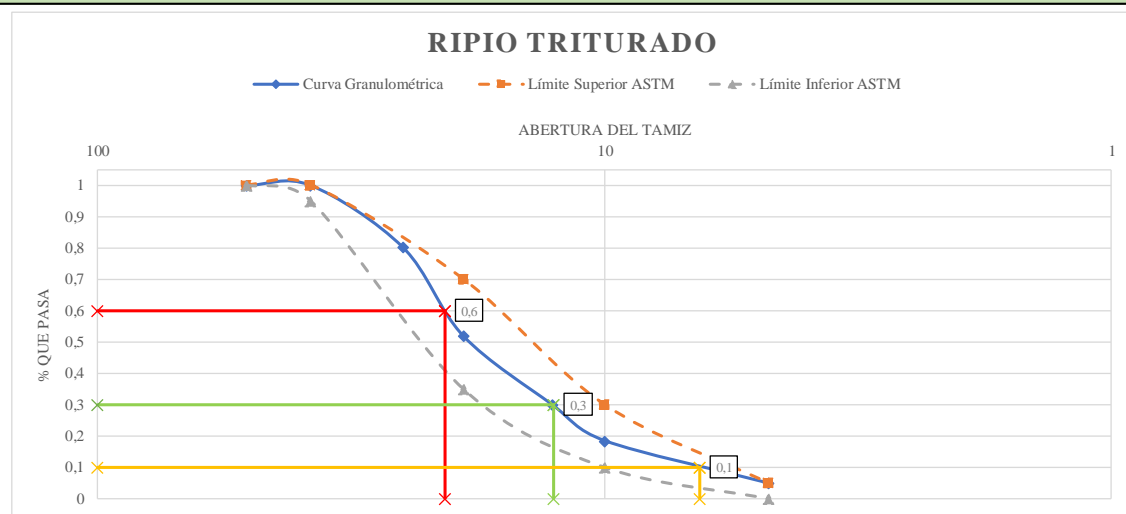
➤ Mina “Muelles”





<b>MINA:</b>	Muelles	<b>MATERIAL:</b>	Ripio triturado		
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>					
<b>CANTIDAD DE MUESTRA:</b>			<b>10000 Gramos</b>		
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1,5	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	1980,05	1980,05	20%	80%
3/4	19,00	2835,80	4815,85	48%	52%
1/2	12,70	2193,35	7009,20	70%	30%
3/8	10,00	1155,50	8164,70	82%	18%
4	4,75	1358,55	9523,25	95%	5%
<b>BANDEJA</b>		471,59	9994,84	100%	

**GRÁFICA**

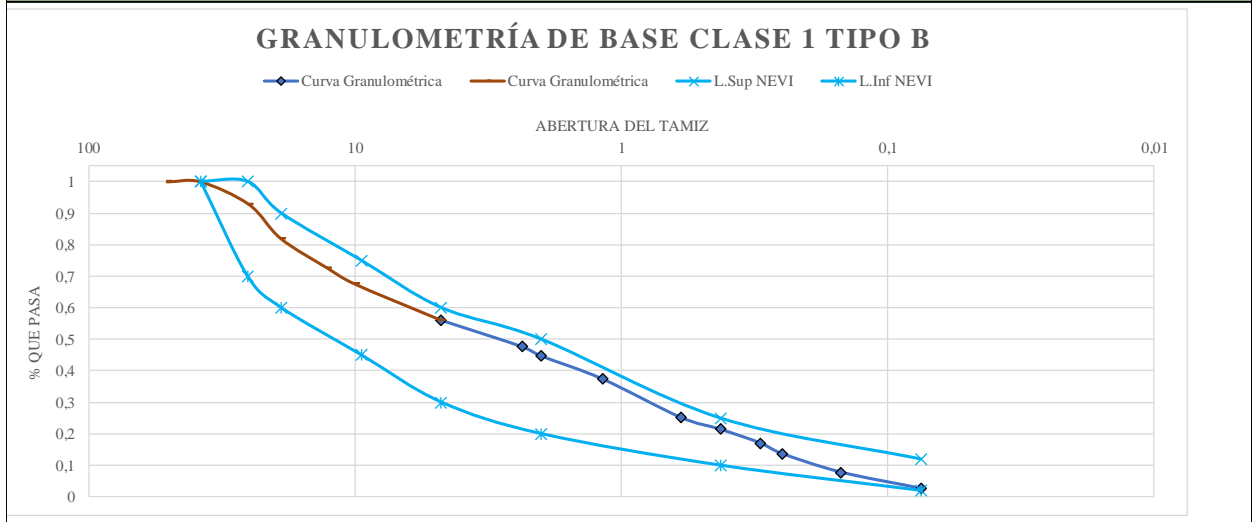


<b>Tamaño nominal máximo (TNM) (mm)</b>	25	<b>Coefficiente de uniformidad Cu</b>	3,185
<b>Diámetro efectivo D10 (mm)</b>	6,5		
<b>Diámetro equiparable D30 (mm)</b>	12,62	<b>Coefficiente de curvatura Cc</b>	1,184
<b>Diámetro dimensional D60 (mm)</b>	20,700		



<b>MINA:</b>	Muelles	<b>MATERIAL:</b>	Base Clase 1 Tipo B		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
CANTIDAD DE MUESTRA:				5000 Gramos	
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1 1/2	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	359,05	359,05	7%	93%
3/4	19,00	538,09	897,14	18%	82%
1/2	12,70	466,84	1363,98	27%	73%
3/8	10,00	253,69	1617,67	32%	68%
4	4,75	570,83	2188,50	44%	56%
8	2,36	421,60	2610,10	52%	48%
10	2,00	147,81	2757,91	55%	45%
16	1,18	364,32	3122,23	62%	38%
30	0,60	611,88	3734,11	75%	25%
40	0,43	192,07	3926,18	79%	21%
50	0,30	220,27	4146,45	83%	17%
60	0,25	164,79	4311,24	86%	14%
100	0,15	297,94	4609,18	92%	8%
200	0,08	258,82	4868,00	97%	3%
<b>BANDEJA</b>		130,06	4998,06	100%	

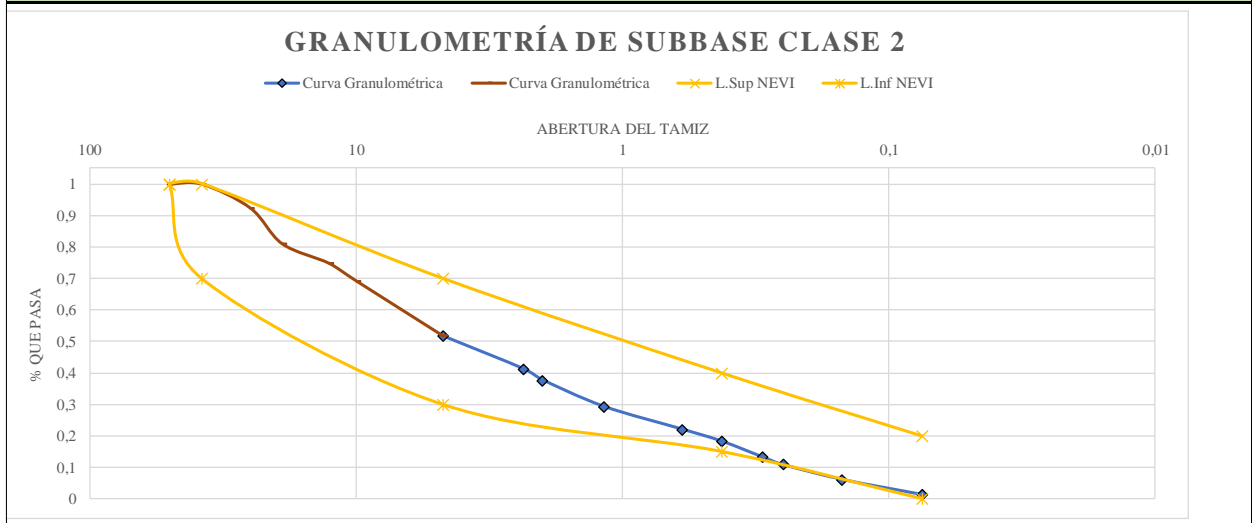
**GRÁFICA**





<b>MINA:</b>	Muelles	<b>MATERIAL:</b>	Subbase Clase 2		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
CANTIDAD DE MUESTRA:				5000 Gramos	
# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2	50,80	0,00	0,00	0%	100%
1 1/2	38,00	0,00	0,00	0%	100%
1	25,00	380,88	380,88	8%	92%
3/4	19,00	570,44	951,32	19%	81%
1/2	12,70	310,01	1261,33	25%	75%
3/8	10,00	285,05	1546,38	31%	69%
4	4,75	872,45	2418,83	48%	52%
8	2,36	521,90	2940,73	59%	41%
10	2,00	176,27	3117,00	62%	38%
16	1,18	417,73	3534,73	71%	29%
30	0,60	360,69	3895,42	78%	22%
40	0,43	190,97	4086,39	82%	18%
50	0,30	246,78	4333,17	87%	13%
60	0,25	124,54	4457,71	89%	11%
100	0,15	234,73	4692,44	94%	6%
200	0,08	239,87	4932,31	99%	1%
<b>BANDEJA</b>		67,67	4999,98	100%	

**GRÁFICA**



Anexo 4: Proctor modificado.

➤ Mina “El Salvador”

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		NORMA: ASTM D1557-12			
MINA:		El Salvador		MATERIAL:		Subbase Clase 2			
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>									
<b>ESPECIFICACIONES</b>									
ALTURA CAÍDA	18" o 1.5ft		DIÁMETRO	15,2	cm	NÚMERO DE CAPAS	5		
PESO MOLDE	13983	gr	VOL. MOLDE	2340,813	cm <sup>3</sup>	NÚMERO DE GOLPES	56		
ALTURA DEL MOLDE	12,9	cm	P. MARTILLO	10	lb				
<b>PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>									
Punto	1		2		3		4		
Peso inicial (gr)	6000		6000		6000		6000		
Humedad inicial estimada (%)	ω%	6%	9%		12%		15%		
P. Molde + Suelo húmedo (gr)	M+Wm	19250	19537		19620		19658		
Peso suelo húmedo	Wm	5267	5554		5637		5675		
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	γ	2,250	2,373		2,408		2,424		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>									
N° recipiente		31	12	32	64	79	67	106	67
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec	140,91	174,23	128,75	129,16	136,29	124,44	142,77	115,42
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec	134,11	166,33	120,75	120,54	127,01	114,97	129,04	105,1
Peso del agua (gr)	Ww	6,8	7,9	8	8,62	9,28	9,47	13,73	10,32
Peso del recipiente (gr)	rec	24,54	25,28	26,44	25,74	30,89	30,34	30,92	30,33
Peso suelo seco (gr)	Ws	109,57	141,05	94,31	94,8	96,12	84,63	98,12	74,77
Contenido humedad (%)	ω%	6,21%	5,60%	8,48%	9,09%	9,65%	11,19%	13,99%	13,80%
Contenido de humedad promedio (%)	ω%	5,90%		8,79%		10,42%		13,90%	
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub>	2,125		2,181		2,181		2,129	
<b>DENSIDAD MÁXIMA γ<sub>max</sub> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>2,187</b>							
<b>HUMEDAD ÓPTIMA %</b>		<b>9,45%</b>							
<b>GRÁFICA</b>									
<b>RELACIÓN DENSIDAD vs. CONTENIDO DE HUMEDAD γ<sub>d</sub> vs ω%</b>									



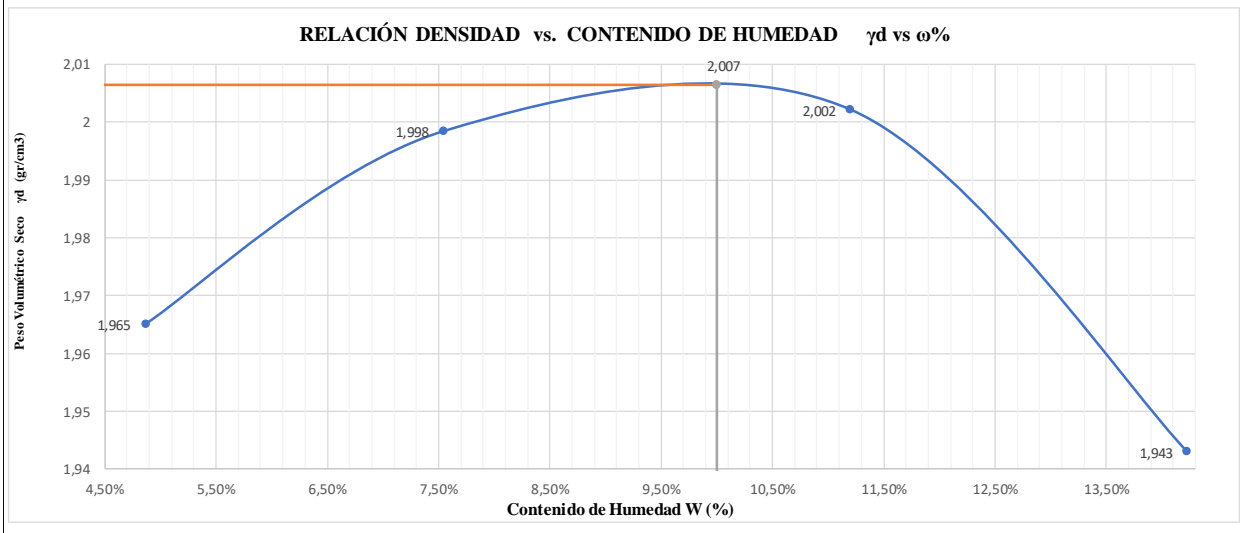


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
NORMA: ASTM D1557-12



<b>MINA:</b>	El Salvador	<b>MATERIAL:</b>	Base Clase 1 Tipo B					
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>								
<b>ESPECIFICACIONES</b>								
<b>ALTURA CAÍDA</b>	18" o 1.5ft	<b>DIÁMETRO</b>	15,15 cm					
<b>PESO MOLDE</b>	5431 gr	<b>VOL. MOLDE</b>	2101,908 cm <sup>3</sup>					
<b>ALTURA DEL MOLDE</b>	11,66 cm	<b>P. MARTILLO</b>	10 lb					
<b>PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
<b>Punto</b>	1	2	3					
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000					
Humedad inicial estimada (%)	ω% 4%	8%	12%					
P. Molde + Suelo húmedo (gr)	M+Wm 9763	9948	10111					
Peso suelo húmedo	Wm 4332	4517	4680					
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	γ 2,061	2,149	2,226					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
<b>N° recipiente</b>	79	65	53	5	106	67	31	12
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec 153,25	127,19	166,82	165,9	294,09	290,1	191,72	192,23
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec 147,66	123,28	158,15	157,26	268,9	264,9	172,2	174,64
Peso del agua (gr)	Ww 5,59	3,91	8,67	8,64	25,19	25,2	19,52	17,59
Peso del recipiente (gr)	rec 45,84	31,18	42,92	43,1	43,44	40,5	43,05	42,8
Peso suelo seco (gr)	Ws 101,82	92,1	115,23	114,16	225,46	224,4	129,15	131,84
Contenido humedad (%)	ω% 5,49%	4,25%	7,52%	7,57%	11,17%	11,23%	15,11%	13,34%
Contenido de humedad promedio (%)	ω% 4,87%		7,55%		11,20%		14,23%	
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	γd 1,965		1,998		2,002		1,943	
<b>DENSIDAD MÁXIMA γmax (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,007							
<b>HUMEDAD ÓPTIMA %</b>	10,00%							

**GRÁFICA**



➤ Mina “Kumochi”

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		NORMA: ASTM D1557-12		
<b>MINA:</b>		Kumochi		<b>MATERIAL:</b>		Base Clase 1 Tipo B		
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>								
<b>ESPECIFICACIONES</b>								
<b>ALTURA CAÍDA</b>	18" o 1.5ft		<b>DIÁMETRO</b>	15,15	cm	<b>NÚMERO DE CAPAS</b>	5	
<b>PESO MOLDE</b>	5431	gr	<b>VOL. MOLDE</b>	2101,908	cm <sup>3</sup>	<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	56	
<b>ALTURA DEL MOLDE</b>	11,66	cm	<b>P. MARTILLO</b>	10	lb			
<b>PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
Punto	1		2		3		4	
Peso inicial (gr)	6000		6000		6000		6000	
Humedad inicial estimada (%)	$\omega\%$ 4%		8%		12%		16%	
P. Molde + Suelo húmedo (gr)	M+Wm 17161		17341		17561		17547	
Peso suelo húmedo	Wm 4478		4658		4878		4864	
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ 1,926		2,003		2,098		2,092	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
N° recipiente	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>96</b>	<b>19</b>	<b>1k</b>	<b>9</b>
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec 214,86	187,42	230	269,09	161,88	226,28	354,25	368,61
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec 208,68	182,67	222,87	259,37	149,38	216,71	323,08	338,84
Peso del agua (gr)	Ww 6,18	4,75	7,13	9,72	12,5	9,57	31,17	29,77
Peso del recipiente (gr)	rec 50,04	52,47	127,39	127,23	31,46	130,8	127,34	128,41
Peso suelo seco (gr)	Ws 158,64	130,2	95,48	132,14	117,92	85,91	195,74	210,43
Contenido humedad (%)	$\omega\%$ 3,90%	3,65%	7,47%	7,36%	10,60%	11,14%	15,92%	14,15%
Contenido de humedad promedio (%)	$\omega\%$ 3,77%		7,41%		10,87%		15,04%	
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ 1,856		1,865		1,892		1,818	
<b>DENSIDAD MÁXIMA <math>\gamma_{max}</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>				1,893				
<b>HUMEDAD ÓPTIMA %</b>				10,45%				
<b>GRÁFICA</b>								
<b>RELACIÓN DENSIDAD vs. CONTENIDO DE HUMEDAD <math>\gamma_d</math> vs <math>\omega\%</math></b>								



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
NORMA: ASTM D1557-12



<b>MINA:</b>	Kumochi	<b>MATERIAL:</b>	Subbase Clase 2
--------------	---------	------------------	-----------------

**PROCTOR MODIFICADO**

**ESPECIFICACIONES**

<b>ALTURA CAÍDA</b>	18" o 1.5ft	<b>DIÁMETRO</b>	15,15	cm	<b>NÚMERO DE CAPAS</b>	5
<b>PESO MOLDE</b>	5431	gr	<b>VOL. MOLDE</b>	2101,908	cm <sup>3</sup>	<b>NÚMERO DE GOLPES</b>
<b>ALTURA DEL MOLDE</b>	11,66	cm	<b>P. MARTILLO</b>	10	lb	

**PROCESO DE COMPACTACIÓN**

<b>Punto</b>	1	2	3	4
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000	6000
Humedad inicial estimada (%)	0%	4%	8%	12%
P. Molde + Suelo húmedo (gr)	M+Wm	9771	9901	10102
Peso suelo húmedo	Wm	4340	4470	4671
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$	2,065	2,127	2,222

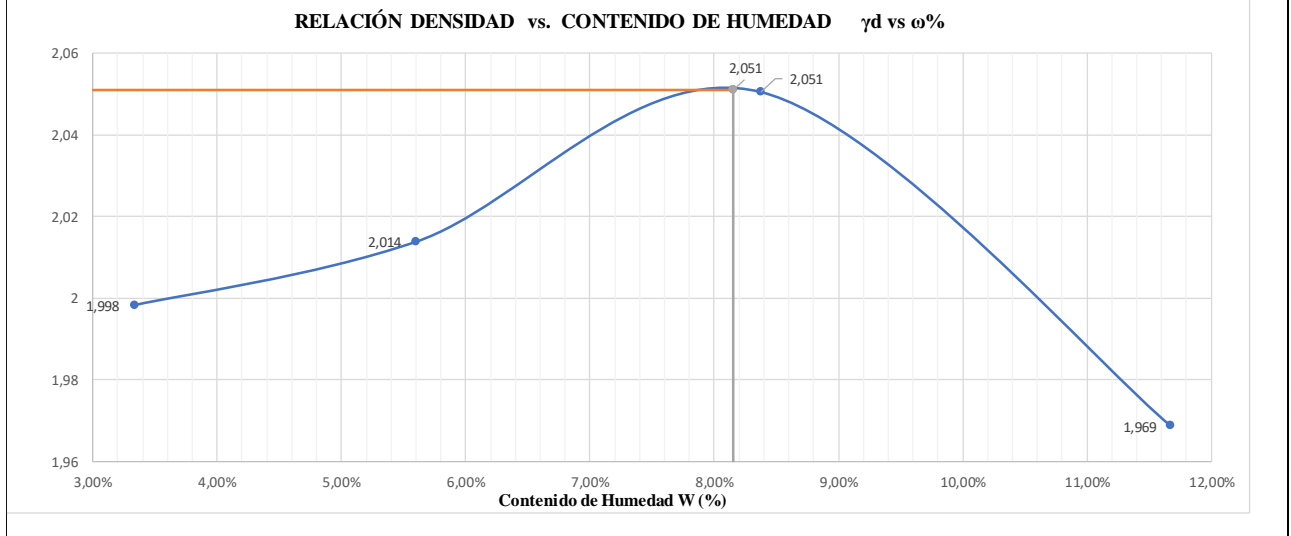
**CONTENIDO DE HUMEDAD**

<b>N° recipiente</b>		19	20	19	20	10	15	96	19
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec	168,41	168,45	165,5	168,2	233,85	234,05	248,7	250,2
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec	165,43	163,43	160,34	160,21	220,9	218,81	227,75	228,03
Peso del agua (gr)	Ww	2,98	5,02	5,16	7,99	12,95	15,24	20,95	22,17
Peso del recipiente (gr)	rec	45,97	43,2	42,75	43	53	50,1	48,35	38,1
Peso suelo seco (gr)	Ws	119,46	120,23	117,59	117,21	167,9	168,71	179,4	189,93
Contenido humedad (%)	$\omega\%$	2,49%	4,18%	4,39%	6,82%	7,71%	9,03%	11,68%	11,67%
Contenido de humedad promedio (%)	$\omega\%$	3,33%		5,60%		8,37%		11,68%	
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$	1,998		2,014		2,051		1,969	

<b>DENSIDAD MÁXIMA <math>\gamma_{max}</math> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2,051
--	-------

<b>HUMEDAD ÓPTIMA %</b>	8,15%
-------------------------	-------

**GRÁFICA**



➤ Mina “Muelles”

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		NORMA: ASTM D1557-12			
MINA:		Muelles		MATERIAL:		Subbase Clase 2			
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>									
<b>ESPECIFICACIONES</b>									
ALTURA CAÍDA	18" o 1.5ft		DIÁMETRO	15,15	cm	NÚMERO DE CAPAS	5		
PESO MOLDE	5431	gr	VOL. MOLDE	2101,908	cm <sup>3</sup>	NÚMERO DE GOLPES	56		
ALTURA DEL MOLDE	11,66	cm	P. MARTILLO	10	lb				
<b>PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>									
Punto	1		2		3		4		
Peso inicial (gr)	6000		6000		6000		6000		
Humedad inicial estimada (%)	ω%	3%	6%		9%		12%		
P. Molde + Suelo húmedo (gr)	M+Wm	9555	9776		10034		9974		
Peso suelo húmedo	Wm	4124	4345		4603		4543		
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	γ	1,962	2,067		2,190		2,161		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>									
N° recipiente	W	2	B	8	D	1	C		
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec	201,8	202,3	215,02	213,3	208,4	220,85	231,01	237,54
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec	199,02	199,43	203,33	199,97	194,5	204,32	208,85	212,17
Peso del agua (gr)	Ww	2,78	2,87	11,69	13,33	13,9	16,53	22,16	25,37
Peso del recipiente (gr)	rec	120,3	128,8	41,38	43,5	42,08	43,97	48,5	45,09
Peso suelo seco (gr)	Ws	78,72	70,63	161,95	156,47	152,42	160,35	160,35	167,08
Contenido humedad (%)	ω%	3,53%	4,06%	7,22%	8,52%	9,12%	10,31%	13,82%	15,18%
Contenido de humedad promedio (%)	ω%	3,80%		7,87%		9,71%		14,50%	
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	γd	1,890		1,916		1,996		1,888	
<b>DENSIDAD MÁXIMA γmax (gr/cm<sup>3</sup>)</b>								1,996	
<b>HUMEDAD ÓPTIMA %</b>								9,50%	
<b>GRÁFICA</b>									
<b>RELACIÓN DENSIDAD vs. CONTENIDO DE HUMEDAD γd vs ω%</b>									

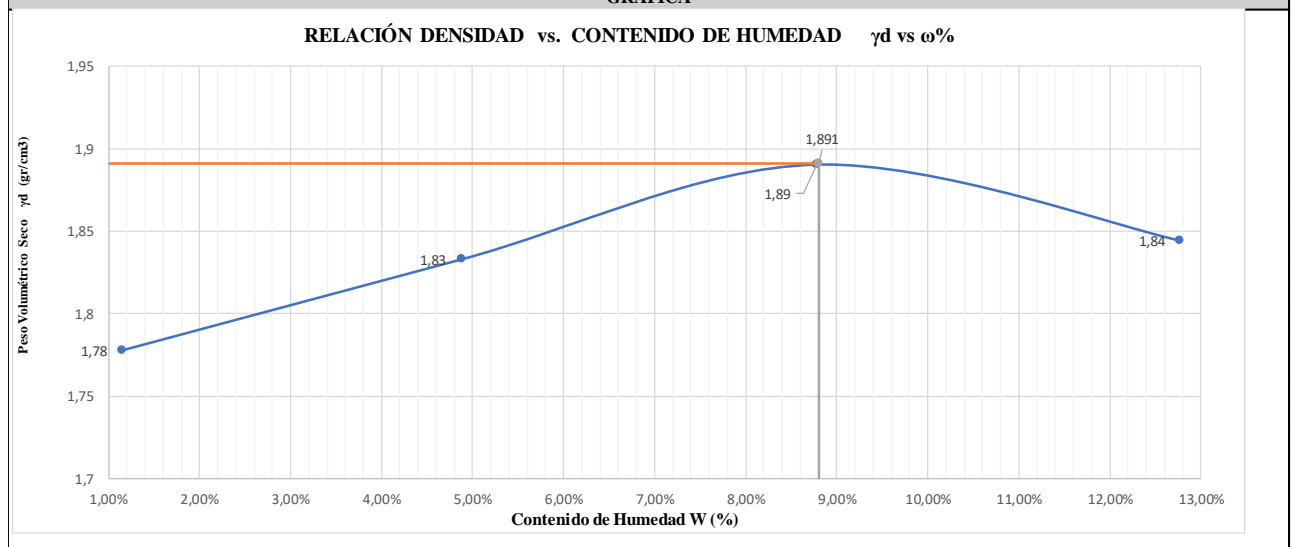


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
NORMA: ASTM D1557-12





<b>MINA:</b>	Muelles	<b>MATERIAL:</b>	Base Clase 1 Tipo B					
<b>PROCTOR MODIFICADO</b>								
<b>ESPECIFICACIONES</b>								
<b>ALTURA CAÍDA</b>	18" o 1.5ft	<b>DIÁMETRO</b>	15,15 cm					
<b>PESO MOLDE</b>	5431 gr	<b>VOL. MOLDE</b>	2101,908 cm <sup>3</sup>					
<b>ALTURA DEL MOLDE</b>	11,66 cm	<b>P. MARTILLO</b>	10 lb					
<b>PROCESO DE COMPACTACIÓN</b>								
<b>Punto</b>	1	2	3					
Peso inicial (gr)	6000	6000	6000					
Humedad inicial estimada (%)	ω%	0%	4%					
P. Molde + Suelo húmedo (gr)	M+Wm	18287	18577					
Peso suelo húmedo	Wm	4310	4600					
Peso unitario húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	γ	1,841	1,965					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>								
<b>N° recipiente</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>18</b>
Peso húmedo + recipiente (gr)	Wm+rec	196,7	212,28	221,07	167,18	196,96	161,3	222,15
Peso seco + recipiente (gr)	Ws+rec	194,98	210,49	213,72	161,19	185,45	152,04	203,19
Peso del agua (gr)	Ww	1,72	1,79	7,35	5,99	11,51	9,26	18,96
Peso del recipiente (gr)	rec	52,4	48,78	48,39	48,33	49,21	50,42	50,26
Peso suelo seco (gr)	Ws	142,58	161,71	165,33	112,86	136,24	101,62	152,93
Contenido humedad (%)	ω%	1,21%	1,11%	4,45%	5,31%	8,45%	9,11%	12,40%
Contenido de humedad promedio (%)	ω%	1,16%		4,88%		8,78%		12,77%
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub>	1,820		1,874		1,930		1,882
<b>DENSIDAD MÁXIMA γ<sub>max</sub> (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,891							
<b>HUMEDAD ÓPTIMA %</b>	8,90%							

**GRÁFICA**





Anexo 5: Densidad relativa.


➤ Mina “El Salvador”

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C127/128-15</b> 		
<b>MINA:</b>	El Salvador	
<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA</b>		
<b>ARENA LAVADA</b>		
Peso de la muestra en estado SSS (gr)	S	50
Peso Picnómetro+agua (gr)	B	661,05
Peso Picnómetro+agua+muestra (gr)	C	691,05
Peso del recipiente (gr)	rec	119,51
Recipiente+muestra seca (gr)	Ws+rec	169,23
Peso muestra secada al horno (gr)	A	49,72
<b>Densidad relativa</b>	<b>G</b>	<b>2,49</b>
Densidad relativa (SSS)	Dr	2,50
Densidad aparente	Da	2,52
Absorción (%)		0,6%
<b>RIPIO CRIBADO</b>		
Peso de la muestra en estado SSS (gr)	B	4000
Peso Canastilla al aire (gr)		1534
Peso canastilla sumergida (gr)		1357
Peso canastilla al aire+muestra (gr)		5550
Peso canastilla sumergida+muestra (gr)		3665
Peso de la muestra sumergida (gr)	C	2308
Recipiente+muestra secada al horno (gr)	Ws+rec	34137
Peso del recipiente (gr)	rec	257
Peso muestra secada al horno (gr)	A	33880
<b>Densidad relativa</b>	<b>G</b>	<b>2,29</b>
Densidad relativa (SSS)	Dr	2,36
Densidad aparente	Da	2,47
Absorción (%)		3%

➤ Mina “Kumochi”

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C127/128-15</b> 		
<b>MINA:</b>	Kumochi	
<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA</b>		
<b>ARENA LAVADA</b>		
Peso de la muestra en estado SSS (gr)	S	50
Peso Picnómetro+agua (gr)	B	661,93
Peso Picnómetro+agua+muestra (gr)	C	689,81
Peso del recipiente (gr)	rec	142,3
Recipiente+muestra seca (gr)	Ws+rec	191,63
Peso muestra secada al horno (gr)	A	49,33
<b>Densidad relativa</b>	<b>G</b>	<b>2,23</b>
Densidad relativa (SSS)	Dr	2,26
Densidad aparente	Da	2,30
Absorción (%)		1,4%
<b>RIPIO CRIBADO</b>		
Peso de la muestra en estado SSS (gr)	B	4000
Peso Canastilla al aire (gr)		1317
Peso canastilla sumergida (gr)		1195
Peso canastilla al aire+muestra (gr)		5317
Peso canastilla sumergida+muestra (gr)		3585
Peso de la muestra sumergida (gr)	C	2390
Recipiente+muestra secada al horno (gr)	Ws+rec	4144
Peso del recipiente (gr)	rec	203
Peso muestra secada al horno (gr)	A	3941
<b>Densidad relativa</b>	<b>G</b>	<b>2,45</b>
Densidad relativa (SSS)	Dr	2,49
Densidad aparente	Da	2,54
Absorción (%)		1%



➤ Mina “Muelles”

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C127/128-15</b>			
<b>MINA:</b>		Muelles	
<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA</b>			
<b>ARENA LAVADA</b>			
Peso de la muestra en estado SSS (gr)	S		50
Peso Picnómetro+agua (gr)	B		651,52
Peso Picnómetro+agua+muestra (gr)	C		680,21
Peso del recipiente (gr)	rec		119,5
Recipiente+muestra seca (gr)	Ws+rec		167,59
Peso muestra secada al horno (gr)	A		48,09
<b>Densidad relativa</b>	<b>G</b>		<b>2,26</b>
Densidad relativa (SSS)	Dr		2,35
Densidad aparente	Da		2,48
Absorción (%)			4,0%
<b>RIPIO CRIBADO</b>			
Peso de la muestra en estado SSS (gr)	B		4000
Peso Canastilla al aire (gr)			1471
Peso canastilla sumergida (gr)			1276
Peso canastilla al aire+muestra (gr)			4625
Peso canastilla sumergida+muestra (gr)			3655
Peso de la muestra sumergida (gr)	C		2379
Recipiente+muestra secada al horno (gr)	Ws+rec		1188
Peso del recipiente (gr)	rec		252
Peso muestra secada al horno (gr)	A		936
<b>Densidad relativa</b>	<b>G</b>		<b>2,41</b>
Densidad relativa (SSS)	Dr		2,46
Densidad aparente	Da		2,55
Absorción (%)			2%



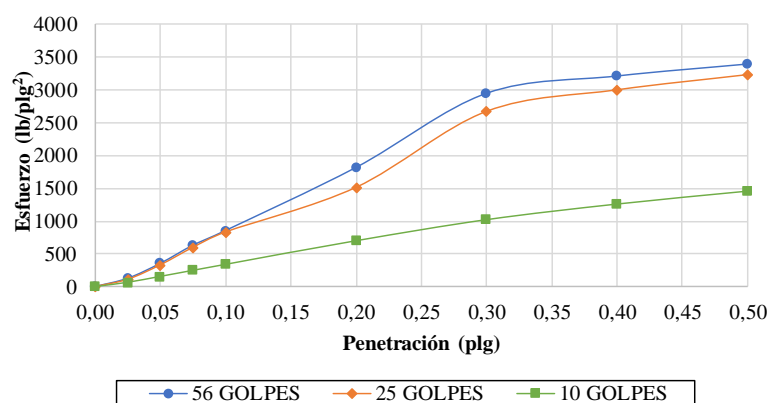
Anexo 6: California Bearing Ratio.

➤ Mina “El Salvador”

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C1883-16</b> 						
<b>MINA:</b>	El Salvador		<b>MATERIAL:</b>	Base Clase 1 Tipo B		
<b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)</b>						
<b>DATOS DE MOLDEO</b>						
Contenido de Humedad Óptima (%):			10,00			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		25		10	
Muestra húmeda + molde (gr)	10995,4		10724,6		10555	
Masa Molde (gr)	6458,4		6451		6419,6	
Masa Muestra Humeda (gr)	4537		4273,6		4135,4	
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2122,54		2112,26		2120,73	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2,138		2,023		1,950	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>4</b>	<b>62</b>	<b>95</b>	<b>17</b>	<b>28</b>	<b>46</b>
P. Hum. + Recipiente	170,56	169,40	159,01	158,79	179,59	179,81
P. Seco + Recipiente	163,38	162,20	151,35	150,99	171,85	172,02
Peso Recipiente	42,85	41,95	45,19	43,12	46,21	45,50
Peso Agua	7,18	7,20	7,66	7,80	7,74	7,79
Peso de Sólidos	120,53	120,25	106,16	107,87	125,64	126,52
Contenido Humedad %	5,96	5,99	7,22	7,23	6,16	6,16
Con. Hum. Prom. %	5,97		7,22		6,16	
Peso Unitario Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2,017		1,887		1,837	
<b>DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	11105,8		10954,4		10814,4	
Masa Molde (gr)	6458,4		6451		6419,6	
Masa Muestra Humeda (gr)	4647,4		4503,4		4394,8	
Masa Agua Absorbida	110,4		229,8		259,4	
% Agua Absorbida	2,43%		5,38%		6,27%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>76</b>	<b>H24</b>	<b>46A</b>	<b>Z</b>	<b>105</b>	<b>70</b>
P. Hum. + Recipiente	209,80	209,84	196,60	197,07	266,20	264,75
P. Seco + Recipiente	193,11	192,98	180,72	181,02	239,90	238,98
Peso Recipiente	44,80	43,12	43,60	42,50	56,40	53,20
Peso Agua	16,69	16,86	15,88	16,05	26,30	25,77
Peso de Sólidos	148,31	149,86	137,12	138,52	183,50	185,78
Contenido Humedad %	11,25	11,25	11,58	11,59	14,33	13,87
Con. Hum. Prom. %	11,25		11,58		14,10	
<b>DATOS DE ESPONJAMIENTO</b>						
<b>FECHA</b>		<b>TIEMPO</b>		<b>LECTURAS DIAL (plg *10-2)</b>		
<b>DIA Y MES</b>	<b>HORA</b>	<b>DIAS</b>	<b>HORAS</b>	56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes
26-jul-22	17:15	0	0	0,00	0,00	0,00
27-jul-22	14:08	1	24	0,59	0,47	0,39
28-jul-22	14:45	2	48	1,18	0,94	0,79
Altura de la muestra (plg)				5,0	5,0	5,0
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				1,180	0,940	0,790
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,238	0,190	0,158

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de golpes	56		25		10	
Penetración (plg)	Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	172,6	126,8	152,1	111,7	88,2	64,8
0,050	484,6	356,0	452,8	332,7	212,2	155,9
0,075	860,4	632,1	817,4	600,5	338,4	248,6
0,100	1165,8	856,5	1135,4	834,1	463,5	340,5
0,200	2476,2	1819,2	2063,2	1515,8	957,4	703,4
0,300	4015,2	2949,8	3642,3	2675,9	1397,6	1026,8
0,400	4373,2	3212,8	4088,2	3003,5	1723,6	1266,3
0,500	4622,0	3395,6	4404,0	3235,5	1993,6	1464,6

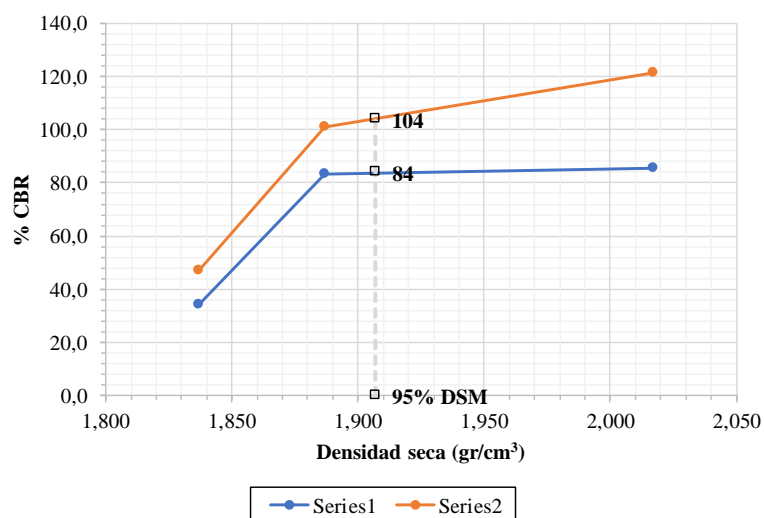
### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



### PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)

MOLDE N°	Presión	CBR	Densidad	Presión	CBR	Densidad
1	856,47	85,65	2,017	1819,18	121,28	2,017
2	834,14	83,41	1,887	1515,76	101,05	1,887
3	340,52	34,05	1,837	703,37	46,89	1,837

### % CBR vs. DENSIDAD SECA



DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	95% DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
2,007	1,907	84,00	104,0



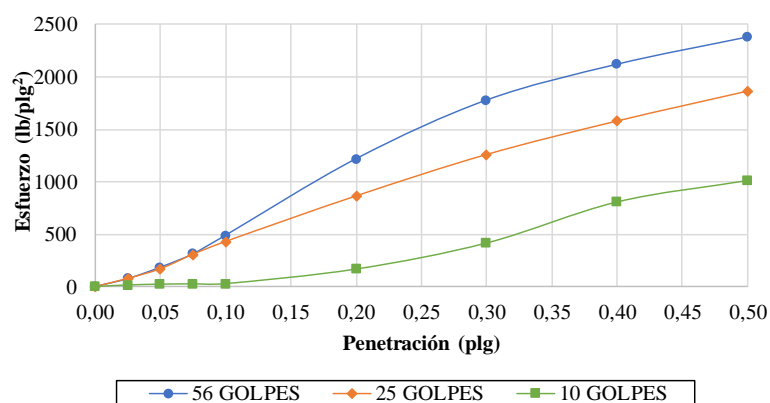
**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**NORMA: ASTM C1883-16**



<b>MINA:</b>	El Salvador	<b>MATERIAL:</b>	Subbase Clase 2			
<b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)</b>						
<b>DATOS DE MOLDEO</b>						
Contenido de Humedad Óptima (%):			9,45			
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	25	10			
Muestra húmeda + molde (gr)	11729	13492	11884			
Masa Molde (gr)	7137	9044	7513			
Masa Muestra Humeda (gr)	4592	4448	4371			
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	1992,37	1992,37	1992,37			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2,305	2,233	2,194			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>105</b>	<b>89</b>	<b>34</b>	<b>39</b>	<b>85</b>	<b>62</b>
P. Hum. + Recipiente	121,00	171,32	131,23	106,25	136,37	107,35
P. Seco + Recipiente	111,72	160,42	120,58	100,13	127,27	100,54
Peso Recipiente	31,02	31,81	23,52	25,89	30,74	30,57
Peso Agua	9,28	10,90	10,65	6,12	9,10	6,81
Peso de Sólidos	80,70	128,61	97,06	74,24	96,53	69,97
Contenido Humedad %	11,50	8,48	10,97	8,24	9,43	9,73
Con. Hum. Prom. %	9,99		9,61		9,58	
Peso Unitario Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2,096		2,037		2,002	
<b>DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	11805		13572		11968	
Masa Molde (gr)	7137		9044		7513	
Masa Muestra Humeda (gr)	4668		4528		4455	
Masa Agua Absorbida	76		80		84	
% Agua Absorbida	1,66%		1,80%		1,92%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>105</b>	<b>89</b>	<b>34</b>	<b>39</b>	<b>85</b>	<b>62</b>
P. Hum. + Recipiente	132,25	117,68	122,04	133,97	121,34	144,97
P. Seco + Recipiente	122,82	107,14	112,08	121,49	112,02	131,03
Peso Recipiente	31,02	31,81	23,52	25,89	30,74	30,57
Peso Agua	9,43	10,54	9,96	12,48	9,32	13,94
Peso de Sólidos	91,80	75,33	88,56	95,60	81,28	100,46
Contenido Humedad %	10,27	13,99	11,25	13,05	11,47	13,88
Con. Hum. Prom. %	12,13		12,15		12,67	
<b>DATOS DE ESPONJAMIENTO</b>						
<b>FECHA</b>		<b>TIEMPO</b>		<b>LECTURAS DIAL (plg *10-2)</b>		
<b>DIA Y MES</b>	<b>HORA</b>	<b>DIAS</b>	<b>HORAS</b>	56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes
2-ago-22	18:15	0	0	0,00	0,00	0,00
3-ago-22	12:00	1	24	0,50	0,40	0,40
4-ago-22	11:30	2	48	1,00	0,90	0,70
Altura de la muestra (plg)				5,0	5,0	5,0
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				1,000	0,900	0,700
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,202	0,182	0,141

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de golpes	56		25		10	
Penetración (plg)	Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	227,4	75,8	232,8	77,6	43,6	14,5
0,050	553,3	184,4	511,6	170,5	65,7	21,9
0,075	937,7	312,6	926,6	308,9	76,0	25,3
0,100	1469,4	489,8	1293,3	431,1	82,1	27,4
0,200	3656,1	1218,7	2599,2	866,4	500,0	166,7
0,300	5333,0	1777,7	3786,8	1262,3	1246,3	415,4
0,400	6355,9	2118,6	4745,8	1581,9	2421,1	807,0
0,500	7134,8	2378,3	5603,3	1867,8	3033,3	1011,1

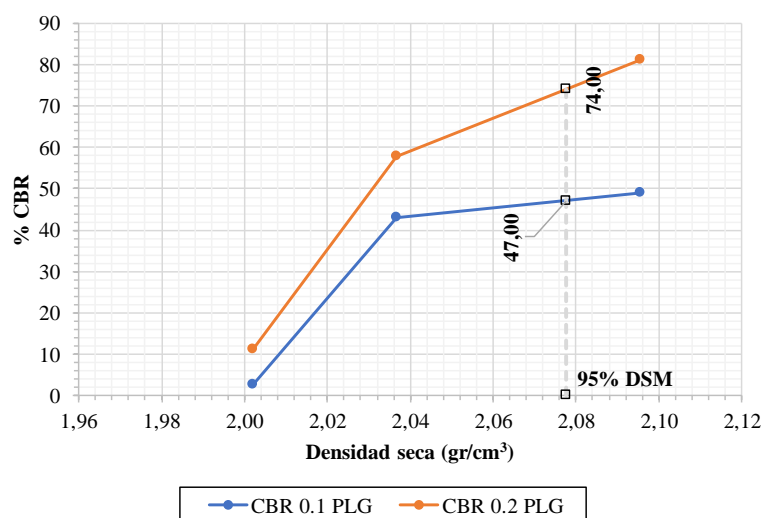
### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



### PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)



MOLDE N°	Presión	CBR	Densidad	Presión	CBR	Densidad
1	489,79	48,98	2,096	1218,70	81,25	2,096
2	431,10	43,11	2,037	866,40	57,76	2,037
3	27,37	2,74	2,002	166,67	11,11	2,002

### % CBR vs. DENSIDAD SECA



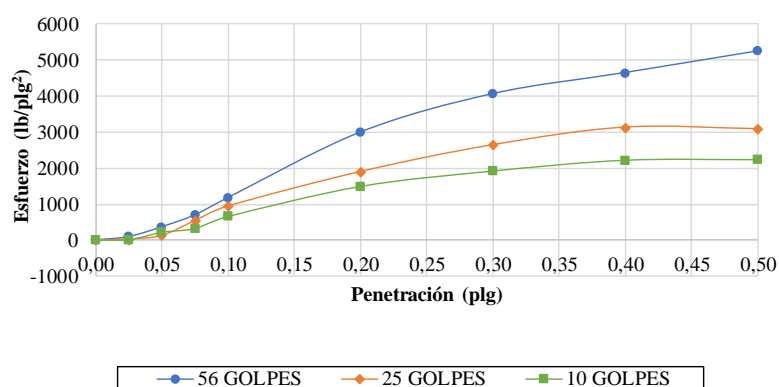
DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	95% DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
2,187	2,078	47,00	74,0

➤ Mina “Kumochi”

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C1883-16</b> 						
<b>MINA:</b>	Kumochi		<b>MATERIAL:</b>	Base Clase 1 Tipo B		
<b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)</b>						
<b>DATOS DE MOLDEO</b>						
Contenido de Humedad Óptima (%):			10,45			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		25		10	
Muestra húmeda + molde (gr)	10287,6		10883		10488	
Masa Molde (gr)	5393,6		6370,8		6372,4	
Masa Muestra Humeda (gr)	4894		4512,2		4115,6	
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2112,26		2105,60		2116,49	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2,317		2,143		1,945	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>105</b>	<b>89</b>	<b>34</b>	<b>39</b>	<b>85</b>	<b>62</b>
P. Hum. + Recipiente	176,30	165,30	165,71	167,80	174,42	177,80
P. Seco + Recipiente	165,78	156,39	156,53	159,24	163,98	167,32
Peso Recipiente	42,30	41,00	47,10	40,20	43,88	45,10
Peso Agua	10,52	8,91	9,18	8,56	10,44	10,48
Peso de Sólidos	123,48	115,39	109,43	119,04	120,10	122,22
Contenido Humedad %	8,52	7,72	8,39	7,19	8,69	8,57
Con. Hum. Prom. %	8,12		7,79		8,63	
Peso Unitario Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2,143		1,988		1,790	
<b>DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10293,6		10890		10496	
Masa Molde (gr)	5393,6		6370,8		6372,4	
Masa Muestra Humeda (gr)	4900		4519,2		4123,6	
Masa Agua Absorbida	6		7		8	
% Agua Absorbida	0,12%		0,16%		0,19%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>D2</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>27</b>	<b>22</b>
P. Hum. + Recipiente	202,03	203,30	200,05	199,20	221,99	215,30
P. Seco + Recipiente	188,43	189,01	185,30	183,33	204,75	200,49
Peso Recipiente	56,58	55,30	46,15	40,10	46,31	45,12
Peso Agua	13,60	14,29	14,75	15,87	17,24	14,81
Peso de Sólidos	131,85	133,71	139,15	143,23	158,44	155,37
Contenido Humedad %	10,31	10,69	10,60	11,08	10,88	9,53
Con. Hum. Prom. %	10,50		10,84		10,21	
<b>DATOS DE ESPONJAMIENTO</b>						
<b>FECHA</b>		<b>TIEMPO</b>		<b>LECTURAS DIAL (plg *10-2)</b>		
<b>DÍA Y MES</b>	<b>HORA</b>	<b>DIAS</b>	<b>HORAS</b>	56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes
2-ago-22	18:15	0	0	0,07	0,05	0,04
3-ago-22	12:00	1	24	0,07	0,05	0,05
4-ago-22	11:30	2	48	0,07	0,05	0,05
Altura de la muestra (plg)				5,0	5,0	5,0
Espojamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				0,002	0,002	0,002
Espojamiento lineal relativo (%)				0,000	0,000	0,000

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	1	2		3		
N° de golpes	56	25		10		
Penetración (plg)	Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	287,8	95,9	76,4	25,5	40,5	13,5
0,050	1108,3	369,4	382,2	127,4	656,4	218,8
0,075	2104,2	701,4	1634,4	544,8	966,7	322,2
0,100	3540,8	1180,3	2832,6	944,2	1973,8	657,9
0,200	8992,4	2997,5	5705,7	1901,9	4473,7	1491,2
0,300	12184,7	4061,6	7935,8	2645,3	5750,6	1916,9
0,400	13938,2	4646,1	9397,1	3132,4	6649,9	2216,6
0,500	15736,7	5245,6	9262,2	3087,4	6699,3	2233,1

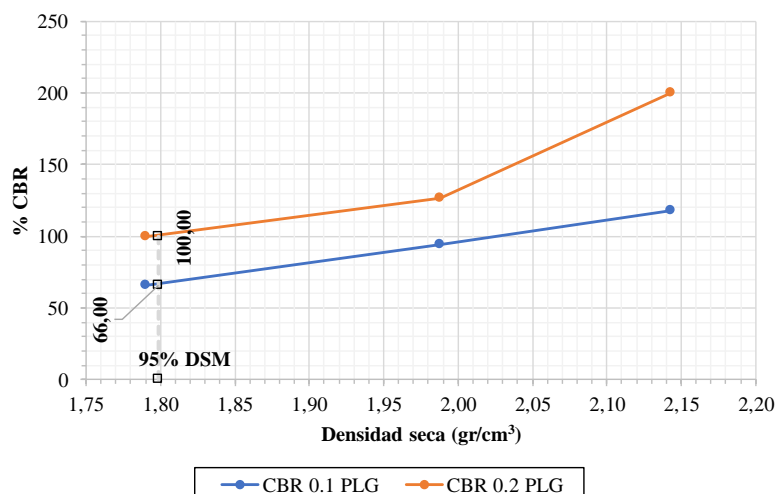
### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



### PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)

MOLDE N°	Presión	CBR	Densidad	Presión	CBR	Densidad
1	1180,25	118,03	2,143	2997,47	199,83	2,143
2	944,20	94,42	1,988	1901,89	126,79	1,988
3	657,94	65,79	1,790	1491,24	99,42	1,790

### % CBR vs. DENSIDAD SECA



DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	95% DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,893	1,798	66,00	100,0



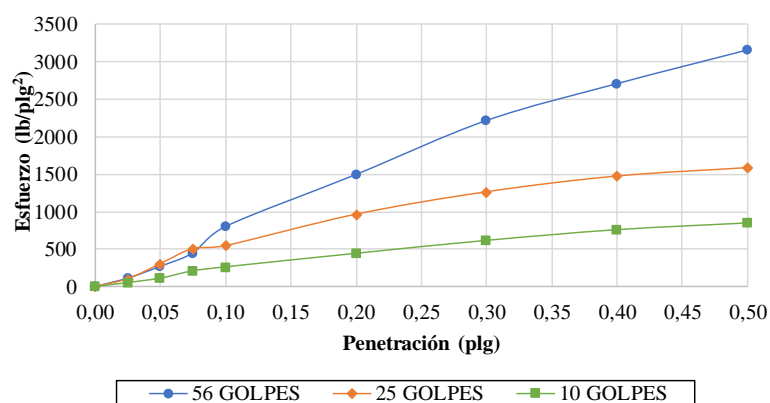
**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**NORMA: ASTM C1883-16**



<b>MINA:</b>	Kumochi		<b>MATERIAL:</b>	Subbase Clase 2		
<b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)</b>						
<b>DATOS DE MOLDEO</b>						
Contenido de Humedad Óptima (%):			8,15			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		25		10	
Muestra húmeda + molde (gr)	10996,6		10680,4		10476,8	
Masa Molde (gr)	5393,6		6370,8		6372,4	
Masa Muestra Humeda (gr)	5603		4309,6		4104,4	
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2112,26		2105,60		2116,49	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2,653		2,047		1,939	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>105</b>	<b>89</b>	<b>34</b>	<b>39</b>	<b>85</b>	<b>62</b>
P. Hum. + Recipiente	182,25	183,57	166,60	168,23	151,58	152,55
P. Seco + Recipiente	175,70	175,00	159,42	159,00	146,05	145,00
Peso Recipiente	48,37	47,30	53,05	52,10	42,60	41,15
Peso Agua	6,55	8,57	7,18	9,23	5,53	7,55
Peso de Sólidos	127,33	127,70	106,37	106,90	103,45	103,85
Contenido Humedad %	5,14	6,71	6,75	8,63	5,35	7,27
Con. Hum. Prom. %	5,93		7,69		6,31	
Peso Unitario Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2,504		1,901		1,824	
<b>DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	11075,8		10954,6		10809,4	
Masa Molde (gr)	5393,6		6370,8		6372,4	
Masa Muestra Humeda (gr)	5682,2		4583,8		4437	
Masa Agua Absorbida	79,2		274,2		332,6	
% Agua Absorbida	1,41%		6,36%		8,10%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>105</b>	<b>89</b>	<b>34</b>	<b>39</b>	<b>85</b>	<b>62</b>
P. Hum. + Recipiente	197,34	199,55	185,84	181,20	221,81	220,30
P. Seco + Recipiente	184,86	185,30	173,54	167,39	203,75	202,57
Peso Recipiente	43,48	44,00	42,84	41,20	43,12	44,21
Peso Agua	12,48	14,25	12,30	13,81	18,06	17,73
Peso de Sólidos	141,38	141,30	130,70	126,19	160,63	158,36
Contenido Humedad %	8,83	10,08	9,41	10,94	11,24	11,20
Con. Hum. Prom. %	9,46		10,18		11,22	
<b>DATOS DE ESPONJAMIENTO</b>						
<b>FECHA</b>		<b>TIEMPO</b>		<b>LECTURAS DIAL (plg *10-2)</b>		
<b>DIA Y MES</b>	<b>HORA</b>	<b>DIAS</b>	<b>HORAS</b>	56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes
2-ago-22	18:15	0	0	0,00	0,09	0,00
3-ago-22	12:00	1	24	0,00	0,09	0,24
4-ago-22	11:30	2	48	0,08	0,09	0,24
Altura de la muestra (plg)				5,0	5,0	5,0
Espojamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				0,080	0,000	0,240
Espojamiento lineal relativo (%)				0,016	0,000	0,048

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de golpes	56		25		10	
<b>Penetración (plg)</b>	<b>Dial</b>	<b>Presión</b>	<b>Dial</b>	<b>Presión</b>	<b>Dial</b>	<b>Presión</b>
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	337,2	112,4	314,7	104,9	157,4	52,5
0,050	809,3	269,8	921,7	307,2	337,2	112,4
0,075	1348,9	449,6	1528,7	509,6	629,5	209,8
0,100	2405,5	801,8	1641,1	547,0	786,8	262,3
0,200	4485,0	1495,0	2900,0	966,7	1326,4	442,1
0,300	6643,1	2214,4	3799,3	1266,4	1843,4	614,5
0,400	8115,6	2705,2	4428,8	1476,3	2270,6	756,9
0,500	9464,5	3154,8	4766,0	1588,7	2540,4	846,8

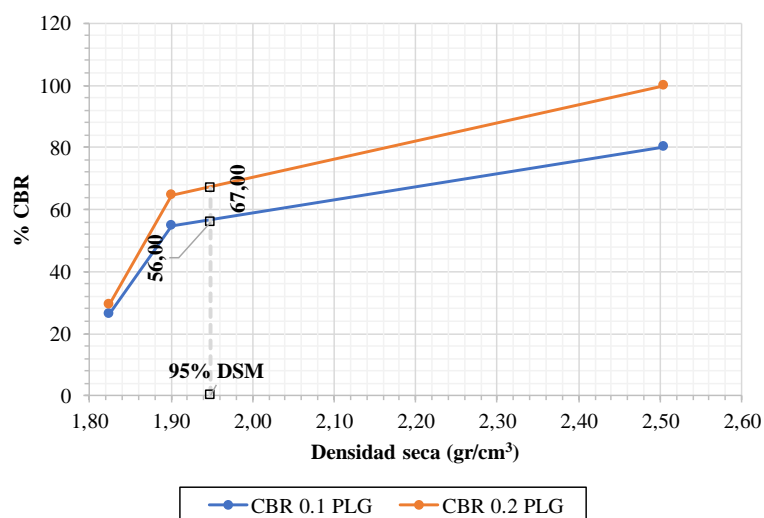
### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



### PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)

MOLDE N°	Presión	CBR	Densidad	Presión	CBR	Densidad
1	801,82	80,18	2,504	1494,99	99,67	2,504
2	547,04	54,70	1,901	966,68	64,45	1,901
3	262,28	26,23	1,824	442,13	29,48	1,824



### % CBR vs. DENSIDAD SECA



DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	95% DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
2,051	1,948	56,00	67,0

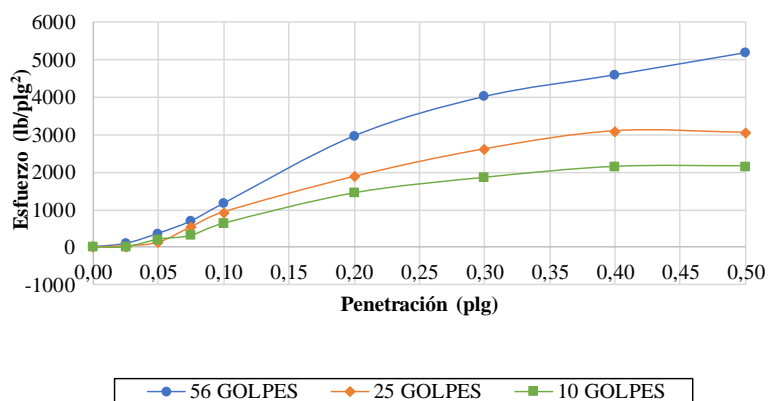


➤ Mina “Muelles”

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C1883-16</b> 						
<b>MINA:</b>	Muelles		<b>MATERIAL:</b>	Base Clase 1 Tipo B		
<b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)</b>						
<b>DATOS DE MOLDEO</b>						
Contenido de Humedad Óptima (%):			8,80			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de Capas	5		5		5	
N° de Golpes	56		25		10	
Muestra húmeda + molde (gr)	11262		11704		12554	
Masa Molde (gr)	6753		7345		8426	
Masa Muestra Humeda (gr)	4509		4359		4128	
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2112,26		2105,60		2116,49	
Peso Unitario Húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2,135		2,070		1,950	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>C3</b>	<b>5</b>	<b>C2</b>	<b>C1</b>	<b>18</b>	<b>20</b>
P. Hum. + Recipiente	151,52	168,64	227,92	159,01	211,11	156,51
P. Seco + Recipiente	141,94	159,23	211,94	150,03	197,00	146,69
Peso Recipiente	48,33	48,78	52,40	50,48	50,26	49,21
Peso Agua	9,58	9,41	15,98	8,98	14,11	9,82
Peso de Sólidos	93,61	110,45	159,54	99,55	146,74	97,48
Contenido Humedad %	10,23	8,52	10,02	9,02	9,62	10,07
Con. Hum. Prom. %	9,38		9,52		9,84	
Peso Unitario Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1,952		1,890		1,776	
<b>DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	11385		11822		12863	
Masa Molde (gr)	6753		7345		8426	
Masa Muestra Humeda (gr)	4632		4477		4437	
Masa Agua Absorbida	123		118		309	
% Agua Absorbida	2,73%		2,71%		7,49%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>PA2</b>	<b>1V</b>	<b>2V</b>	<b>3</b>	<b>SUPA</b>	<b>3V</b>
P. Hum. + Recipiente	114,13	106,69	94,37	289,21	189,14	143,01
P. Seco + Recipiente	104,48	96,97	84,70	271,19	172,71	130,85
Peso Recipiente	24,05	19,92	16,68	130,84	50,83	37,82
Peso Agua	9,64	9,72	9,68	18,02	16,44	12,17
Peso de Sólidos	80,43	77,06	68,02	140,36	121,87	93,03
Contenido Humedad %	11,99	12,61	14,23	12,84	13,49	13,08
Con. Hum. Prom. %	12,30		13,53		13,28	
<b>DATOS DE ESPONJAMIENTO</b>						
<b>FECHA</b>		<b>TIEMPO</b>		<b>LECTURAS DIAL (plg *10-2)</b>		
<b>DIA Y MES</b>	<b>HORA</b>	<b>DIAS</b>	<b>HORAS</b>	56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes
2-ago-22	18:15	0	0	0,00	0,09	0,00
3-ago-22	12:00	1	24	0,00	0,09	0,24
4-ago-22	11:30	2	48	0,08	0,09	0,24
Altura de la muestra (plg)				5,0	5,0	5,0
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				0,080	0,000	0,240
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,016	0,000	0,048

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de golpes	56		25		10	
Penetración (plg)	Dial	Presión	Dial	Presión	Dial	Presión
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	285,7	95,2	75,8	25,3	39,2	13,1
0,050	1100,6	366,9	379,1	126,4	636,1	212,0
0,075	2089,5	696,5	1621,3	540,4	936,7	312,2
0,100	3516,0	1172,0	2809,9	936,6	1912,6	637,5
0,200	8929,5	2976,5	5660,0	1886,7	4335,0	1445,0
0,300	12099,4	4033,1	7872,3	2624,1	5572,4	1857,5
0,400	13840,7	4613,6	9321,9	3107,3	6443,7	2147,9
0,500	15626,5	5208,8	9188,1	3062,7	6491,7	2163,9

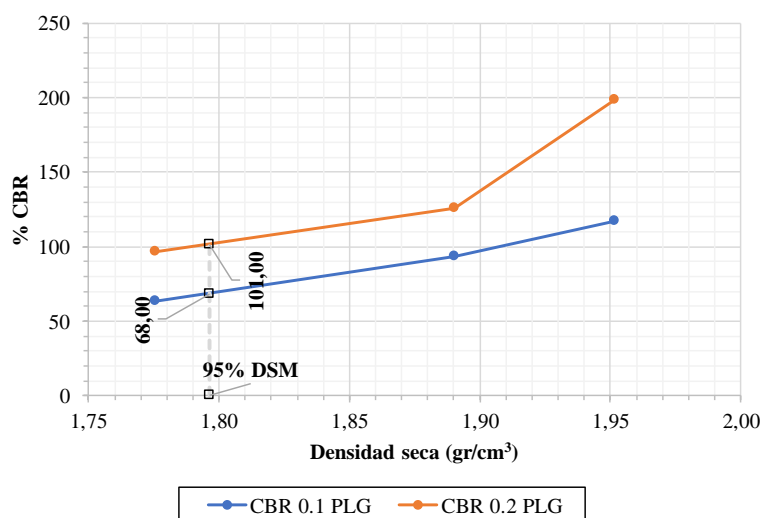
### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



### PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)

MOLDE N°	Presión	CBR	Densidad	Presión	CBR	Densidad
1	1171,99	117,20	1,952	2976,48	198,43	1,952
2	936,65	93,66	1,890	1886,68	125,78	1,890
3	637,55	63,75	1,776	1445,01	96,33	1,776

### % CBR vs. DENSIDAD SECA



DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	95% DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,891	1,796	68,00	101,0



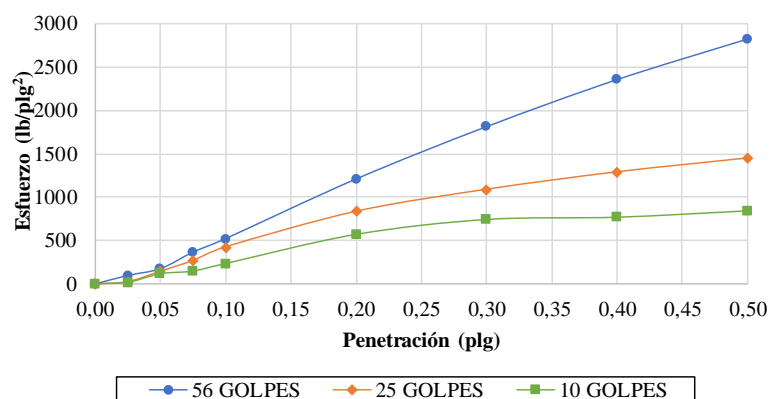
**UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**NORMA: ASTM C1883-16**



<b>MINA:</b>	Muelles	<b>MATERIAL:</b>	Subbase Clase 2			
<b>ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)</b>						
<b>DATOS DE MOLDEO</b>						
Contenido de Humedad Óptima (%):			9,50			
MOLDE N°	1	2	3			
N° de Capas	5	5	5			
N° de Golpes	56	25	10			
Muestra húmeda + molde (gr)	10524	10371,4	10212,2			
Masa Molde (gr)	5393,6	6370,8	6372,4			
Masa Muestra Humeda (gr)	5130,4	4000,6	3839,8			
Volumen Muestra (cm <sup>3</sup> )	2112,26	2105,60	2116,49			
Peso Unitario Húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	2,429	1,900	1,814			
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>D</b>	<b>1</b>	<b>B</b>	<b>8</b>	<b>A</b>	<b>4</b>
P. Hum. + Recipiente	190,98	180,05	201,02	200,00	180,48	186,50
P. Seco + Recipiente	181,11	170,20	190,33	190,25	171,00	177,74
Peso Recipiente	43,08	42,28	45,30	44,87	45,30	44,80
Peso Agua	9,87	9,85	10,69	9,75	9,48	8,76
Peso de Sólidos	138,03	127,92	145,03	145,38	125,70	132,94
Contenido Humedad %	7,15	7,70	7,37	6,71	7,54	6,59
Con. Hum. Prom. %	7,43		7,04		7,07	
Peso Unitario Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	2,261		1,775		1,695	
<b>DATOS DESPUÉS DE LA SATURACIÓN</b>						
Muestra húmeda + molde (gr)	10767		10631,6		10525,8	
Masa Molde (gr)	5393,6		6370,8		6372,4	
Masa Muestra Humeda (gr)	5373,4		4260,8		4153,4	
Masa Agua Absorbida	243		260,2		313,6	
% Agua Absorbida	4,74%		6,50%		8,17%	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Recipiente N°</b>	<b>D2</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>27</b>	<b>22</b>
P. Hum. + Recipiente	190,02	187,30	204,30	205,87	218,34	242,90
P. Seco + Recipiente	177,05	173,63	184,20	183,98	200,03	221,15
Peso Recipiente	56,58	55,30	46,15	40,10	46,31	45,12
Peso Agua	12,97	13,67	20,10	21,89	18,31	21,75
Peso de Sólidos	120,47	118,33	138,05	143,88	153,72	176,03
Contenido Humedad %	10,77	11,55	14,56	15,21	11,91	12,36
Con. Hum. Prom. %	11,16		14,89		12,13	
<b>DATOS DE ESPONJAMIENTO</b>						
<b>FECHA</b>		<b>TIEMPO</b>		<b>LECTURAS DIAL (plg *10-2)</b>		
<b>DIA Y MES</b>	<b>HORA</b>	<b>DIAS</b>	<b>HORAS</b>	56 Golpes	25 Golpes	10 Golpes
2-ago-22	18:15	0	0	0,05	0,04	0,01
3-ago-22	12:00	1	24	0,06	0,04	0,01
4-ago-22	11:30	2	48	0,06	0,05	0,01
Altura de la muestra (plg)				5,0	5,0	5,0
Esponjamiento lineal absoluto (pulg *10-2)				0,006	0,006	0,005
Esponjamiento lineal relativo (%)				0,001	0,001	0,001

ENSAYO CBR						
Máquina de compresión simple	Área Pistón = 3 plg <sup>2</sup>		Vel.Carga = 1,27 mm/min (0,05 pulg/min)			
MOLDE N°	1		2		3	
N° de golpes	56		25		10	
Penetración (plg)	Dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	Dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	Dial	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	292,3	97,4	80,9	27,0	51,7	17,2
0,050	528,3	176,1	440,6	146,9	348,5	116,2
0,075	1101,6	367,2	813,8	271,3	438,4	146,1
0,100	1569,2	523,1	1283,7	427,9	703,7	234,6
0,200	3630,7	1210,2	2511,1	837,0	1715,3	571,8
0,300	5440,4	1813,5	3271,0	1090,3	2232,4	744,1
0,400	7065,8	2355,3	3873,5	1291,2	2311,0	770,3
0,500	8470,8	2823,6	4352,3	1450,8	2531,4	843,8

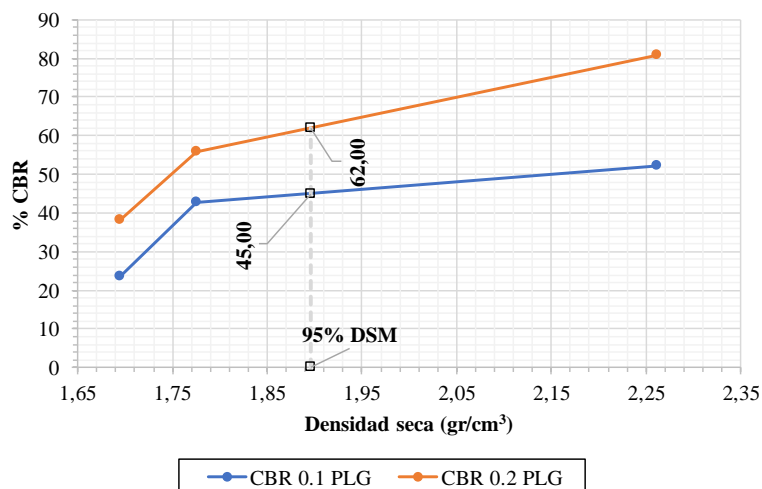
### ESFUERZO vs. PENETRACIÓN



### PORCENTAJES CBR (CORREGIDOS)

MOLDE N°	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,1 Plg	Densidad Seca	Presión (lb/plg <sup>2</sup> )	CBR 0,2 Plg	Densidad Seca
1	523,06	52,31	2,261	1210,23	80,68	2,261
2	427,89	42,79	1,775	837,04	55,80	1,775
3	234,55	23,46	1,695	571,77	38,12	1,695



### % CBR vs. DENSIDAD SECA





DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	95% DSM (gr/cm <sup>3</sup> )	% CBR 0,1 plg	% CBR 0,2 plg
1,996	1,896	45,00	62,0



Anexo 7: Solidez de los agregados.



➤ Mina “El Salvador”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: ASTM C88-18 					
MINA:		El Salvador	MATERIAL		Arena Lavada
GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Tamaño abertura (mm)	Masa (g)	Porcentaje retenido (%)	Aplica al ensayo (>5%)	
1/2"	12,50	173,05	8,2	SI	
3/8"	9,50	134,15	6,3	SI	
4	4,75	426,85	20,1	SI	
8	2,36	286,66	13,5	SI	
16	1,18	312,07	14,7	SI	
30	0,60	355,77	16,8	SI	
50	0,30	394,64	18,6	SI	
< 50	-	39,23	1,8	-	
<b>TOTAL</b>		2122,4	100,0	-	
DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS EN SULFATO DE SODIO					
Tamiz	Masa de las fracciones de ensayo antes del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)		
1/2"	103,73	1,6	0,1		
3/8"	100,57	6,1	0,4		
4	100,34	0,1	0,0		
8	100,08	1,0	0,1		
16	100,03	5,4	0,8		
30	100,09	7,8	1,3		
50	100,07	2,5	0,5		
<b>TOTAL</b>			3,2		



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: ASTM C88-18 					
MINA:		El Salvador	MATERIAL		Ripio Cribado
GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Tamaño abertura (mm)	Masa (g)	Porcentaje retenido (%)	Aplica al ensayo (>5%)	
1"	25,00	2338,3	23,0%	SI	
3/4"	19,00	3189,08	55,4%	SI	
1/2"	12,500	3377,02	89,3%	SI	
3/8"	9,500	885,1	98,1%	SI	
4	4,750	118,12	99,3%	SI	
< 4	-	69,76			
<b>TOTAL</b>		9977,38	100%	-	
DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS EN SULFATO DE SODIO					
Tamiz	Masa de las fracciones de ensayo antes del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)		
1"	1017,95	0,3	0,8		
3/4"	501,83	3,5	0,2		
1/2"	333,55	4,1	0,2		
3/8"	300,81	5,6	0,2		
4	300,69	3,9	0,3		
<b>TOTAL</b>			1,6		



➤ Mina “Kumochi”

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: ASTM C88-18			
MINA:		Kumochi		MATERIAL	Arena Lavada
GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Tamaño abertura (mm)	Masa (g)	Porcentaje retenido (%)	Aplica al ensayo (>5%)	
4	4,75	115,2	5,4	SI	
8	2,36	109,46	5,2	SI	
16	1,18	153,67	7,3	SI	
30	0,60	244,18	11,5	SI	
50	0,30	418,9	19,8	SI	
< 50	-	1075,7	0,5	-	
<b>TOTAL</b>		2117,11	100	-	
DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS EN SULFATO DE SODIO					
Tamiz	Masa de las fracciones de ensayo antes del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)		
4	100,34	9,2	0,5		
8	100,08	3,8	0,2		
16	100,03	5,5	0,4		
30	100,09	7,1	0,8		
50	100,07	9,8	1,9		
<b>TOTAL</b>			3,9		

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: ASTM C88-18			
MINA:		Muelles		MATERIAL	Ripio Cribado
GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Tamaño abertura (mm)	Masa (g)	Porcentaje retenido (%)	Aplica al ensayo (>5%)	
1"	25,00	1980,05	20	SI	
3/4"	19,000	2835,8	48	SI	
1/2"	12,500	2193,35	70	SI	
3/8"	9,500	1155,5	82	SI	
4	4,750	1358,55	95	SI	
< 4	-	471,59	4,7	-	
<b>TOTAL</b>		9994,84	100	-	
DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS EN SULFATO DE SODIO					
Tamiz	Masa de las fracciones de ensayo antes del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)		
1"	1017,95	5,2	1,0		
3/4"	501,83	0,3	0,1		
1/2"	333,55	0,2	0,1		
3/8"	300,81	0,3	0,2		
4	300,69	0,2	0,2		
<b>TOTAL</b>			1,8		

➤ Mina “Los Muelles”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: ASTM C88-18 					
MINA:		Muelles	MATERIAL		Arena Lavada
GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Tamaño abertura (mm)	Masa (g)	Porcentaje retenido (%)	Aplica al ensayo (>5%)	
4	4,75	23,59	1,4	NO	
8	2,36	174,14	10,0	SI	
16	1,18	400,26	22,9	SI	
30	0,60	490,74	28,1	SI	
50	0,30	523,8	30,0	SI	
< 50	-	131,75	7,6	-	
<b>TOTAL</b>		1744,3	100	-	
DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS EN SULFATO DE SODIO					
Tamiz	Masa de las fracciones de ensayo antes del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)		
8	100,24	4,2	0,4		
16	100,27	2,1	0,5		
30	100,08	6,7	1,9		
50	100,43	6,4	1,9		
<b>TOTAL</b>			4,7		

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL NORMA: ASTM C88-18 					
MINA:		Muelles	MATERIAL		Ripio Cribado
GRANULOMETRÍA					
Tamiz N°	Tamaño abertura (mm)	Masa (g)	Porcentaje retenido (%)	Aplica al ensayo (>5%)	
1"	25,00	1980,12	21,0	SI	
3/4"	19,000	2684,93	28,5	SI	
1/2"	12,500	1454,34	15,4	SI	
3/8"	9,500	888,51	9,4	SI	
4	4,750	2035,50	21,6	SI	
< 4	-	379,26	4,0	-	
<b>TOTAL</b>		9422,66	100,0	-	
DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS EN SULFATO DE SODIO					
Tamiz	Masa de las fracciones de ensayo antes del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)		
1"	1017,95	5,2	1,1		
3/4"	501,83	0,5	0,1		
1/2"	333,55	1,5	0,2		
3/8"	300,81	5,1	0,5		
4	300,69	1,6	0,3		
<b>TOTAL</b>			2,3		

Anexo 8. Resistencia a la abrasión.

➤ Mina “El Salvador”

		<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C127/128-15</b>			
<b>MINA:</b>		El Salvador			
<b>DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DESGASTE</b>					
		PESO (gr)	PORCENTAJE (%)		
MASA INICIAL	M1	4993	100%		
MASA FINAL (RETIENE TAMIZ #12)	M2	4379	88%		
MASA DESGASTADA	M3=M1-M2	614	12%		
% DESGASTE		D1	12%		

➤ Mina “Kumochi”

		<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C127/128-15</b>			
<b>MINA:</b>		Kumochi			
<b>DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DESGASTE</b>					
		PESO (gr)	PORCENTAJE (%)		
MASA INICIAL	M1	4968	100%		
MASA FINAL (RETIENE TAMIZ #12)	M2	4441	89%		
MASA DESGASTADA	M3=M1-M2	527	11%		
% DESGASTE		D1	11%		



➤ Mina “Muelles”

		<b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM C127/128-15</b>			
<b>MINA:</b>		Muelles			
<b>DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DESGASTE</b>					
		PESO (gr)	PORCENTAJE (%)		
MASA INICIAL	M1	4913	100%		
MASA FINAL (RETIENE TAMIZ #12)	M2	4452	91%		
MASA DESGASTADA	M3=M1-M2	461	9%		
% DESGASTE		D1	9%		





Anexo 9: Porcentaje de caras fracturadas.



➤ Mina “El Salvador”

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM D5821-13</b> 					
<b>MINA:</b>		El Salvador	<b>MATERIAL:</b>		Ripio Triturado
<b>2 o más Caras fracturadas</b>					
TAMIZ	PARTÍCULAS FRACTURADAS	PARTÍCULAS NO FRACTURADAS	PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS	TOTAL DE MUESTRA	
#	F	N	P		
1 1/2	5150	2549	67%	7699	
1	2977	43	99%	3020	
3/4	1489	9	99%	1498	
1/2	497	0	100%	497	
<b>TOTAL</b>	10113	2601	80%	12714	

➤ Mina “Kumochi”

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM D5821-13</b> 					
<b>MINA:</b>		El Salvador	<b>MATERIAL:</b>		Ripio Triturado
<b>2 o más Caras fracturadas</b>					
TAMIZ	PARTÍCULAS FRACTURADAS	PARTÍCULAS NO FRACTURADAS	PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS	TOTAL DE MUESTRA	
#	F	N	P		
1 1/2	4972	2031	71%	7003	
1	2977	1047	74%	4024	
3/4	1505	9	99%	1514	
1/2	502	0	100%	502	
<b>TOTAL</b>	9956	3087	76%	13043	

➤ Mina “Muelles”

 <b>UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> <b>NORMA: ASTM D5821-13</b> 				
<b>MINA:</b>		El Salvador	<b>MATERIAL:</b>	Ripio Triturado
<b>2 o más Caras fracturadas</b>				
TAMIZ	PARTÍCULAS FRACTURADAS	PARTÍCULAS NO FRACTURADAS	PORCENTAJE CARAS FRACTURADAS	TOTAL DE MUESTRA
#	F	N	P	
1 1/2	4873	2709	64%	7582
1	2977	103	97%	3080
3/4	1489	105	93%	1594
1/2	505	0	100%	505
<b>TOTAL</b>	9844	2917	77%	12761







Anexo 10: Anexo Fotográfico

<p><b>Fotografía 1</b></p>	<p><b>Fotografía 2</b></p>
	
<p>Área de despacho de arena Lavada Mina “El Salvador”</p>	<p>Muestreo de arena lavada Mina “Kumochi”</p>
<p><b>Fotografía 3</b></p>	<p><b>Fotografía 4</b></p>
	
<p>Arena Lavada Mina “Los Muelles”</p>	<p>Trituradora mina “Los Muelles”</p>
<p><b>Fotografía 5</b></p>	<p><b>Fotografía 6</b></p>
	
<p>Trituradora trabajando mina “Kumochi”</p>	<p>Árido fino húmedo</p>

<b>Fotografía 7</b>	<b>Fotografía 8</b>
	
Secado de la muestra en horno eléctrico	Determinación del límite líquido
<b>Fotografía 9</b>	<b>Fotografía 10</b>
	
Pesado de fracción retenida en tamiz	Extracción de la muestra compactada del molde de Proctor
<b>Fotografía 11</b>	<b>Fotografía 12</b>
	
Agregado sumergido	Secado superficial de partículas del agregado grueso

<p align="center"><b>Fotografía 13</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 14</b></p>
	
<p align="center">Agregado grueso sumergido en canastilla</p>	<p align="center">Colocación de arena para la prueba de humedad superficial</p>
<p align="center"><b>Fotografía 15</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 16</b></p>
	
<p align="center">Agregado fino en estado sumergido superficialmente seco</p>	<p align="center">Pesado de picnómetro luego de haber sacado los vacíos</p>
<p align="center"><b>Fotografía 17</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 18</b></p>
	
<p align="center">Proceso de compactación</p>	<p align="center">Remojo del los moldes de CBR</p>

<p align="center"><b>Fotografía 19</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 20</b></p>
	
<p align="center">Lectura del deformímetro</p>	<p align="center">Material después de drenaje de la solución de sulfato de sodio</p>
<p align="center"><b>Fotografía 21</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 22</b></p>
	
<p align="center">Material después del secado</p>	<p align="center">Ejemplo de degradación del agregado por acción del sulfato de sodio</p>
<p align="center"><b>Fotografía 23</b></p>	<p align="center"><b>Fotografía 24</b></p>
	
<p align="center">Lavado de agregado grueso</p>	<p align="center">Colocado del agregado grueso en la máquina de los Ángeles</p>

<b>Fotografía 25</b>	<b>Fotografía 26</b>
	
Agregado junto con las esferas de acero	Agregado luego del ensayo
<b>Fotografía 27</b>	<b>Fotografía 28</b>
	
Clasificación de las partículas del agregado grueso por tamaños	Partículas que cumplen el criterio de caras fracturadas
<b>Fotografía 29</b>	<b>Fotografía 30</b>
	
Partículas que no cumplen con el criterio de caras fracturadas	Transporte de moldes ensayados al lugar destinado para los desperdicios