



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Universidad  
Andina  
del Cusco**

TESIS

---

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-  
MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN  
85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN  
CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO**

---

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES Y  
BIOMATERIALES

Presentado por:

Kiara Aguilar Esquivel

Cristhian Chauca Quispe

Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor:

Mgt. Ing. Kildare Jussety Ascue Escalante

CUSCO – PERÚ

2022



## DEDICATORIAS

*La tesis realizada esta dedicada a Dios, porque nunca me ha abandonado y me ha permitido  
alcanzar este logro en mi vida.*

*A mis padres, Yovana y Edwin, quienes me han apoyado para llegar a esta instancia de mis  
estudios, enseñarme a superar cada obstáculo y siempre buscar lo mejor.*

*A mi hermano Fabián por la motivación y entendimiento, siempre esperando más de mí,  
como principal el culmino de mis estudios.*

*A mis abuelos, Papá Pancho, que ya no está presente conmigo, pero siempre fue un gran  
apoyo en mi vida y que espero se sienta muy orgulloso de mí, Mamá Hipólita, Papá Vico y  
Mamá Gloria, quienes nunca me han desamparado y me enseñaron que con el trabajo y  
perseverancia se encuentra el éxito profesional.*

*A mis tíos, por siempre exigirme superar este gran reto y mostrar interés en mi carrera y en  
mi educación.*

*A mi familia en general y mis amigos, quienes durante estos cinco años estuvieron a mi lado  
apoyándome y compartieron su conocimiento.*

**KIARA AGUILAR ESQUIVEL**



*Dedico la presente investigación a Dios por su inmensa bondad, que me acompaña y me da  
fortaleza para cumplir todas mis metas.*

*A mis padres, Florencia y Ramiro, por su paciencia, cariño incondicional, y educación para  
enfrentar cada problema y seguir adelante y trazar mis metas.*

*A mi hermana Alexandra por el apoyo, guía incondicional, gentileza que la caracteriza y  
mostrando interés en la culminación de mi carrera.*

*A mi compañera de vida e hija, Marysheily y mi pequeña Rhaella por su compañía, paciencia  
y por la fuerza que me dan para enfrentar todo.*

**CRISTHIAN CHAUCA QUISPE**



## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco infinitamente a Dios por regalarme la vida, salud y perseverancia para lograr esta meta sin rendirme.*

*A mis padres, Yovana y Edwin, y mi hermano, Fabián, que guiaron y apoyaron para lograr mis objetivos. Por los valores, formación que me dieron, sus enseñanzas, por lo cual agradezco su confianza y que gracias a mi familia puedo cumplir este sueño de ser profesional y una gran persona.*

*Agradezco al Ing. Kildare, nuestro asesor, por habernos dado la oportunidad de recurrir a su conocimiento y capacidad y por habernos guiado durante todo el desarrollo de la tesis.*

*A las empresas UNIVERSAL TESTING y PRO&CON SILVER S.C.R.L. por habernos apoyado en la realización de nuestros ensayos cuando nadie más quería en este tiempo de pandemia que vivimos.*

*A mi casa de estudios, la Universidad Andina del Cusco y a cada maestro, por haberme brindado sus conocimientos y dedicación en cada momento.*

*A mi compañero de tesis y amigo, Cristhian, por formar este equipo conmigo a pesar de las adversidades ya superadas y culminar esta tesis.*

**KIARA AGUILAR ESQUIVEL**



*Por la fortaleza, salud y fortuna que me ayudó a cumplir mis metas, a Dios gracias.*

*A mi madre Florencia que es mi fuerza, a mi padre Ramiro que es mi creatividad y mi hermana, Alexandra mi pequeña amiga, que guiaron y apoyaron para lograr mis objetivos. Por los valores, sus enseñanzas y su empatía, por lo cual agradezco su confianza, por ende, doy gracias por llevarme a ser profesional y una gran persona*

*Agradezco al Ing. Kildare, nuestro asesor, por su tiempo, su paciencia para los momentos críticos y claves en la tesis. Y Darnos el apoyo y guía hasta culminar.*

*A Kiara, mi amiga y pronto colega, por el tiempo de amistad, por formar este equipo, por el entusiasmo y nivel compromiso para culminar con el proyecto de tesis.*

**CRISTHIAN CHAUCA QUISPE**



## RESUMEN

El objetivo de esta tesis es realizar un análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas (Porcentaje de vacíos de aire, Cántabro, Estabilidad y Flujo Marshall, Daño Inducido por Humedad), de una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 en comparación con una mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito. Para la preparación de estos dos tipos de mezclas bituminosas se utilizó el mismo nivel de clasificación o gradación y adicionándole grafito con relación al peso del agregado fino; el agregado grueso  $\frac{3}{4}$ " fue obtenida de la cantera de Huambutio (Lucre), para el agregado grueso de  $\frac{1}{2}$ " y agregado fino se usó material de la Planta de Asfalto Caicay COPESCO. Este análisis se realiza utilizando parámetros volumétricos, cuyo objetivo es determinar el porcentaje óptimo de asfalto para una combinación particular de agregados para hacer muestras de mezcla asfáltica en caliente, las mismas incluyen diferentes porcentajes de asfalto (6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5%), obteniendo el 6.5% de asfalto óptimo, para luego preparar especímenes que fueron adicionados con distintos porcentajes de grafito (5%, 10%, 15% y 20 %) con relación al peso del agregado fino, obteniendo así 15% de grafito óptimo. Todas las muestras han sido ensayadas en laboratorio para determinar sus propiedades mecánicas tales como parámetros volumétricos, estabilidad Marshall y flujo, cántabro y daño inducido por humedad. Además, en base a estos resultados y a lo establecido en el manual de Carreteras “Especificaciones Generales para la Construcción EG – 2013” del Ministerio de Transporte del Perú, es posible comparar las propiedades físico-mecánicas de las normas que se han estudiado, se llega a la conclusión que en la mayoría de las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas adicionadas con grafito no tienen mejores resultados ni son similares para cada tipo de ensayo como se muestra en la Tabla N°98 (pág. 187), y teniendo como únicos valores más similares el ensayo de cántabro, obteniendo como resultados para mezclas asfálticas sin grafito un % desgaste = 4.53% y mezclas asfálticas con grafito un % desgaste = 4.68%. Así mismo, se tiene en consideración que los valores de %  $VCA_{mezcla}$  sin grafito y con grafito son 56.51% y 56.21% respectivamente, estos valores se aproximan entre ellos y son menores al valor de  $VCA_{DRC} = 56.60\%$ ; no obstante, la mezcla asfáltica con grafito es mejor. Como los resultados de las mezclas asfálticas adicionadas con grafito no se asemejan ni cumplen a los resultados de mezclas asfálticas PEN 85/100 por lo que fruto de la presente investigación no se recomienda el uso de grafito como un agente estabilizante para las mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100.

**Palabras claves:** Grafito, EG 2013, PEN 85/100, Estabilidad y flujo, Cántabro, Daño Inducido por Humedad.



## ABSTRACT

The objective of this thesis is to perform a comparative analysis of the physical - mechanical properties (Percentage of air voids, Cantabrian, Stability and Marshall Flow, Moisture-Induced Damage), of a hot asphalt mixture PEN 85/100, compared to a hot asphalt mixture PEN 85/100 adding graphite. For the preparation of these two types of bituminous mixtures, the same level of classification or gradation was used and graphite was added in relation to the weight of the fine aggregate; the 3/4" coarse aggregate was obtained from the Huambutio (Lucre) quarry, for the 1/2" coarse aggregate and fine aggregate material from the Caicay COPESCO Asphalt Plant was used. This analysis is performed using volumetric parameters, whose objective is to determine the optimal percentage of asphalt for a particular combination of aggregates to make samples of hot asphalt mixture, they include different percentages of asphalt (6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5%), obtaining 6.5% of optimal asphalt, and then prepare specimens that were added with different percentages of graphite (5%, 10%, 15% and 20%) in relation to the weight of the fine aggregate, thus obtaining 15% of optimal graphite. All samples have been tested in the laboratory to determine their mechanical properties such as volumetric parameters, Marshall stability and flow, Cantabrian and moisture-induced damage. In addition, based on these results and the provisions of the Road Manual "General Specifications for Construction EG – 2013" of the Ministry of Transport of Peru, it is possible to compare the physical-mechanical properties of the standards that have been studied, it is concluded that in most of the physical mechanical properties of the asphalt mixtures added with graphite do not have better results or are similar for each type of test as is shown in Table N°98 (p. 187), and having as the only more similar values the Cantabrian test, obtaining as results for asphalt mixtures without graphite a % wear = 4.53% and asphalt mixtures with graphite a % wear = 4.68%. Likewise, it is taken into consideration that the values of %  $VCA_{mezcla}$  without graphite and with graphite are 56.51% and 56.21% respectively, these values approximate each other and are lower than the value of  $VCA_{DRC} = 56.60\%$ ; however, asphalt mixing with graphite is better. As the results of the asphalt mixtures added with graphite do not resemble or comply with the results of PEN 85/100 asphalt mixtures, so as a result of this research the use of graphite as a stabilizing agent for PEN 85/100 hot asphalt mixtures is not recommended.

**Keywords:** Graphite, EG 2013, PEN 85/100, Stability and flow, Cantabrian, Moisture-Induced Damage.



## INTRODUCCIÓN

En el Perú, debido a su diversidad de geografía, las carreteras por encima de los 3.500 metros sobre el nivel del mar requieren una importante inversión en pavimentación y restauración. Los pavimentos de estas carreteras de gran altura se ven afectados por una amplia gama de factores climáticos, con bajas temperaturas, gradientes térmicos, intensa radiación solar y los efectos de las escorrentías y aguas subterráneas, que determinan su temprana y rápida degradación. Además, en dichas altitudes, existen problemas de escasez de materiales, a lo que converge la limitación para contar con productos asfálticos de calidad garantizada sin poder evitar los desgastes, y teniendo así una alta durabilidad, estabilidad, adhesión, impermeabilidad, entre otros. La implementación del grafito es una alternativa planteada en esta tesis como un agente estabilizante que proporcionará mejores resultados en cuanto a las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica compactada, el cual será reemplazado por el agregado fino en relación de su peso con un porcentaje óptimo.

Para la realización del proyecto de investigación, primero se identificó el problema en la Región del Cusco y así plantear nuestros objetivos para con él desarrollar las hipótesis correspondientes. Se realiza la toma de datos en laboratorio de los ensayos realizados acorde al orden establecido y con los instrumentos y equipos requeridos. En gabinete se procesa los datos tomados descritos más adelante, y con los resultados se llegó a las conclusiones pertinentes.

En el primer capítulo se desarrolló el planteamiento del problema, entre ellos: identificación del problema, justificación e importancia de la investigación, limitaciones de la investigación y el objetivo de la investigación; en el segundo capítulo se desarrolló el marco teórico, entre ellos: antecedentes de la tesis, aspectos teóricos pertinentes, hipótesis general y variables e indicadores; en el tercer capítulo se desarrolló la metodología, entre ellos: metodología de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra, instrumentos, procedimiento de recolección de datos y procedimientos de análisis de datos; en el cuarto capítulo se desarrolló los resultados de los ensayos realizados; en el quinto capítulo se desarrolló la discusión en base a posibles puntos o dudas no aclarados en la tesis; y por último las conclusiones y recomendaciones de la tesis.



## ÍNDICE

|   |          |
|---|----------|
| <b>Capítulo I: Planteamiento del Problema.....</b>                    | <b>1</b> |
| 1.1. Identificación del problema .....                                | 1        |
| 1.1.1. Descripción del problema.....                                  | 1        |
| 1.1.2. Formulación interrogativa del problema.....                    | 2        |
| 1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general .....         | 2        |
| 1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos ..... | 2        |
| 1.2. Justificación e Importancia de la investigación .....            | 3        |
| 1.2.1. Justificación técnica .....                                    | 3        |
| 1.2.2. Justificación social .....                                     | 3        |
| 1.2.3. Justificación por viabilidad .....                             | 3        |
| 1.2.4. Justificación por relevancia.....                              | 4        |
| 1.3. Limitaciones de la Investigación .....                           | 4        |
| 1.4. Objetivo de la investigación .....                               | 4        |
| 1.4.1. Objetivo general.....  | 4        |
| 1.4.2. Objetivos específicos .....                                    | 4        |
| <b>Capítulo II: Marco Teórico .....</b>                               | <b>5</b> |
| 2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual .....            | 5        |
| 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.....                             | 5        |
| 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional .....                       | 6        |
| 2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes.....                               | 8        |
| 2.2.1. Material Asfáltico .....                                       | 8        |
| 2.2.1.1 Clasificación de material asfáltico .....                     | 9        |
| 2.2.1.2 Propiedades físicas .....                                     | 9        |
| 2.2.1.4. Rendimiento aproximado de los asfaltos de pavimentación..... | 9        |
| 2.2.2. Pavimentos .....   | 10       |
| 2.2.2.1. Concepto básico.....   | 10       |



|            |   |    |
|------------|---|----|
| 2.2.2.2.   | Estructura de un pavimento asfáltico.....   | 10 |
| 2.2.2.2.1. | Carpeta Asfáltica .....   | 11 |
| 2.2.2.2.2. | Base .....  | 11 |
| 2.2.2.2.3. | Sub Base .....  | 12 |
| 2.2.2.2.4. | Terreno de Fundación.....   | 12 |
| 2.2.3.     | Mezcla Asfáltica .....  | 12 |
| 2.2.4.     | Pavimento de concreto asfáltico en caliente .....                                 | 20 |
| 2.2.4.1.   | Generalidades .....   | 20 |
| 2.2.4.2.   | Materiales .....  | 20 |
| 2.2.4.3.   | Requerimiento de construcción .....   | 22 |
| 2.2.4.3.1. | Mezcla de agregados.....  | 22 |
| 2.2.5.     | Método de diseño Marshall.....  | 23 |
| 2.2.5.1.   | Metodología.....  | 23 |
| 2.2.5.2.   | Granulometría.....  | 24 |
| 2.2.5.3.   | Especificaciones de la metodología.....   | 25 |
| 2.2.5.4.   | Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño .....                                | 26 |
| 2.2.6.     | Ensayos de materiales para el diseño de mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100 |    |
|            | 27  |    |
| 2.2.6.1.   | Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.....                         | 27 |
| 2.2.6.2.   | Abrasión por la máquina los ángeles .....   | 29 |
| 2.2.6.3.   | Partículas chatas y alargadas en agregados .....                                  | 30 |
| 2.2.6.4.   | Porcentaje de caras fracturadas.....  | 32 |
| 2.2.6.5.   | Peso específico y absorción del agregado grueso.....                              | 34 |
| 2.2.6.6.   | Peso específico y absorción del agregado fino .....                               | 36 |
| 2.2.6.7.   | Límites de consistencia.....  | 37 |
| 2.2.6.8.   | Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio o magnesio .....                        | 41 |
| 2.2.6.9.   | Angularidad del agregado fino .....   | 44 |



|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.7. Ensayos para evaluar las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas compactadas..... | 45        |
| 2.2.7.1. Parámetros volumétricos de mezclas compactadas .....   | 45        |
| 2.2.7.2. . Ensayo de estabilidad y flujo Marshall.....  | 50        |
| 2.2.7.3. Ensayo cántabro de pérdida por desgaste .....  | 53        |
| 2.2.7.4. Ensayo de resistencia al daño inducido por humedad .....   | 55        |
| 2.2.7. ¿Qué es el grafito?.....   | 58        |
| 2.2.7.1. Propiedades del grafito .....  | 58        |
| 2.2.7.2. Aplicaciones del grafito.....  | 59        |
| 2.2.7.3. Como se forma el grafito. ....   | 59        |
| 2.2.8. Material de carbono grafito.....   | 60        |
| 2.2.8.1. Grafeno .....  | 60        |
| 2.3. Hipótesis general .....  | 61        |
| 2.3.1. Hipótesis general .....  | 61        |
| 2.3.2. Sub hipótesis .....  | 62        |
| 2.4. Variables e indicadores.....   | 62        |
| 2.4.1. Definición de Variables .....  | 62        |
| 2.4.1.1. Variable Independientes .....  | 62        |
| 2.4.1.2. Variables Dependientes .....   | 62        |
| 2.4.2. Cuadro de operacionalización de variables.....   | 64        |
| <b>Capítulo III: Metodología.....</b>   | <b>65</b> |
| 3.1. Metodología de la investigación.....   | 65        |
| 3.1.1. Enfoque de la investigación .....  | 65        |
| 3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.....   | 65        |
| 3.1.3. Método de investigación .....  | 65        |
| 3.2. Diseño de la investigación.....  | 66        |
| 3.2.1. Diseño metodológico.....   | 66        |



|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 3.2.2.    | Diseño de ingeniería.....  | 66 |
| 3.3.      | Población y muestra.....   | 68 |
| 3.3.1.    | Población.....   | 68 |
| 3.3.1.1.  | Descripción de la población.....   | 68 |
| 3.3.1.2.  | Cuantificación de la población .....   | 68 |
| 3.3.2.    | Muestra.....   | 68 |
| 3.3.2.1.  | Descripción de la muestra.....   | 68 |
| 3.3.2.2.  | Cuantificación de la muestra .....   | 68 |
| 3.3.2.3.  | Método de muestreo .....   | 70 |
| 3.3.2.4.  | Criterios de evaluación de muestra.....  | 70 |
| 3.3.3.    | Criterios de inclusión .....   | 71 |
| 3.4.      | Instrumentos .....   | 71 |
| 3.4.1.    | Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.....   | 71 |
| 3.4.1.1.  | Formato N°1 – Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados .....   | 71 |
| 3.4.1.2.  | Formato N°2 – Ensayo de abrasión los ángeles .....   | 73 |
| 3.4.1.3.  | Formato N°3 – Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados .....                                       | 73 |
| 3.4.1.4.  | Formato N°4 – Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso..... | 75 |
| 3.4.1.5.  | Formato N°5 – Ensayo de peso específico .....  | 76 |
| 3.4.1.6.  | Formato N°6 – Ensayo de límites de consistencia .....  | 77 |
| 3.4.1.7.  | Formato N°7 – Ensayo de durabilidad sulfato de magnesio .....  | 78 |
| 3.4.1.8.  | Formato N°8 – Ensayo de angularidad de finos.....  | 79 |
| 3.4.1.9.  | Formato N°9 – Diseño de la mezcla asfáltica en caliente – MAC .....  | 80 |
| 3.4.1.10. | Formato N°10 – Ensayo de gravedad específica bulk.....   | 82 |
| 3.4.1.11. | Formato N°11 – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall.....   | 83 |
| 3.4.1.12. | Formato N°12 – Ensayo de cántabro o pérdida por desgaste.....  | 83 |
| 3.4.1.13. | Formato N°13 – Ensayo de daño inducido por humedad.....  | 84 |



|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 3.4.2.   | Instrumentos de ingeniería .....   | 85  |
| 3.4.2.1. | Instrumentos de ingeniería para los ensayos de calidad de los agregados .....  | 85  |
| 3.4.2.2. | Instrumentos de ingeniería para ensayos de estabilidad y flujo Marshall .....  | 87  |
| 3.4.2.3. | Instrumentos de ingeniería para ensayos de cántabro de pérdida por desgaste<br>87                                    |     |
| 3.4.2.4. | Instrumentos de Ingeniería para ensayos de gravedad específica Bulk.....   | 88  |
| 3.4.2.5. | Instrumentos de Ingeniería para ensayos daño inducido por humedad .....  | 88  |
| 3.5.     | Procedimientos de recolección de datos .....   | 88  |
| 3.5.1.   | Recolección del grafito .....  | 88  |
| 3.5.2.   | Recolección de datos realizada de la planta de asfalto Caicay y Huambutio .....                                      | 89  |
| 3.5.3.   | Ensayo de análisis granulométrico de agregados.....  | 89  |
| 3.5.4.   | Ensayo de abrasión los ángeles.....  | 97  |
| 3.5.5.   | Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados .....   | 101 |
| 3.5.6.   | Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado<br>grueso                       | 106 |
| 3.5.7.   | Ensayo para la determinación peso específico y absorción .....   | 109 |
| 3.5.8.   | Ensayo de Límites de Consistencia.....   | 114 |
| 3.5.9.   | Ensayo de angularidad de finos .....   | 116 |
| 3.5.10.  | Ensayo de durabilidad del agregado al sulfato de magnesio .....  | 120 |
| 3.5.11.  | Ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos (% de asfalto<br>óptimo y % de grafito óptimo) ..... | 123 |
| 3.5.12.  | Ensayo de estabilidad y flujo .....  | 127 |
| 3.5.13.  | Ensayo de cántabro o pérdida por desgaste .....  | 132 |
| 3.5.14.  | Ensayo al daño inducido por humedad .....  | 134 |
| 3.6.     | Procedimientos de análisis de datos .....  | 138 |
| 3.6.1.   | Ensayo de los componentes de la mezcla.....  | 138 |
| 3.6.1.1. | Ensayo de granulometría de los agregados.....  | 138 |
| 3.6.1.2. | Ensayo de abrasión los ángeles.....  | 146 |



|                                     |   |            |
|-------------------------------------|---|------------|
| 3.6.1.3.                            | Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas en Agregados Gruesos.....                               | 149        |
| 3.6.1.4.                            | Ensayo para la determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas del Agregado Grueso ..... | 152        |
| 3.6.1.5.                            | Ensayo peso específico y absorción .....  | 155        |
| 3.6.1.6.                            | Ensayo para la determinación del Límite de Consistencia del Agregado Fino<br>158                |            |
| 3.6.1.7.                            | Ensayo para la determinación de Angularidad de Finos .....                                      | 160        |
| 3.6.1.8.                            | Ensayo para la Durabilidad al Sulfato de Magnesio.....  | 161        |
| 3.6.2.                              | Ensayos para determinar propiedades físico – mecánicas .....                                    | 162        |
| 3.6.2.1.                            | Ensayo de parámetros volumétricos .....   | 162        |
| 3.6.2.2.                            | Ensayo de estabilidad y flujo Marshall.....   | 169        |
| 3.6.2.3.                            | Ensayo de Cántabro.....   | 171        |
| 3.6.2.4.                            | Ensayo de resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por<br>humedad         | 171        |
| <b>Capítulo IV: Resultados.....</b> |   | <b>175</b> |
| 4.1.                                | Control de calidad de los agregados de las mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100<br>175     |            |
| 4.1.1.                              | Control de calidad del agregado grueso .....  | 175        |
| 4.1.2.                              | Control de calidad del agregado fino .....  | 179        |
| 4.2.                                | Control de Calidad de las Mezclas Asfálticas en Caliente PEN 85/100.....                        | 181        |
| 4.2.1.                              | Diseño de las Mezclas Asfálticas en Caliente PEN 85/100 .....                                   | 181        |
| 4.2.1.1.                            | Contenido de asfalto óptimo.....  | 182        |
| 4.2.1.2.                            | Contenido de grafito óptimo.....  | 183        |
| 4.2.2.                              | Propiedades Físico-Mecánicas.....   | 183        |
| 4.2.2.1.                            | Parámetros Volumétricos .....   | 183        |
| 4.2.2.2.                            | Estabilidad y flujo Marshall .....  | 185        |
| 4.2.2.3.                            | Ensayo de cántabro pérdida por desgaste .....   | 186        |



|                              |  |            |
|------------------------------|--|------------|
| 4.2.2.4.                     | Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad | 187        |
| 4.2.2.5.                     | Análisis de costo Unitario.....  | 188        |
| <b>Capítulo V: Discusión</b> | .....  | <b>189</b> |
| <b>GLOSARIO</b>              | <b>191</b>   |            |
| <b>CONCLUSIONES</b>          | .....  | <b>192</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b>       | .....  | <b>194</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>           | .....  | <b>196</b> |
| <b>ANEXOS</b>                | <b>198</b>   |            |



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| Gráfico N°1.        | Diseño de ingeniería .....   | 67 |
| Gráfico N°2.        | Formato instrumentos de ensayo de calidad del agregado .....         | 85 |
| <i>Gráfico N°3.</i> | Formato instrumentos de ensayo estabilidad y flujo marshall .....    | 87 |
| Gráfico N°4.        | Formato instrumentos de ensayo cántabro de pérdida por desgaste..... | 87 |
| <i>Gráfico N°5.</i> | Formato instrumentos de ensayo gravedad específica Bulk.....         | 88 |
| <i>Gráfico N°6.</i> | Formato instrumentos de ensayo daño inducido por humedad .....       | 88 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Tabla N°1.  | Cuadro de rendimiento del asfalto de pavimentación .....   | 9  |
| Tabla N°2.  | Tipos de Mezclas Asfálticas en caliente.....   | 13 |
| Tabla N°3.  | Requerimientos para los agregados gruesos.....   | 20 |
| Tabla N°4.  | Requerimientos para los agregados finos.....   | 21 |
| Tabla N°5.  | Porcentajes que pasa según MAC .....   | 22 |
| Tabla N°6.  | Requisitos para mezcla de concreto bituminoso .....  | 23 |
| Tabla N°7.  | Requisitos de adherencia.....  | 23 |
| Tabla N°8.  | Graduaciones propuestas para mezclas cerradas.....   | 25 |
| Tabla N°9.  | Cuadro de criterio de diseño de mezclas Marshall.....  | 26 |
| Tabla N°10. | Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral.....   | 26 |
| Tabla N°11. | Cantidad mínima de muestra de agregado grueso.....   | 27 |
| Tabla N°12. | Gradación de las muestras de ensayo.....   | 29 |
| Tabla N°13. | Pesos mínimos requeridos para el ensayo de partículas Chatas y Alargadas dependiendo del Tamaño Máximo Nominal ..... | 31 |
| Tabla N°14. | Peso de muestra en relación al tamaño del agregado para ensayo de porcentaje de Caras Fracturadas .....              | 32 |
| Tabla N°15. | Peso mínimo de la muestra de ensayo para Ensayo de Peso Específico de Gruesos  | 34 |
| Tabla N°16. | Factor para determinación de Límite Líquido (Un Punto).....  | 40 |
| Tabla N°17. | Tamices en los cuales se evaluará el Agregado Fino para el ensayo de Durabilidad                                     | 41 |
| Tabla N°18. | Tamices en los cuales se evaluará el agregado grueso (según gradación) para ensayo de durabilidad.....               | 42 |
| Tabla N°19. | Tamices para ensayos en Agregado Grueso después de eliminar sulfatos para ensayo de Durabilidad.....                 | 44 |
| Tabla N°20. | Factores de Estabilidad de Correlación A .....   | 53 |
| Tabla N°21. | Cuadro de operacionalización de variables .....  | 64 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabla N°22. Cantidad de muestras de mezclas asfálticas a realizar .....  | 69  |
| Tabla N°23. Formato de ensayo de análisis granulométrico de agregados .....  | 72  |
| Tabla N°24. Formato de ensayo de abrasión los ángeles.....   | 73  |
| Tabla N°25. Formato de ensayo de partículas chatas y alargadas .....   | 74  |
| Tabla N°26. Formato de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas Fracturadas en el Agregado Grueso ..... | 75  |
| Tabla N°27. Formato de ensayo de peso específico .....   | 76  |
| Tabla N°28. Formato de ensayo de límites de consistencia.....  | 77  |
| Tabla N°29. Formato de ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.....   | 78  |
| Tabla N°30. Formato de ensayo de angularidad de finos .....  | 79  |
| Tabla N°31. Formato de diseño de la mezcla asfáltica en caliente.....  | 80  |
| Tabla N°32. Formato de diseño para cada espécimen o molde .....  | 81  |
| Tabla N°33. Formato de ensayo de gravedad específica bulk .....  | 82  |
| Tabla N°34. Formato de ensayo de estabilidad y flujo Marshall.....   | 83  |
| Tabla N°35. Formato de ensayo cántabro o pérdida por desgaste .....  | 83  |
| Tabla N°36. Formato de ensayo daño inducido por humedad.....   | 84  |
| Tabla N°37. Recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso de 3/4”                       | 93  |
| Tabla N°38. Recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso de 1/2”                       | 94  |
| Tabla N°39. Recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico del agregado fino de arena triturada.....         | 95  |
| Tabla N°40. Recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico del agregado fino de arena lavada                 | 96  |
| Tabla N°41. Recolección de datos del ensayo de abrasión los ángeles, agregado de 1/2”.....                               | 100 |
| Tabla N°42. Recolección de datos del ensayo de abrasión los ángeles, agregado de 3/4”...                                 | 101 |
| Tabla N°43. Recolección de datos del ensayo de partículas chatas y alargadas en el agregado grueso de 3/4”.....          | 104 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabla N°44. Recolección de datos del ensayo de partículas chatas y alargadas en el agregado grueso de ½”                               | 105 |
| Tabla N°45. Recolección de datos del ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso de ½” | 108 |
| Tabla N°46. Recolección de datos del ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso de ¾” | 109 |
| Tabla N°47. Ensayo para la determinación peso específico y absorción en el agregado grueso de ¾”                                       | 112 |
| Tabla N°48. Ensayo para la determinación peso específico y absorción agregado grueso de ½”   | 112 |
| Tabla N°49. Ensayo para la determinación peso específico y absorción del agregado fino arena triturada                                 | 113 |
| Tabla N°50. Ensayo para la determinación peso específico y absorción del agregado fino arena lavada                                    | 113 |
| Tabla N°51. Recolección de datos del ensayo de límites de consistencia para el agregado fino   | 116 |
| Tabla N°52. Recolección de datos del ensayo de angularidad para el agregado fino   | 119 |
| Tabla N°53. Recolección de datos del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino  | 122 |
| Tabla N°54. Recolección de datos del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio agregado grueso                                      | 123 |
| Tabla N°55. Recolección de datos del ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos para % asfalto óptimo             | 126 |
| Tabla N°56. Recolección de datos del ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos para % grafito óptimo             | 127 |
| Tabla N°57. Recolección de datos del Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para Especímenes sin Grafito                               | 130 |
| Tabla N°58. Recolección de datos del ensayo de estabilidad y flujo Marshall para especímenes con grafito                               | 131 |
| Tabla N°59. Recolección de datos del ensayo cántabro   | 134 |



|   |     |
|---|-----|
| Tabla N°60. Recolección de datos del ensayo de daño inducido por humedad .....  | 137 |
| Tabla N°61. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso de 3/4” .....   | 139 |
| Tabla N°62. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso de 1/2” .....   | 140 |
| Fuente: Elaboración Propia .....  | 140 |
| Tabla N°63. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso de arena triturada .  | 141 |
| Tabla N°64. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso de arena lavada ....  | 142 |
| Tabla N°65. Combinación granulométrica de los agregados según MAC .....   | 143 |
| Tabla N°66. Pesos para moldeo de las probetas con y sin grafito .....   | 145 |
| Tabla N°67. Pesos de grafito en relación con la arena .....   | 146 |
| Tabla N°68. Cálculo del ensayo de abrasión los ángeles 1/2“ .....   | 147 |
| Tabla N°69. Cálculo del ensayo de abrasión los ángeles 3/4“ .....   | 148 |
| Tabla N°70. Cálculo de ensayo de partículas chatas y alargadas en agregado grueso de 1/2”<br>150  |     |
| Tabla N°71. Cálculo de ensayo de partículas chatas y alargadas en agregado grueso de 3/4”<br>151  |     |
| Tabla N°72. Cálculo de ensayo de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas<br>fracturadas del agregado grueso de 3/4” ..... | 153 |
| Tabla N°73. Cálculo de ensayo de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas<br>fracturadas del agregado grueso de 1/2” ..... | 154 |
| Tabla N°74. Cálculo de ensayo de peso específico y absorción 3/4” .....   | 156 |
| Tabla N°75. Cálculo de ensayo de peso específico y absorción 1/2” .....   | 157 |
| Tabla N°76. Cálculo de ensayo de peso específico y absorción arena triturada.....   | 157 |
| Tabla N°77. Cálculo de ensayo de peso específico y absorción arena lavada.....  | 158 |
| Tabla N°78. Cálculo de ensayo de límites de consistencia.....   | 159 |
| Tabla N°79. Cálculo de ensayo de angularidad de finos .....   | 160 |
| Tabla N°80. Cálculos durabilidad al sulfato de magnesio del agregado fino.....  | 161 |
| Tabla N°81. Cálculos durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso.....  | 162 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabla N°82. Cálculos de la gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas - % asfalto óptimo                 | 163 |
| Tabla N°83. Cálculo del peso unitario seco compactado - Rodillado ( $VCA_{DCR}$ ).....                           | 164 |
| Tabla N°84. Cálculo de la determinación del % de asfalto óptimo .....  | 164 |
| Tabla N°85. Requerimientos de parámetros volumétricos sin grafito.....   | 166 |
| Tabla N°86. Cálculos de la gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas - % grafito óptimo                 | 167 |
| Tabla N°87. Cálculo de la determinación del % de grafito óptimo .....  | 168 |
| Tabla N°88. Requerimientos de parámetros volumétricos con grafito.....   | 169 |
| Tabla N°89. Cálculo de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para especímenes sin grafito                       | 169 |
| Tabla N°90. Cálculo de ensayo de estabilidad y flujo Marshall para especímenes con grafito                       | 170 |
| Tabla N°91. Cálculo de ensayo de cántabro o pérdida por desgaste .....   | 171 |
| Tabla N°92. Cálculo de ensayo de resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad..... | 174 |
| Tabla N°93. Resultados del control de calidad del agregado grueso.....   | 175 |
| Tabla N°94. Resultados del control de calidad del agregado fino.....   | 179 |
| Tabla N°95. Resultado del Mezcla Asfáltica según MAC .....   | 182 |
| Tabla N°96. Requerimientos de parámetros volumétricos sin grafito.....   | 182 |
| Tabla N°97. Requerimientos de parámetros volumétricos con grafito.....   | 183 |
| Tabla N°98. Propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100 .                          | 187 |
| Tabla N°99. Análisis de Precio Unitario de mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100 sin grafito                 | 188 |
| Tabla N°100. Análisis de Precio Unitario de mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100 con grafito                | 188 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura N°1. Reparación de una vía .....   | 1  |
| Figura N°2. Agrietamiento en la carpeta asfáltica .....   | 2  |
| Figura N°3. Drenaje en la carpeta asfáltica deficiente .....  | 2  |
| Figura N°4. Estructura Típica de Pavimentos Asfálticos.....   | 11 |
| Figura N°5. Mezclas de Gradación Densa HMA.....   | 15 |
| Figura N°6. Mezclas Open-Graded.....  | 16 |
| Figura N°7. Mezclas Gap-Graded.....   | 17 |
| Figura N°8. Dimensiones de la partícula de Agregado.....  | 31 |
| Figura N°9. Aparato manual para Límite Líquido (Cuchara de Casagrande).....   | 38 |
| Figura N°10. Muestras del material a ensayar de Limite Liquido (Antes Y Después).....   | 39 |
| Figura N°11. Aparato para medir la Angularidad del Agregado Fino .....  | 44 |
| Figura N°12. Ilustración de gravedades específicas bulk, efectiva y aparente; vacíos de aire; y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas..... | 45 |
| Figura N°13. Vacíos en Agregado recubierto de Asfalto.....  | 46 |
| Figura N°14. Vacíos en Agregado Grueso, VCADRC .....  | 48 |
| Figura N°15. Vacíos del Agregado Grueso, $VCA_{MEZCLA}$ .....   | 49 |
| Figura N°16. Vacíos en el Agregado Mineral, VMA .....   | 49 |
| Figura N°17. Máquina de Estabilidad Marshall con anillo de carga .....  | 52 |
| Figura N°18. Grafito .....  | 58 |
| Figura N°19. Procedimiento de tamizado del grafito.....   | 89 |
| Figura N°20. Procedimiento obtención de agregado para la tesis .....  | 89 |
| Figura N°21. Cuarteo del agregado - Ensayo de análisis granulométrico .....   | 90 |
| Figura N°22. Pesado de la cantidad requerida - Ensayo de análisis granulométrico .....  | 91 |
| Figura N°23. Ordenado de los tamices según abertura - Ensayo de análisis granulométrico..   | 91 |
| Figura N°24. Tamizado de los agregados - Ensayo de análisis granulométrico .....  | 92 |
| Figura N°25. Pesado de cada tamiz de los agregados - Ensayo de análisis granulométrico....  | 92 |



|  |     |
|--|-----|
| Fuente: Elaboración Propia .....   | 92  |
| Figura N°26. Pesado del agregado - Ensayo de abrasión los ángeles .....  | 97  |
| Figura N°27. Agregado llevado al horno - Ensayo de abrasión los ángeles .....  | 97  |
| Figura N°28. Agregado metido en la máquina de los Ángeles - Ensayo de abrasión los ángeles<br>98                               |     |
| Figura N°29. Aseguramiento del cerrado de la máquina de los Ángeles - Ensayo de abrasión<br>los ángeles 98                     |     |
| Figura N°30. Tamizado del agregado - Ensayo de abrasión los ángeles .....  | 99  |
| Figura N°31. Enumerando cada piedra del agregado - Ensayo de partículas chatas y alargadas<br>en agregados 102                 |     |
| Figura N°32. Medición de las piedras con vernier y toma de datos- Ensayo de partículas chatas<br>y alargadas en agregados..... | 102 |
| Figura N°33. Separación de las piedras calibradas - Ensayo de partículas chatas y alargadas en<br>agregados 103                |     |
| Figura N°34. Pesado de las partículas calibradas - Ensayo de partículas chatas y alargadas en<br>agregados 103                 |     |
| Figura N°35. Selección del agregado - Ensayo de caras fracturadas.....   | 106 |
| Figura N°36. Tamices separados - Ensayo de caras fracturadas.....  | 107 |
| Figura N°37. Distribución de las caras fracturadas - Ensayo de caras fracturadas.....  | 107 |
| Figura N°38. Peso específico y absorción – Colocado en recipiente durante 24 hrs.....  | 110 |
| Figura N°39. Peso Específico y Absorción – Pesado de la muestra .....  | 111 |
| Figura N°40. Peso específico y absorción – Pesado del agregado grueso $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ".....                   | 111 |
| Figura N°41. Límites de consistencia - Materiales .....  | 114 |
| Figura N°42. Límites de consistencia – Trazado de la ranura .....  | 115 |
| Figura N°43. Límites de consistencia – Aumentando el contenido de humedad.....   | 115 |
| Figura N°44. Angularidad de finos – Calibración de la balanza y del molde.....   | 117 |
| Figura N°45. Angularidad de finos – Colocado al horno.....   | 117 |
| Figura N°46. Angularidad de finos – Tamizado .....   | 118 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura N°47. Angularidad de finos – Enrasado del material .....  | 119 |
| Figura N°48. Durabilidad del agregado al sulfato de magnesio – Tamizado .....                          | 120 |
| Figura N°49. Durabilidad del agregado al sulfato de magnesio – Colocado del reactivo .....             | 121 |
| Figura N°50. Durabilidad del agregado al sulfato de magnesio – Colocado al horno.....                  | 121 |
| Figura N°51. Probetas realizadas sin grafito y con grafito – Preparación de especímenes Marshall       | 124 |
| Figura N°52. Pesado de las probetas realizadas sin grafito y con grafito – Gravedad específica bulk    | 125 |
| Figura N°53. Pesado de las probetas sumergidas en agua – Gravedad Específica Bulk .....                | 125 |
| Figura N°54. Especímenes asfálticos – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall .....                     | 128 |
| Figura N°55. Proceso de elaboración de especímenes asfálticos – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall | 128 |
| Figura N°56. Medición de especímenes – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall.....                     | 129 |
| Figura N°57. Sumergido de Especímenes en baño maría – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall           | 130 |
| Figura N°58. Rotura de especímenes – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall .....                      | 130 |
| Figura N°59. Cántabro pérdida por desgaste – Introducción de los especímenes con grafito y sin grafito | 133 |
| Figura N°60. Cántabro pérdida por desgaste – Girar a una velocidad 33 rpm .....                        | 133 |
| Figura N°61. Registro de medidas de los especímenes – Ensayo al daño inducido por humedad              | 135 |
| Figura N°62. Especímenes sumergidos – Ensayo al daño inducido por humedad .....                        | 135 |
| Figura N°63. Probetas al vacío colocados en congeladora -18.1°C – Ensayo al daño inducido por humedad  | 136 |
| Figura N°64. Resultado del ensayo de abrasión de los ángeles .....                                     | 176 |
| Figura N°65. Resultado del ensayo de partículas chatas y alargadas .....                               | 176 |
| Figura N°66. Resultado del ensayo de caras Fracturadas - Una cara.....                                 | 177 |
| Figura N°67. Resultado del ensayo de caras fracturadas - Dos caras .....                               | 177 |
| Figura N°68. Resultado del ensayo de absorción.....  | 178 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura N°69. Resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio grueso .....    | 178 |
| Figura N°70. Resultado del ensayo de absorción.....                                     | 179 |
| Figura N°71. Resultado del ensayo de límite líquido .....                               | 180 |
| Figura N°72. Resultado del ensayo de angularidad de finos.....                          | 180 |
| Figura N°73. Resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio finos .....     | 181 |
| Figura N°74. Resultado de la mezcla asfáltica según MAC .....                           | 181 |
| Figura N°75. % de Vacíos (% Va) en función del % de asfalto en la mezcla .....          | 182 |
| Figura N°76. % de Vacíos (% Va) en función del % de grafito en la mezcla .....          | 183 |
| Figura N°77. Va de Mezclas asfálticas en caliente .....                                 | 184 |
| Figura N°78. VMA de Mezclas asfálticas en caliente .....                                | 184 |
| Figura N°79. $VCA_{mezcla}$ Mezclas asfálticas en caliente.....                         | 185 |
| Figura N°80. Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas en caliente .....               | 185 |
| Figura N°81. Flujo Marshall de mezclas asfálticas en caliente.....                      | 186 |
| Figura N°82. Ensayo de cántabro pérdida por desgaste.....                               | 186 |
| Figura N°83. Razón del esfuerzo a tensión (TSR) de mezclas asfálticas en caliente ..... | 187 |



## Capítulo I: Planteamiento del Problema

### 1.1. Identificación del problema

#### 1.1.1. Descripción del problema

El desarrollo en cada país es imprescindible, todos están en busca de un desarrollo que además sea sostenible y viable en todo sentido, es por ello que la necesidad de interconexión entre departamentos a nivel nacional ha tenido una mayor demanda durante estos últimos años. En su mayoría los proyectos de infraestructura vial de nuestra región, están ubicados por encima de los 3000 m.s.n.m., en los que se realiza con pavimentos convencionales, tales así rígidos o flexibles, y muchas veces dejando de cumplir con los requerimientos básicos, como son que cumpla con la vida útil proyectada y teniendo en cuenta que al estar ubicadas en estas zonas de bajas temperaturas produce efectos negativos como el agrietamiento de las vías y un posterior deterioro, dejando de satisfacer las necesidades de la población.

Otro problema presente en la región, es que no se da un adecuado mantenimiento ni mucho menos de rehabilitación al sistema de drenaje, lo cual produce que el sistema de agua y desagüe no abastezca con el volumen de agua generado por las constantes lluvias. Las consecuencias principalmente la sufren las pistas que al ser inundadas y con el agua infiltrada provocan humedad y debilitamiento, que conlleva al hundimiento y deterioro. Por ello, se necesita un buen diseño para que no sean destruidos y para que funcionen eficientemente después de la inundación.

Por otro lado, los agentes estabilizadores tienen un costo muy alto en el mercado, en este contexto se propone adicionar el grafito a nuestras mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100, que es un mineral el cual otorga dureza y así contar una alternativa en la aplicación de futuros proyectos en nuestra zona.



*Figura N°1. Reparación de una vía*

Fuente: (Manual de Carreteras Conservación Vial, 2013. MTC)



*Figura N°2. Agrietamiento en la carpeta asfáltica*

Fuente: (Ccasani Bravo. & Ferro Moina, 2017. Universidad Tecnológica de los Andes.)



*Figura N°3. Drenaje en la carpeta asfáltica deficiente*

Fuente: (Patologías en Pavimentos Asfálticos. Construmática)

### 1.1.2. Formulación interrogativa del problema

#### 1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál es el análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito?

#### 1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

- a) ¿Cuál es el análisis comparativo de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito?
- b) ¿Cuál es el análisis comparativo de la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito?
- c) ¿Cuál es el análisis comparativo de la pérdida por desgaste de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito?



d) ¿Cuál es el análisis comparativo de la resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito?

## 1.2. Justificación e Importancia de la investigación

### 1.2.1. Justificación técnica

En esta investigación se realizarán diversos ensayos en la rama de Pavimentos que nos permitirán analizar las propiedades físico-mecánicas para una de mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 en comparación a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito en distintos porcentajes, para ver si esta mejora las propiedades físico-mecánicas y supera a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100.

### 1.2.2. Justificación social

Esta investigación es beneficiosa para la población en general de toda la zona alta del Perú, donde existe mayor deterioro de la carpeta asfáltica disminuyendo la calidad de vida y volviéndolos así hasta casi no viables por su grado de afectación. Además de ello, tiene un gran aprovechamiento de un mineral, el grafito, que además se encuentra en nuestro medio diario como es el carbón del lápiz e incluso se encuentra dentro de las pilas alcalinas lo cual ayudaría a la disminución de contaminantes, ya que está en su proceso de degradación botan un ácido el cual es perjudicial para salud en los seres vivos, y de esta manera se puede aprovechar en recuperar parte de este, el cual disminuiría su contaminante.

### 1.2.3. Justificación por viabilidad

Esta investigación es viable ya que se pudo encontrar laboratorios particulares para la realización de las pruebas, los cuales cuentan con los protocolos de seguridad contra el covid-19 y lo más importante con los equipos e instrumentos básicos para el desarrollo de la tesis, para así primero realizar el control de calidad de los agregados tanto grueso como fino y verificar los requerimientos mínimos para el diseño de mezclas asfálticas, y por consiguiente se podrá analizar el comportamiento físico-mecánico de las mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100.

Los materiales a ser utilizados para la mezcla asfáltica en caliente son obtenidos de la cantera de Huambutio y la planta asfáltica ubicada en Caicay, y que además el grafito también es un mineral el cual es accesible por su disposición en el país, al igual que la emulsión asfáltica empleada en nuestra zona. También estaría la economía, ya que no es un material muy costoso y que además no se requieren grandes cantidades, volviéndolo así más económico.



#### 1.2.4. Justificación por relevancia

La realización de esta investigación resulta ser relevante para el desarrollo en la especialidad de pavimentos y en la gestión del grafito ya que se han realizado pocas investigaciones acerca de este análisis, es por ello que esta investigación será un aporte más al conocimiento de la mezcla asfáltica en caliente adicionada con este tipo de minerales y más aún con el asfalto PEN 85/100 que es perteneciente en cuanto a su uso a esta zona alta en el país.

Además, se llegaría a solucionar problemas concurrentes presentes en una carpeta asfáltica, para así mejorar su vida útil y llegar a mejorar la calidad de vida.

#### 1.3. Limitaciones de la Investigación

- La presente investigación se desarrollará en la Ciudad del Cusco. Los resultados obtenidos de los materiales utilizados, el clima y las condiciones de la zona, se limitarán a este territorio.
- Se limitará a utilizar el agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ " de la Cantera de Huambutio, agregado grueso de  $\frac{1}{2}$ " y el agregado fino de la Planta COPESCO – Caicay.
- Se limitará al uso las normas MTC y AASHTO, cumpliendo los requerimientos especificados en la EG 2013, tanto para los ensayos de calidad de los agregados y para los ensayos de las propiedades físico-mecánicas.
- Se limitará a la elaboración de briquetas por el método MARSHALL para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, la cantidad de golpes para la compactación es de 75 golpes, por el motivo de no provocar fracturas en los agregados gruesos al momento de compactar.
- Se limitará al uso del asfalto PEN 85/100.
- Se limitará el uso de Portland Tipo IP para el filler.

#### 1.4. Objetivo de la investigación

##### 1.4.1. Objetivo general

Analizar comparativamente las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito en 5%, 10%, 15% y 20%.

##### 1.4.2. Objetivos específicos

a) Analizar la comparación de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito.



- b) Analizar la comparación de la estabilidad y el flujo entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito.
- c) Analizar la comparación de la pérdida por desgaste entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito.
- d) Analizar la comparación de la resistencia al daño inducido por humedad entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 con adicionando grafito.

## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual

#### 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

##### TESIS N°01

- **TÍTULO:**  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL. (Tesis de pregrado)
- **INSTITUCIÓN:**  
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
- **AUTOR:**  
CANDIA PONCE DAISY GABRIELA  
CCORAHUA QUISPE VLADIMIR LENIN
- **AÑO:**  
2019

Según (Candia Ponce & Ccorahua Quispe, 2019):

El objetivo del trabajo es principalmente saber cómo realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas - físicas (Estabilidad Marshall, Porcentaje de vacíos de aire), de una mezcla bituminosa común en caliente típicamente basada en PEN 85/100, comparada con mezclas bituminosas en caliente compuesto de betún modificado con la adición de nanotubos de carbono (NTC)

*“El valor de la Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de carbono en porcentajes de 2% es de 1362 Kg, así mismo para el porcentaje de NTC al 3% es de 1396 Kg y para el porcentaje de NTC al 4% es de 1431 Kg, dichos valores cumplen con la*



*Estabilidad Marshall mínima de 815 Kg establecida para una mezcla asfáltica en caliente MAC-02, así mismo la Estabilidad Marshall de la mezcla con optimo C. A. que es de 1265 Kg, menor a las obtenidas de las mezclas modificadas.*“ (Candia Ponce & Ccorahua Quispe, 2019)

**CONCLUSIÓN DE LA TESIS:** En la actualidad, los nanotubos de carbono están siendo estudiados por grupos de investigación de todo el mundo, por lo que este trabajo puede ser un punto de partida para futuros trabajos de investigación, ya que aún se dispone de referencias y bibliografías aún escasas. La tesis enfatiza la mejora de calidad de la mezcla modifica por grafito brindándole sus propiedades. Además, cabe mencionar que estamos interesados en seguir investigando en base a los resultados de esta tesis.

**APORTE:** Diseño de compuestos bituminosos con los nanotubos de carbono, aplicables a diversas disciplinas de la ingeniería por sus propiedades electrónicas, térmicas y mecánicas; Como se mencionó, sumado a la mezcla asfáltica en caliente, hace resistente a cargas y esfuerzos extremos ya que mejora según los resultados de esta tesis en los resultados del ensayo de Estabilidad Marshall.

#### 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

##### **TESIS N°01**

- **TÍTULO:**

MEJORAMIENTO DEL ASFALTO 60/70 Y LA MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2 CON NANOTUBOS DE CARBONO OBTENIDOS A PARTIR DE METANO VÍA CATALÍTICA

- **INSTITUCIÓN:**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA FACULTAD DE INGENIERÍA DE BOGOTÁ, COLOMBIA.

- **AUTOR:**

ING. JIMÉNEZ TÉLLEZ, GABRIEL ALEJANDRO.

- **AÑO:**

2012

Según (Ing. JimenezTellez Gabriel Alejandro, 2012)

Este estudio tiene como objetivo observar el comportamiento de los nanotubos de carbono ante la fatiga mediante la aplicación de diferentes cargas (KPa) dando mejores resultados para los compuestos con NTC comparadas con las tradicionales.



*“Para la mezcla asfáltica MDC-2 modificada con NTC la resistencia a la fatiga aumenta respecto a la mezcla convencional. Se aprecian mayores diferencias para niveles de esfuerzo bajos, 200 (KPa), donde se presentan aumentos en la resistencia de la mezcla modificada de 151,8%, los resultados en promedio son superiores para esta en un 63,6%. La pendiente de la ley de fatiga disminuyó un 6,88%, mientras que el esfuerzo para un millón de ciclos de carga ( $\sigma_6$ ) aumentó un 6,49% con respecto a la mezcla convencional” (Jiménez G, 2012, p.103).*

**CONCLUSIÓN DE LA TESIS:** Esto implicó realizar análisis y estudiar el efecto de la adición de nanotubos de carbono sobre el asentamiento y la resistencia a la fatiga del compuesto 60/70 y el compuesto MDC2 como una contribución a la búsqueda de mejores materiales para carreteras obteniendo resultados favorables.

**APORTE:** Los nanotubos de carbono se pueden utilizar para mejorar las propiedades geológicas del asfalto, aumentar los niveles de actividad y reducir la sensibilidad a la fatiga. Además, en el compuesto bituminoso con la adición de nanotubos de carbono (en peso 2%) aumenta la resistencia al asentamiento y a la fatiga, así como la rigidez, en relación al módulo dinámico, lo que contribuye al aumento de la vida útil de la estructura. Por lo tanto, muy económico.

#### **TESIS N°02**

- **TÍTULO:**  
MEZCLAS ASFÁLTICAS CON BETUNES MODIFICADOS CON NANOTUBOS DE CARBONO. DISEÑO Y PROPIEDADES
- **INSTITUCIÓN:**  
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA-LOJA, ECUADOR.
- **AUTOR:**  
ING. RAMOS PAUL EDUARDO.
- **AÑO:**  
2018

Según (Ing. Eduardo Ramos Paul, 2018):

Se logró estudiar el comportamiento de los NTC y comparar por metodología Marshall logrando observar su mejoría frente al asfalto tradicional o convencional también se logró estudiar su mejora frente a las altas y bajas temperaturas brindan una excelente alternativa a las variaciones de temperatura a las que está expuesta la capa asfáltica.



*“La segunda metodología mostró valores altos de estabilidad, cumpliendo con los parámetros del estudio, además es una metodología de fácil aplicación en el campo industrial, motivo por el que se decidió aplicarla a lo largo del estudio.*

*Los Nanotubos de carbono en la estructura de la mezcla asfáltica son capaces de incrementar la estabilidad con lo cual el espesor de la capa es menor con respecto a la mezcla de control lo que contribuye a una reducción de costo.*

*En cuanto al punto de ablandamiento, las muestras modificadas que contienen mayor adición de nanotubos (1% en peso) fueron de 54 grados, pudiendo utilizarlo en áreas de temperaturas alta. (Suarez, P. 2018 p.48).*

**CONCLUSIÓN DE LA TESIS:** En este estudio fue la dispersión de nanotubos de carbono para el asfalto AC-20 mediante dos metodologías y comparar las mezclas asfálticas convencionales con las mezclas asfálticas modificadas través del método Marshall Comparando los resultados se mostró una mejora en la estabilidad del 72% en el asfalto modificado con el 1% de nanotubos en peso en relación a la muestra control.

**APORTE:** Se han desarrollado betunes con diversos grados de nanotubos de carbono que cumplen con las especificaciones de validez para uso en mezclas en caliente. Las mezclas convencionales realizadas con los mencionados betunes provocan problemas de sensibilidad al agua debido a la elevada superficie específica. Los NTC en los bitúmenes modificado mostró un cambio en su comportamiento eléctrico de aislante a semiconductor con un valor de conductividad superior a  $10^3 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  y una acción favorable respecto a la variación de temperaturas.

## 2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes

### 2.2.1. Material Asfáltico

Según (Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones, 2011)

Cuando hablamos de un material barato y de fácil aplicación estable duradero he ideal para construir carreteras y aparcamientos nos referimos al asfalto, en ingeniería es posible diseñar carreteras con pavimento asfalto que soporten el tráfico de millones de vehículos a lo largo del año. Consta de 3 componentes: la grava, la arena y el asfalto (betún) el cual se separa del petróleo crudo en las refinerías, así como se destilan otros componentes carbón he hidrogeno.



#### 2.2.1.1 Clasificación de material asfáltico

Según (Asphalt Institute, 1996)

- Asfaltos sólidos o duros.
- Asfaltos líquidos.
  - Asfalto de curado rápido.
  - Asfalto de curado medio.
  - Asfalto de curado lento.
- Asfaltos emulsificados.
- Asfaltos oxidados o sopladados.
- Otros tipos.

#### 2.2.1.2 Propiedades físicas

El asfalto es un material aglomerante, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero; capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de calor o cargas permanentes. Componente natural de la mayor parte de los petróleos, en los que existe en disolución y que se obtiene como residuo de la destilación al vacío del crudo pesado. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Su color varía entre el café oscuro y el negro; de consistencia sólida, semisólida o líquida, dependiendo de la temperatura a la que se exponga o por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación. (UNAM, 2019)

#### 2.2.1.3 Propiedades químicas

El asfalto está constituido por combinaciones de hidrogeno y carbono como también azufre, oxígeno, nitrógeno y otro metal. Todos estos materiales están en diferentes proporciones dependiendo del origen del petróleo crudo. (Alejandro, 2012)

#### 2.2.1.4. Rendimiento aproximado de los asfaltos de pavimentación

El siguiente cuadro nos muestra el rendimiento aproximado de los asfaltos de acuerdo a su aplicación; al respecto es importante indicar que se trata de una guía aproximada. Para el efecto de cálculos de mayor exactitud es importante considerar los siguientes aspectos: diseño en función, tipo de mezcla y otros factores como: clase de suelo, clima, terreno, intensidad del tránsito y material disponible para la mezcla.

Tabla N°1. Cuadro de rendimiento del asfalto de pavimentación



| CLASE DE ASFALTO   | USO   | RENDIMIENTO                                    |
|--|---|--|
| CEMENTO ASFÁLTICO<br>40-50 PEN, 60-70 PEN,<br>85-100 PEN y 120-150 PEN | MEZCLA EN CALIENTE                              | 30 gl/m3 mezcla                                |
|  | CONCRETO ASFÁLTICO                              | 4 – 7% peso total de la mezcla                 |
| ASFALTO LIQUIDO RC-250   | ADHESIÓN NUEVA CARPETA<br>ASFÁLTICA Y EXISTENTE | 0.05 gl/m2                                     |
|  | SELLADO   | 0.3 gl/m2                                      |
|  | MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO                        | 1.5 - 2.0 gl/m2                                |
|  | PINTURA IMPERMEABILIZANTE                       | 1 gl/ 5 a 10 m2 (según espesor<br>de película) |

Fuente:(e-asfalto.Pavimentos.Sitio web: <http://www.e-asfalto.com/pavimentos/pavimentos.htm>)

## 2.2.2. Pavimentos

### 2.2.2.1. Concepto básico

Un pavimento es una estructura compuesta por varias capas que están dispuestas una sobre otras de manera casi horizontal la función que cumple es recibir la carga producto de los vehículos o tránsito y transmitir las a los estratos inferiores de manera ya disipada.

- Un pavimento tiene que ser durable, económico, correctos drenajes
- El pavimento tiene que brindar confort, las texturas del pavimento tiene que ser adecuadas
- El tema de las texturas, no debe tener una superficie reflectante porque esto puede causar problemas de tránsito.

(Vivar, G., 1995)

### 2.2.2.2. Estructura de un pavimento asfáltico

Según (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

La estructura que se apoya sobre el terreno de fundación o subrasante, y que está conformado por capas de materiales de diferentes calidades y espesores, que obedecen a un diseño estructural, se denomina pavimento. La estructura del pavimento está destinada a soportar las cargas provenientes del tráfico.

Los pavimentos asfálticos están conformados por una carpeta asfáltica apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y sub base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares del proyecto. La distribución típica de las capas que conforman la estructura del pavimento se grafica en la figura.

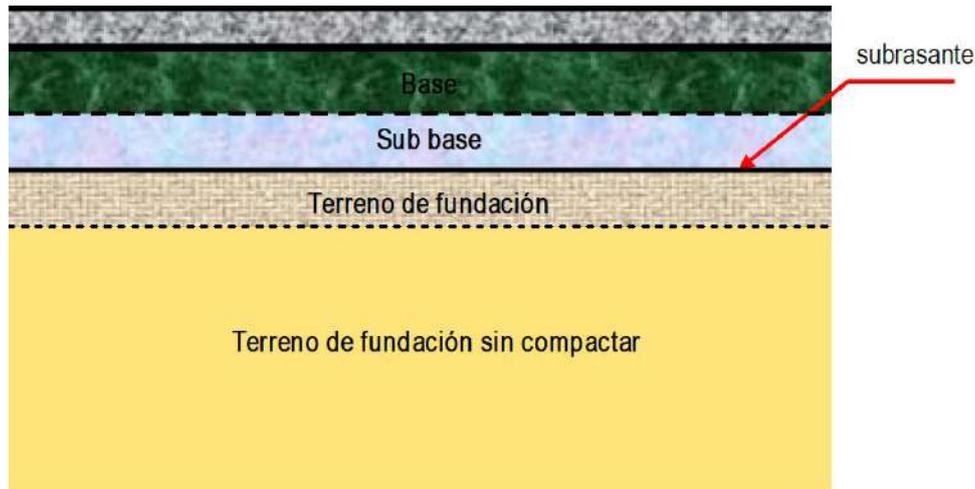


Figura N°4. Estructura Típica de Pavimentos Asfálticos

Fuente: (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

#### 2.2.2.2.1. Carpeta Asfáltica

La carpeta asfáltica o capa de rodamiento proporciona una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color adecuado, que debe resistir los efectos abrasivos provenientes del tránsito y del medio ambiente. (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

(Universidad Mayor de San Simón, 2004) Detalla que, la capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

#### 2.2.2.2.2. Base

La capa de base, generalmente granular, es una capa que se apoya sobre la sub base. La función de esta capa es transmitir los esfuerzos provenientes del tráfico, a la sub base y subrasante. Los requisitos de calidad de agregados de base son muy rigurosos. Esta capa está conformada por grava chancada, compactada al 100% de la máxima densidad seca del ensayo Proctor modificado. (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) Este trabajo consiste en la construcción de una o más capas de materiales granulares, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, con inclusión o no de algún tipo de estabilizador o ligante, debidamente aprobados, que se colocan sobre una subbase, afirmado o subrasante.



(Universidad Mayor de San Simón, 2004) Detalla que, la capa base tiene las siguientes funciones:

- Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas sub-base y suelo natural.
- Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.
- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

#### 2.2.2.2.3. Sub Base

La sub base, es una capa que según el diseño puede o no colocarse. Se apoya sobre la subrasante y los requisitos de calidad de los materiales que la conforman son menos rigurosos, la razón de esto es que los esfuerzos verticales que se transmiten a través de las capas de pavimentos son mayores en la superficie y van disminuyendo a medida que se profundizan. La sub base es la capa de material seleccionado, más profunda de la estructura del pavimento, razón por la que los materiales que la conforman cumplen requisitos menos rigurosos. (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) Este trabajo consiste en la construcción de una o más capas de materiales granulares, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, debidamente aprobados, que se colocan sobre una superficie preparada.

Según (Universidad Mayor de San Simón, 2004) La capa sub-base está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo compactado y se utiliza para permitir la reducción del espesor de la capa base.

#### 2.2.2.2.4. Terreno de Fundación

El terreno de fundación puede estar conformado por un terraplén (caso de rellenos) o terreno natural en el caso de cortes, para ambos casos, la cota geométrica superior se denomina subrasante. (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

#### 2.2.3. Mezcla Asfáltica

Según (Arias. G.; Leonel, G. & Rodriguez, J, 2013) Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.



Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de firmes, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

- La mezcla asfáltica debe ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito.
- Debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad.
- Debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos.
- Debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

### 2.2.3.1. Tipos de Mezclas Asfálticas en Caliente

Según (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

Las mezclas asfálticas en caliente o hot-mix asphalt (HMA) se utilizan para diferentes tipos de tráfico y diferentes condiciones medioambientales, debiendo los materiales y diseño cumplir con los requisitos del proyecto.

HMA se divide en tres tipos de mezclas: de gradación densa, open-graded o mezclas abiertas o porosas y gap-graded o mezclas de granulometría incompletas. La Tabla N°2 presenta los tipos de mezclas de acuerdo a las características granulométricas.

Tabla N°2. Tipos de Mezclas Asfálticas en caliente

| Tabla B.1 Tipos de Mezclas Asfálticas en Caliente                                  |                                    |                            |
|--|------------------------------------|----------------------------|
| Gradación densa  | Open-garded                        | Gap-graded                 |
| Convencional<br>Tamaño máximo nominal usualmente de 12.5 a 19mm (0.5 a 0.75 pulg.) | Porous friction course             | Gap-graded convencional    |
| Large-stone<br>Tamaño máximo nominal usualmente de 25 a 37.5mm (1 a 1.5 pulg.)     | Base permeable tratada con asfalto | Stone Mastic Asphalt (SMA) |
| Arena asfalto<br>Tamaño máximo nominal menos que 9.5 mm (0.375pulg.)               |                                    |                            |

Fuente: ( Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

- Las gradaciones densas se subdividen en gradación continua o HMA convencional, large-stone mix, y mezcla arena-asfalto.



- Las mezclas open-graded se dividen en open-graded friction course, OGFC y base permeable tratada con asfalto.
- El tipo gap-graded abarca mezclas de concreto asfáltico gap-graded y mezclas stone mastic asphalt, SMA.

La Federal Highway Administration, FHWA junto con la National Asphalt Pavement Association, NAPA prepararon una guía para la apropiada selección del tipo de mezcla que considera factores como el tráfico, medio ambiente, subrasante, condiciones del pavimento existente y su preparación, y evaluación económica.

a. Mezclas de gradación densa HMA

HMA de gradación densa están compuestas por ligante de cemento asfáltico y agregado de gradación continua. Las mezclas convencionales de HMA consisten de agregados de tamaño máximo nominal en el rango de 12.5 mm (0.5 pulg.) a 19 mm (0.75 pulg.).

Large-stone mix contienen agregados gruesos con un tamaño máximo nominal mayor que 25 mm (1 pulg.). Estas mezclas tienen un mayor porcentaje de agregados gruesos que las mezclas convencionales (más grandes que el tamiz 4.75 mm o N°4). Por el mayor tamaño de los agregados, el esfuerzo de compactación aplicado a la mezcla debe ser monitoreado para prevenir fracturas excesivas de los agregados mayores durante el proceso de compactación.

Asfalto-arena está compuesto por agregado que pasa el tamiz 9.5 mm o 0.375 pulg. El contenido de ligante en la mezcla es mayor que para mezclas HMA convencionales porque se incrementan los vacíos en el agregado mineral de la mezcla. Las arenas usadas en este tipo de mezcla son arenas chancadas o naturales de textura rugosa, la resistencia a las deformaciones permanentes de este tipo de mezclas es típicamente muy bajo.

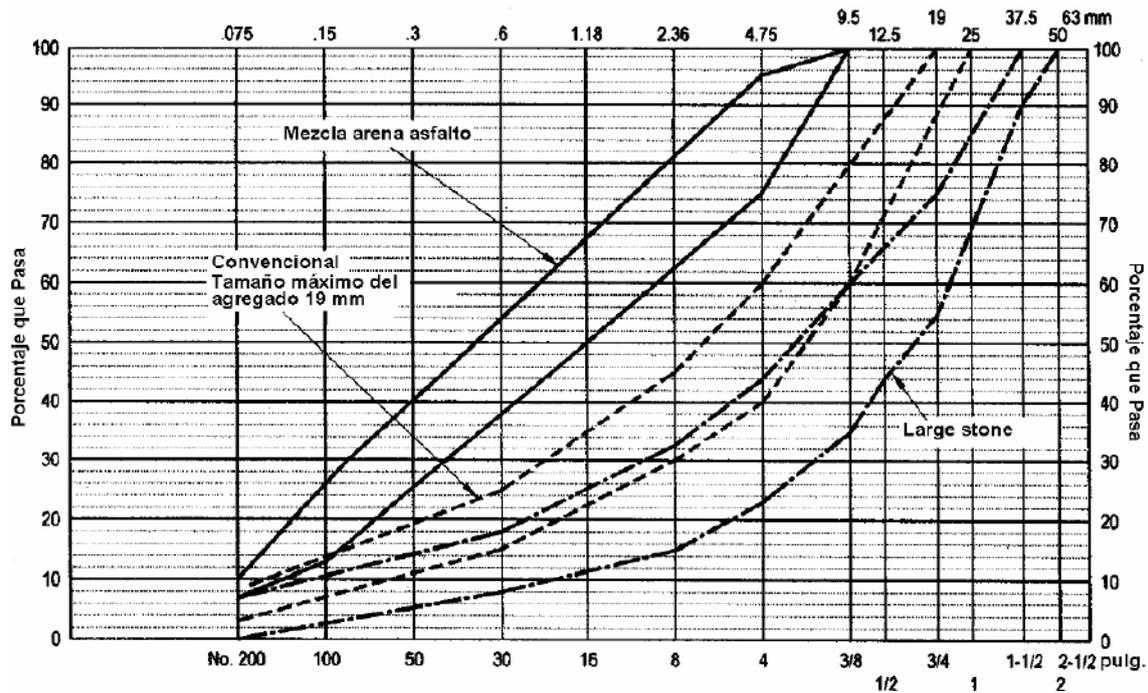


Figura N°5. Mezclas de Gradación Densa HMA

Fuente: (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

#### b. Mezclas Open-Graded

Las mezclas open-graded consisten de una gradación relativamente uniforme y ligante de cemento asfáltico o ligante modificado. El principal propósito de este tipo de mezclas es servir como una capa drenante, tanto en la superficie del pavimento o dentro de la estructura del pavimento.

Como se indicó, hay dos tipos de mezclas open-graded. El primer tipo de mezcla es utilizada como una superficie gruesa para proporcionar drenaje libre en la superficie y prevenir los encharcamientos, reduce las salpicaduras de las llantas, y reduce el ruido de las llantas. Este tipo de mezcla es frecuentemente definido como open-graded friction course OGFC.

El segundo tipo de mezcla, denominado base permeable tratada con asfalto, comprende una gradación uniforme de tamaño máximo nominal mayor que las usadas en OGFC –19 mm (0.75 pulg.) a 25 mm (1 pulg.) y se usa para drenar el agua que entra a la estructura del pavimento desde la superficie o de la subrasante.

La producción de las mezclas open-graded es similar a las mezclas de gradación densa. Se usan temperaturas de mezcla menores para prevenir el escurrimiento del asfalto caliente o draindown durante el almacenamiento o traslado al lugar del proyecto. El esfuerzo de compactación por lo general es menor que las mezclas de gradación densa.

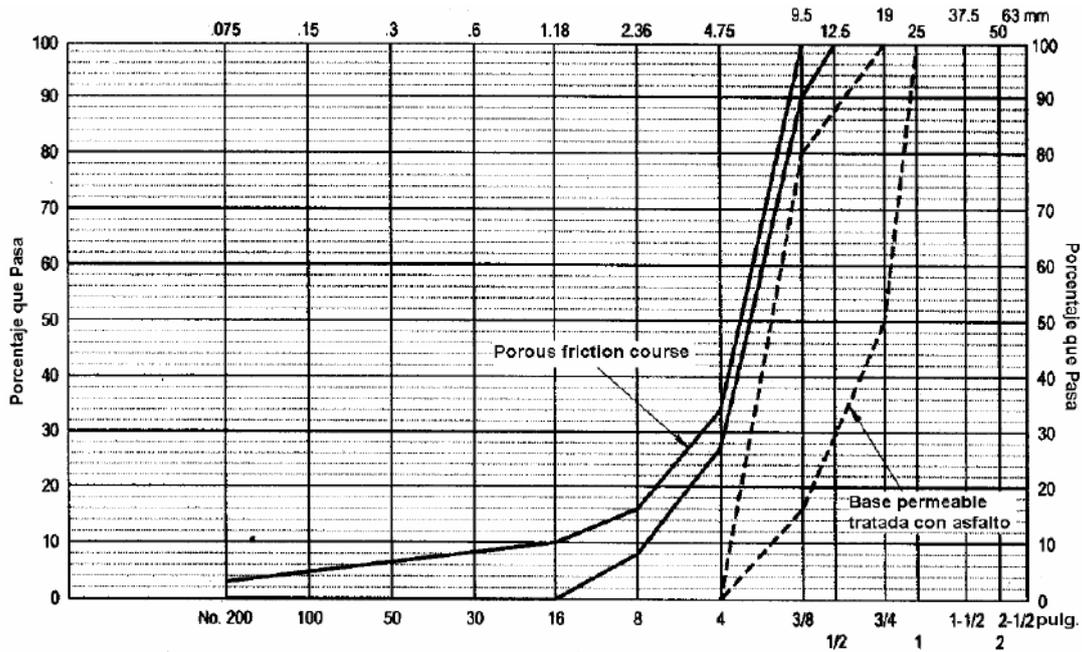


Figura N°6. Mezclas Open-Graded

Fuente: (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

c. Mezclas Gap-Graded

La función de las mezclas gap-graded es similar a las mezclas de gradación densa porque estas también proporcionan capas densas impermeables cuando la compactación es apropiada. El rango de los agregados va desde gruesos hasta finos, con poca presencia de tamaños intermedios.

El segundo tipo de mezclas gap-graded es el stone mastic asphalt, SMA. La producción de mezclas SMA requiere la incorporación de significativas cantidades de filler mineral al agregado normal de tal manera que alcance del 8 al 10% de material que pasa el tamiz 0.075 mm o no. 200.

Como en las mezclas open-graded la temperatura de descarga de la mezcla necesita ser controlada para prevenir el escurrimiento o draindown del ligante durante el almacenamiento o transporte. Las fibras y/o polímeros son normalmente usados con SMA para prevenir el draindown.

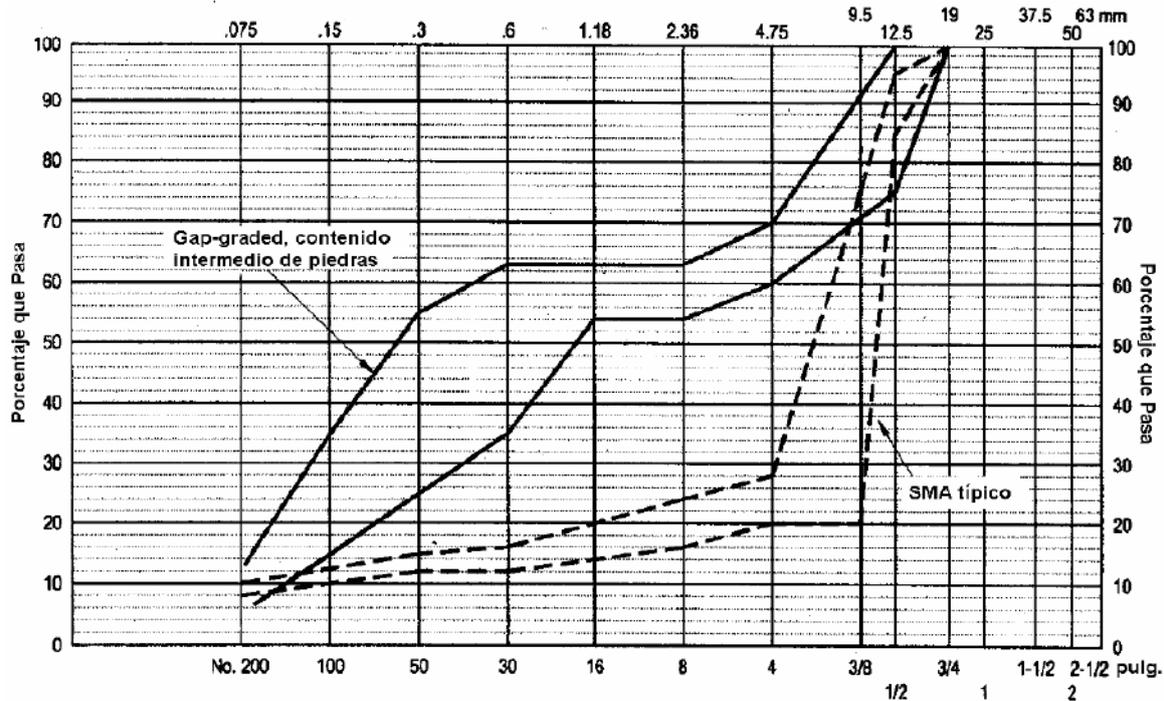


Figura N°7. Mezclas Gap-Graded

Fuente: (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

### 2.2.3.2. Consideraciones en el Diseño de Mezclas Asfálticas

#### 2.2.3.2.1. Características del Diseño de Mezclas Asfálticas

Según (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006) al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben lograr las siguientes características:

La densidad de la mezcla es la relación entre el peso de la mezcla por unidad de volumen. Si bien es cierto que esta característica no es utilizada en el diseño de la mezcla, se emplea para los controles de compactación. A la mezcla asfáltica compactada en el laboratorio se le asigna la densidad patrón y será ésta el punto de referencia en los controles.

Los vacíos de aire o vacíos están conformados por el aire atrapado en la mezcla compactada. A menor porcentaje de vacíos de aire la mezcla será menos permeable. En el diseño de mezclas convencionales, los vacíos de aire están entre 3 a 5% en laboratorio, pero en campo se permite tener vacíos de aire no mayores al 8% permitiendo que la carpeta se compacte bajo tránsito.

La densidad de la mezcla está en función del contenido de vacíos, mezclas con menor porcentaje de vacíos serán más densas, y viceversa. Un alto porcentaje de vacíos de aire resulta en una mezcla porosa, que permite el paso del agua a través de su estructura, pero además puede causar deterioro debido a que hay mayor porcentaje de aire. Bajos porcentajes de vacíos de aire son perjudiciales en la mezcla, debido a que cuando soporta la carga de tránsito la carpeta se



comprime y el asfalto se acomoda en los vacíos atrapados, si el número de vacíos es pequeño, el asfalto no podrá acomodarse en el interior y tendrá que salir a la superficie, esto se conoce como exudación.

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) consideran los volúmenes ocupados por los vacíos de aire atrapados y el asfalto efectivo. El diseño considera un porcentaje mínimo de VMA dependiendo del tamaño del agregado. Si el porcentaje del VMA es bajo la película de asfalto será delgada y la mezcla será susceptible a oxidación. Con altos porcentajes de VMA la película de asfalto será más gruesa y la mezcla será más durable.

Una graduación densa puede reducir el porcentaje de VMA, reduciendo la película de asfalto y, por consiguiente, reduciendo la durabilidad de la mezcla y dándole un aspecto seco.

El contenido de asfalto es el porcentaje de asfalto que se incorpora en la mezcla. Parte del asfalto será absorbido por el agregado y el resto de asfalto formará una película que rodean las partículas. A los primeros se les denomina asfalto absorbido y al segundo asfalto efectivo.

El óptimo contenido de asfalto de la mezcla está en función de la granulometría y el porcentaje de absorción del material. Mezclas con alto porcentaje de filler (mayor superficie específica) requerirán mayor porcentaje asfalto, por ejemplo, las mezclas SMA tienen más porcentaje de asfalto que una mezcla convencional y Superpave. Mezclas porosas (% filler menor de 2%) necesitan menor porcentaje de asfalto.

#### 2.2.3.2.2. Propiedades del diseño de mezclas asfálticas

Según (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006) al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben considerar las siguientes propiedades:

La estabilidad está relacionada con la capacidad del asfalto para soportar deformaciones bajo cargas de tránsito y resistir el desplazamiento horizontal, depende de la fricción y cohesión interna. La fricción se relaciona con la geometría y textura de la partícula; la cohesión se relaciona con las características del ligante.

Los agregados que forman parte de mezclas asfálticas deben ser de caras fracturadas y superficie rugosa, generalmente provenientes de chancado. Los agregados con estas características tienen una mejor trabazón y mayor resistencia cortante, caso contrario al de agregados con partículas redondeadas que se deslizan una sobre otras.



La durabilidad de la mezcla se relaciona a la capacidad del agregado a la desintegración, a la capacidad del asfalto a reaccionar con el medio y a evitar que el asfalto se desprenda del agregado.

Los agregados que forman parte de mezclas asfálticas, no sólo deben cumplir con especificaciones granulométricas, sino también de calidad. Las presiones que soportarán los agregados, sobre todo en sus aristas son altas, por lo tanto, deben ser duros y muy resistentes. Para que no exista riesgo de peladuras (desprendimiento de la película de asfalto) los agregados deben ser hidrofóbicos.

La impermeabilidad es la capacidad del medio para evitar el paso de aire y agua. Esta definición se relaciona con el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada y el acceso que estos vacíos tengan con la superficie.

Mezclas porosas son diseñadas con la finalidad de permitir que el agua proveniente de las lluvias drene rápidamente a través de ellas. El alto porcentaje de vacíos de aire de este tipo de mezclas facilitaría la oxidación del asfalto; sin embargo, esta condición se reduce usando asfaltos modificados.

La trabajabilidad de la mezcla es la facilidad con que la mezcla se coloca y compacta. Mezclas con alto porcentaje de fracción gruesa o alto porcentaje de filler son poco trabajables. Las mezclas del tipo open graded (mezclas porosas) y gap-graded (como las Stone Mastic Asphalt) tienden a segregarse y son difíciles de compactar. Mezclas con alto porcentaje de filler puede hacer que la mezcla se vuelva muy rígida evitando su adecuada compactación.

Controlar la temperatura de compactación en la mezcla es muy importante, debido a que las mezclas frías son semi-rígidas a rígidas y no permiten su compactación dejando alto porcentaje de vacíos de aire.

Mezclas flexibles resisten las deformaciones sin agrietarse. El terreno de fundación se asentará con los años debido al servicio, este asentamiento se reflejará en la superficie y la carpeta deberá acomodarse sin agrietarse.

La carpeta asfáltica está soportando constantemente la acción de cargas cíclicas, este tipo de cargas origina que la carpeta se flexione constantemente. La resistencia a la fatiga es la resistencia a esta flexión, esta característica está íntimamente relacionada al asfalto, asfaltos oxidados no son resistentes a la fatiga.

Los agrietamientos por fatiga surgen en la fibra inferior de la carpeta asfáltica cuando ésta trabaja a tracción, y se reflejan en la superficie denominándose piel de cocodrilo.



La superficie de rodadura debe reducir la posibilidad que la llanta se deslice sobre ella, sobre todo en épocas de lluvia, esto se define como resistencia al deslizamiento. Mezclas porosas fueron pensadas para evitar el hidroplaning (encharcamiento de agua en la superficie, posiblemente por efecto de las lluvias) y deprimir el agua inmediatamente se encuentre en la superficie.

Carpetas asfálticas con partículas redondeadas son menos resistentes al deslizamiento que las carpetas formadas por partículas duras y de textura rugosa.

#### 2.2.4. Pavimento de concreto asfáltico en caliente

##### 2.2.4.1. Generalidades

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013), este trabajo consistirá en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y su colocación en una o más capas sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el Proyecto.

##### 2.2.4.2. Materiales

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013), los materiales a utilizar serán los que se especifican a continuación:

###### a) Agregados minerales gruesos

Se aplica en lo que corresponda en las especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración. Los agregados gruesos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la tabla:

Tabla N°3. Requerimientos para los agregados gruesos

| Ensayos                              | Norma     | Requerimiento  |           |
|--------------------------------------|-----------|----------------|-----------|
|                                      |           | Altitud (msnm) |           |
|                                      |           | ≤3.000         | >3.000    |
| Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) | MTC E 209 | 18% máx.       | 15% máx.  |
| Abrasión Los Ángeles                 | MTC E 207 | 40% máx.       | 35% máx.  |
| Adherencia                           | MTC E 517 | +95            | +95       |
| Índice de Durabilidad                | MTC E 214 | 35% mín.       | 35% mín.  |
| Partículas chatas y alargadas        | ASTM 4791 | 10% máx.       | 10% máx.  |
| Caras fracturadas                    | MTC E 210 | 85/50          | 90/70     |
| Sales Solubles Totales               | MTC E 219 | 0,5% máx.      | 0,5% máx. |
| Absorción *                          | MTC E 206 | 1,0% máx.      | 1,0% máx. |

\* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)



b) Agregados minerales finos

Se aplica en lo que corresponda en las especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración. Adicionalmente deberá cumplir con los requerimientos de la tabla:

Tabla N°4. Requerimientos para los agregados finos

| Ensayos                               | Norma        | Requerimiento      |           |
|---------------------------------------|--------------|--------------------|-----------|
|                                       |              | Altitud (m.s.n.m.) |           |
|                                       |              | ≤ 3.000            | > 3.000   |
| Equivalente de Arena                  | MTC E 114    | 60                 | 70        |
| Angularidad del agregado fino         | MTC E 222    | 30                 | 40        |
| Azul de metileno                      | AASTHO TP 57 | 8 máx.             | 8 máx.    |
| Índice de Plasticidad (malla N.º 40)  | MTC E 111    | NP                 | NP        |
| Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)  | MTC E 209    | -                  | 18% máx.  |
| Índice de Durabilidad                 | MTC E 214    | 35 mín.            | 35 mín.   |
| Índice de Plasticidad (malla N.º 200) | MTC E 111    | 4 máx.             | NP        |
| Sales Solubles Totales                | MTC E 219    | 0,5% máx.          | 0,5% máx. |
| Absorción* *                          | MTC E 205    | 0,5% máx.          | 0,5% máx. |

\*\*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

c) Gradación

La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberá ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones y serán propuestas por el Contratista y aprobadas por el Supervisor.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido en el acápite (a) y (b) de esta Subsección, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas deleznales según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

1. Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la tabla. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto.



Tabla N°5. Porcentajes que pasa según MAC

| Tamiz            | Porcentaje que pasa |        |       |
|------------------|---------------------|--------|-------|
|                  | MAC -1              | MAC-2  | MAC-3 |
| 25,0 mm (1")     | 100                 |        |       |
| 19,0 mm (3/4")   | 80-100              | 100    |       |
| 12,5 mm (1/2")   | 67-85               | 80-100 |       |
| 9,5 mm (3/8")    | 60-77               | 70-88  | 100   |
| 4,75 mm (N.º 4)  | 43-54               | 51-68  | 65-87 |
| 2,00 mm (N.º 10) | 29-45               | 38-52  | 43-61 |
| 425 µm (N.º 40)  | 14-25               | 17-28  | 16-29 |
| 180 µm (N.º 80)  | 8-17                | 8-17   | 9-19  |
| 75 µm (N.º 200)  | 4-8                 | 4-8    | 5-10  |

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

d) Filler o polvo mineral

El filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada, que deberá cumplir la norma AASHTO M-303 para la presente tesis se utilizara el cemento gris Portland, tipo IP, ya que al ser cambiando con agua, forma una pasta que fragua, brindando resistencia y estabilidad.

La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall.

e) Cemento asfáltico

El Cemento Asfáltico deberá cumplir con lo especificado y los equivalentes al PG (Grado de Comportamiento-AASHTO M-320) especificados en las diferentes tablas de la EG 2013, basados en el clima y temperatura de la zona.

f) Fuentes de provisión o canteras

Se aplica lo indicado en la EG 2013. Adicionalmente el Supervisor deberá aprobar los yacimientos de los agregados, relleno mineral de aportación y cemento asfáltico, antes de procederse a la entrega de dichos materiales.

2.2.4.3. Requerimiento de construcción

2.2.4.3.1. Mezcla de agregados

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en la Tabla N°6 y Tabla N°7, según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto.

Tabla N°6. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

| Parámetro de Diseño  | Clase de Mezcla  |         |         |
|--|------------------|---------|---------|
|  | A                | B       | C       |
| <b>Marshall MTC E 504</b>  |                  |         |         |
| 1. Compactación, número de golpes por lado                             | 75               | 50      | 35      |
| 2. Estabilidad (mínimo)  | 8,15 kN          | 5,44 kN | 4,53 kN |
| 3. Flujo 0,01" (0,25 mm)   | 8-14             | 8-16    | 8-20    |
| 4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)                       | 3-5              | 3-5     | 3-5     |
| 5. Vacíos en el agregado mineral                                       | Ver Tabla 423-10 |         |         |
| <b>Inmersión – Compresión (MTC E 518)</b>                              |                  |         |         |
| 1. Resistencia a la compresión Mpa mín.                                | 2,1              | 2,1     | 1,4     |
| 2. Resistencia retenida % (mín.)                                       | 75               | 75      | 75      |
| Relación Polvo – Asfalto (2)   | 0,6-1,3          | 0,6-1,3 | 0,6-1,3 |
| Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)                                 | 1.700-4.000      |         |         |
| Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283 | 80 Mín.          |         |         |

- (1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.  
 (2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.  
 (3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.  
 (4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como:  $\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$ .

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Tabla N°7. Requisitos de adherencia

| Ensayos   | Norma        | Requerimiento |          |
|---|--------------|---------------|----------|
|   |              | < 3.000       | > 3.000* |
| Adherencia (Agregado grueso)                              | MTC E 517    | +95           | -        |
| Adherencia (Agregado fino)                                | MTC E 220    | 4 mín.**      | -        |
| Adherencia (mezcla)                                       | MTC E 521    | -             | +95      |
| Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta | AASHTO T 283 | -             | 80 Mín.  |

\* Mayor a 3000 msnm y zonas húmedas ó lluviosas

\*\* Grado inicial de desprendimiento

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

Para zonas de alturas mayores a 3000 msnm. ó zonas húmedas y lluviosas; la efectividad, compatibilidad y alto rendimiento del aditivo entre el par asfalto – agregado en cada uno de los diseños de mezcla, será evaluado según EG 2013 ó en el caso de evaluarse con la norma ASTM D-1075 y/o ASTM D-4867 (Lottman Modificado), debe obtener valores mínimos de ochenta por ciento (80%).

## 2.2.5. Método de diseño Marshall

### 2.2.5.1. Metodología

El método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi.



En el método Marshall se fabrican mediante impacto una probeta de mezcla que tiene diferentes características a las que se hará referencia, en primer lugar, se establecen cuáles son características volumétricas de la mezcla, se fabrican distintas mezclas con contenido diferentes de ligante y se determinan la densidad aparente también en función del peso específico de los áridos y el ligante se determina los vacíos de agregado.

Luego se procede a llevar a cabo el ensayo mecánico de rotura de las probetas que se realiza en unas determinadas condiciones de temperatura y velocidad de aplicación carga, mediante este ensayo mecánico se determinan otros dos parámetros.

- Estabilidad Marshall o carga de rotura
- Deformación Marshall que es lo que se acortado el diámetro de la probeta hasta el momento de la rotura.

El método Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor creación de las probetas. El método modificado será de tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5").

Realiza un análisis de las curvas en el método Marshall

- Comprobar que la curva Ha esta por encima del mínimo especificado (según tamaño máximo del agregado)
- Elegir el contenido de betún asfáltico según la curva Hm
- Ajustar para aproximarse a la relación filler/betún asfáltico especificada
- Comprobar la estabilidad para el contenido elegido del betún asfáltico
- Comprobar la deformación para el contenido elegido de betún asfáltico
- Tomar la densidad correspondiente al contenido elegido de betún asfáltico como referencia para la compactación.

(Ing. Jhonny Javier Pincay Bermello, 2018)

#### 2.2.5.2. Granulometría

La metodología Marshall utiliza la curva semilogarítmica para definir la granulometría permitida, (norma **ASTM D3515**) obtener la muestra representativa. Cuarteando para luego ser tamizado, tomando los pesos de las mallas retenidas tomando cuenta que cumpla con el tamaño máximo del agregado. Esta se realiza ya para el agregado grueso y fino.



La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica.

La Tabla presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.

Tabla N°8. Graduaciones propuestas para mezclas cerradas

| <b>Graduaciones propuestas para mezclas cerradas (ASTM D3516)</b>     |   |                             |                           |                           |                           |                            |                            |                            |                             |
|---|---|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <b>Mezclas cerradas</b>   |   |                             |                           |                           |                           |                            |                            |                            |                             |
| <b>Abertura de malla</b>  | <b>Tamaño máximo nominal del agregado</b> |                             |                           |                           |                           |                            |                            |                            |                             |
|   | <b>2 in<br/>(50 mm)</b>                   | <b>1 ½ in<br/>(37,5 mm)</b> | <b>1 in<br/>(25,0 mm)</b> | <b>¾ in<br/>(19,0 mm)</b> | <b>½ in<br/>(12,5 mm)</b> | <b>3/8 in<br/>(9,5 mm)</b> | <b>No. 4<br/>(4,75 mm)</b> | <b>No. 8<br/>(2,36 mm)</b> | <b>No. 16<br/>(1,18 mm)</b> |
| <b>Graduaciones para mezclas de agregados (grueso, fino y filler)</b> |   |                             |                           |                           |                           |                            |                            |                            |                             |
| 2 ½ in. (63mm)  | 100                                       | ...                         | ...                       | ...                       | ...                       | ...                        | ...                        | ...                        | ...                         |
| 2 in. (50mm)  | 90 - 100                                  | 100                         | ...                       | ...                       | ...                       | ...                        | ...                        | ...                        | ...                         |
| 1 ½ (37,5mm)  | ...                                       | 90 - 100                    | 100                       | ...                       | ...                       | ...                        | ...                        | ...                        | ...                         |
| 1 in. (25,0 mm)   | 80 - 80                                   | ...                         | 90 - 100                  | 100                       | ...                       | ...                        | ...                        | ...                        | ...                         |
| ¾ in. (19,0mm)  | ...                                       | 56 - 80                     | ...                       | 90 - 100                  | 100                       | ...                        | ...                        | ...                        | ...                         |
| ½ in. (12,5mm)  | 35 - 65                                   | ...                         | 56 - 80                   | ...                       | 90 - 100                  | 100                        | ...                        | ...                        | ...                         |
| 3/8 in. (9,5mm)   | ...                                       | ...                         | ...                       | 56 - 80                   | ...                       | 90 - 100                   | 100                        | ...                        | ...                         |
| No. 4 (4,75mm)  | 17 - 47                                   | 23 - 63                     | 29 - 69                   | 35 - 65                   | 44 - 74                   | 65 - 65                    | 80 - 100                   | ...                        | 100                         |
| No. 8 (2,36mm)  | 10 - 36                                   | 15 - 41                     | 19 - 45                   | 23 - 49                   | 28 - 58                   | 32 - 67                    | 65 - 100                   | ...                        | 95 - 100                    |
| No. 16 (1,18mm)   | ...                                       | ...                         | ...                       | ...                       | ...                       | ...                        | 40 - 80                    | ...                        | 65 - 100                    |
| No. 30 (600 µm)   | ...                                       | ...                         | ...                       | ...                       | ...                       | ...                        | 35 - 65                    | ...                        | 70 - 95                     |
| No. 50 (300 µm)   | 3 - 15                                    | 4 - 16                      | 5 - 17                    | 5 - 19                    | 5 - 21                    | 7 - 23                     | 7 - 40                     | ...                        | 45 - 75                     |
| No. 100 (160 µm)  | ...                                       | ...                         | ...                       | ...                       | ...                       | ...                        | 3 - 20                     | ...                        | 20 - 40                     |
| No. 200 (75 µm)   | 0 - 5                                     | 0 - 6                       | 1 - 7                     | 2 - 8                     | 2 - 10                    | 2 - 10                     | 2 - 10                     | ...                        | 9 - 20                      |
| <b>Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla</b>    |   |                             |                           |                           |                           |                            |                            |                            |                             |
|   | 2 - 7                                     | 3 - 8                       | 3 - 9                     | 4 - 10                    | 4 - 11                    | 5 - 12                     | 8 - 12                     | 7 - 12                     | 8 - 12                      |

Fuente (ASTM D3516)

### 2.2.5.3. Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios y nivel que tomaremos para el desarrollo de los ensayos. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto todas deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas según sea la norma (Tabla 1.2). Si todos los dos estándares de evaluación cumplen, entonces vendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitara rediseñar la mezcla y hacer ajustes.



Tabla N°9. Cuadro de criterio de diseño de mezclas Marshall

| Método Marshall   | Tráfico ligero |      | Tráfico medio  |      | Tráfico pesado |      |
|---|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
|   | Carpeta y base |      | carpeta y base |      | carpeta y base |      |
| Criterio de mezcla  | Mín            | Máx  | Mín            | Máx  | Mín            | Máx  |
| Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes | 35             |      | 50             |      | 75             |      |
| Estabilidad, (N)<br>(lb)                                      | 3336           |      | 5338           |      | 8006           |      |
|   | 750            | ---- | 1200           | ---- | 1800           | ---- |
| Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)                                    | 8              | 18   | 8              | 16   | 8              | 14   |
| Porcentaje de vacíos  | 3              | 5    | 3              | 5    | 3              | 5    |
| Porcentaje de vacíos en los agregados minerales               | Ver Tabla 2.2  |      |                |      |                |      |
| Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto                      | 70             | 80   | 65             | 78   | 65             | 75   |

Fuente: (<https://www.cuevadelcivil.com/2015/04/determinacion-del-contenido-optimo-de.html>)

Tabla N°10. Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral

| Máximo tamaño de partícula nominal |       | Porcentaje mínimo VMA            |      |      |
|------------------------------------|-------|----------------------------------|------|------|
|                                    |       | Porcentaje diseño vacíos de aire |      |      |
| mm                                 | in    | 3.0                              | 4.0  | 5.0  |
| 1.18                               | No.16 | 21.5                             | 22.5 | 23.5 |
| 2.36                               | No.8  | 19.0                             | 20.0 | 21.0 |
| 4.75                               | No.6  | 16.0                             | 17.0 | 18.0 |
| 9.5                                | 3/8.  | 14.0                             | 15.0 | 16.0 |
| 12.5                               | 1/2.  | 13.0                             | 14.0 | 15.0 |
| 19                                 | 3/4.  | 12.0                             | 13.0 | 14.0 |
| 25                                 | 1.0   | 11.0                             | 12.0 | 13.0 |
| 37.5                               | 1.5   | 10.0                             | 11.0 | 12.0 |

Fuente: (UNMSM reutilización de residuos sólidos de elastómero y pavimento asfáltico envejecido y su impacto ambiental en Manabí – Ecuador)

#### 2.2.5.4. Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño

Cuando se desarrolla una mezcla de diseño, es frecuentemente necesario hacer varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios de diseño. Cada una de las mezclas de prueba sirve como una guía para evaluar y ajustar las pruebas siguientes. Para diseño de mezclas preliminares o exploratorias, es aconsejable comenzar con una graduación de agregado que se acerque a la media de los límites establecidos. Las mezclas de prueba iniciales sirven para establecer la fórmula de trabajo y verificar que la graduación de agregado dentro de los límites especificados puede ser reproducida en una planta mezcladora.

Cuando las mezclas de pruebas iniciales fallan con los criterios de diseño en cualquier contenido de asfalto seleccionado, será necesario modificar o, en algunos casos, rediseñar la mezcla. Para



corregir una deficiencia, la manera más fácil de rediseñar una mezcla es cambiar la graduación de los agregados ajustando los porcentajes utilizados. Frecuentemente este ajuste es suficiente para cumplir con las especificaciones. Si el ajuste de los porcentajes no es suficiente, se deberán realizar serias consideraciones.

Existen lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba, aunque estas sugerencias no funcionan en todos los casos.

## 2.2.6. Ensayos de materiales para el diseño de mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100

### 2.2.6.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

#### a) Muestra

Según (MTC E 204, 2016), la cantidad deberá obtenerse del MTC E 201 y esta deberá estar completamente mezclada y reducida por medio de cuarteo, manual o mecánico. El agregado debe estar completamente mezclado y tener la suficiente humedad para evitar la segregación y la pérdida de finos. La muestra para el ensayo debe tener el peso seco aproximado y ser una fracción como resultado. No está permitido seleccionar la muestra a un peso exacto determinado.

- Agregado fino: La cantidad de muestra de agregado fino, después de secado, debe ser de 300 g mínimo.
- Agregado grueso: La cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, deberán tener aproximadamente los siguientes pesos:

Tabla N°11. Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

| Tamaño Máximo Nominal<br>Abertura Cuadrada |         | Cantidad mínima de muestra de ensayo |
|--|---------|--------------------------------------|
| mm   | (pulg)  | Kg                                   |
| 9,5  | (3/8)   | 1                                    |
| 12,5                                       | (1/2)   | 2                                    |
| 19,0                                       | (3/4)   | 5                                    |
| 25,0                                       | (1)     | 10                                   |
| 37,5                                       | (1 1/2) | 15                                   |
| 50,0                                       | (2)     | 20                                   |
| 63,0                                       | (2 1/2) | 35                                   |
| 75,0                                       | (3)     | 60                                   |
| 90,0                                       | (3 1/2) | 100                                  |
| 100,0                                      | (4)     | 150                                  |
| 125,0                                      | (5)     | 300                                  |

Fuente: (MTC E 204, 2016)



b) Procedimiento

Según (MTC E 204, 2016). La muestra deberá estar seca a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta obtener peso constante.

Cuando se deseen resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para este ensayo, debido a que el resultado se afecta poco por el contenido de humedad a menos que:

- a) El tamaño máximo nominal sea menor de 12.5 mm ( $\frac{1}{2}$ "
- b) El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menores de 4.75 mm (N°4).
- c) El agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo, un agregado ligero).
- d) También las muestras pueden secarse con las más altas temperaturas asociadas con el uso de planchas de calentamiento, sin que se afecten los resultados, pues se permiten escapes de vapores que no generan presiones suficientes para fracturar las partículas, ni temperaturas tan altas que causen rompimiento químico del agregado.
- e) Seleccione la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar. Ordéne los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura. Efectúese la operación de tamizado a mano o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.
- f) Límitese la cantidad de material en un tamiz determinado, de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado.
- g) En ningún caso, el peso debe ser tan grande que cause deformación permanente en la malla del tamiz.
- h) Continúese el tamizado por un período suficiente, de tal forma que después de terminado, no pase más del 1% de la cantidad en peso retenida en cada tamiz, durante un (1) minuto de tamizado continuo a mano, realizado de la siguiente manera: tómese individualmente cada tamiz, con su tapa y un fondo que ajuste sin holgura, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Se golpea secamente el lado del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto, girando el tamiz aproximadamente  $\frac{1}{6}$  de vuelta en cada intervalo de 25 golpes. Se considerará satisfactorio el tamizado para tamaños mayores al tamiz de 4.75 mm (No. 4), cuando el total de las partículas del material sobre la malla forme una sola capa. Si el tamaño de los tamices hace impracticable el movimiento de tamizado recomendado, utilícense tamices de 203 mm (8") de diámetro para comprobar la eficiencia del tamizado.



- i) En el caso de mezclas de agregados gruesos y finos, la porción de muestra más fina que el tamiz de 4.75 mm (No. 4) puede distribuirse entre dos o más grupos de tamices para prevenir sobrecarga de los tamices individuales.
- j) Para partículas mayores de 75 mm (3"), el tamizado debe realizarse a mano, determinando la abertura del tamiz más pequeño por el que pasa la partícula.
- k) Comiencese el ensayo con el tamiz más pequeño que va a ser usado. Rótense las partículas si es necesario, con el fin de determinar si ellas pasarán a través de dicho tamiz; sin embargo, no deberán forzarse las partículas para que pasen a través de éste.
- l) Determínese el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra que va a ser ensayada.
- m) El peso total del material después del tamizado, debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó. Si la cantidad difiere en más del 0.3%, basado en el peso de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.

#### 2.2.6.2. Abrasión por la máquina los ángeles

##### a) Muestra

(MTC E 207, 2016)

Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , separar cada fracción individual y recombinar a la gradación, lo más cercano correspondiendo al rango de medidas en el agregado como conforme para el trabajo.

Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1 g.

Tabla N°12. Gradación de las muestras de ensayo

| Medida del tamiz (abertura cuadrada) |                | Masa de tamaño indicado, g |            |            |            |
|--------------------------------------|----------------|----------------------------|------------|------------|------------|
| Que pasa                             | Retenido sobre | Gradación                  |            |            |            |
|                                      |                | A                          | B          | C          | D          |
| 37,5 mm (1 ½")                       | 25,0 mm (1")   | 1 250 ± 25                 | --         | --         | --         |
| 25,0 mm (1")                         | 19,0 mm (¾")   | 1 250 ± 25                 | --         | --         | --         |
| 19,0 mm (¾")                         | 12,5 mm (½")   | 1 250 ± 10                 | 2 500 ± 10 | --         | --         |
| 12,5 mm (½")                         | 9,5 mm (3/8")  | 1 250 ± 10                 | 2 500 ± 10 | --         | --         |
| 9,5 mm (3/8")                        | 6,3 mm (¼")    | --                         | --         | 2 500 ± 10 | --         |
| 6,3 mm (¼")                          | 4,75 mm (Nº 4) | --                         | --         | 2 500 ± 10 | --         |
| 4,75 mm (Nº 4)                       | 2,36 mm (Nº 8) | --                         | --         |            | 5 000      |
| TOTAL                                |                | 5 000 ± 10                 | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 | 5 000 ± 10 |

Fuente: (MTC E 207, 2016)

##### b) Procedimiento

(MTC E 207, 2016)

1. Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de



revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (N° 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm. Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a  $110 \pm 5^\circ$  C, hasta peso constante y determinar la masa con una aproximación a 1 g.

2. Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo. Por lo tanto, en el caso del ensayo de arbitraje se efectuará el lavado.

La eliminación del lavado después del ensayo raramente reducirá las pérdidas de medida en más de 0,2 % de la masa original de la muestra.

Información válida sobre la uniformidad de la muestra de ensayo podrá obtenerse por la determinación de la pérdida luego de 100 revoluciones. Esta pérdida podría ser determinada sin lavado del material más grueso que el tamiz normalizado de 1,70 mm (N° 12). La relación de la pérdida después de 100 revoluciones frente a la pérdida luego de 500 revoluciones no excedería mayormente 0,20 para material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, tener cuidado de evitar pérdida de alguna parte de la muestra, retornar la muestra entera incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo.

#### c) Cálculos

(MTC E 207, 2016)

Calcular la pérdida (diferencia entre la masa inicial y final de la muestra) como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Informar este valor como el porcentaje de pérdida. El porcentaje de pérdida determinado por este método no tiene una relación consistente conocida con el porcentaje de pérdida del mismo material.

#### 2.2.6.3. Partículas chatas y alargadas en agregados

##### a) Muestra

(MTC E 223, 2016)

1. Mezclar totalmente la muestra y reducir a una cantidad apropiada por cuarteo, la cantidad de agregado no será de un peso predeterminado, sino el resultante del cuarteo, una vez secado y conformará los mínimos requeridos de acuerdo a lo indicado.
2. Partículas chatas y alargadas del agregado las partículas con una relación de longitud a espesor superior a un valor especificado.
3. Longitud: máxima dimensión de la partícula, ancho: máxima dimensión en el plano perpendicular a la longitud, espesor: máxima dimensión perpendicular a lo largo y ancho.

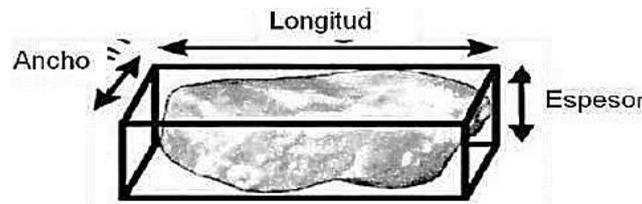


Figura N°8. Dimensiones de la partícula de Agregado

Fuente: (MTC E 223, 2016)

Tabla N°13. Pesos mínimos requeridos para el ensayo de partículas Chatas y Alargadas dependiendo del Tamaño Máximo Nominal

| Tamaño máximo nominal malla cuadrada mm – (pulgada) | Peso mínimo de la muestra de ensayo kg – (lb) |
|---|---|
| 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)                                   |
| 112 – (4.1/2)                                       | 200 – (440)                                   |
| 125 – (5)   | 300 – (660)                                   |
| 150 – (6)   | 500 – (1100)                                  |

Fuente: (MTC E 223, 2016)

#### b) Procedimiento

1. Si se requiere determinación por peso, secar la muestra al horno a peso constante a la temperatura de  $110 \pm 5C$ , si la determinación es por número de partículas, el secado no es necesario.
2. Tamizar la muestra conforme a lo especificado a la MTC E 205, reduzca cada fracción mayor a 9,5 mm (3/8” pulg) O 4,75 N°4 si es requerido, en un 10% o más de su peso original, conforme a la MTC 201, hasta obtener aproximadamente 100 partículas.
3. Ensayar cada partícula de cada fracción medida y colocarlas en uno de los tres grupos: 1) Chatas, 2) Alargadas y 3) Ni chatas ni alargadas.
4. Luego de la clasificación determinar la proporción de la muestra por cada grupo, ya sea o por conteo, de acuerdo a lo requerido.

#### c) Cálculos

1. Calcular el porcentaje de partículas chatas y alargadas con aproximación 1% para cada malla mayor de 9,5 mm (3/8” pulg) o 4,75 (N°4) según sea necesario.



2. Cuando se requiere el promedio de partículas chatas y alargadas de alguna muestra asumir que la medida de malla no ensayada (aquella que representa menos del 10% de la muestra) tiene el mismo porcentaje de partículas chatas y alargadas que la siguiente malla menor o la siguiente malla mayor, o utilizar el promedio de ambas mallas dado el caso.

#### 2.2.6.4. Porcentaje de caras fracturadas

##### a) Muestra

(MTC E 210, 2016)

1. La muestra para ensayo deberá ser representativa y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Hágase el análisis granulométrico de la muestra cuarteada. Secar la muestra lo suficiente hasta obtener una separación clara entre el material fino y grueso en la operación de tamizado
2. Tamizar la muestra por la malla N°4 (4,75 mm), u otra malla especificada para la retención de material para este ensayo y luego reducir la parte retenida sobre la malla usando un cuarteador hasta el tamaño apropiado para ensayo.
3. El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:

Tabla N°14. Peso de muestra en relación al tamaño del agregado para ensayo de porcentaje de Caras Fracturadas

| Tamaño Máximo Nominal Muestra de ensayo mínima mm (pulg.) | Abertura Cuadrada, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb.) |
|---|--|
| 9,5 (3/8)   | 200 (0,5)  |
| 12,5 (1/2)  | 500 (1)  |
| 19,0 (3/4)  | 1 500 (3)  |
| 25,0 (1)  | 3 000 (6,5)  |
| 37,5 (1 1/2")   | 7 500 (16,5)                                       |
| 50,0 (2)  | 15 000 (33)  |
| 63,0 (2 1/2)  | 30 000 (66)  |
| 75,0 (3)  | 60 000 (132)                                       |
| 90,0 (3 1/2)  | 90 000 ( 198)                                      |

Fuente: (MTC E 210, 2016)

#### 2. Procedimiento

(MTC E 210, 2016)

1. Lavar la muestra sobre el tamiz designado para la determinación de partículas fracturadas para retirar cualquier material fino remanente y secar a masa constante. Determinar la masa de la muestra, y cualquiera de las determinaciones subsecuentes de masa, al menos con 0,1% de la masa de la muestra seca original.



2. Extender la muestra de ensayo seca sobre una superficie larga, plana y limpia que permita una inspección cuidadosa de cada partícula. Para verificar que la partícula entra en el criterio de fracturada, tomar la partícula del agregado de manera que la cara sea observada directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto de la máxima sección transversal de la partícula de roca, considerar como una cara fracturada.
3. Usando la espátula o herramienta similar, separa en dos (02) categorías: (1) partículas fracturadas basadas en tanto si tiene el número requerido de caras fracturadas, (2) partículas que no reúnen el criterio especificado. Usar las figuras del 2 - 7 para ayudar en esta determinación. Se entenderá que algunas de las partículas de las figuras 2 - 4 muestran más de una cara de fractura. Si el número requerido de caras de fractura no está dado a las especificaciones aplicables, la determinación será hecha sobre la base de un mínimo de una cara fracturada.
4. Determinar la masa o cantidad de partícula en la categoría de partícula fracturada y la masa o cantidad de las partículas que no reúnan el criterio de fractura especificado. Use la masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas a menos que el porcentaje por conteo de partículas sea especificado.
5. Si más de un número de caras de fractura es especificado (por ejemplo 80% con una o más caras fracturadas y 50% con 2 o más caras de fracturas), repetir el procedimiento sobre la misma muestra para cada requerimiento.

### 3. Cálculos

(MTC E 210, 2016)

1. Calcular el porcentaje de masa o porcentaje de conteo de partículas con el número especificado de caras fracturadas con aproximación al 1% de acuerdo con lo siguiente:

Donde:

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas,

F = masa o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas,

N = masa o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas o que no entran en el criterio de partícula fracturada.



### 2.2.6.5. Peso específico y absorción del agregado grueso

#### a) Muestra

(MTC E 206, 2016)

Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales. Si el agregado grueso contiene cantidades importantes de material más fino que el tamiz 4,75 mm (N° 4) (tales como tamaños N° 8 y 9 considerados en la Clasificación de la ASTM D 448), usar el tamiz 2,36 mm (N°8) en vez del tamiz 4,75 mm (N° 4).

Tabla N°15. Peso mínimo de la muestra de ensayo para Ensayo de Peso Específico de Gruesos

| Tamaño Máximo Nominal<br>mm (pulg) | Peso Mínimo de la Muestra de<br>Ensayo<br>Kg (lb) |
|------------------------------------|---|
| 12,5 (1/2) o menos                 | 2 (4,4)   |
| 19,0 (3/4)                         | 3 (6,6)   |
| 25,0 (1)                           | 4 (8,8)   |
| 37,5 (1 ½)                         | 5 (11)  |
| 50,0 (2)                           | 8 (18)  |
| 63,0 (2 ½)                         | 12 (26)   |
| 75,0 (3)                           | 18 (40)   |
| 90,0 (3 ½)                         | 25 (55)   |
| 100,0 (4)                          | 40 (88)   |
| 112,0 (4 ½)                        | 50 (110)  |
| 125,0 (5)                          | 75 (165)  |
| 150,0 (6)                          | 125 (276)   |

Fuente: (MTC E 206, 2016)

#### b) Procedimiento

(MTC E 206, 2016)

1. Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de  $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ , ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente  $50^{\circ}\text{C}$ ). Inmediatamente sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ .

Cuando se ensaya agregado grueso de tamaños máximos nominales mayores, sería conveniente realizar el ensayo en dos o más sub muestras, y los valores obtenidos combinarlos por cómputo.

2. Cuando los valores de peso específico y la absorción van a ser usados en proporcionamiento de mezclas de hormigón (concreto) en los cuales los agregados van a ser usados en su condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante puede ser



eliminada y, si las superficies de las partículas de la muestra van a ser mantenidas continuamente húmedas antes de ensayo, el remojo de 24 h puede ser eliminado.

3. Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que sea mayor.
4. Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua.

Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge.

5. Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre  $100^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$  y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente  $50^{\circ}\text{C}$ ) y se pesa.

#### c) Cálculos

(MTC E 206, 2016)

##### 1. Peso Específico:

###### a) Peso Específico de masa ( $P_{em}$ )

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

###### b) Peso específico de masa saturada con superficie seca ( $P_{esss}$ )

$$P_{esss} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

###### c) Peso específico aparente ( $P_{ea}$ )

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

Absorción ( $Ab$ )

$$Ab (\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$



Donde:

A = Peso de la Muestra Seca en el Aire, gramos

B = Peso de la Muestra Superficialmente Seca en el aire, en gramos

C = Peso en el Agua de la Muestra Saturada

#### 2.2.6.6. Peso específico y absorción del agregado fino

##### b) Muestra

(MTC E 205, 2016)

1. Mezclar uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.
2. Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas. Decantar el agua evitando pérdida de finos y extender el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y remover frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí. Colocar en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca.

##### b) Procedimiento

(MTC E 205, 2016)

1. Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  hasta alcanzar la marca de 500 cm. Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente.
2. Manualmente rodar, invertir y agitar el frasco para eliminar todas las burbujas de aire.  
Nota 1. Cerca de 15 a 20 minutos son normalmente requeridos para eliminar las burbujas de aire por método manual.
3. Mecánicamente, extraer las burbujas de aire por medio de una vibración externa de manera que no degrade la muestra.
4. Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a  $23 \pm 2^\circ \text{C}$  y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.



5. Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , enfriar a temperatura ambiente por  $\frac{1}{2}$  a  $1 \frac{1}{2}$  hora y determinar el peso.

c) Cálculos

(MTC E 205, 2016)

1. Peso Específico de Masa ( $P_{em}$ ):

$$P_{em} = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100$$

Donde:

$P_{em}$  = Peso específico de masa

$W_o$  = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g;

$V$  = Volumen del frasco en  $\text{cm}^3$

$V_a$  = Peso en gramos o volumen en  $\text{cm}^3$  de agua añadida al frasco.

2. Peso específico de masa saturado con superficie seca ( $P_{esss}$ )

$$P_{esss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

3. Peso específico aparente ( $P_{ea}$ )

$$P_{ea} = \frac{500}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100$$

4. Absorción ( $Ab$ )

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

$W_o$  = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g.

$V$  = Volumen del frasco en  $\text{cm}^3$ .

$V_a$  = Peso en gramos o volumen en  $\text{cm}^3$  de agua añadida al frasco.

2.2.6.7. Límites de consistencia

a) Muestra

(MTC E 110, 2016)

Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz  $425 \mu\text{m}$  ( $N^\circ 40$ ). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben

ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula o cuchara y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.

b) Procedimiento

(MTC E 110, 2016)

1. Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.

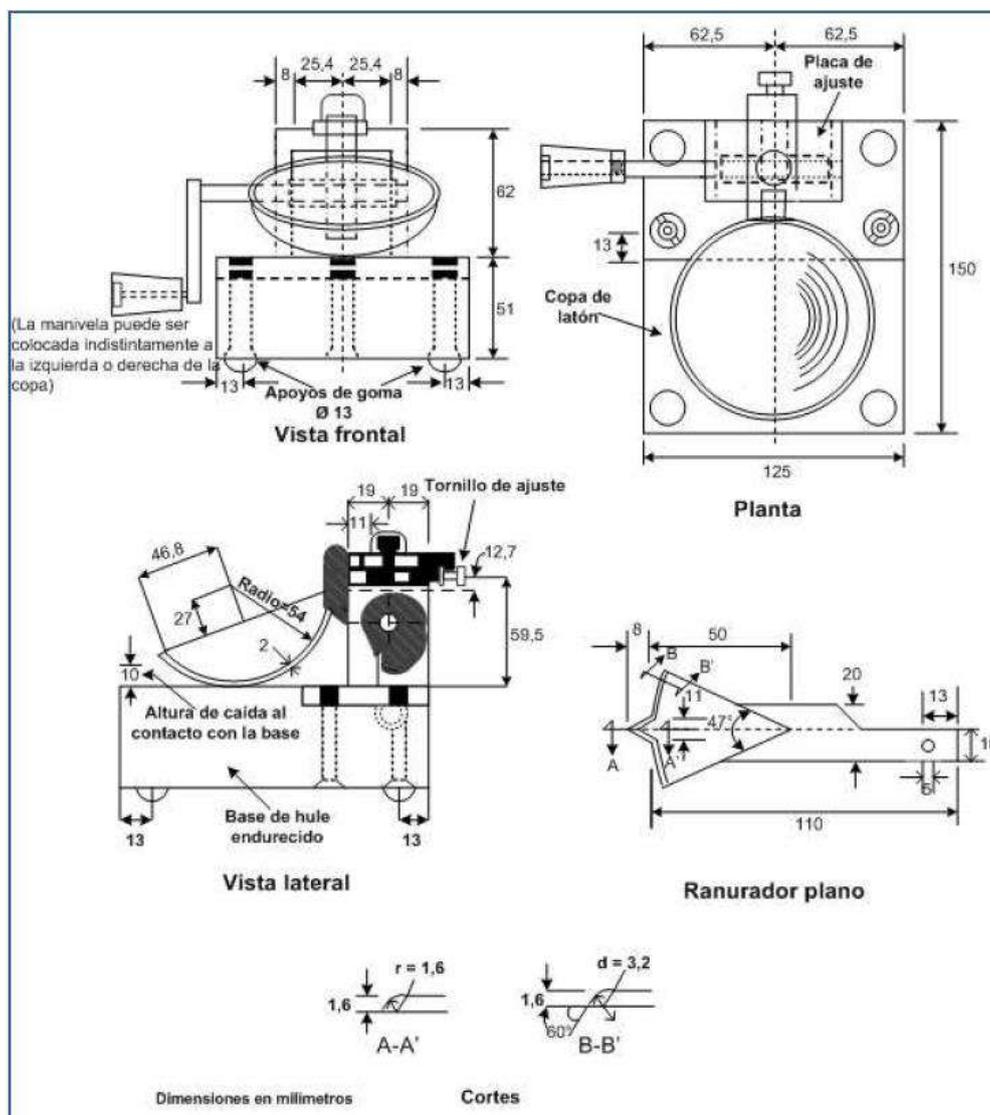


Figura N°9. Aparato manual para Límite Líquido (Cuchara de Casagrande)

Fuente: (MTC E 110, 2016)

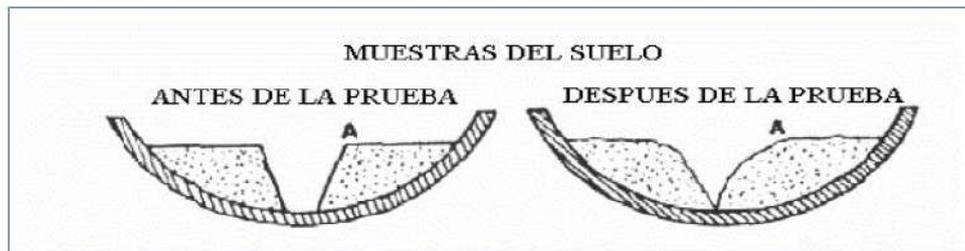


Figura N°10. Muestras del material a ensayar de Limite Liquido (Antes Y Después)

Fuente: (MTC E 110, 2016)

- 1.1. Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa.  
Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede cortarse la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.
2. Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).  
Nota1. Se recomienda el uso de una regla graduada para verificar que la ranura se cerró en 13 mm (1/2 pulg).
3. Verificar que no se haya producido el cierre prematuro de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de ranuración y repetir de 6.1 a 6.3 a un contenido más elevado. Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.
4. Registrar el número de golpes, N, necesario para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo de aproximadamente de ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.



5. Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.
6. Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir de 1 a 6 para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.
7. Determinar el contenido de humedad, W, del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción.

b) Cálculos

(MTC E 110, 2016)

Determinar el límite líquido para cada espécimen para contenido de humedad usando una de las siguientes ecuaciones:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

$$LL = kW^n$$

N = Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad

W = Contenido de humedad del suelo

K = factor dado en la Tabla N°16

Tabla N°16. Factor para determinación de Límite Líquido (Un Punto)

| N (Numero de golpes) | K (Factor para límite líquido) |
|----------------------|--------------------------------|
| 20                   | 0,974                          |
| 21                   | 0,979                          |
| 22                   | 0,985                          |
| 23                   | 0,990                          |
| 24                   | 0,995                          |
| 25                   | 1,000                          |
| 26                   | 1,005                          |
| 27                   | 1,009                          |
| 28                   | 1,014                          |
| 29                   | 1,018                          |
| 30                   | 1,022                          |

Fuente: (MTC E 110, 2016)



### 2.2.6.8. Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio o magnesio

#### a) Muestra

(MTC E 209, 2016)

1. Solución de sulfato de magnesio. Se prepara disolviendo el peso necesario de sal del tipo "comercial", en agua a la temperatura de 25 a 30 °C. Se añade suficiente cantidad de sal, bien de la forma anhidra ( $MgSO_4$ ) o cristalizada ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), para asegurar no solamente que la solución esté saturada, sino también que quede un exceso de cristales cuando la solución esté preparada. Se agita bien la solución mientras se está preparando. Se enfría la solución a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C, y se mantiene a esta temperatura por lo menos durante 48 horas antes de emplearla.

Para conseguir la saturación a 23 °C (73.4 °F) de 1 dm<sup>3</sup> de agua, son suficientes 350g de la sal anhidra o 1230 g de la hidratada. No obstante, como estas sales no son completamente estables y la forma anhidra es la menos estable, y puesto que es necesario que haya un exceso de cristales en la solución, se recomienda el empleo de 1400g, como mínimo, de sal hidratada por litro de agua.

2. Agregado fino. La muestra del agregado fino debe pasar toda por el tamiz de 9.5 mm (3/8"). La muestra tendrá el peso suficiente para poder obtener 100 g de cada una de las fracciones que se indican a continuación, que estén presentes en la muestra en cantidad mayor del 5%.

Tabla N°17. Tamices en los cuales se evaluará el Agregado Fino para el ensayo de Durabilidad

| Pasa el tamiz normalizado | Retenido sobre el Tamiz normalizado |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 600µm (N° 30)             | 300µm (N° 50)                       |
| 1,18 mm (N° 16)           | 600µm (N° 30)                       |
| 2,36 mm (N° 8)            | 1,18 mm (N° 16)                     |
| 4,75 mm (N° 4)            | 2,36 mm (N° 8)                      |
| 9,50 mm (3/8")            | 4,75 mm (N° 4)                      |

Fuente: (MTC E 209, 2016)

3. Agregado grueso. La muestra del agregado será el material retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4). Este material se ensayará de acuerdo con el procedimiento descrito para agregado fino. La muestra será de un peso tal que una vez tamizada queden las siguientes cantidades de cada uno de los distintos tamaños (los pesos retenidos serán por lo menos el 5% de la muestra tamizada).



Tabla N°18. Tamices en los cuales se evaluará el agregado grueso (según gradación) para ensayo de durabilidad

| Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)  | Peso en g     |
|--|---------------|
| <b>Consistiendo de:</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")   | 1 000 ±10     |
| <b>Consistiendo de:</b>  |               |
| Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")   | 300 ± 5       |
| Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")  | 670 ±10       |
| 37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (3/4")  | 1 500 ± 50    |
| <b>Consistiendo de:</b>  |               |
| Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")  | 500 ± 30      |
| Material de 37,5 mm (1 ½") a 25,0 mm (1")  | 1 000 ± 50    |
| 63,0 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")  | 5 000 ± 300   |
| <b>Consistiendo de:</b>  |               |
| Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 ½")  | 2 000 ± 200   |
| Material de 63,0 mm (2 ½") a 50,0 mm (2")  | 3 000 ± 300   |
| Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción. | 7 000 ± 1 000 |

Fuente: (MTC E 209, 2016)

4. Cuando se ensaya un agregado que contiene apreciables cantidades de agregado fino y grueso, que tengan una graduación de más del 10% en peso mayor que el tamiz 9,5 mm (3/8) y más del 10% en peso menor de 4,75 mm (N° 4) ensayar las muestras por separado de acuerdo con los procedimientos para agregados fino y grueso, respectivamente. Los resultados deberán ser repartidos separadamente para la fracción de agregado fino y grueso, dando los porcentajes de la fracción grueso y fino en la graduación inicial.

b) Preparación de Muestra

(MTC E 209, 2016)

1. Agregado fino. Se lava completamente la muestra de agregado fino sobre un tamiz normalizado 300 µm m (N° 50), se seca hasta peso constante a 105 °C ó 110 °C, y separa en diferentes tamaños, por tamizado, como sigue se efectuará una separación aproximada de la muestra gradada, por medio de un juego de los tamices. De las fracciones obtenidas en esta forma se selecciona muestras para disponer de 100 g después de efectuar un tamizado completo. (En general una muestra de 110 g será suficiente). No se usará el agregado fino que se adhiere a las mallas de los tamices al preparar las muestras. Se pesan las muestras de 100 ± 1 g de cada una de las fracciones después del tamizado final y se colocarán en envases individuales para el ensayo.



2. Agregado grueso. La muestra de agregado grueso se lava bien, se seca hasta peso constante, a una temperatura de  $110 - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $230 - 9 \text{ }^{\circ}\text{F}$ ) y se separa en las diferentes fracciones indicadas en el numeral 4.2, por tamizado hasta rechazo. La cantidad requerida de cada una de estas fracciones, se pesa y se coloca, por separado, en los recipientes para ensayo. En el caso de las fracciones con tamaño superior a  $19 \text{ mm}$  ( $\frac{3}{4}$ "), se cuenta también el número de partículas. Cuando son rocas deberán ser rotas en fragmentos uniformes, se pesarán  $100 \text{ gr}$ , de c/u. La muestra de ensayo pesará  $5000 \text{ gr.} - 2\%$ . La muestra será bien lavada y secada antes del ensayo.

c) Procedimiento

(MTC E 209, 2016)

1. Inmersión de las muestras en la solución. Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de sodio o de magnesio, durante un periodo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que el nivel de la solución quede por lo menos  $13 \text{ mm}$  por encima de la muestra. El recipiente se cubre para evitar la evaporación y la contaminación con sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución, se mantienen a una temperatura de  $21 - 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $70 - 2 \text{ }^{\circ}\text{F}$ ), durante todo el tiempo de inmersión.
2. Secado de las muestras, posterior a la inmersión. Después de 6.1, la muestra se saca de la solución dejándola escurrir durante  $15 - 5$  minutos y se la introduce en el horno, cuya temperatura se habrá regulado previamente a  $110 - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $230 - 9 \text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Se secan las muestras hasta peso constante a la temperatura indicada. Durante el periodo de secado se sacan las muestras del horno, enfriándolas a la temperatura ambiente, y se pesan a intervalos de tiempo no menores de 4 horas ni mayores de 18 horas. Se puede considerar que se ha alcanzado un peso constante, cuando dos pesadas sucesivas de una muestra, difieren menos de  $0.1 \text{ g}$  en el caso del agregado fino, o menos de  $1.0 \text{ g}$  en el caso del agregado grueso. Una vez alcanzado el peso constante, se sumergen de nuevo las muestras en la solución.
3. Número de ciclos. El proceso de inmersión y secado de las muestras se prosigue, hasta completar el número de ciclos que se especifiquen.

d) Cálculos

(MTC E 209, 2016)

1. Después de terminar el último ciclo y que la muestra se haya enfriado, se lava hasta que quede exenta de sulfato de sodio o de magnesio, lo cual se reconoce en las aguas de lavado por la reacción al contacto con cloruro bórico ( $\text{BaCl}_2$ ) de que esté libre de las sales anteriores. Durante del lavado se debe evitar someter las partículas a impactos y frotamientos que puedan provocar su fracturamiento o desgaste.

2. Después que ha sido eliminado el sulfato de sodio o sulfato de magnesio, se seca cada fracción de la muestra hasta peso constante a 105°C ó 110°C y luego se anota. Se tamiza el agregado fino a través del mismo tamiz en el cual estaba retenido antes del ensayo.

Tabla N°19. Tamices para ensayos en Agregado Grueso después de eliminar sulfatos para ensayo de Durabilidad

| Tamaño del agregado            | Tamiz normalizado usado para determinar la pérdida |
|--------------------------------|--|
| 63 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")  | 31,5 mm (1 ¼")                                     |
| 37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (¾")  | 16,0 mm (5/8")                                     |
| 19,0 mm (¾") a 9,5 mm (3/8")   | 8,0 mm (5/16")                                     |
| 9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4) | 4,0 mm (N° 5)                                      |

Fuente: (MTC E 209, 2016)

### 2.2.6.9. Angularidad del agregado fino

#### a) Muestra

(MTC E 222, 2016)

La muestra será de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica. Se tamiza y separa material que pase el tamiz 2,36 mm (No. 8) y sea retenido en el tamiz 75 mm (N° 200).

#### b) Procedimiento

Según (MTC E 222, 2016) Se determinará la gravedad específica bruta del agregado seleccionado ( $G_{sb}$ ). Se vierte la arena por el embudo hasta que rebose el cilindro de volumen conocido. Se enrasa y se pesa el material retenido en el cilindro.

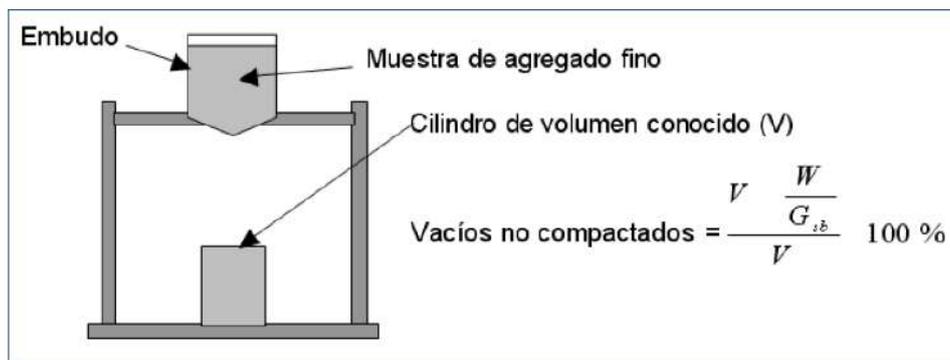


Figura N°11. Aparato para medir la Angularidad del Agregado Fino

Fuente: (MTC E 222, 2016)

#### c) Cálculos

(MTC E 222, 2016)

Determinando el peso del agregado fino ( $w$ ) que llena el cilindro de volumen conocido ( $v$ ), el contenido de vacíos puede calcularse como la diferencia entre el volumen del cilindro y el volumen del agregado fino en el cilindro así:

$$A^{\circ} = \frac{V - \frac{w}{Gsb}}{V} \times 100$$

## 2.2.7. Ensayos para evaluar las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas compactadas

### 2.2.7.1. Parámetros volumétricos de mezclas compactadas

(Minaya, S. & Ordoñez, A., 2001)

Las propiedades volumétricas de las mezclas compactadas proporcionan algún indicativo del probable comportamiento del pavimento en servicio, estas propiedades volumétricas son vacíos de aire ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo (Pbe).

Es necesario entender las definiciones y procedimientos analíticos para la determinación de estas propiedades, de tal manera que seamos capaces de seleccionar adecuadamente el diseño de mezclas. Estos conceptos se aplican tanto a mezclas compactadas como a especímenes no disturbados extraídos de campo.

Las propiedades volumétricas se aplican en todos los diseños de mezclas como Superpave, SMA y las mezclas convencionales.

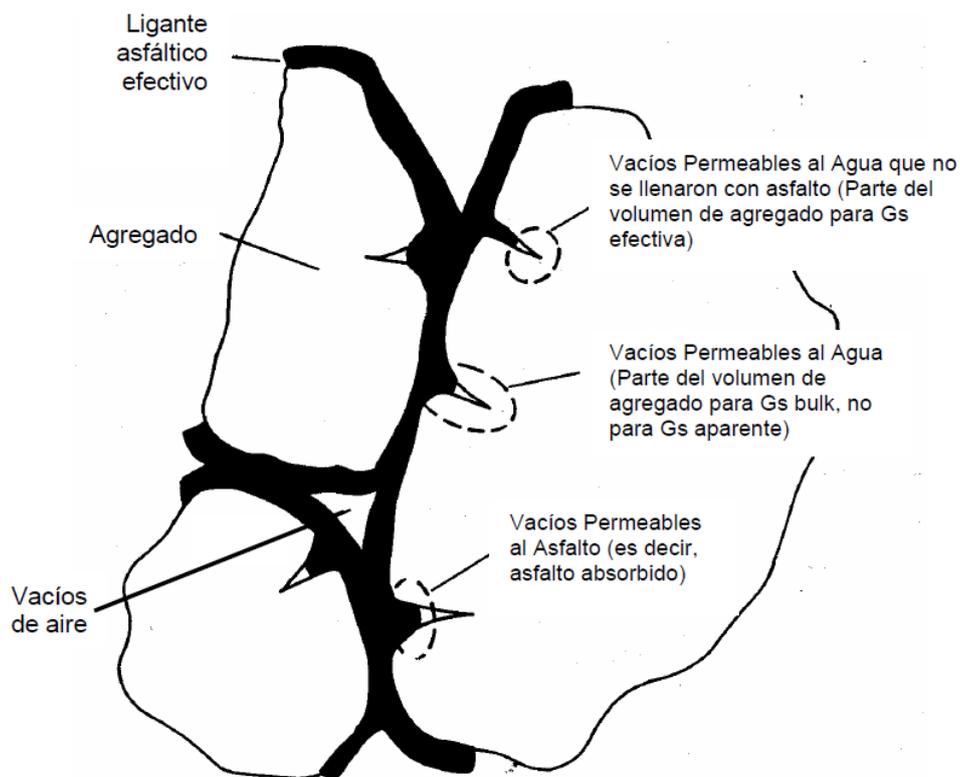


Figura N°12. Ilustración de gravedades específicas bulk, efectiva y aparente; vacíos de aire; y contenido de asfalto efectivo en mezclas compactadas

Fuente: (Minaya, S. & Ordoñez, A., 2001)

### 2.2.7.1.1. Gravedad específica Bulk de la combinación de agregados (G o Gsb)

Según (Minaya, S. & Ordoñez, A., 2001) cuando la muestra se ensaya en fracciones separadas (por ejemplo, grueso y fino), el valor de la gravedad específica promedio se calcula con la siguiente ecuación:

$$G = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

G: Gravedad específica promedio

G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, ... G<sub>n</sub>: Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ..., n

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, ..., G<sub>n</sub>: Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ..., n

La gravedad específica bulk del filler mineral es difícil de determinar. Sin embargo, si se sustituye por la gravedad específica aparente del filler, el error es despreciable. Esta ecuación se puede aplicar para determinar la gravedad específica bulk y aparente de la combinación de agregados.

### 2.2.7.1.2. Gravedad Específica Teórica Máxima Rice (Gmm)

(Minaya, S. & Ordoñez, A., 2001)

$$\text{Gravedad Específica Teórica Máxima} = \frac{\text{Peso del agregado mas peso del asfalto}}{\text{Volumen del agregado mas vacios permeables no llenados con asfalto mas asfalto total}}$$

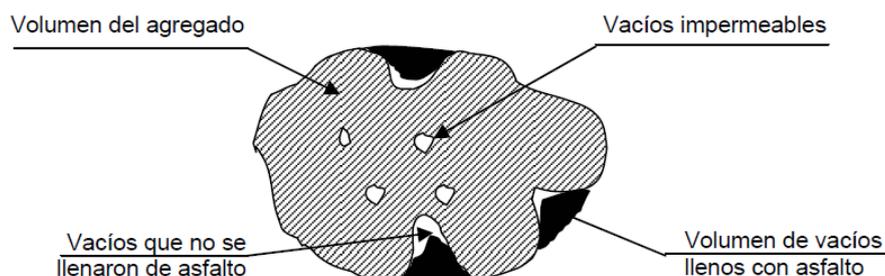


Figura N°13. Vacíos en Agregado recubierto de Asfalto

Fuente: (Minaya, S. & Ordoñez, A., 2001)

Según (Minaya, S. & Ordoñez, A., 2001) la gravedad específica Rice en las mezclas asfálticas en caliente (Gmm) se calcula de acuerdo a la norma AASHTO T209, su valor se emplea en el cálculo de los vacíos. Si la mezcla contiene agregados absorbentes se recomienda colocarla en el horno (manteniéndola a la temperatura de mezcla) por cuatro horas de tal manera que el cemento asfáltico sea absorbido completamente por el agregado antes del ensayo. Mantener la mezcla en un recipiente tapado mientras se encuentra en el horno. Si el ensayo se hace por triplicado en la mezcla que contiene un porcentaje cerca al óptimo contenido de asfalto, promediar los tres resultados; calcule la gravedad específica efectiva de los agregados.



Si se realiza el cálculo de la gravedad específica Rice en cada una de las muestras a diferentes contenidos de asfalto, calcular la gravedad específica efectiva de agregados en cada caso. Calcule el promedio de las gravedades específicas efectivas y el promedio de las gravedades específicas Rice.

En ausencia de datos proporcionados por el Método Rice, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los componentes de la mezcla:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{ asfalto}}{G_{sa \text{ asfalto}}} + \frac{\% \text{ grueso}}{A} + \frac{\% \text{ fino}}{B} + \frac{\% \text{ filler}}{C}}$$

Siendo:

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado grueso.}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el agregado fino.}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2}, \text{ para el filler.}$$

Donde:

Gsb: Gravedad Específica Bulk

Gsa: Gravedad Específica Aparente

#### 2.2.7.1.3. Gravedad específica Bulk de mezclas compactadas (Gmb)

Según (Minaya, S. & Ordoñez, A., 2001) determine la gravedad específica bulk de cada espécimen tan pronto como las probetas compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, según AASHTO T166. Se determina calculando la relación entre su peso al aire y su volumen.

- Pesar el espécimen al aire.
- Sumerja la muestra en agua por unos minutos, pesar la muestra en su condición saturada superficialmente seca (SSD) en el agua.
- Sacar la muestra del agua, secar el exceso de agua y pesar en su condición SSD en el aire.
- Calcular el volumen restando el peso del espécimen SSD en el aire y el peso del espécimen SSD sumergida. La fórmula empleada será:

$$G_{mb} = \frac{WD}{W_{SSD} - W_{sub}}$$

Donde:

Gmb: Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada

WD: Peso del espécimen al aire

WSSD: Peso del espécimen en su condición SSD en el aire

Wsub: Peso del espécimen sumergido

#### 2.2.7.1.4. Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado ( $VCA_{DRC}$ )

Según (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006) los vacíos de agregado grueso obtenido por el peso unitario seco rodillado,  $VCA_{DRC}$ , se define como el porcentaje de vacíos de aire dentro de una muestra de agregado grueso compactado.



Figura N°14. Vacíos en Agregado Grueso,  $VCA_{DRC}$

Fuente: (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

Para determinar los vacíos en el agregado grueso se propusieron diferentes métodos, pero el más popular es el Unit Weight and Voids in Aggregate normalizado por AASHTO T19. Cuando se calcula la densidad seco-rodillado de la fracción de agregado grueso, el  $VCA_{DRC}$  de la fracción se determina usando la siguiente ecuación:

$$VCA_{DRC} = \left( \frac{Gca\gamma_w - \gamma_s}{Gca\gamma_w} \right) 100$$

Donde:

$VCA_{DRC}$ : Vacíos en el agregado grueso en la condición seco-rodillado

$\gamma_s$ : Peso Unitario de la fracción de agregado grueso en la condición seco-rodillado ( $Kg/m^3$ )

$\gamma_w$ : Peso Unitario del agua ( $998 Kg/m^3$ )

Gca: Gravedad Específica Bulk del agregado grueso

#### 2.2.7.1.5. Vacíos de agregado grueso en mezcla ( $VCA_{mezcla}$ )

Según (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006) los vacíos de agregado grueso en mezcla,  $VCA_{mezcla}$ , se definen como el porcentaje de vacíos de aire más el contenido de asfalto efectivo y el agregado fino. El asfalto absorbido se considera como parte del volumen ocupado por el agregado grueso.



Figura N°15. Vacíos del Agregado Grueso,  $VCA_{MEZCLA}$

Fuente: (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)

$$VCA_{mezcla} = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{ca}}\right) * P_{CA}$$

Donde:

$VCA_{mezcla}$ : Vacíos de Agregado Grueso en Mezcla.

$G_{ca}$ : Gravedad Especifica Bulk del Agregado Grueso.

$G_{mb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

$P_{CA}$ : Porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla.

#### 2.2.7.1.6. Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Según (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006) los vacíos en el agregado mineral o VMA, es el volumen de vacíos entre los agregados (gruesos y finos) de una mezcla compactada que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado en porcentaje del volumen total de la mezcla.

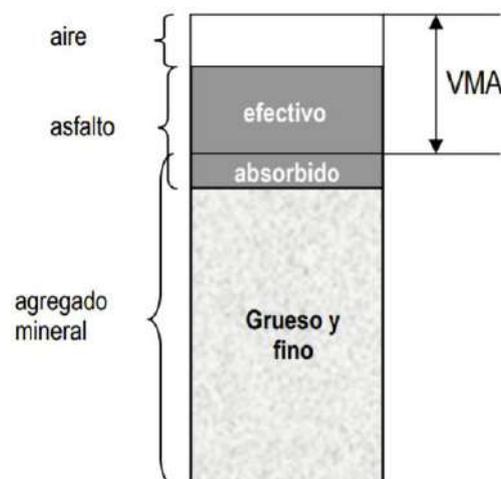


Figura N°16. Vacíos en el Agregado Mineral, VMA

Fuente: (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006)



$$VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb}}{G_{sb}}\right) * P_s$$

Donde:

VMA: Vacíos en el agregado mineral.

$G_{mb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

$G_{sb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la combinación de Agregados.

$P_s$ : Porcentaje de Agregado en la mezcla.

#### 2.2.7.1.7. Porcentaje de vacíos de aire en mezclas compactadas ( $V_a$ )

Según (Minaya Gonzáles, S. & Ordoñez Huamán A., 2006) los vacíos de aire,  $V_a$ , en el total de la mezcla compactada consiste de los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregados recubiertos. El porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada puede determinarse usando:

$$V_a = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) * 100$$

Donde:

$V_a$ : Porcentaje de Vacíos de aire en Mezclas Compactadas.

$G_{mm}$ : Gravedad Especifica Teórica Máxima de la mezcla.

$G_{mb}$ : Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

#### 2.2.7.2.. Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

##### a) Muestra

(MTC E 504 , 2016)

Preparación de especímenes mezclados y compactados en laboratorio.

##### b) Procedimiento

(MTC E 504 , 2016)

1. Se ensayarán un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. Además, tendrán la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.
2. Los especímenes deberán enfriarse a temperatura ambiente después de la compactación. Durante el enfriamiento serán colocados sobre una superficie suave y plana. Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen por el método D2726. Los pesos específicos bulk de los especímenes para cada contenido de ligante estarán dentro de  $\pm 0,020$  del promedio tal como se indica en D 6926.
3. Medir el espesor de los especímenes de acuerdo a MTC E 507.



4. Los especímenes podrán acondicionarse para su ensayo tan pronto alcancen la temperatura ambiente. Los ensayos se completarán dentro de las 24 h de haberse compactado los especímenes. Llevar los especímenes a la temperatura especificada por inmersión en agua de 30 a 40 min. O colocarlos en horno de 120 a 130 min.
5. Mantener el baño u horno a  $60 \pm 1$  °C para cemento asfáltico,  $49 \pm 1$  °C para alquitrán con caucho y  $38 \pm 1$  °C para alquitrán.
6. Limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. Lubricar las líneas guías de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente sobre ellas. El cabezal deberá estar a temperatura de 20 a 40 °C. Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.
7. Remover un espécimen del agua, horno ó baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.
8. El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga. Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga o convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro o anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25 mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.



*Figura N°17. Máquina de Estabilidad Marshall con anillo de carga*

Fuente: (Minaya, S. & Ordoñez, A., 2001)

c) Cálculos

(MTC E 504 , 2016)

Los especímenes moldeados en laboratorio deberán satisfacer los requerimientos de espesor de  $63,5 \pm 2,5$  mm. Los especímenes dentro de la tolerancia de espesor pueden ser corregidos basados en el volumen del espécimen. Las estabildades determinadas en núcleos extraídos de campo con amplios rangos de variación de espesor también serán corregidas. Sin embargo, los resultados con correcciones mayores deberán ser empleados con precaución. Ver la Tabla N°20 para los factores de corrección. La razón de correlación es empleada de la siguiente manera:

$$A = B \times C$$

Donde:

A = Estabilidad corregida.

B = Medida de la estabilidad (carga).

C = Razón de correlación de la tabla.



Tabla N°20. Factores de Estabilidad de Correlación A

| Volumen del espécimen, cm <sup>3B</sup> | Espesor del espécimen <sup>A</sup> |                | Razón de la Correlación |
|---|------------------------------------|----------------|-------------------------|
|   | mm                                 | Pulg           |                         |
| 200 - 213                               | 25,4                               | 1,00 (1)       | 5,56                    |
| 214 - 225                               | 27                                 | 1,06 (1 1/16)  | 5                       |
| 226 - 237                               | 28,6                               | 1,12 (1 1/8)   | 4,55                    |
| 238 - 250                               | 30,2                               | 1,19 (1 3/16)  | 4,17                    |
| 251 - 264                               | 31,8                               | 1,25 (1 1/4)   | 3,85                    |
| 265 - 276                               | 33,3                               | 1,31 (1 5/16)  | 3,57                    |
| 277 - 289                               | 34,9                               | 1,38 (1 3/8)   | 3,33                    |
| 290 - 301                               | 36,5                               | 1,44 (1 7/16)  | 3,03                    |
| 302 - 316                               | 38,1                               | 1,50 (1 1/2)   | 2,78                    |
| 317 - 328                               | 39,7                               | 1,56 (1 9/16)  | 2,5                     |
| 329 - 340                               | 41,3                               | 1,62 (1 5/8)   | 2,27                    |
| 341 - 353                               | 42,9                               | 1,69 (1 11/16) | 2,08                    |
| 354 - 367                               | 44,4                               | 1,75 (1 3/4)   | 1,92                    |
| 368 - 379                               | 46                                 | 1,81 (1 13/16) | 1,79                    |
| 380 - 392                               | 47,6                               | 1,88 (1 7/8)   | 1,67                    |
| 393 - 405                               | 49,2                               | 1,94 (1 15/16) | 1,56                    |
| 406 - 420                               | 50,8                               | 2,00 (2)       | 1,47                    |
| 421 - 431                               | 52,4                               | 2,06 (2 1/16)  | 1,39                    |
| 432 - 443                               | 54                                 | 2,12 (2 1/8)   | 1,32                    |
| 444 - 456                               | 55,6                               | 2,19 (2 3/16)  | 1,25                    |
| 457 - 470                               | 57,2                               | 2,25 (2 1/4)   | 1,19                    |
| 471 - 482                               | 58,7                               | 2,31 (2 5/16)  | 1,14                    |
| 483 - 495                               | 60,3                               | 2,38 (2 3/8)   | 1,09                    |
| 496 - 508                               | 61,9                               | 2,44 (2 7/16)  | 1,04                    |
| 509 - 522                               | 63,5                               | 2,50 (2 1/2)   | 1                       |
| 523 - 535                               | 65,1                               | 2,56 (2 9/16)  | 0,96                    |
| 536 - 546                               | 66,7                               | 2,62 (2 5/8)   | 0,93                    |
| 547 - 559                               | 68,3                               | 2,60 (2 11/16) | 0,89                    |
| 560 - 573                               | 69,8                               | 2,75 (2 3/4)   | 0,86                    |
| 574 - 585                               | 71,4                               | 2,81 (2 13/16) | 0,83                    |
| 586 - 598                               | 73                                 | 2,88 (2 7/8)   | 0,81                    |
| 599 - 610                               | 74,6                               | 2,94 (2 15/16) | 0,78                    |
| 611 - 626                               | 76,2                               | 3,00 (3)       | 0,76                    |

Fuente: (MTC E 504 , 2016)

<sup>A</sup> Mide la estabilidad del espécimen multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregida para 2 ½ “(63,5 mm) del espécimen.

<sup>B</sup> La relación Volumen-espesor se basa en un diámetro de la probeta de 4” (101,6 mm)

### 2.2.7.3. Ensayo cántabro de pérdida por desgaste

#### a) Muestra

(MTC E 515 , 2016)

1. Número de probetas. Se preparará un mínimo de cuatro probetas para cada contenido de ligante ensayado.
2. Preparación de los agregados. Las distintas fracciones de agregados que componen la mezcla se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C.
3. Temperaturas de mezcla y compactación. Las temperaturas del ligante en la mezcla y compactación de las probetas, serán las adecuadas para hacer compatible una buena envuelta sin que se produzca escurrimiento. Como criterio orientativo, se pueden elegir las temperaturas que se prescriben, según viscosidad, en la norma sobre el ensayo Marshall.



4. Preparación de mezclas. Se pesan sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades de cada fracción de los agregados necesarias para la fabricación de una probeta, de tal modo que la cantidad total de agregados sea de 1,000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en la norma, para la fabricación de las probetas Marshall.
5. Compactación de las mezclas. La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en la norma Marshall
6. Densidad y análisis de vacíos. Una vez desmoldadas las probetas, se determina su densidad  $v$  y contenido de vacíos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según la norma MTC E 505.

b) Procedimiento

(MTC E 515 , 2016)

1. En general, la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30 °C, con una tolerancia máxima de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
2. Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota este valor, P1. Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de seis horas.
3. Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en las normas MTC E 207 (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.
4. Al final del ensayo, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0,1 g, anotando este valor como P2.
5. El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas

c) Cálculos

(MTC E 515 , 2016)

Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$P = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %

P1 = Masa inicial de la probeta, en gramos.

P2 = Masa final de la probeta, en gramos.

Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas.



#### 2.2.7.4. Ensayo de resistencia al daño inducido por humedad

##### a) Muestra

(MTC E 522 , 2016)

Preparación de Especímenes Mezclados y Compactados en Laboratorio:

1. Hacer al menos seis especímenes para cada ensayo, la mitad para que sea ensayado en seco y la otra mitad para que sea ensayado después de su saturación parcial y acondicionamiento húmedo con un ciclo de congelamiento – deshielo (Nota 1).

Nota 1. Se recomienda que dos especímenes adicionales sean preparados. Estos especímenes pueden ser empleados para establecer los procedimientos de compactación como se indica y la técnica de saturación al vacío

2. Especímenes de 100 mm de diámetro por  $63,5 \pm 2,5$  mm de espesor ó 150 mm de diámetro por  $95 \pm 5$  mm de espesor deben ser empleados si se presentan en la mezcla agregados mayores a 25 mm.

3. Preparar mezclas en bachadas lo suficientemente grandes para fabricar al menos tres especímenes ó alternativamente preparar una bachada lo suficientemente grande como para hacer un espécimen a la vez. Si se prepara una bachada para varios especímenes, separarla en cantidades de un solo espécimen antes de colocarlas en el horno.

4. Después de mezclar, la mezcla será colocada en un recipiente con un área superficial de 48,400 a 129,000 mm<sup>2</sup> en su base y una profundidad aproximada de 25 mm y será enfriada a temperatura ambiente por  $2 \pm 0,5$  horas. Luego la mezcla será colocada en un horno a  $60 \pm 3^\circ$  C por un espacio de  $16 \pm 1$  horas para su curado. Los recipientes serán colocados en las repisas del horno para permitir la circulación de aire bajo el recipiente si es que las repisas no son perforadas.

5. Después del curado, colocar la mezcla en un horno por 2 horas  $\pm$  10 minutos a la temperatura de compactación  $\pm 3^\circ$  C antes de la compactación. Compactar los especímenes de acuerdo al método MTC E 504. La mezcla será compactada a  $7,0 \pm 0,5\%$  vacío de aire. Este nivel de vacíos puede ser obtenido al ajustar el número de golpes de MTC E 504; regulando la presión de pie, el número de golpes, el nivel de carga ó alguna combinación dada en MTC E 504. El procedimiento exacto debe ser determinado experimentalmente para cada mezcla antes de compactar el espécimen para cada grupo (ver Nota 2).

Nota 2. Debido al elevado contenido de vacíos y a la inestabilidad de los especímenes, asegúrese de que cada espécimen esté adecuadamente enfriado y estable antes de removerlo de su molde.



6. Después de remover de los moldes, el espécimen debe ser almacenado por  $24 \pm 3$  horas a la temperatura ambiente.

Pre Acondicionamiento de Especímenes:

1. Un subgrupo será ensayado en seco, y el otro se saturará parcialmente al vacío, sometido a congelamiento y embebido en agua tibia antes de su ensayo.
2. El subgrupo seco será almacenado a temperatura ambiente  $24 \pm 3$  hrs.

Al final del periodo de curado los especímenes serán cubiertos con plástico o colocados dentro de bolsas plásticas gruesas a prueba de goteo. Los especímenes luego serán colocados en un baño de agua  $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$  por 2 horas  $\pm 10$  minutos con un mínimo de 25 mm de agua por encima de su superficie. Luego, ensayar los especímenes como se indicará.

3. Colocar el espécimen en el contenedor de vacío soportado un mínimo de 25 mm por encima de la base del contenedor por medio de un espaciador perforado. Llenar el contenedor con agua potable a la temperatura ambiente de tal forma que los especímenes tengan al menos 25 mm de agua encima de su superficie.

Dejar el espécimen sumergido en agua por corto tiempo (aproximadamente entre 5 a 10 minutos).

4. Cubrir cada uno de los especímenes saturados con una cubierta plástica. Colocar cada espécimen envuelto en una bolsa plástica conteniendo  $10 \pm 0,5$  mL de agua, y sellar la bolsa. Colocar las bolsas plásticas conteniendo los especímenes en la congeladora a una temperatura de  $-18^\circ \pm 3^\circ \text{C}$  por un mínimo de 16 horas. Remover los especímenes de la congeladora.

5. Colocar los especímenes en un baño con agua potable a  $60 \pm 1^\circ \text{C}$  por  $24 \pm 1$  horas. Los especímenes deben tener un mínimo de 25 mm de agua encima de su superficie. Tan pronto como sea posible después de su colocado en el baño de agua, remover la película plástica y las bolsas de cada espécimen.

6. Después de  $24 \pm 1$  horas en el baño de agua de  $60 \pm 1^\circ \text{C}$ , remover los especímenes y colocarlos luego en un baño de agua a  $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$  por 2 horas  $\pm 10$  minutos. Los especímenes deben tener un mínimo de 25 mm de agua por encima de su superficie. Puede ser necesario adicionar hielo al baño de agua para prevenir que la temperatura de esta se eleve por encima de los  $25^\circ \text{C}$ . No más de 15 minutos serán requeridos para que el agua del baño alcance los  $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$ . Remover los especímenes del baño de agua, y ensayarlos como se describirá en breve.

b) Procedimiento



(MTC E 522 , 2016)

1. Determinar el esfuerzo de tensión indirecta de los especímenes secos y acondicionados a  $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$ .
2. Remover los especímenes del baño de agua de  $25 \pm 0,5^\circ \text{C}$  y determinar su espesor ( $t'$ ) por MTC E 507. Colocarlo entre las cintas de carga de acero y luego colocar el conjunto entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo. Se debe tomar cuidado de tal forma que la carga sea aplicada a lo largo del diámetro del espécimen.
3. Aplicar la carga a los especímenes por medio de una razón constante de movimiento del cabezal de la máquina de ensayo, a 50mm (2 pulg) por minuto.
4. Registrar el esfuerzo a compresión máximo obtenido en la máquina de ensayo y continuar cargando hasta que aparezca una fisura vertical. Remover el espécimen de la máquina y abrirlo por la fisura. Inspeccionar su interior para evidenciar si hay agregados fisurados o fracturados, visualmente estimar el grado aproximado del daño por la humedad en una escala del 0 al 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento).

c) Cálculos

(MTC E 522 , 2016)

Calcular el esfuerzo a tensión como sigue:

Unidades SI:

$$S_t = \frac{200p}{\pi \cdot t \cdot D}$$

Donde:

$S_t$  = Esfuerzo a la tensión, KPa.

P = Carga máxima, N.

T = Espesor del espécimen, mm.

D = Diámetro del espécimen, mm.

Expresar el índice numérico de resistencia de mezclas asfálticas al efecto dañino del agua como la razón del esfuerzo original que es retenido después del acondicionamiento húmedo y de congelamiento-deshielo. Calcular la razón del esfuerzo a tensión con dos cifras decimales cómo se indica:

$$\text{Razón del Esfuerzo a Tensión (TSR)} = \frac{S_2}{S_1}$$

Donde:

$S_1$  = Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo seco, KPa.

$S_2$  = Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo condicionado, KPa.



### 2.2.7. ¿Qué es el grafito?

Según (Coordinación General de Minería, 2014)

El grafito es un mineral compuesto exclusivamente por el elemento carbono. El grafito tiene la misma composición química que el diamante, que también es carbono puro, pero la estructura molecular del grafito y el diamante es completamente diferente. Esto provoca características casi opuestas en sus propiedades físicas.

El grafito es un mineral bastante común, pero los cristales finos son raros. La mayoría de las áreas de minería de grafito producen enormes cantidades de una o varias vetas grandes de grafito, pero no suelen encontrarse muestras de colectores en buenos cristales.

Debe prestarse mucha atención a las muestras de grafito, especialmente los cristales delgados, que son frágiles. Puede ser difícil lavar los cristales, ya que se desprenden fácilmente y se arruinan. El grafito también manchará su superficie y se desgastará si se mueve demasiado. También mancha la mano cuando se maneja, y manchará una etiqueta o caja de cartón si se almacena en una.



*Figura N°18. Grafito*

Fuente:( [https://mineriaenlinea.com/rocas\\_y\\_minerales/grafito/](https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/grafito/))

#### 2.2.7.1. Propiedades del grafito

Según (Universidad de Oviedo, 2020)

- Propiedades mecánicas  
Módulo elástico: 4-30 GPa en función del proceso de obtención  
Dureza: temperatura ambiente de 1-2 Mohs
- Propiedades eléctricas.  
Resistividad específica: 0.00600 ohm-cm
- Propiedades térmicas



Temperatura de fusión: 3650 °C

Coefficiente de dilatación térmica lineal: A la temperatura de 20 °C

Conductividad térmica: 80-240 W/m·K

Capacidad calorífica específica: 0.70768 J/g·°C

- Propiedades magnéticas: no tiene
- Propiedades químicas: No inflamable. Durabilidad en ácidos débiles, agua (dulce y salada), álcalis débiles, disoluciones orgánicas muy buena. Aguanta radiaciones U.V. No aguanta bases fuertes y poco ácidos fuertes

#### 2.2.7.2. Aplicaciones del grafito

(CAMIMEX, 2012)

- El grafito es un material refractario y se emplea en ladrillos, crisoles, etc.
- Al deslizarse las capas fácilmente en el grafito, resulta ser un buen lubricante sólido.
- Se utiliza en la fabricación de diversas piezas en ingeniería, como pistones, juntas, arandelas, rodamientos, etc.
- Este material es conductor de la electricidad y se usa para fabricar electrodos. También tiene otras aplicaciones eléctricas.
- Se emplea en reactores nucleares, como moderadores y reflectores.
- El grafito mezclado con una pasta sirve para fabricar lápices.
- Es usado para crear discos de grafito parecidos a los de discos vinilo salvo por su mayor resistencia a movimientos bruscos de las agujas lectoras.
- También se utiliza para evitar la oxidación.
- En los últimos tiempos, el grafito ha ganado la consideración de mineral estratégico para la construcción de armamento nuclear, por emplearse como moderador, con el fin de reducir la acción de los neutrones del uranio.
- Se emplea para la fundición de metales (principalmente en la industria del acero), que son utilizados en hornos de arco eléctrico.

#### 2.2.7.3. Como se forma el grafito.

Según (Pablo Solís Fernández, 2011)

Dentro de la formación del grafito, este material se encuentra en rocas metamórficas como resultado de la reducción de compuestos de carbono sedimentario durante el metamorfismo. También se encuentra en rocas ígneas y en los meteoritos. Los minerales asociados a su estructura incluyen cuarzo, calcita, diferentes añicos y turmalina. En meteoritos ha encontrado



con troilita y minerales silicatos. Los cristales de este material en hierro meteorítico se conocen como cliftonita.

#### 2.2.7.3.1. Como se obtiene el Grafito

Según (Pablo Solís Fernández, 2011)

El Proceso de producción del grafito es el siguiente:

- **Minería:** El mineral de grafito se extrae de las minas de cielo abierto o subterráneas, pudiendo ser de fácil extracción o exigir el uso de explosivos para desmontar. El mineral, después de extraído, es transportado a plantas de concentración.
- **Concentración mecánica:** El mineral se somete a sucesivas moliendas ya un proceso de separación mecánica (por flotación) de las impurezas presentes en este mineral. La concentración mecánica busca la máxima recuperación del grafito presente en el mineral, preservando sus características físicas. En este proceso se alcanzan niveles de 75% a 98% de este mineral.
- **Concentración química:** Para obtener grafito con altos contenidos (encima del 98%) se utiliza la concentración química para remoción de las impurezas restantes previamente concentrado mecánicamente. Con este proceso se alcanzan niveles de 99,8% de este mineral.
- **Clasificación:** Técnicas de cribado se utilizan para clasificar las partículas del grafito concentrado, alcanzando la distribución granulométrica deseada para cada aplicación en la industria. Para la producción de polvo de grafito muy fino (debajo de 75 micras), molinos pendulares de chorro y martillo molen el grafito concentrado, hasta que las partículas alcancen el tamaño deseado. Las partículas molidas se clasifican, posibilitando controlar la distribución granulométrica del producto generado. Los diferentes métodos de molienda y clasificación permiten dar formato a la partícula, dando al estado natural del grafito características distintas de densidad para superficies específicas.

#### 2.2.8. Material de carbono grafito

(Infografeno, 2014)

##### 2.2.8.1. Grafeno

El grafeno no es más que el nombre que se le da a una sola capa atómica de grafito. El grafito es un cristal formado por capas compuestas de átomos de carbono unidos covalentemente, entre las cuales sólo existe interacción van der Waals. El grafeno pertenece pues a la familia de alótropos del carbono, a la que pertenecen también, además del diamante, sus predecesores cronológicos: los fullerenos y los nanotubos de carbono.



#### 2.2.8.1.1. Propiedades mecánicas del grafito.

Según (Graphenano, 2017):

El grafeno es una sustancia con unas características muy interesantes, algunas asombrosas. Estas propiedades junto a la abundancia de carbono en la naturaleza han hecho al grafeno ganarse el adjetivo de «material del futuro». Algunas de las características más destacadas del grafeno son:

- Alta conductividad térmica.
- Alta conductividad eléctrica
- Alta elasticidad (deformable).
- Alta dureza (resistencia a ser rayado).
- Alta resistencia. El grafeno es aproximadamente 200 veces más resistente que el acero, similar a la resistencia del diamante, pero es muchísimo más ligero.
- Es más flexible que la fibra de carbono, pero igual de ligero.
- La radiación ionizante no le afecta.
- Presenta un bajo efecto Joule (calentamiento al conducir electrones).
- Para una misma tarea el grafeno consume menos electricidad que el silicio.
- Es capaz de generar electricidad por exposición a la luz solar.
- El grafeno es un material prácticamente transparente.
- Es muy denso y no deja pasar al helio en forma gaseosa, sin embargo, si deja pasar al agua, la cual, encerrada en un recipiente de grafeno, muestra una velocidad de evaporación similar a la que muestra en un recipiente abierto.

Otras características aún en discusión son la capacidad de auto-enfriamiento descrita por investigadores de la Universidad de Illinois o su capacidad de auto-reparación. Si una capa de grafeno pierde algunos átomos de carbono por cualquier motivo, los átomos cercanos al hueco dejado se acercan y cierran dicho hueco, esta capacidad de auto-reparación podría aumentar la longevidad de los materiales fabricados con grafeno, aunque de forma limitada.

### 2.3. Hipótesis general

#### 2.3.1. Hipótesis general

Las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito, este último tendrá mejores resultados.



### 2.3.2. Sub hipótesis

- a) Los parámetros volumétricos tendrán mejores resultados entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100.
- b) La estabilidad y flujo será mayor entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito , con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100.
- c) El porcentaje de pérdida por desgaste será menor entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100.
- d) La resistencia al daño inducido por humedad será mayor entre la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito, con respecto a mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100.

### 2.4. Variables e indicadores

#### 2.4.1. Definición de Variables

##### 2.4.1.1. Variable Independientes

X: MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100

X1: Agregado fino

Diseño de mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 conformada por agregados fino y grueso, asfalto, filler y ligante bituminoso.

X2: Agregado fino adicionando grafito

Diseño de mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 conformada por agregados fino y grueso, asfalto, filler, ligante bituminoso y grafito.

##### 2.4.1.1.1. Indicadores de Variables Independientes

X1: Agregado fino

- Porcentaje en peso del agregado fino (%)

X2: Agregado fino adicionando grafito

- Porcentaje en peso del agregado fino adicionando grafito (%)

##### 2.4.1.2. Variables Dependientes

Y: PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

Y1: Parámetros Volumétricos

Se refiere a las relaciones volumétricas entre el ligante asfáltico y los agregados, que proporcionan un índice de probable comportamiento de la mezcla.

Y2: Estabilidad y Flujo Marshall



La estabilidad se define como la capacidad de la mezcla para resistir desplazamientos y deformación. El valor del flujo es la deformación vertical total del espécimen sometido a la máxima carga, punto en el cual la carga empieza a decrecer.

Y3: Pérdida por desgaste

Se realiza mediante el ensayo de cántabro, para la susceptibilidad al desgaste se mide la resistencia y la fatigada, se calcula la resistencia de la probeta sometida al desgaste de las esferas de acero.

Y4: Resistencia al daño inducido por humedad

Se realiza mediante la tensión diametral que resulta de los efectos de la saturación del agua y acondicionamiento en agua acelerado con un ciclo de congelamiento – deshielo, de mezclas asfálticas compactadas.

2.4.1.2.1. Indicadores de Variables Dependientes

Y1: Parámetros Volumétricos

- Porcentaje de Vacíos Porcentaje (%) de los especímenes sin/con grafito

Y2: Estabilidad y Flujo Marshall

- Estabilidad (Kg), Flujo (0.01 pulg) de los especímenes sin/con grafito

Y3: Pérdida por desgaste

- Porcentaje de pérdida media por desgaste (%) de los especímenes sin/con grafito

Y4: Resistencia al daño inducido por humedad

- Valores de Tracción Indirecta Kpa (Kilo pascales) de los especímenes sin/con grafito



2.4.2. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla N°21. Cuadro de operacionalización de variables

| “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO |   |  |  |  |  |                                       |  |
|--|---|--|--|--|--|---------------------------------------|--|
| TIPO   | VARIABLES                               | DIMENSIÓN                                | DESCRIPCIÓN  | NIVEL  | INDICADOR  | UNIDADES                              | INSTRUMENTOS   |
| VARIABLE INDEPENDIENTE   | MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 | Agregado fino                            | Diseño de mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 conformada por agregados fino y grueso, asfalto, filler y ligante bituminoso.  | % respecto al peso total de la arena como base teórica                         | Porcentaje en peso del agregado fino                             | Porcentaje (%)                        | Instrumentos para control de calidad de agregados.   |
|  |   | Agregado fino adicionando grafito        | Diseño de mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 conformada por agregados fino y grueso, asfalto, filler, ligante bituminoso y grafito.   | 5%, 10%, 15% y 20% respectivamente, de adición al peso total del agregado fino | Porcentaje en peso del agregado fino adicionando grafito         | Porcentaje (%)                        | Instrumentos para cuantificación de propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito. |
|  |   |  |  |  |  |                                       | Instrumentos para diseño con la metodología Marshall.  |
| VARIABLES DEPENDIENTES   | PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS            | Parámetros Volumétricos                  | Se refiere a las relaciones volumétricas entre el ligante asfáltico y los agregados, que proporcionan un índice de probable comportamiento de la mezcla, durante su vida de servicio   | Análisis de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionando grafito     | Relación peso y volumen de los especímenes sin/con grafito       | Porcentaje (%)                        | • Formato de: Parámetros Volumétricos  |
|  |   | Estabilidad y Flujo Marshall             | La estabilidad se define como la capacidad de la mezcla para resistir desplazamientos y deformación. El valor del flujo es la deformación vertical total del espécimen sometido a la máxima carga, punto en el cual la carga empieza a decrecer. |  | Estabilidad y Flujo de los especímenes sin/con grafito           | Estabilidad (Kg)<br>Flujo (0.01 pulg) | • Formato de: Ensayo de estabilidad y flujo Marshall.  |
|  |   | Pérdida por desgaste                     | Se realiza mediante el ensayo de cántabro, para la susceptibilidad al desgaste se mide la resistencia y la fatigada, se calcula la resistencia de la probeta sometida al desgaste de las esferas de acero.                                       |  | Pérdida media por desgaste de los especímenes sin/con grafito    | Porcentaje (%)                        | • Formato de: Ensayo de Pérdida por desgaste.  |
|  |   | Resistencia al daño inducido por humedad | Se realiza mediante la tensión diametral que resulta de los efectos de la saturación del agua y acondicionamiento en agua acelerado con un ciclo de congelamiento – deshielo, de mezclas asfálticas compactadas.                                 |  | Valores de Tracción Indirecta de los especímenes sin/con grafito | Kpa (Kilo pascales)                   | • Formato de: Resistencia al daño inducido por humedad.  |

Fuente: Elaboración propia



## Capítulo III: Metodología

### 3.1. Metodología de la investigación

#### 3.1.1. Enfoque de la investigación

*El tipo de investigación es cuantitativo se caracteriza por tener planteamientos acotados, mide fenómenos, utiliza estadística y realiza prueba de hipótesis y teoría (Paneque Jiménez Rosa, 1998)*

El tipo de la tesis es cuantitativo, ya que se determinará las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100, con respecto a la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionada con grafito, con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

#### 3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

*Las tesis explicativas establecen hipótesis (es decir, supuestos o presunciones teóricas que se pueden verificar empíricamente, en forma directa o indirecta) que constituyen el núcleo de su encuadre teórico, a priori de las mediciones. (Wynarczyk, 2001)*

El nivel de la tesis es explicativo, ya que se pretende realizar pruebas de laboratorio, recoger información de manera independiente de cada variable y explicar cada resultado obtenido en el proceso que serán útiles para demostrar las hipótesis planteadas.

#### 3.1.3. Método de investigación

El método hipotético deductivo Popper rechaza la posibilidad de elaborar leyes generales a partir de la inducción y sostuvo que en realidad esas leyes generales son hipótesis que formula el científico, y que se utiliza el método deductivo a partir de esas hipótesis de carácter general para elaborar predicciones de fenómenos individuales.

*Es central en esta concepción del método científico, la falsabilidad de las teorías científicas, esto es, la posibilidad de ser refutadas por la experimentación. En el método hipotético deductivo, las teorías científicas no pueden nunca reputarse verdaderas, sino a lo sumo no refutadas. (Popper, (1935))*

El método de investigación correspondiente de la tesis es hipotético deductivo ya que se plantea una hipótesis, la cual vamos a demostrar mediante una serie de pasos los cuales nos permite deducir relaciones entre las variables que permiten demostrar la hipótesis.



### 3.2. Diseño de la investigación

#### 3.2.1. Diseño metodológico

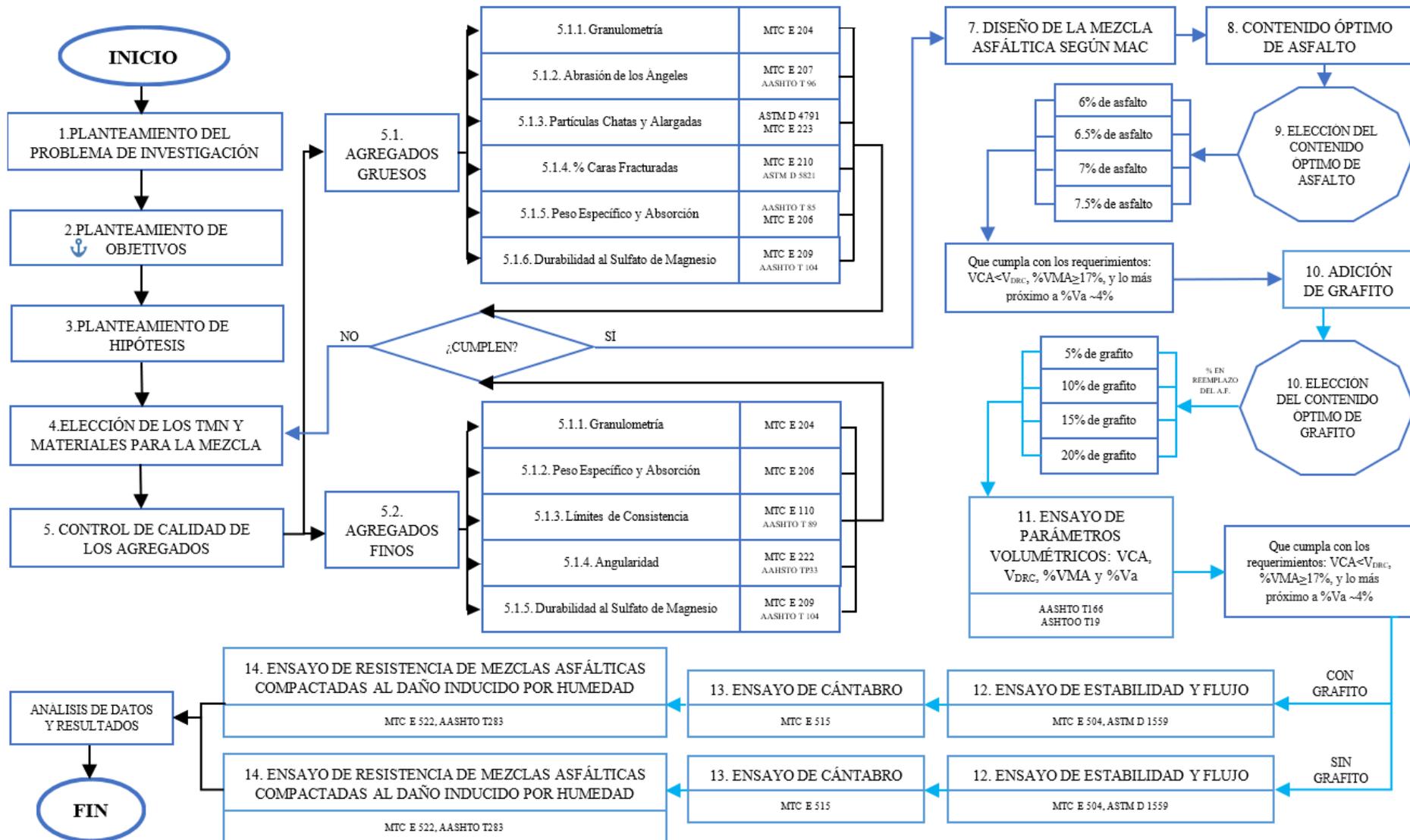
Según Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014), se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador.

El diseño de la presente tesis es EXPERIMENTAL debido a que se tiene grupo de estudio patrón que estará conformado por mezclas asfálticas en caliente PEN 85/10 y un grupo de estudio experimental que estará conformado por mezclas asfálticas en caliente PEN 85/10 adicionadas con grafito.

#### 3.2.2. Diseño de ingeniería



Gráfico N°1. Diseño de ingeniería



Fuente: Elaboración Propia



### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

##### 3.3.1.1. Descripción de la población.

Según Monje Álvarez (2011), la población o universo es el conjunto de objetos, sujetos o unidades que comparten la característica que se estudia y a la que se pueden generalizar los hallazgos encontrados en la muestra (aquellos elementos del universo seleccionados) para ser sometidos a la observación. La definición de la población para un proyecto de investigación responde a la necesidad de especificar el grupo al cual son aplicables los resultados del estudio. La población está conformada por especímenes de mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 y la mezcla asfáltica en caliente PEN 85/100 adicionadas con grafito.

##### 3.3.1.2. Cuantificación de la población

Ya que la población se considera igual que la muestra, esta consta de 60 especímenes asfálticos, 30 mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100 y 30 mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100 adicionadas con grafito.

#### 3.3.2. Muestra

##### 3.3.2.1. Descripción de la muestra

Según Monje Álvarez (2011), cuando el universo está compuesto por un número relativamente alto de unidades resulta imposible o innecesario examinar cada una de las unidades que lo componen. En tal caso se procede a extraer una muestra, o sea, un conjunto de unidades, una porción del total que represente la conducta del universo total. Al emplear una muestra se busca lograr que, observando una porción relativamente reducida de unidades, se puedan obtener conclusiones semejantes a las que se lograría se estudiara el universo total. Cuando la muestra refleja en sus unidades lo que ocurre en el universo, se llama muestra representativa.

La muestra está conformada por especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 adicionadas con grafito. Los especímenes serán elaborados con agregados, agregado grueso de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ", y el agregado fino arena triturada y arena lavada de la cantera de COPESCO (Caicay, Cusco), solo el agregado de  $\frac{3}{4}$ " será de la Cantera de Huambutío (Lucre, Cusco), cemento portland Tipo IP como filler, cemento asfáltico PEN 85/100, el mineral grafito que pase la malla N°3/8" y se retenga en la malla N°200.cal

##### 3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La cuantificación de la muestra se considera 16 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 para la determinación de Parámetros Volumétricos en donde se identificará el porcentaje de



asfalto óptimo, 16 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 adicionados con grafito al 5%, 10%, 15% y 20% (respecto al peso total de la del agregado fino) para la determinación de Parámetros Volumétricos en donde se identificará el porcentaje de grafito óptimo, 4 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 y 4 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 adicionados con grafito para determinar la Estabilidad y el Flujo Marshall, 4 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 y 4 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 adicionados con grafito para determinar la Pérdida por Desgaste por Cántabro, y 6 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 y 6 especímenes asfálticos en caliente PEN 85/100 adicionados con grafito para determinar la Susceptibilidad a la Humedad.

Tabla N°22. Cantidad de muestras de mezclas asfálticas a realizar

| CANTIDAD DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS A REALIZAR |                           |                      |                            |   |                            |   |
|---|---------------------------|----------------------|----------------------------|---|----------------------------|---|
| ENSAYO  | NORMA                     | DESCRIPCIÓN          | N° DE MUESTRAS SEGÚN NORMA |   | N° DE MUESTRAS SIN GRAFITO |   |
| PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS                               | AASHTO T166<br>AASHTO T19 | % DE ASFALTO         | COMPACTADAS                |   | COMPACTADAS                |   |
|   |                           | % Asfalto N°1 (6.0%) | 3                          |   | 4                          |   |
|   |                           | % Asfalto N°2 (6.5%) | 3                          |   | 4                          |   |
|   |                           | % Asfalto N°3 (7.0%) | 3                          |   | 4                          |   |
|   |                           | % Asfalto N°4 (7.5%) | 3                          |   | 4                          |   |
| ENSAYO  | NORMA                     | DESCRIPCIÓN          | N° DE MUESTRAS SEGÚN NORMA |   | N° DE MUESTRAS CON GRAFITO |   |
| PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS                               | AASHTO T166<br>AASHTO T19 | % DE GRAFITO         | COMPACTADAS                |   | COMPACTADAS                |   |
|   |                           | % Grafito N°1 (5%)   | 3                          |   | 4                          |   |
|   |                           | % Grafito N°2 (10%)  | 3                          |   | 4                          |   |
|   |                           | % Grafito N°3 (15%)  | 3                          |   | 4                          |   |
|   |                           | % Grafito N°4 (20%)  | 3                          |   | 4                          |   |
| ESTABILIDAD Y FLUJO                                   | MTC E 504,<br>ASTM D 1559 | GRAFITO              | COMPACTADAS                |   | COMPACTADAS                |   |
|   |                           | Sin Grafito          | 3                          |   | 4                          |   |
|   |                           | Con Grafito          | 3                          |   | 4                          |   |
| DE CÁNTABRO   | MTC E 515                 | GRAFITO              | COMPACTADAS                |   | COMPACTADAS                |   |
|   |                           | Sin Grafito          | 4                          |   | 4                          |   |
|   |                           | Con Grafito          | 4                          |   | 4                          |   |
| SENSIBILIDAD A LA HUMEDAD                             | MTC E 522,<br>AASHTO T283 | GRAFITO              | COMPACTADAS                |   | COMPACTADAS                |   |
|   |                           | Sin Grafito          | Secas                      | 3 | Secas                      | 3 |
|   |                           |                      | Húmedas                    | 3 | Húmedas                    | 3 |
|   |                           | Con Grafito          | Secas                      | 3 | Secas                      | 3 |
| Húmedas   | 3                         |                      | Húmedas                    | 3 |                            |   |
| <b>TOTAL</b>  |                           |                      |                            |   | <b>60</b>                  |   |

Fuente: Elaboración Propia



### 3.3.2.3. Método de muestreo

En las muestras No Probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características que confirma sus componentes como tamaño forma resistencia llegar, entre otros. Aquí el procedimiento no es mecánico, ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de una persona o de un grupo de personas y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. Elegir entre una muestra probabilística o una no probabilística depende de los objetivos del estudio, del esquema de investigación y de la contribución que se piensa hacer con ella. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006)

Por lo expuesto anteriormente el método de muestreo se rige a las normas MTC, AASHTO, ASTM y NAPA para su selección, como parte importante. Los componentes de la mezcla asfáltica dotaran sus características primordiales los cuales se seleccionaron y procesaran a criterio personal del investigador.

En esta investigación se utilizó el muestreo estratigráfico, una división previa de la población en grupos homogéneos con aspecto y características de las que se va investigar.

### 3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

- Diseño de mezclas asfálticas corresponderá a cada uno de los porcentajes de los ligantes asfálticos utilizados (mezclas asfálticas en caliente PEN 85/100 y adicionados con grafito).
- Todas las muestras de prueba utilizadas en el diseño de la mezcla deben realizarse de manera controlada, cumpliendo con todos los criterios especificados en la norma para obtener consistencia y repetibilidad en los resultados de la prueba.
- Especímenes asfálticos compactados, mediante compactación por 75 Golpes en cada cara.
- Las probetas no deberán presentar fracturas o fisuras de gran tamaño que provoquen la partición de dicha muestra.
- Para diseñar la mezcla, los objetos de prueba deben tener la forma según la norma de prueba ASTM D 6926 con un peso de aprox. 1200 gramos, conformados con las siguientes dimensiones, 10 cm (4" aprox.) de diámetro y aprox. 6 cm de altura.
- La probeta deberá estar bien compactas de manera que no exista desprendimientos de las partículas al simple tacto o manipuleo.
- Todas las probetas deben adoptar las mismas dimensiones en cuanto a volumen y tamaño.



### 3.3.3. Criterios de inclusión

- El contenido de asfalto para mezclas asfálticas es como mínimo 6%, por ende, para determinar el contenido óptimo de asfalto se toma en cuenta un incremento de 0.5%, resultando un diseño con cuatro porcentajes diferentes (6%, 6.5%, 7%, 7.5%).
- El filler se eligió el Cemento Portland Tipo IP.
- El Tamaño Máximo Nominal para el diseño es de 1" (25.4 mm).
- La mezcla asfáltica es en caliente y el tipo de asfalto será PEN 85/100.
- El grafito se coloca en seco, este tiene que estar comprendido entre las mallas N°4 y N°200.
- El grafito se coloca en diferentes porcentajes (5%, 10%, 15% y 20%, respecto al peso total del agregado fino de la mezcla).
- El grafito tiene que esparcirse por toda la mezcla de manera homogénea.
- La temperatura mínima de mezclado es de 135°C.
- Los agregados y el agente estabilizante deben calentarse a la misma temperatura antes de mezclarlos con el asfalto.
- Se incluirá en el estudio de agregados que cumplan tanto agregado fino como grueso de la cantera de COPESCO (Caicay, Cusco) y HUAMBUTIO (Lucre, Cusco), que cumplan con todas las especificaciones necesarias establecidas en las Especificaciones generales de carreteras (EG – 2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los ligantes deberán cumplir con todos los parámetros de calidad expuestos en las normas ASTM.

### 3.4. Instrumentos

#### 3.4.1. Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos

##### 3.4.1.1. Formato N°1 – Ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados



Tabla N°23. Formato de ensayo de análisis granulométrico de agregados

| <br><b>Universidad<br/>Andina<br/>del Cusco</b>   | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
|---|--|--------------------|------------|-------------------------|----------------------|------------|-----------------|-----------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 204  |  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| RESPONSABLES: _____ FECHA: _____<br>_____<br>LUGAR: _____<br>MATERIAL: _____  |  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| <b>GRANULOMETRÍA AGREGADO</b>   |  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| TAMIZ N°  | ABERTURA (mm)  | PESO RETENIDO (gr) | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr) | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | 19 mm TMN       |                 |
|   |  |                    |            |                         |                      |            | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 1"  | 25.40  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| 3/4"  | 19.05  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| 1/2"  | 12.70  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| 3/8"  | 9.53   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°4   | 4.76   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°8   | 2.36   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°10  | 2.00   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°16  | 1.18   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°30  | 0.60   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°40  | 0.42   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°50  | 0.30   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°80  | 0.18   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°100   | 0.15   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| N°200   | 0.07   |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| <b>FONDO</b>  |  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |
| <b>TOTAL RETENIDO</b>   |  |                    |            |                         |                      |            |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA 3/4"**

Legend:  rótulos  Tamices

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.2. Formato N°2 – Ensayo de abrasión los ángeles

Tabla N°24. Formato de ensayo de abrasión los ángeles

|   |                      |  |               |              |            |              |              |              |
|---|----------------------|--|---------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|
|   |                      | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b>   |               |              |            |              |              |              |
|   |                      | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |               |              |            |              |              |              |
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |                      |  |               |              |            |              |              |              |
| <b>ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES</b>   |                      |  |               |              |            |              |              |              |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 207  |                      |  |               |              |            |              |              |              |
| RESPONSABLES: _____   |                      |  |               | FECHA: _____ |            |              |              |              |
| LUGAR: _____  |                      |  |               |              |            |              |              |              |
| MATERIAL: _____   |                      |  |               |              |            |              |              |              |
| <b>ABRASIÓN LOS ÁNGELES</b>   |                      |  |               |              |            |              |              |              |
| 3/4"  | 1/2"                 | <b>TOTAL</b>   |               |              |            |              |              |              |
|   |                      |  |               |              |            |              |              |              |
| <b>MÉTODO</b>   |                      | A  | B             | C            | D          | E            | F            | G            |
| <b>DIÁMETRO</b>   |                      | <b>CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (gr)</b>  |               |              |            |              |              |              |
| <b>% QUE PASA</b>   | <b>RETENIDO O</b>    |  |               |              |            |              |              |              |
| 3"  | 2 1/2"               |  |               |              |            | 2 500        |              |              |
| 2 1/2"  | 2"                   |  |               |              |            | 2 500        |              |              |
| 2"  | 1 1/2"               |  |               |              |            | 5 000        | 5 000        |              |
| 1 1/2"  | 1"                   | 1 250  |               |              |            |              | 5 000        | 5 000        |
| 1"  | 3/4"                 | 1 250  |               |              |            |              |              | 5 000        |
| 3/4"  | 1/2"                 | 1 250  | 2 500         |              |            |              |              |              |
| 1/2"  | 3/8"                 | 1 250  | 2 500         |              |            |              |              |              |
| 3/8"  | 1/4"                 |  |               | 2 500        |            |              |              |              |
| 1/4"  | N° 4                 |  |               | 2 500        |            |              |              |              |
| N° 4  | N° 8                 |  |               |              | 5 000      |              |              |              |
| <b>PESO TOTAL</b>   |                      | 5 000  | 5 000         | 5 000        | 5 000      | 10 000       | 10 000       | 10 000       |
| <b>N° de esferas</b>  |                      | <b>12</b>  | <b>11</b>     | <b>8</b>     | <b>6</b>   | <b>12</b>    | <b>12</b>    | <b>12</b>    |
| <b>N° de revoluciones</b>   |                      | <b>500</b>   | <b>500</b>    | <b>500</b>   | <b>500</b> | <b>1 000</b> | <b>1 000</b> | <b>1 000</b> |
| <b>Tiempo de rotación (min)</b>   |                      | 15   | 15            | 15           | 15         | 30           | 30           | 30           |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |                      |  |               |              |            |              |              |              |
| <b>SIMB.</b>  | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>FÓRMULA</b>   | <b>UNIDAD</b> | <b>VALOR</b> |            |              |              |              |
|   |                      | sin lavar  |               |              |            |              |              |              |
| Pa  | Peso Inicial del AG  | P1 - Recipiente  | gr            |              |            |              |              |              |
| Pb  | Peso Final del AG    | P2 - Recipiente  | gr            |              |            |              |              |              |
| % Desg.   | % de Desgaste del AG | $((Pa-Pb) / Pa)*100$   | %             |              |            |              |              |              |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.3. Formato N°3 – Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados



Tabla N°25. Formato de ensayo de partículas chatas y alargadas

|   |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
|---|-------------|--|-------------------|---------|----------|--------------|----------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------------|-----------|-------------|---------|--|
|   |             | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b>   |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
|   |             | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"  |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>  |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 223  |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| RESPONSABLES: _____   |             |  |                   |         |          | FECHA: _____ |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| LUGAR: _____  |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| MATERIAL: _____   |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>  |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL</b>  |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| Peso inicial  |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
|   |             |  | PARTÍCULAS CHATAS |         |          |              | PARTÍCULAS ALARGADAS |   | PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS |   | PARTÍCULAS NI CHATAS Y NI ALARGADAS |           |             |         |  |
| PASA  | RETENIDO    | PESO RETENIDO (g)  | PESO RET. (%)     | % PASA. | PESO (g) | %            | PESO (g)             | % | PESO (g)                      | % | PESO (g)                            | %         |             |         |  |
| 2"  | 1 1/2"      |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| 1 1/2"  | 1"          |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| 1"  | 3/4"        |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| 3/4"  | 1/2"        |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| 1/2"  | 3/8"        |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| 3/8"  | 1/4"        |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| FONDO   |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| SUMATORIA   |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <table border="1" style="float: right;"> <tr> <td style="background-color: red; color: white;">REQUISITO</td> <td style="background-color: red; color: white;">OBSERVACIÓN</td> </tr> <tr> <td style="background-color: red; color: white;">10% MÁX</td> <td></td> </tr> </table> |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     | REQUISITO | OBSERVACIÓN | 10% MÁX |  |
| REQUISITO   | OBSERVACIÓN |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| 10% MÁX   |             |  |                   |         |          |              |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>  |             |  |                   |         |          | lap =        |                      |   |                               | % |                                     |           |             |         |  |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.4. Formato N°4 – Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

Tabla N°26. Formato de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas Fracturadas en el Agregado Grueso

|   |  |   |   |                            |                                      |                                      |
|---|--|---|---|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <br><b>Universidad<br/>Andina<br/>del Cusco</b>  | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS</b>  |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 210  |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| RESPONSABLES: _____   |  | FECHA: _____  |   |                            |                                      |                                      |
| LUGAR: _____  |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| MATERIAL: _____   |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS</b>   |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS</b>  |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>  | <b>A</b>   | <b>B</b>  | <b>C = ((B/A)*100)</b>                          | <b>D (A/TOTAL "A")</b>     | <b>E (C*D)</b>                       |                                      |
| <b>PASA TAMIZ</b>   | <b>RETIENE TAMIZ</b>   | <b>PESO DE MUESTRA (gr)</b>   | <b>PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (gr)</b> | <b>% CARAS FRACTURADAS</b> | <b>% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL</b> | <b>PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS</b> |
|   |  |   |   |                            |                                      |                                      |
|   |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TOTAL</b>  |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>% PARTÍCULAS CON UNA (1) O MÁS CARAS FRACTURADAS =</b>   |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS</b>  |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>  | <b>A</b>   | <b>B</b>  | <b>C = ((B/A)*100)</b>                          | <b>D (A/TOTAL "A")</b>     | <b>E (C*D)</b>                       |                                      |
| <b>PASA TAMIZ</b>   | <b>RETIENE TAMIZ</b>   | <b>PESO DE MUESTRA (gr)</b>   | <b>PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (gr)</b> | <b>% CARAS FRACTURADAS</b> | <b>% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL</b> | <b>PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS</b> |
|   |  |   |   |                            |                                      |                                      |
|   |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TOTAL</b>  |  |   |   |                            |                                      |                                      |
| <b>% PARTÍCULAS CON DOS (2) O MÁS CARAS FRACTURADAS =</b>   |  |   |   |                            |                                      |                                      |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.5. Formato N°5 – Ensayo de peso específico

Tabla N°27. Formato de ensayo de peso específico

|    | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  |  |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|-------------|--------|----------|-----|----------|---|--|----|--|--|--|---|---|----|--|--|--|---|--|----|--|--|--|--------|----------------------------|--------------------|--|--|--|-------------|---|--------------------|--|--|--|----------------------|-------------------------|--------------------|--|--|--|----|-----------|---|--|--|--|--|--|--|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |   |   |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| <b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 206  |   |   |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| <b>RESPONSABLES:</b> _____ <b>FECHA:</b> _____<br><b>LUGAR:</b> _____<br><b>MATERIAL:</b> _____   |   |   |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| <b>PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO</b>   |   |   |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
|   | <table border="1"> <thead> <tr> <th>SÍMBOLO</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UNIDAD</th> <th>N°1</th> <th>N°2</th> <th>PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Peso en el aire del agregado seco al horno</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pe=Gsa</td> <td>Pe seco aparente (A/(A-C))</td> <td>gr/cm<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pesss=Gsssb</td> <td>Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C))</td> <td>gr/cm<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pe<sub>s</sub>=Gsb</td> <td>Pe seco Bulk ( A/(B-C))</td> <td>gr/cm<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ab</td> <td>Absorción</td> <td>%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | SÍMBOLO   | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | N°1      | N°2 | PROMEDIO | A | Peso en el aire del agregado seco al horno | gr |  |  |  | B | Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco | gr |  |  |  | C | Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua | gr |  |  |  | Pe=Gsa | Pe seco aparente (A/(A-C)) | gr/cm <sup>3</sup> |  |  |  | Pesss=Gsssb | Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C)) | gr/cm <sup>3</sup> |  |  |  | Pe <sub>s</sub> =Gsb | Pe seco Bulk ( A/(B-C)) | gr/cm <sup>3</sup> |  |  |  | Ab | Absorción | % |  |  |  |  |  |  |
| SÍMBOLO   | DESCRIPCIÓN   | UNIDAD  | N°1         | N°2    | PROMEDIO |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| A   | Peso en el aire del agregado seco al horno  | gr  |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| B   | Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco   | gr  |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| C   | Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua  | gr  |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| Pe=Gsa  | Pe seco aparente (A/(A-C))  | gr/cm <sup>3</sup>  |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| Pesss=Gsssb   | Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C))   | gr/cm <sup>3</sup>  |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| Pe <sub>s</sub> =Gsb  | Pe seco Bulk ( A/(B-C))   | gr/cm <sup>3</sup>  |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |
| Ab  | Absorción   | %   |             |        |          |     |          |   |  |    |  |  |  |   |   |    |  |  |  |   |  |    |  |  |  |        |                            |                    |  |  |  |             |   |                    |  |  |  |                      |                         |                    |  |  |  |    |           |   |  |  |  |  |  |  |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.6. Formato N°6 – Ensayo de límites de consistencia

Tabla N°28. Formato de ensayo de límites de consistencia

|  <p>Universidad<br/>Andina<br/>del Cusco</p>  | <p><b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br/>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br/>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> |  |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|---|---|--|-----------------|-----------------|---|---|--------------------------------|--|--|--|--|------------------------------|--|--|--|--|---------------------|--|--|--|--|-----------------------------------|--|--|--|--|------------------------|--|--|--|--|-------------------------------|--|--|--|--|------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| <p>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</p>  |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS</b></p>   |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p>BASADO EN LA NORMA MTC E 110</p>  |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p>RESPONSABLES: _____ FECHA: _____</p>  |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p>LUGAR: _____</p>  |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p>MATERIAL: _____</p>   |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>LÍMITES DE CONSISTENCIA PARA EL AGREGADO</b></p>   |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tara Número</th> <th colspan="3">LÍMITE LÍQUIDO</th> <th rowspan="2">LÍMITE PLÁSTICO</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso Tara + Muestra Húmeda (A)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Tara + Muestra Seca (B)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la Tara (C)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso de la Muestra Seca (Pms=B-C)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del Agua (Pa=A-B)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de Humedad (Pa/Pms)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de Golpes</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Tara Número  | LÍMITE LÍQUIDO  |   |  | LÍMITE PLÁSTICO | 1               | 2 | 3 | Peso Tara + Muestra Húmeda (A) |  |  |  |  | Peso Tara + Muestra Seca (B) |  |  |  |  | Peso de la Tara (C) |  |  |  |  | Peso de la Muestra Seca (Pms=B-C) |  |  |  |  | Peso del Agua (Pa=A-B) |  |  |  |  | Contenido de Humedad (Pa/Pms) |  |  |  |  | Número de Golpes |  |  |  |  |  |  |  |
| Tara Número  |  | LÍMITE LÍQUIDO  |   |  |                 | LÍMITE PLÁSTICO |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1  | 2   | 3 |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Peso Tara + Muestra Húmeda (A)   |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Peso Tara + Muestra Seca (B)   |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Peso de la Tara (C)  |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Peso de la Muestra Seca (Pms=B-C)  |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Peso del Agua (Pa=A-B)   |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Contenido de Humedad (Pa/Pms)  |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Número de Golpes   |  |   |   |  |                 |                 |   |   |                                |  |  |  |  |                              |  |  |  |  |                     |  |  |  |  |                                   |  |  |  |  |                        |  |  |  |  |                               |  |  |  |  |                  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.7. Formato N°7 – Ensayo de durabilidad sulfato de magnesio

Tabla N°29. Formato de ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

|  |                      |  |   |               |                                      |  |
|--|----------------------|--|---|---------------|--------------------------------------|--|
|  |                      | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b>   |   |               |                                      |  |
|  |                      | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |   |               |                                      |  |
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |                      |  |   |               |                                      |  |
| <b>ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO</b>  |                      |  |   |               |                                      |  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 209   |                      |  |   |               |                                      |  |
| RESPONSABLES: _____  |                      |  |   | FECHA: _____  |                                      |  |
| LUGAR: _____   |                      |  |   |               |                                      |  |
| MATERIAL: _____  |                      |  |   |               |                                      |  |
| <b>DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO</b>  |                      |  |   |               |                                      |  |
| <b>PASA TAMIZ</b>  | <b>RETIENE TAMIZ</b> | <b>PESO MÍNIMO REQUERIDO (gr)</b>  | <b>PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)</b> | <b>CUMPLE</b> | <b>TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO</b> |  |
| 3/8"   | N°4                  |  |   |               | N°4                                  |  |
| N°4  | N°8                  |  |   |               | N°8                                  |  |
| N°8  | N°16                 |  |   |               | N°16                                 |  |
| N°16   | N°30                 |  |   |               | N°30                                 |  |
| N°30   | N°50                 |  |   |               | N°50                                 |  |
| TOTAL  |                      |  |   |               |                                      |  |
| <b>PASA TAMIZ</b>  | <b>RETIENE TAMIZ</b> | <b>PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)</b>  | <b>PÉRDIDA TOTAL</b>                          |               |                                      |  |
| 3/8"   | N°4                  |  |   |               |                                      |  |
| N°4  | N°8                  |  |   |               |                                      |  |
| N°8  | N°16                 |  |   |               |                                      |  |
| N°16   | N°30                 |  |   |               |                                      |  |
| N°30   | N°50                 |  |   |               |                                      |  |
| TOTAL  |                      |  |   |               |                                      |  |
| <b>CORRECCIÓN AL 100%</b>  |                      |  |   |               |                                      |  |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.8. Formato N°8 – Ensayo de angularidad de finos

Tabla N°30. Formato de ensayo de angularidad de finos

|  <p><b>Universidad<br/>Andina<br/>del Cusco</b></p>  | <p align="center"><b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br/>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br/>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> |  |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
|---|---|---|-----------------------------------|--|------------------|---------|---------------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------|--|-----------------------|--|-------------------------|--|--------------------------------------|--|--|--|---------------------------------------|--|---|--|-----------------|--|
| <p align="center"><b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b></p>   |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| <p align="center"><b>ENSAYO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO</b><br/>BASADO EN LA NORMA MTC E 222</p>  |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| <p><b>RESPONSABLES:</b> _____ <b>FECHA:</b> _____</p> <p><b>LUGAR:</b> _____</p> <p><b>MATERIAL:</b> _____</p>  |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| <p><b>ANGULARIDAD DEL AGREGADO</b></p>  |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="316 842 815 880"> <p><b>Tamices utilizados:</b></p> </td> </tr> <tr> <th data-bbox="316 909 946 943" style="width: 60%;">DATOS DEL ENSAYO</th> <th data-bbox="946 909 1273 943">MUESTRA</th> </tr> <tr> <td data-bbox="316 943 946 976">Peso del Molde (gr)</td> <td data-bbox="946 943 1273 976"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 976 946 1010">Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)</td> <td data-bbox="946 976 1273 1010"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 1010 946 1043">Peso de la Muestra Suelta (gr)</td> <td data-bbox="946 1010 1273 1043"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 1043 946 1077">Altura del Molde (cm)</td> <td data-bbox="946 1043 1273 1077"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 1077 946 1111">Diámetro del Molde (cm)</td> <td data-bbox="946 1077 1273 1111"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 1111 946 1144">Volumen del Molde (cm<sup>3</sup>)</td> <td data-bbox="946 1111 1273 1144"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 1144 946 1178">Peso Unitario Suelto (gr/cm<sup>3</sup>)</td> <td data-bbox="946 1144 1273 1178"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 1178 946 1211">Peso Específico (gr/cm<sup>3</sup>)</td> <td data-bbox="946 1178 1273 1211"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 1211 946 1245">Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</td> <td data-bbox="946 1211 1273 1245"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="316 1245 946 1279">Angularidad (%)</td> <td data-bbox="946 1245 1273 1279"></td> </tr> </table> |   |   | <p><b>Tamices utilizados:</b></p> |  | DATOS DEL ENSAYO | MUESTRA | Peso del Molde (gr) |  | Peso del Molde + Muestra Suelta (gr) |  | Peso de la Muestra Suelta (gr) |  | Altura del Molde (cm) |  | Diámetro del Molde (cm) |  | Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> ) |  | Peso Unitario Suelto (gr/cm <sup>3</sup> ) |  | Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> ) |  | Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> ) |  | Angularidad (%) |  |
| <p><b>Tamices utilizados:</b></p>   |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| DATOS DEL ENSAYO  | MUESTRA   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Peso del Molde (gr)   |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)  |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Peso de la Muestra Suelta (gr)  |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Altura del Molde (cm)   |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Diámetro del Molde (cm)   |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )  |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Peso Unitario Suelto (gr/cm <sup>3</sup> )  |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )   |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )   |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |
| Angularidad (%)   |   |   |                                   |  |                  |         |                     |  |                                      |  |                                |  |                       |  |                         |  |                                      |  |  |  |                                       |  |   |  |                 |  |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.9. Formato N°9 – Diseño de la mezcla asfáltica en caliente – MAC

Tabla N°31. Formato de diseño de la mezcla asfáltica en caliente

| Malla        |        | PORCENTAJE PASANTES (%) |      |       |       |         | ESPECIFICACIONES | OBSERVACIONES |               |      |
|--------------|--------|-------------------------|------|-------|-------|---------|------------------|---------------|---------------|------|
| Tamiz        | mm.    | GRAVA                   |      | ARENA |       | FILLER  | MEZCLA           | MAC           | Tamaño máximo | 3/4" |
| AGREGADOS    |        | 3/4"                    | 1/2" | TRIT  | LAVAD | Cemento |                  | 1.0           |               |      |
| PROPORCIONES |        |                         |      |       |       |         |                  |               |               |      |
| 1"           | 25.400 |                         |      |       |       |         |                  | 100           |               |      |
| 3/4"         | 19.050 |                         |      |       |       |         |                  | 80            | 100           |      |
| 1/2"         | 12.700 |                         |      |       |       |         |                  | 67            | 85.0          |      |
| 3/8"         | 9.525  |                         |      |       |       |         |                  | 60            | -             | 77.0 |
| N° 4         | 4.760  |                         |      |       |       |         |                  | 43            | -             | 54.0 |
| N° 8         | 2.360  |                         |      |       |       |         |                  |               |               |      |
| N° 10        | 2.000  |                         |      |       |       |         |                  | 29            | -             | 45.0 |
| N° 16        | 1.180  |                         |      |       |       |         |                  |               |               |      |
| N° 30        | 0.600  |                         |      |       |       |         |                  |               |               |      |
| N° 40        | 0.420  |                         |      |       |       |         |                  | 14            | -             | 25.0 |
| N° 50        | 0.300  |                         |      |       |       |         |                  |               |               |      |
| N° 80        | 0.180  |                         |      |       |       |         |                  | 8             | -             | 17.0 |
| N° 100       | 0.150  |                         |      |       |       |         |                  |               |               |      |
| N° 200       | 0.074  |                         |      |       |       |         |                  | 4             | -             | 8.0  |
| pasa         | 0.000  |                         |      |       |       |         |                  |               |               |      |

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA**

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

ABERTURA (mm)

% QUE PASA EN PESO

- Especif. mín
- Especif. máx

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°32. Formato de diseño para cada espécimen o molde

|   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
|---|-----------------------|--|-----------------|---|-----------------|--------------|---------------|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|-------|--|--------------|--|
|   |                       | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b> |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
|   |                       | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO                 |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
|   |                       | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA        |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
|   |                       | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL      |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>DETERMINACIÓN DE PESOS PARA PROBETAS SIN GRAFITO</b>   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 204  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>RESPONSABLES:</b>  |                       | Kiara Aguilar Esquivel                       |                 | <b>FECHA:</b> 12/01/2021  |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
|   |                       | Cristhian Chauca Quispe                      |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>LUGAR:</b>   |                       | Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.          |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>MATERIAL:</b>  |                       | Agregado de la Cantera de Huambutio-Caycay   |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>PESOS PARA MOLDEO</b>  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| Granulometría de la mezcla teórica  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>Tamiz</b>  | <b>% Ret.</b>         | <b>% Acum.</b>                               | <b>% Pas.</b>   |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 1"  |                       |  | 100.00          |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 3/4"  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 1/2"  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 3/8"  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 4  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 8  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 10   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 16   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 30   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 40   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 50   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 80   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 100  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 200  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| pasa  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
|   |                       |  |                 | <table border="1"> <tr> <td><b>Tamiz</b></td> <td><b>% Ret.</b></td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° 4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° 8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arena</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td></td> </tr> </table> |                 | <b>Tamiz</b> | <b>% Ret.</b> | 3/4" |  | 1/2" |  | 3/8" |  | N° 4 |  | N° 8 |  | Arena |  | <b>Total</b> |  |
| <b>Tamiz</b>  | <b>% Ret.</b>         |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 3/4"  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 1/2"  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 3/8"  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 4  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 8  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| Arena   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>Total</b>  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>PESOS POR MALLAS PARA DISTINTOS PORCENTAJES DE CEMENTO ASFÁLTICO</b>   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>Para briquetas de</b>  |                       | <b>1250.00</b>                               |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>% de Cemento Asf.</b>  |                       | <b>6.00</b>                                  | <b>6.50</b>     | <b>7.00</b>   | <b>7.50</b>     |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>Filler 3%</b>  |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>Agregados en la mezcla</b>   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>Agregados por mallas</b>   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| <b>Tamiz</b>  | <b>% ret. Parcial</b> | <b>peso (g)</b>                              | <b>peso (g)</b> | <b>peso (g)</b>   | <b>peso (g)</b> |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 3/4"  | 0.00                  |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 1/2"  | 0.00                  |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| 3/8"  | 0.00                  |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 4  | 0.00                  |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| N° 8  | 0.00                  |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| Arena   | 0.00                  |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |
| Cemento Asfáltico   |                       |  |                 |   |                 |              |               |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |       |  |              |  |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.10. Formato N°10 – Ensayo de gravedad específica bulk

Tabla N°33. Formato de ensayo de gravedad específica bulk

|  <p><b>Universidad<br/>Andina<br/>del Cusco</b></p>   | <p><b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br/>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br/>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> |  |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|---|--------------------|---|--|-----|-----------------------|---------|------------------|--------------------|---|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|----------|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|----------|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|----------|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|--|--|--|--|---|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <p>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</p>  |  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS - % ASFALTO ÓPTIMO</b></p>  |  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p>BASADO EN LA NORMA AASHTO T166</p>  |  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p>RESPONSABLES: _____ FECHA: _____</p> <p>LUGAR: _____</p> <p>MATERIAL: _____</p>   |  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <p><b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS</b></p>  |  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">%</th> <th style="width: 10%;">N°</th> <th style="width: 15%;">WD</th> <th style="width: 15%;">WSUB</th> <th style="width: 15%;">WSSD</th> <th style="width: 15%;">Gmb</th> </tr> <tr> <th>PORCENTAJE DE ASFALTO</th> <th>PROBETA</th> <th>PESO AL AIRE (g)</th> <th>PESO SUMERGIDO (g)</th> <th>PESO EN SU CONDICIÓN SSD EN EL AIRE (g)</th> <th>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL ESPECÍMEN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="5"></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-</td><td colspan="4" style="text-align: center;">PROMEDIO</td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5"></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-</td><td colspan="4" style="text-align: center;">PROMEDIO</td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5"></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-</td><td colspan="4" style="text-align: center;">PROMEDIO</td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5"></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>-</td><td colspan="4" style="text-align: center;">PROMEDIO</td><td></td></tr> </tbody> </table> | %  | N°  | WD                 | WSUB                                    | WSSD                                   | Gmb | PORCENTAJE DE ASFALTO | PROBETA | PESO AL AIRE (g) | PESO SUMERGIDO (g) | PESO EN SU CONDICIÓN SSD EN EL AIRE (g) | GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL ESPECÍMEN |  | 1 |  |  |  |  | 2 |  |  |  |  | 3 |  |  |  |  | 4 |  |  |  |  | - | PROMEDIO |  |  |  |  |  | 1 |  |  |  |  | 2 |  |  |  |  | 3 |  |  |  |  | 4 |  |  |  |  | - | PROMEDIO |  |  |  |  |  | 1 |  |  |  |  | 2 |  |  |  |  | 3 |  |  |  |  | 4 |  |  |  |  | - | PROMEDIO |  |  |  |  |  | 1 |  |  |  |  | 2 |  |  |  |  | 3 |  |  |  |  | 4 |  |  |  |  | - | PROMEDIO |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| %  | N°   | WD  | WSUB               | WSSD                                    | Gmb                                    |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PORCENTAJE DE ASFALTO  | PROBETA  | PESO AL AIRE (g)  | PESO SUMERGIDO (g) | PESO EN SU CONDICIÓN SSD EN EL AIRE (g) | GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL ESPECÍMEN |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 3  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 4  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | -  | PROMEDIO  |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 3  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 4  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | -  | PROMEDIO  |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 3  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 4  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | -  | PROMEDIO  |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 1  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 2  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 3  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 4  |   |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | -  | PROMEDIO  |                    |   |  |     |                       |         |                  |                    |   |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |  |  |  |  |   |          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.11. Formato N°11 – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Tabla N°34. Formato de ensayo de estabilidad y flujo Marshall

|   | <b>Universidad Andina del Cusco</b> | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                                 |                   |                  |                  |
|---|-------------------------------------|--|---------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
| <b>ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL</b>   |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 504  |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
| RESPONSABLES: _____   |                                     | FECHA: _____   |                                 |                   |                  |                  |
| LUGAR: _____  |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
| MATERIAL: _____   |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
| <b>ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS</b>  |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
| <b>ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL</b>   |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
| PROBETA   | ESTABILIDAD CORREGIDA               | ESTABILIDAD PROMEDIO   | ALTURA APROXIMADA DEL ESPECIMEN | FLUJO MARSHALL    | FLUJO PROMEDIO   |                  |
| N°  | kN                                  |  | cm                              | mm                | mm               |                  |
|   |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
|   |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
|   |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
|   |                                     |  |                                 |                   |                  |                  |
| FLUJO Y ESTABILIDAD MARSHALL  | CONSIDERACIÓN                       |  | UNIDAD                          | C.A.              | ESPECIFICACIONES | CUMPLE/NO CUMPLE |
|   | Estabilidad Corregida Promedio      |  | kN                              | 6.50%             | EG - 2013        |                  |
|   | Flujo Promedio                      |  | mm                              |                   | Mínimo 8.15 kN   |                  |
|   | Relación Estabilidad/Flujo          |  | kg/cm                           |                   | 2 - 3.6          |                  |
|   |                                     |  |                                 | 1700.00 - 4000.00 |                  |                  |

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1.12. Formato N°12 – Ensayo de cántabro o pérdida por desgaste

Tabla N°35. Formato de ensayo cántabro o pérdida por desgaste

|   | <b>Universidad Andina del Cusco</b> | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |              |            |                          |              |
|---|-------------------------------------|--|--------------|------------|--------------------------|--------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |                                     |  |              |            |                          |              |
| <b>ENSAYO DE CÁNTABRO</b>   |                                     |  |              |            |                          |              |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 515  |                                     |  |              |            |                          |              |
| RESPONSABLES: _____   |                                     | FECHA: _____   |              |            |                          |              |
| LUGAR: _____  |                                     |  |              |            |                          |              |
| MATERIAL: _____   |                                     |  |              |            |                          |              |
| PROBETA   | CA %                                | ADICIONANTE  | PESO INICIAL | PESO FINAL | PÉRDIDA POR DESGASTE (%) | PROMEDIO (%) |
| M-1   | 6.5                                 | CON GRAFITO  |              |            |                          |              |
| M-2   |                                     |  |              |            |                          |              |
| M-3   |                                     |  |              |            |                          |              |
| M-4   |                                     |  |              |            |                          |              |
| M-1   | 6.5                                 | SIN GRAFITO  |              |            |                          |              |
| M-2   |                                     |  |              |            |                          |              |
| M-3   |                                     |  |              |            |                          |              |
| M-4   |                                     |  |              |            |                          |              |

Fuente: Elaboración Propia



3.4.1.13. Formato N°13 – Ensayo de daño inducido por humedad

Tabla N°36. Formato de ensayo daño inducido por humedad

|  |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
|--|--|-----------|-----------|---|-----------|-----------|---|------------|------------|---|---|------------|
|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>  | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |           |           |   |           |           |   |            |            |   |  |            |
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| <b>RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 522  |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| RESPONSABLES: _____ FECHA: _____   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| LUGAR: _____   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| MATERIAL: _____  |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| <b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS CON Y SIN GRAFITO</b>  |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>M1</b>  | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b>                                 | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M7</b>                               | <b>M8</b>  | <b>M9</b>  | <b>M10</b>                                | <b>M11</b>  | <b>M12</b> |
| Vacios de Aire en Porcentaje   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Altura de la Briqueta (mm)   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Diámetro de la Briqueta (mm)   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Volumen del Especimen (cm <sup>3</sup> )   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Volumen de Vacíos de Aire (cm <sup>3</sup> )   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
|  | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |           |           | <b>Muestra Acondicionado en Seco</b>      |           |           | <b>Muestra Acondicionado en Humedo</b>  |            |            |   |   |            |
|  |  |           |           | <b>M4</b>                                 | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M10</b>                              | <b>M11</b> | <b>M12</b> |   |   |            |
|  | Peso de la Briqueta SS (g)   |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
|  | Peso de la Briqueta SS (g)   |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
|  | Volumen Absorbido de Agua (cm <sup>3</sup> )   |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
|  | Grado de Saturacion (%)  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>Sin Grafito</b>   |           |           | <b>Sin Grafito</b>                        |           |           | <b>Con Grafito</b>                      |            |            | <b>Con Grafito</b>                        |   |            |
|  | <b>BRIQUETAS ACONDICIONADAS EN SECO</b>  |           |           | <b>BRIQUETAS ACONDICIONADAS EN HÚMEDO</b> |           |           | <b>BRIQUETAS ACONDICIONADAS EN SECO</b> |            |            | <b>BRIQUETAS ACONDICIONADAS EN HÚMEDO</b> |   |            |
|  | <b>M1</b>  | <b>M2</b> | <b>M3</b> | <b>M4</b>                                 | <b>M5</b> | <b>M6</b> | <b>M7</b>                               | <b>M8</b>  | <b>M9</b>  | <b>M10</b>                                | <b>M11</b>  | <b>M12</b> |
| Carga Maxima (N)   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Daño por Humedad   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Altura de la Briqueta (mm)   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Diámetro de la Briqueta (mm)   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Esfuerzo a la Tension (kPa) St   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| Esfuerzo a la Tension (kPa) St Promedio  |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |
| <b>Razon de Esfuerzo a Tension TSR</b>   |  |           |           |   |           |           |   |            |            |   |   |            |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2. Instrumentos de ingeniería

#### 3.4.2.1. Instrumentos de ingeniería para los ensayos de calidad de los agregados

Gráfico N°2. Formato instrumentos de ensayo de calidad del agregado

|   |   |   |
|---|---|---|
|    |    |    |
| Balanza   | Taras   | Bowls   |
|   |    |   |
| Calibrador de espesores   | Bandejas  | Esferas de acero  |
|  |  |  |
| Horno eléctrico   | Máquina abrasión de los Ángeles   | Tamices   |
|  |  |  |
| Cocina  | Canastilla metálica   | Termómetro  |



|             |   |                                 |
|-------------|---|---------------------------------|
|             |   |                                 |
| Fiola 500ml | Bomba de vacío                              | Copa de Casagrande y ranuradora |
|             |   |                                 |
| Embudo      | Franelas                                    | Piseta                          |
|             |   |                                 |
| Espátula    | Vernier                                     | Separador cuarteador            |
|             |   |                                 |
|             | Calibrador de partículas chatas y alargadas |                                 |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.2. Instrumentos de ingeniería para ensayos de estabilidad y flujo Marshall

Gráfico N°3. Formato instrumentos de ensayo estabilidad y flujo Marshall

|  |  |  |
|--|--|--|
|   |   |   |
| Baño maría   | Lottman y mordazas   | Dial de deformación  |
|   |   |   |
| Máquina Marshall   | Termómetro   | Balanza  |
|  |  |  |
| Guantes  | Vernier  | Recipiente metálico  |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.3. Instrumentos de ingeniería para ensayos de cántabro de pérdida por desgaste

Gráfico N°4. Formato instrumentos de ensayo cántabro de pérdida por desgaste

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| Balanza   | Máquina de los Ángeles   |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.4. Instrumentos de Ingeniería para ensayos de gravedad específica Bulk

Gráfico N°5. Formato instrumentos de ensayo gravedad específica Bulk

|   |   |   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Balanza   | Baño María  | Recipiente metálico   |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.2.5. Instrumentos de Ingeniería para ensayos daño inducido por humedad

Gráfico N°6. Formato instrumentos de ensayo daño inducido por humedad

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
| Balanza  | Plástico   | Refrigeradora con regulador  |

Fuente: Elaboración Propia

## 3.5. Procedimientos de recolección de datos

### 3.5.1. Recolección del grafito

#### a) Consideraciones para la manipulación del grafito

Es principal elemento con el cual se realizará la mezcla asfáltica, cabe resaltar que debemos tener mucho cuidado a con el manejo del material, como tener mascarillas, lentes de protección para evitar el contacto con el grafito por su fineza, siendo el grafito el único componente que otorga permeabilidad, conductividad y resistencia al calor sin causar ningún efecto posterior.

#### b) Procedimiento

- Verificar que el grafito este en buen estado y libre de humedad.
- Tener en consideración siempre los implementos de seguridad al manipular el grafito.
- Limpieza de cualquier residuo adherido al grafito.
- Colocado del grafito a un bowl o bandeja.
- Tamizar en la malla # 200, para eliminar las partículas finas.



Figura N°19. Procedimiento de tamizado del grafito

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.2. Recolección de datos realizada de la planta de asfalto Caicay y Huambutio

#### a) Consideraciones generales

Se tomó como fundamento la planta asfáltica de Caicay (1/2 “, arena triturada y arena lavada) y de Huambutio el agredo grueso 3/4 “ durante la visita se tomaron muestras para la elaboración de la tesis, porque esta planta asfáltica cumple con las normas estándares de calidad para la elaboración de asfalto y de agregado.

Para luego todo ser llevado a ser lavado, secado del agregado y almacenarlo en lugar libre de humedad.



Figura N°20. Procedimiento obtención de agregado para la tesis

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.3. Ensayo de análisis granulométrico de agregados

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza de precisión.
- Cucharon metálico.



- Serie de tamices para agregados grueso: 1"  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°10, N°16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200 y fondo.
- Serie de tamices para agregados finos:  $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200 y fondo.

b) Preparación de la muestra

Obtener una muestra y reducirla mediante cuarteo manual, la muestra para el ensayo deberá ser como mínimo para:

- Agregado grueso  $\frac{3}{4}$ " (TMN 1") 5 kg antes del cuarteo. según la Tabla N°11
- Agregado grueso de  $\frac{1}{2}$ " (TMN  $\frac{3}{4}$ ") 2 kg antes del cuarteo. Según la Tabla N°11
- Agregado fino como mínimo 300 gr.
- Filler, se consideró como un agregado fino por lo cual se tendrá un mínimo de 300 gr.



*Figura N°21. Cuarteo del agregado - Ensayo de análisis granulométrico*

Fuente: Elaboración Propia

c) Procedimiento

- De la muestra recolectada, se pesa la cantidad requerida para realizar el ensayo de granulometría de los agregados, para la piedra chancada de  $\frac{3}{4}$ " se pesó 5109.81 g, para la piedra chancada de  $\frac{1}{2}$ " se pesó 3669.05 g, para la arena triturada se pesó 2031.00 g y para la arena natural se pesó 1678.37 g.



Figura N°22. Pesado de la cantidad requerida - Ensayo de análisis granulométrico

Fuente: Elaboración Propia

- Se toman los tamices: 1",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200. Y se arman acorde su abertura de mayor a menor, hasta llegar a fondo, dependiendo los tamaños máximos nominales.



Figura N°23. Ordenado de los tamices según abertura - Ensayo de análisis granulométrico

Fuente: Elaboración Propia

- Teniendo el juego de tamices ordenados se vierte la piedra chancada de  $\frac{3}{4}$ " y se lleva a la máquina tamizadora por 5 min y de ahí se separa los tamices acordes a los tamaños. Y así mismo también la piedra chancada de  $\frac{1}{2}$ ", la arena triturada y la arena natural o lavada.



*Figura N°24. Tamizado de los agregados - Ensayo de análisis granulométrico*

Fuente: Elaboración Propia

- Se pesa cada tamiz correspondiente y se toma datos de cada uno.



*Figura N°25. Pesado de cada tamiz de los agregados - Ensayo de análisis granulométrico*

Fuente: Elaboración Propia

- d) Toma de datos



Tabla N°37. Recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso de 3/4"

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>  |               | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |                          |                      |  |                 |                 |
|--|---------------|--|------------|--------------------------|----------------------|---|-----------------|-----------------|
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 204   |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| RESPONSABLES: <u>Kiara Aguilar Esquivel</u><br><u>Cristhian Chauca Quispe</u>  |               |  |            | FECHA: <u>21/12/2020</u> |                      |   |                 |                 |
| LUGAR: <u>Laboratorio PRO&amp;CON SILVER S.C.R.L.</u>  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| MATERIAL: <u>Piedra chancada 3/4" de la Cantera de Huambutio; Lucre</u>  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO 3/4"   |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| TAMIZ N°   | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr)   | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr)  | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA  | 19 mm TMN       |                 |
|  |               |  |            |                          |                      |   | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 1"   | 25.40         | 0.00   |            |                          |                      |   | 100             | 100             |
| 3/4"   | 19.05         | 2503.50  |            |                          |                      |   | 90              | 100             |
| 1/2"   | 12.70         | 1441.67  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| 3/8"   | 9.53          | 766.79   |            |                          |                      |   | 56              | 80              |
| N°4  | 4.76          | 298.99   |            |                          |                      |   | 35              | 65              |
| N°8  | 2.36          | 2.26   |            |                          |                      |   | 23              | 49              |
| N°10   | 2.00          | 2.20   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N°16   | 1.18          | 1.29   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N°30   | 0.60          | 2.28   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N°40   | 0.42          | 2.12   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N°50   | 0.30          | 1.20   |            |                          |                      |   | 5               | 19              |
| N°80   | 0.18          | 2.40   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N°100  | 0.15          | 2.25   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N°200  | 0.07          | 2.12   |            |                          |                      |   | 2               | 8               |
| FONDO  |               | 80.74  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| TOTAL RETENIDO   |               | 5109.81  |            |                          |                      |   |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA 3/4"**

Fuente: Elaboración Propia

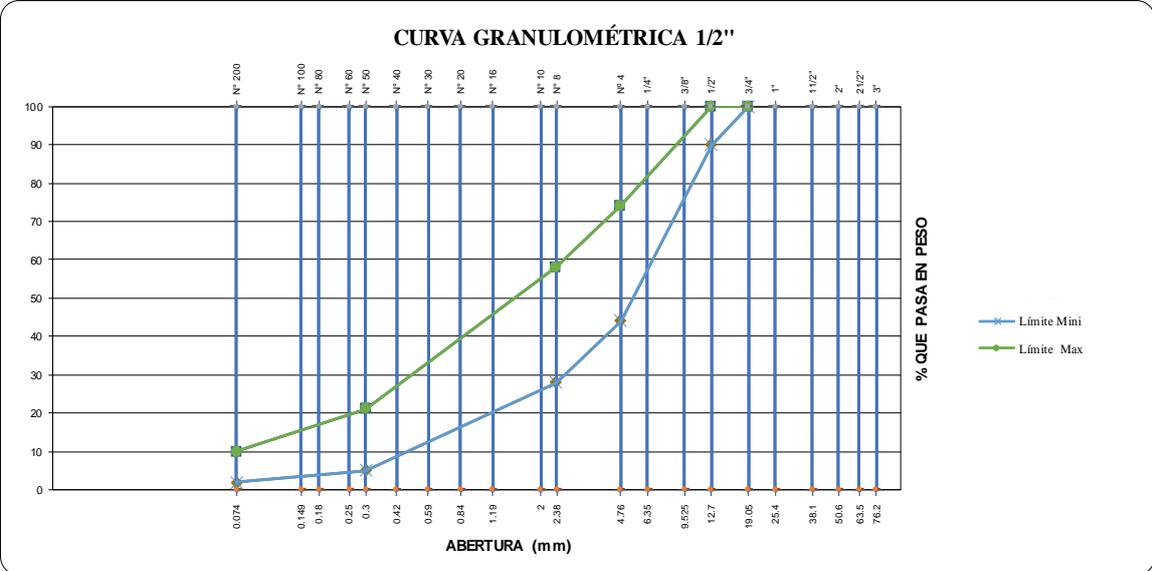


Tabla N°38. Recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso de 1/2"

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>   |               | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |                          |                      |  |                 |                 |
|---|---------------|--|------------|--------------------------|----------------------|---|-----------------|-----------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 204  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |               |  |            | <b>FECHA:</b> 21/12/2020 |                      |   |                 |                 |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>MATERIAL:</b> Piedra chancada 1/2" de la Planta Asfáltica de Caicay  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO 1/2"  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| TAMIZ N°  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr)   | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr)  | % RETENIDO ACUMULADO | % QUEPASA   | 12 mm TMN       |                 |
|   |               |  |            |                          |                      |   | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 3/4"  | 19.05         | 0.00   |            |                          |                      |   | 100             | 100             |
| 1/2"  | 12.70         | 1251.50  |            |                          |                      |   | 90              | 100             |
| 3/8"  | 9.53          | 984.11   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N° 4  | 4.76          | 701.39   |            |                          |                      |   | 44              | 74              |
| N° 8  | 2.36          | 449.30   |            |                          |                      |   | 28              | 58              |
| N° 10   | 2.00          | 45.91  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N° 16   | 1.18          | 16.37  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N° 30   | 0.60          | 3.05   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N° 40   | 0.42          | 1.50   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N° 50   | 0.30          | 0.85   |            |                          |                      |   | 5               | 21              |
| N° 80   | 0.18          | 10.74  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N° 100  | 0.15          | 20.75  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| N° 200  | 0.07          | 30.78  |            |                          |                      |   | 2               | 10              |
| <b>FONDO</b>  |               | 152.80   |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>TOTAL RETENIDO</b>   |               | 3669.05  |            |                          |                      |   |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA 1/2"**



ABERTURA (mm)

% QUE PASA EN PESO

— Límite Mini  
— Límite Max

Fuente: Elaboración Propia

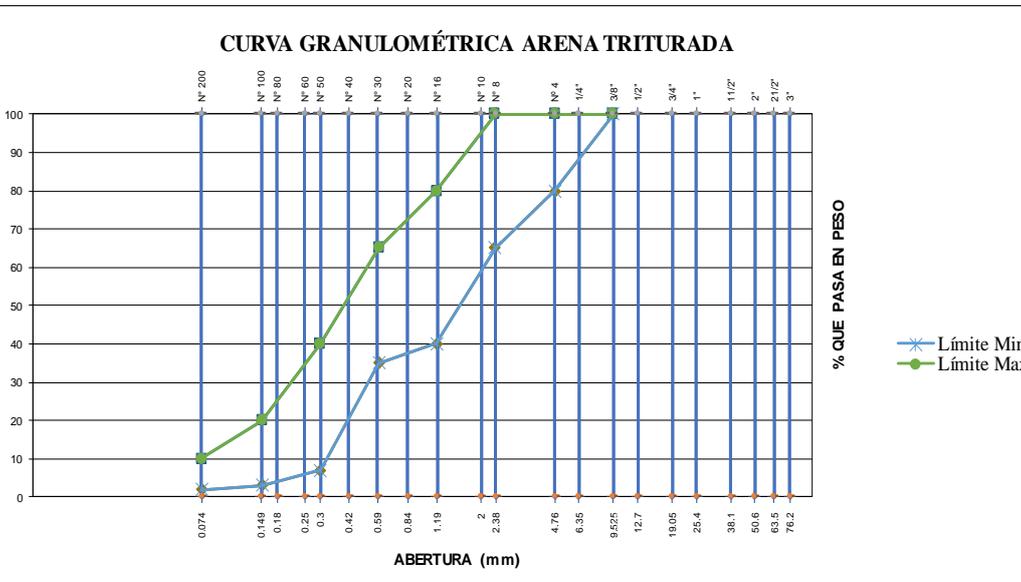


Tabla N°39. Recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico del agregado fino de arena triturada

|  Universidad Andina del Cusco   |               | FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS<br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |                         |                          |  |                 |                 |
|--|---------------|---|------------|-------------------------|--------------------------|---|-----------------|-----------------|
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |               |   |            |                         |                          |   |                 |                 |
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 204   |               |   |            |                         |                          |   |                 |                 |
| RESPONSABLES: <u>Kiara Aguilar Esquivel</u><br><u>Cristhian Chauca Quispe</u>  |               |   |            |                         | FECHA: <u>29/12/2020</u> |   |                 |                 |
| LUGAR: <u>Laboratorio UNIVERSAL TESTING</u>  |               |   |            |                         |                          |   |                 |                 |
| MATERIAL: <u>Arena Triturada de la Planta Asfáltica de Caicay</u>  |               |   |            |                         |                          |   |                 |                 |
| GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO ARENA TRITURADA  |               |   |            |                         |                          |   |                 |                 |
| TAMIZ N°   | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr)  | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr) | % RETENIDO ACUMULADO     | % QUE PASA  | 4 mm TMN        |                 |
|  |               |   |            |                         |                          |   | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 3/8"   | 9.525         | 0.00  |            |                         |                          |   | 100             | 100             |
| N° 4   | 4.76          | 354.61  |            |                         |                          |   | 80              | 100             |
| N° 8   | 2.36          | 47.43   |            |                         |                          |   | 65              | 100             |
| N° 10  | 2             | 110.17  |            |                         |                          |   |                 |                 |
| N° 16  | 1.18          | 153.57  |            |                         |                          |   | 40              | 80              |
| N° 30  | 0.6           | 193.30  |            |                         |                          |   | 35              | 65              |
| N° 40  | 0.42          | 205.12  |            |                         |                          |   |                 |                 |
| N° 50  | 0.3           | 243.52  |            |                         |                          |   | 7               | 40              |
| N° 80  | 0.18          | 139.22  |            |                         |                          |   |                 |                 |
| N° 100   | 0.15          | 207.35  |            |                         |                          |   | 3               | 20              |
| N° 200   | 0.074         | 275.84  |            |                         |                          |   | 2               | 10              |
| FONDO  |               | 100.87  |            |                         |                          |   |                 |                 |
| TOTAL RETENIDO   |               | 2031.00   |            |                         |                          |   |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA ARENA TRITURADA**



ABERTURA (mm)

% QUE PASA EN PESO

—x— Límite Min  
—■— Límite Max

Fuente: Elaboración Propia

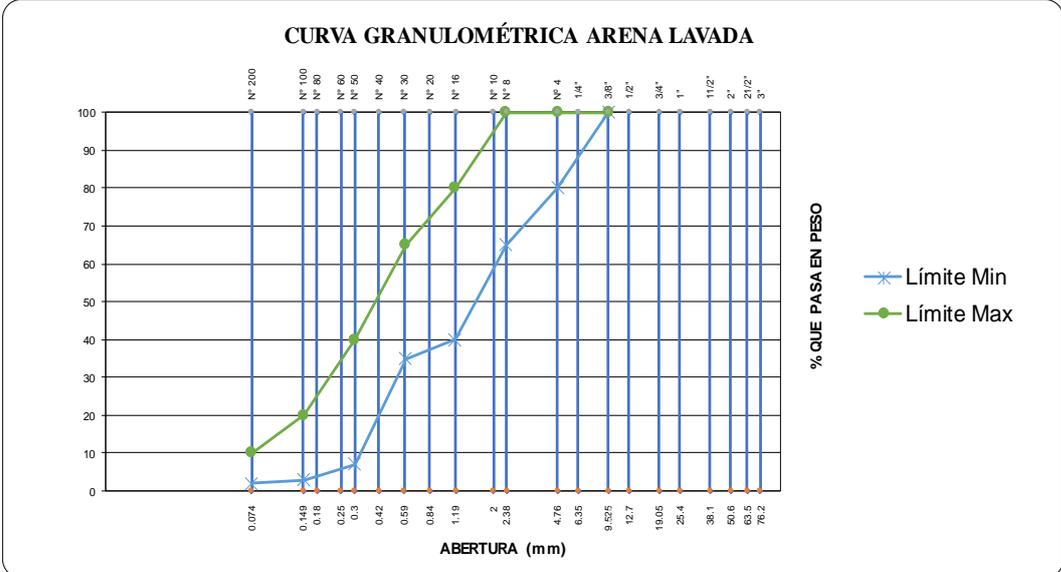


Tabla N°40. Recolección de datos del ensayo de análisis granulométrico del agregado fino de arena lavada

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>   |               | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |                         |                      |  |                 |                 |
|---|---------------|--|------------|-------------------------|----------------------|---|-----------------|-----------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| <b>ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS</b><br>BASADO EN LA NORMA MTCE 204   |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |               |  |            |                         |                      | <b>FECHA:</b> 28/12/2020  |                 |                 |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio UNIVERSAL TESTING   |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| <b>MATERIAL:</b> Arena Lavada de la Planta Asfáltica de Caicay  |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO ARENA LAVADA  |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| TAMIZ N°  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr)   | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr) | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA  | 19 mm TMN       |                 |
|   |               |  |            |                         |                      |   | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 3/8"  | 9.525         | 0.00   |            |                         |                      |   | 100             | 100             |
| N° 4  | 4.76          | 97.60  |            |                         |                      |   | 80              | 100             |
| N° 8  | 2.36          | 137.26   |            |                         |                      |   | 65              | 100             |
| N° 10   | 2             | 153.44   |            |                         |                      |   |                 |                 |
| N° 16   | 1.18          | 198.46   |            |                         |                      |   | 40              | 80              |
| N° 30   | 0.6           | 180.32   |            |                         |                      |   | 35              | 65              |
| N° 40   | 0.42          | 212.67   |            |                         |                      |   |                 |                 |
| N° 50   | 0.3           | 216.94   |            |                         |                      |   | 7               | 40              |
| N° 80   | 0.18          | 178.33   |            |                         |                      |   |                 |                 |
| N° 100  | 0.15          | 130.37   |            |                         |                      |   | 3               | 20              |
| N° 200  | 0.074         | 89.76  |            |                         |                      |   | 2               | 10              |
| <b>FONDO</b>  |               | 83.22  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| <b>TOTAL RETENIDO</b>   |               | 1678.37  |            |                         |                      |   |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA ARENA LAVADA**



Fuente: Elaboración Propia

#### 3.5.4. Ensayo de abrasión los ángeles

##### a) Equipos utilizados en la prueba

- Máquina los ángeles.
- Esferas de acero.
- Tamiz N°10.
- Serie de tamices:  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", N°10.
- Balanza de precisión.
- Horno eléctrico.

##### b) Procedimiento

- Seleccionamos el tamaño máximo nominal del agregado que es de  $\frac{3}{4}$ " y por norma nos indica que debemos trabajar con el Método B. Para ello, se pesa 5000g de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " respectivamente, lo cual primero tamizamos todo el agregado y separamos solo agregado de ese tamiz, hasta llegar al peso indicado.



*Figura N°26. Pesado del agregado - Ensayo de abrasión los ángeles*

Fuente: Elaboración Propia

- Después de haber conseguido el peso requerido y hasta un poco más debido a las pérdidas que puede haber, este tiene que ser lavado y posteriormente secado en horno.



*Figura N°27. Agregado llevado al horno - Ensayo de abrasión los ángeles*

Fuente: Elaboración Propia

- Ya seco el material, se saca del horno y se procede a esperar que este enfrié debido a que se encuentra caliente y recién salido del horno.
- Una vez seco el agregado se recolecta el agregado grueso.
- Se pesa 2500 g de ½” y de ¾” respectivamente y para luego juntarlo obteniendo un peso total de 5000 g, el cual será nuestro peso inicial (Pa).
- Como ya se identificó el Método B, se junta todo el agregado obteniendo los 5000 g y las 11 billas que entrarán a la máquina.
- Se mete los 5 kg y las 11 billas a la máquina de Los Ángeles y esta tiene que ser asegurada, es decir estar bien cerrada, con ayuda de los pernos y una llave inglesa.



Figura N°28. Agregado metido en la máquina de los Ángeles - Ensayo de abrasión los ángeles

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°29. Aseguramiento del cerrado de la máquina de los Ángeles - Ensayo de abrasión los ángeles

Fuente: Elaboración Propia



- Se selecciona en la máquina de Los Ángeles las 500 revoluciones que se darán en 15 minutos.
- Después de que haya terminado de dar todas las revoluciones, se tiene que esperar de unos 2 o 3 min, para que el polvo se baje y así poder sacar el agregado desgastado.
- Se saca los pernos y luego se saca cuidadosamente la tapa, girando la abertura a la bandeja que se encuentra en la parte inferior de la máquina, para que en allí se deposite el agregado.
- Se saca las billas y solo separamos el agregado desgastado.
- Con el tamiz N°10 se tamiza todo el agregado y solo se realizará el ensayo con todo lo que se retiene de la muestra.



*Figura N°30. Tamizado del agregado - Ensayo de abrasión los ángeles*

Fuente: Elaboración Propia

- Todo lo retenido en el tamiz N°10 se lava cuidadosamente para luego ser secado en el horno.
  - Una vez secado en el horno, se vuelve a obtener su peso total, el cual será nuestro peso final Pb.
  - Teniendo recolectados ya los 2 datos necesarios para determinar el gasto del agregado grueso, se procede a hacer los cálculos según el Método B.
- c) Toma de datos



Tabla N°41. Recolección de datos del ensayo de abrasión los ángeles, agregado de 1/2"

|  |                      |  |               |                  |            |              |              |              |
|--|----------------------|--|---------------|------------------|------------|--------------|--------------|--------------|
|  |                      | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |               |                  |            |              |              |              |
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |                      |  |               |                  |            |              |              |              |
| <b>ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 207  |                      |  |               |                  |            |              |              |              |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |                      |  |               | FECHA: 7/12/2020 |            |              |              |              |
| LUGAR: Laboratorio UNIVERSAL TESTING   |                      |  |               |                  |            |              |              |              |
| MATERIAL: Piedra chancada 1/2" de la Planta Asfáltica de Caicay  |                      |  |               |                  |            |              |              |              |
| <b>ABRASIÓN LOS ÁNGELES 1/2 "</b>  |                      |  |               |                  |            |              |              |              |
| 3/4"   | 1/2"                 | <b>TOTAL</b>   |               |                  |            |              |              |              |
| 2500   | 2500                 |  |               |                  |            |              |              |              |
| <b>MÉTODO</b>  |                      | <b>A</b>   | <b>B</b>      | <b>C</b>         | <b>D</b>   | <b>E</b>     | <b>F</b>     | <b>G</b>     |
| <b>DIÁMETRO</b>  |                      | <b>CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (gr)</b>  |               |                  |            |              |              |              |
| <b>% QUE PASA</b>  | <b>RETENIDO</b>      |  |               |                  |            |              |              |              |
| 3"   | 2 1/2"               |  |               |                  |            | 2 500        |              |              |
| 2 1/2"   | 2"                   |  |               |                  |            | 2 500        |              |              |
| 2"   | 1 1/2"               |  |               |                  |            | 5 000        | 5 000        |              |
| 1 1/2"   | 1"                   | 1 250  |               |                  |            |              | 5 000        | 5 000        |
| 1"   | 3/4"                 | 1 250  |               |                  |            |              |              | 5 000        |
| 3/4"   | 1/2"                 | 1 250  | 2 500         |                  |            |              |              |              |
| 1/2"   | 3/8"                 | 1 250  | 2 500         |                  |            |              |              |              |
| 3/8"   | 1/4"                 |  |               | 2 500            |            |              |              |              |
| 1/4"   | N° 4                 |  |               | 2 500            |            |              |              |              |
| N° 4   | N° 8                 |  |               |                  | 5 000      |              |              |              |
| <b>PESO TOTAL</b>  |                      | 5 000  | 5 000         | 5 000            | 5 000      | 10 000       | 10 000       | 10 000       |
| <b>N° de esferas</b>   |                      | <b>12</b>  | <b>11</b>     | <b>8</b>         | <b>6</b>   | <b>12</b>    | <b>12</b>    | <b>12</b>    |
| <b>N° de revoluciones</b>  |                      | <b>500</b>   | <b>500</b>    | <b>500</b>       | <b>500</b> | <b>1 000</b> | <b>1 000</b> | <b>1 000</b> |
| <b>Tiempo de rotación (min)</b>  |                      | 15   | 15            | 15               | 15         | 30           | 30           | 30           |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>   |                      |  |               |                  |            |              |              |              |
| <b>SIMB.</b>   | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>FÓRMULA</b>   | <b>UNIDAD</b> | <b>VALOR</b>     |            |              |              |              |
|  |                      | sin lavar  |               | 5000.00          |            |              |              |              |
| Pa   | Peso Inicial del AG  | P1 - Recipiente  | gr            |                  |            |              |              |              |
| Pb   | Peso Final del AG    | P2 - Recipiente  | gr            |                  |            |              |              |              |
| % Desg.  | % de Desgaste del AG | $((Pa-Pb) / Pa)*100$   | %             |                  |            |              |              |              |

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°42. Recolección de datos del ensayo de abrasión los ángeles, agregado de 3/4"

|  |                      |  |               |                   |            |              |              |              |  |
|--|----------------------|--|---------------|-------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--|
|  |                      | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |               |                   |            |              |              |              |  |
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |                      |  |               |                   |            |              |              |              |  |
| <b>ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 207  |                      |  |               |                   |            |              |              |              |  |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |                      |  |               | FECHA: 23/12/2020 |            |              |              |              |  |
| LUGAR: Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |                      |  |               |                   |            |              |              |              |  |
| MATERIAL: Piedra chancada 3/4" de Huambutio  |                      |  |               |                   |            |              |              |              |  |
| <b>ABRASIÓN LOS ÁNGELES DE 3/4"</b>  |                      |  |               |                   |            |              |              |              |  |
| <b>MÉTODO</b>  |                      | <b>A</b>   | <b>B</b>      | <b>C</b>          | <b>D</b>   | <b>E</b>     | <b>F</b>     | <b>G</b>     |  |
| <b>DIÁMETRO</b>  |                      | <b>CANTIDAD DE MATERIAL A USAR (gr)</b>  |               |                   |            |              |              |              |  |
| <b>% QUE PASA</b>  | <b>RETENIDO</b>      |  |               |                   |            |              |              |              |  |
| 3"   | 2 1/2"               |  |               |                   |            | 2 500        |              |              |  |
| 2 1/2"   | 2"                   |  |               |                   |            | 2 500        |              |              |  |
| 2"   | 1 1/2"               |  |               |                   |            | 5 000        | 5 000        |              |  |
| 1 1/2"   | 1"                   | 1 250  |               |                   |            |              | 5 000        | 5 000        |  |
| 1"   | 3/4"                 | 1 250  |               |                   |            |              |              | 5 000        |  |
| 3/4"   | 1/2"                 | 1 250  | 2 500         |                   |            |              |              |              |  |
| 1/2"   | 3/8"                 | 1 250  | 2 500         |                   |            |              |              |              |  |
| 3/8"   | 1/4"                 |  |               | 2 500             |            |              |              |              |  |
| 1/4"   | N° 4                 |  |               | 2 500             |            |              |              |              |  |
| N° 4   | N° 8                 |  |               |                   | 5 000      |              |              |              |  |
| <b>PESO TOTAL</b>  |                      | 5 000  | 5 000         | 5 000             | 5 000      | 10 000       | 10 000       | 10 000       |  |
| <b>N° de esferas</b>   |                      | <b>12</b>  | <b>11</b>     | <b>8</b>          | <b>6</b>   | <b>12</b>    | <b>12</b>    | <b>12</b>    |  |
| <b>N° de revoluciones</b>  |                      | <b>500</b>   | <b>500</b>    | <b>500</b>        | <b>500</b> | <b>1 000</b> | <b>1 000</b> | <b>1 000</b> |  |
| <b>Tiempo de rotación (min)</b>  |                      | 15   | 15            | 15                | 15         | 30           | 30           | 30           |  |
| 3/4"   | 1/2"                 | .3/8"  | <b>TOTAL</b>  |                   |            |              |              |              |  |
| 1667.5   | 1666.7               | 1667.2   |               |                   |            |              |              |              |  |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>   |                      |  |               |                   |            |              |              |              |  |
| <b>SIMB.</b>   | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>FÓRMULA</b>   | <b>UNIDAD</b> | <b>VALOR</b>      |            |              |              |              |  |
| Pa   | Peso Inicial del AG  | P1 - Recipiente  | gr            |                   |            |              |              |              |  |
| Pb   | Peso Final del AG    | P2 - Recipiente  | gr            |                   |            |              |              |              |  |
| % Desg.  | % de Desgaste del AG | $((Pa-Pb) / Pa)*100$   | %             |                   |            |              |              |              |  |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.5. Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- Dispositivo calibrador proporcional (calibrador de espesores)
- Balanza de precisión.
- Serie de Tamices: 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4.
- Equipo misceláneo – Cuarteador de agregados, bandejas, etc.

- Espátula: Una espátula o herramienta similar para ayudar en la clasificación de las partículas de agregado.
- b) Procedimiento
- Se tamiza 5 kg de la piedra chancada de  $\frac{3}{4}$ " y 1 kg de la piedra chancada de  $\frac{1}{2}$ ".
  - Se pesa cada tamiz y se separa en diferentes Bowls del agregado de  $\frac{3}{4}$ " y de  $\frac{1}{2}$ " respectivamente, según el tamiz que corresponde.
  - Se determina el número de piedras con las cuales se debe trabajar según el porcentaje retenido que presente tanto en la piedra chancada de  $\frac{3}{4}$ " y de  $\frac{1}{2}$ ".
  - Se enumera con un plumón indeleble cada partícula de cada tamiz y por separado, para no provocar confusiones.



*Figura N°31. Enumerando cada piedra del agregado - Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados*

Fuente: Elaboración Propia

- Con ayuda del vernier, se procede a tomar las dimensiones de cada piedra, tales como son su longitud, el ancho y su espesor. Mientras tanto otra persona tiene que llevar el anote de cada dato, y para ello se empleará una laptop con Excel.



*Figura N°32. Medición de las piedras con vernier y toma de datos- Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados*

Fuente: Elaboración Propia



- Con el Excel se calcula y determina que partículas son aplanadas y cuales son alargadas, dándonos valores de “VERDADERO” o “FALSO”.
- Se usa el calibrador de longitud y de espesor. Se pesa las partículas y se toma los datos obtenidos que pasen por los tamaños especificados en el mismo instrumento.



*Figura N°33. Separación de las piedras calibradas - Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados*

Fuente: Elaboración Propia



*Figura N°34. Pesado de las partículas calibradas - Ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados*

Fuente: Elaboración Propia

- Con los datos obtenidos se procede a realizar los cálculos correspondientes según la norma y elaborar nuestra hoja Excel.

c) Toma de datos



Tabla N°43. Recolección de datos del ensayo de partículas chatas y alargadas en el agregado grueso de 3/4"

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>   |             | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                   |         |          |                                |                      |  |                               |   |                                     |           |             |         |  |
|---|-------------|--|-------------------|---------|----------|--------------------------------|----------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------------|-----------|-------------|---------|--|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b>   |             |  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 223  |             |  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel _____<br>Cristhian Chauca Quispe _____  |             |  |                   |         |          | <b>FECHA:</b> 21/12/2020 _____ |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L. _____   |             |  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>MATERIAL:</b> Piedra chancada de la Planta Asfáltica de Caicay _____   |             |  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <b>PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b><br><b>TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL 3/4"</b>   |             |  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| PASA  | RETENIDO    | PESO RETENIDO (g)  | PARTÍCULAS CHATAS |         |          |                                | PARTÍCULAS ALARGADAS |   | PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS |   | PARTÍCULAS NI CHATAS Y NI ALARGADAS |           |             |         |  |
|   |             |  | PESO RET. (%)     | % PASA. | PESO (g) | %                              | PESO (g)             | %   | PESO (g)                      | % | PESO (g)                            | %         |             |         |  |
| 2"  | 1 1/2"      | -  |                   |         | 0        |                                | 0                    |   | 0                             |   | 0                                   |           |             |         |  |
| 1 1/2"  | 1"          | 3674.50  |                   |         | 22       |                                | 0                    |   | 0                             |   | 3652.5                              |           |             |         |  |
| 1"  | 3/4"        | 1351.00  |                   |         | 58       |                                | 7.5                  |   | 0                             |   | 1285.5                              |           |             |         |  |
| 3/4"  | 1/2"        | 43.00  |                   |         | 0        |                                | 0                    |   | 0                             |   | 43                                  |           |             |         |  |
| 1/2"  | 3/8"        | 20.00  |                   |         | 0        |                                | 0                    |   | 0                             |   | 20                                  |           |             |         |  |
| 3/8"  | 1/4"        | 0.00   |                   |         | 0        |                                | 0                    |   | 0                             |   | 0                                   |           |             |         |  |
| FONDO   |             | 0.00   |                   |         |          |                                |                      |   | 0                             |   |                                     |           |             |         |  |
| SUMATORIA   |             | 5088.50  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| <table border="1" style="float: right; margin-right: 20px;"> <tr> <td style="background-color: #e91e63; color: white;">REQUISITO</td> <td style="background-color: #e91e63; color: white;">OBSERVACIÓN</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e91e63; color: white;">10% MÁX</td> <td></td> </tr> </table> |             |  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     | REQUISITO | OBSERVACIÓN | 10% MÁX |  |
| REQUISITO   | OBSERVACIÓN |  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| 10% MÁX   |             |  |                   |         |          |                                |                      |   |                               |   |                                     |           |             |         |  |
| PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS =   |             |  |                   |         | lap =    |                                |                      | %   |                               |   |                                     |           |             |         |  |

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°44. Recolección de datos del ensayo de partículas chatas y alargadas en el agregado grueso de 1/2"

|  |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
|--|---------------------|--|--------------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|----------|--------------------------------------|----------|--|------------------|--------------------|----------------|--|
|  |                     | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b>   |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
|  |                     | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b>  |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>ENSAYO DE PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>   |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 223   |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>RESPONSABLES:</b> <u>Kiara Aguilar Esquivel</u><br><u>Cristhian Chauca Quispe</u>   |                     |  |                          |                |                 | <b>FECHA:</b> <u>31/12/2020</u> |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>LUGAR:</b> <u>Laboratorio PRO&amp;CON SILVER S.C.R.L.</u>   |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>MATERIAL:</b> <u>Piedra chancada 1/2" de la Planta Asfáltica de Caicay</u>  |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>   |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL 1/2"</b>  |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
|  | <b>Peso inicial</b> | 2000   |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
|  |                     |  | <b>PARTÍCULAS CHATAS</b> |                |                 |                                 | <b>PARTÍCULAS ALARGADAS</b> |          | <b>PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b> |          | <b>PARTÍCULAS NI CHATAS Y NI ALARGADAS</b> |                  |                    |                |  |
| <b>PASA</b>  | <b>RETENIDO</b>     | <b>PESO RETENIDO (g)</b>   | <b>PESO RET. (%)</b>     | <b>% PASA.</b> | <b>PESO (g)</b> | <b>%</b>                        | <b>PESO (g)</b>             | <b>%</b> | <b>PESO (g)</b>                      | <b>%</b> | <b>PESO (g)</b>                            | <b>%</b>         |                    |                |  |
| 2"   | 1 1/2"              | 0.00   |                          |                | 0               |                                 | 0                           |          | 0                                    |          | 0  |                  |                    |                |  |
| 1 1/2"   | 1"                  | 0.00   |                          |                | 0               |                                 | 0                           |          | 0                                    |          | 0  |                  |                    |                |  |
| 1"   | 3/4"                | 0.00   |                          |                | 39.5            |                                 | 0                           |          | 0                                    |          | 1573.5                                     |                  |                    |                |  |
| 3/4"   | 1/2"                | 1613.00  |                          |                | 10.5            |                                 | 3                           |          | 0                                    |          | 376.5                                      |                  |                    |                |  |
| 1/2"   | 3/8"                | 390.00   |                          |                | 8.5             |                                 | 3                           |          | 0                                    |          | 56   |                  |                    |                |  |
| 3/8"   | 1/4"                | 67.50  |                          |                | 0               |                                 | 0                           |          | 0                                    |          | 0  |                  |                    |                |  |
| FONDO  |                     | 0.00   |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| SUMATORIA  |                     | 2070.50  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <table border="1" style="float: right;"> <tr> <td style="background-color: red; color: white;"><b>REQUISITO</b></td> <td style="background-color: red; color: white;"><b>OBSERVACIÓN</b></td> </tr> <tr> <td style="background-color: red; color: white;"><b>10% MÁX</b></td> <td></td> </tr> </table> |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  | <b>REQUISITO</b> | <b>OBSERVACIÓN</b> | <b>10% MÁX</b> |  |
| <b>REQUISITO</b>   | <b>OBSERVACIÓN</b>  |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>10% MÁX</b>   |                     |  |                          |                |                 |                                 |                             |          |                                      |          |  |                  |                    |                |  |
| <b>PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>   |                     |  |                          |                |                 | lap = <input type="text"/>      |                             | %        |                                      |          |  |                  |                    |                |  |

Fuente: Elaboración Propia



### 3.5.6. Ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

#### a) Materiales y equipos utilizados en la prueba

- Balanza: Una balanza o báscula con una exactitud y precisión dentro de 0,1% de la masa de la muestra de prueba para cualquier punto dentro del rango de uso.
- Tamices: Tamices que cumplan con la especificación que son: 1", ¾", ½" y 3/8".
- Cuarteador: Un cuarteador de muestras apropiado para dividir la muestra de campo a porciones de prueba.
- Espátula: Una espátula o herramienta similar para ayudar en la clasificación de las partículas de agregado.

#### b) Procedimiento

- Debido a que se encuentran partículas mayores a ¾", tamizamos a partir del tamiz de 1" y todo lo que pasa recién ser considerado como el material con el que se trabajará.



Figura N°35. Selección del agregado - Ensayo de caras fracturadas

Fuente: Elaboración Propia

- Seleccionamos el tamaño máximo nominal del agregado que es de ¾" y por norma para ambos métodos se pesa 1500 g.
- Realizamos el tamizado del agregado grueso de ¾" manualmente, utilizando los tamices de ¾", ½" y 3/8", también se emplea el fondo y tapa para que no haya pérdida del material.
- Se separa cada retenido en cada malla respectivamente.



*Figura N°36. Tamices separados - Ensayo de caras fracturadas*

Fuente: Elaboración Propia

- Se procede a pesar cada tamiz en la balanza de precisión.
- Se empieza a identificar por partículas las caras fracturadas, ya sea 1 o 2 a más caras fracturadas, las partículas cuestionables y las que no tienen ninguna cara fracturada, por cada tamiz por separado, en el de  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{8}$ ". Y repartidos en 2 grupos para obtener resultados más confiables.



*Figura N°37. Distribución de las caras fracturadas - Ensayo de caras fracturadas*

Fuente: Elaboración Propia

- Se pesa en bowls distintos el peso de las caras fracturadas si es 1 o 2 o más, no fracturadas, las cuestionables de las partículas retenidas en el tamiz  $\frac{3}{4}$ ".
- Se pesa en bowls distintos el peso de las caras fracturadas si es 1 o 2 o más, no fracturadas, las cuestionables de las partículas retenidas en el tamiz  $\frac{1}{2}$ ".
- Se pesa en bowls distintos el peso de las caras fracturadas si es 1 o 2 o más, no fracturadas, las cuestionables de las partículas retenidas en el tamiz  $\frac{3}{8}$ ".



- Se procede a hacer los cálculos (método A – B)

c) Toma de datos

Tabla N°45. Recolección de datos del ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso de 1/2”

|   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
|---|----------------------|--|---|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|   |                      | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b> |   |                            |                                      |                                      |
|   |                      | UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO                 |   |                            |                                      |                                      |
|   |                      | FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA        |   |                            |                                      |                                      |
|   |                      | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL      |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS</b>  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 210  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel _____<br>Cristhian Chauca Quispe _____  |                      |  |   | <b>FECHA:</b> 12/12/2020   |                                      |                                      |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio UNIVERSAL TESTING   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>MATERIAL:</b> Piedra Chancada de 1/2" de Caicay, Cusco   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS 1/2"</b>  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS</b>  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>  |                      | <b>A</b>                                     | <b>B</b>  | <b>C = ((B/A)*100)</b>     | <b>D (A/TOTAL "A")</b>               | <b>E (C*D)</b>                       |
| <b>PASA TAMIZ</b>   | <b>RETIENE TAMIZ</b> | <b>PESO DE MUESTRA (gr)</b>                  | <b>PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (gr)</b> | <b>% CARAS FRACTURADAS</b> | <b>% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL</b> | <b>PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS</b> |
| 3/4"  | 1/2"                 | 1362.12                                      | 1362.12   |                            |                                      |                                      |
| 1/2"  | 3/8"                 | 265.03                                       | 261.89  |                            |                                      |                                      |
| <b>TOTAL</b>  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>% PARTÍCULAS CON UNA (1) O MÁS CARAS FRACTURADAS =</b>   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS</b>  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>  |                      | <b>A</b>                                     | <b>B</b>  | <b>C = ((B/A)*100)</b>     | <b>D (A/TOTAL "A")</b>               | <b>E (C*D)</b>                       |
| <b>PASA TAMIZ</b>   | <b>RETIENE TAMIZ</b> | <b>PESO DE MUESTRA (gr)</b>                  | <b>PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (gr)</b> | <b>% CARAS FRACTURADAS</b> | <b>% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL</b> | <b>PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS</b> |
| 3/4"  | 1/2"                 | 1362.12                                      | 1350.56   |                            |                                      |                                      |
| 1/2"  | 3/8"                 | 265.03                                       | 223.97  |                            |                                      |                                      |
| <b>TOTAL</b>  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>% PARTÍCULAS CON DOS (2) O MÁS CARAS FRACTURADAS =</b>   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°46. Recolección de datos del ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso de 3/4"

|  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
|--|----------------------|--|---|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|  |                      | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |   |                            |                                      |                                      |
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS</b>   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 210   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel   |                      |  |   | FECHA: 23/12/2020          |                                      |                                      |
| Cristhian Chauca Quispe  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| LUGAR: Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| MATERIAL: Piedra Chancada de 3/4" de Huambutio, Cusco  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS 3/4"</b>   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>CON UNA O MÁS CARAS FRACTURADAS</b>   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>   |                      | <b>A</b>   | <b>B</b>  | <b>C = ((B/A)*100)</b>     | <b>D (A/TOTAL "A")</b>               | <b>E (C*D)</b>                       |
| <b>PASA TAMIZ</b>  | <b>RETIENE TAMIZ</b> | <b>PESO DE MUESTRA (gr)</b>  | <b>PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (gr)</b> | <b>% CARAS FRACTURADAS</b> | <b>% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL</b> | <b>PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS</b> |
| 1"   | 3/4"                 | 1500.1   | 1489.42   |                            |                                      |                                      |
| 3/4"   | 1/2"                 | 1200.37  | 1199.37   |                            |                                      |                                      |
| <b>TOTAL</b>   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>% PARTÍCULAS CON UNA (1) O MÁS CARAS FRACTURADAS =</b>  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS</b>   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>TAMAÑO DEL AGREGADO</b>   |                      | <b>A</b>   | <b>B</b>  | <b>C = ((B/A)*100)</b>     | <b>D (A/TOTAL "A")</b>               | <b>E (C*D)</b>                       |
| <b>PASA TAMIZ</b>  | <b>RETIENE TAMIZ</b> | <b>PESO DE MUESTRA (gr)</b>  | <b>PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (gr)</b> | <b>% CARAS FRACTURADAS</b> | <b>% RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL</b> | <b>PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS</b> |
| 1"   | 3/4"                 | 1500.1   | 1382.48   |                            |                                      |                                      |
| 3/4"   | 1/2"                 | 1200.37  | 1159.63   |                            |                                      |                                      |
| <b>TOTAL</b>   |                      |  |   |                            |                                      |                                      |
| <b>% PARTÍCULAS CON DOS (2) O MÁS CARAS FRACTURADAS =</b>  |                      |  |   |                            |                                      |                                      |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.7. Ensayo para la determinación peso específico y absorción

#### a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza
- Cocina a gas
- Frasco de 500 cm<sup>3</sup>
- Molde cónico
- Varilla apisonadora

#### b) Procedimiento



- Muestra de agregado fino: especímenes de 500 gr
- Muestra de agregado grueso: 5kg para  $\frac{3}{4}$ ", 2kg para  $\frac{1}{2}$ "
- Colocar el agregado fino en recipiente y dejar reposar 24 horas. Decantar el agua sin que se nos derrame el agregado fino.



Figura N°38. Peso específico y absorción – Colocado en recipiente durante 24 hrs

Fuente: Elaboración Propia

- Dejar reposar a temperatura ambiente sobre una superficie plana, dándole el viento para su secado uniforme. Hasta tener un agregado que no se adhiera entre sí.
- Colocar el molde cónico y golpear con la varilla apisonadora (25 golpes). Repetir hasta que el agregado se desparrame al quitar el molde.
- Sumergir la muestra de 500g en recipiente con agua destilada, agitar para quitar burbujas durante 15 min, luego llenar el frasco hasta lo calibrado y determinar el peso.
- Luego secar en la cocina y dejar enfriar durante 1 hora y pesar



*Figura N°39. Peso Específico y Absorción – Pesado de la muestra*

Fuente: Elaboración Propia

- Para agregado grueso, sumergir en agua, secar la muestra con una franela hasta retirar la película de agua y tomar los datos de peso.
- Pasamos a colocar la muestra sobre una cesta de alambre y se determina su peso en agua. Secar la muestra y dejar airear a temperatura ambiente durante 3 horas y se pesa.



*Figura N°40. Peso específico y absorción – Pesado del agregado grueso  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ "*

Fuente: Elaboración Propia



c) Toma de datos

Tabla N°47. Ensayo para la determinación peso específico y absorción en el agregado grueso de 3/4”

|  |  | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |         |                   |          |
|--|--|--|---------|-------------------|----------|
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |  |  |         |                   |          |
| <b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN</b>   |  |  |         |                   |          |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 206   |  |  |         |                   |          |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |  |  |         | FECHA: 22/12/2020 |          |
| LUGAR: Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |  |  |         |                   |          |
| MATERIAL: Agregado Grueso 3/4" de Huambutío , Cusco  |  |  |         |                   |          |
| <b>PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO DE 3/4"</b>  |  |  |         |                   |          |
| SÍMBOLO  | DESCRIPCIÓN  | UNIDAD   | N°1     | N°2               | PROMEDIO |
| A  | Peso en el aire del agregado seco al horno                         | gr   | 5050.44 | 5032.31           |          |
| B  | Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco        | gr   | 5099.78 | 5081.352          |          |
| C  | Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua | gr   | 2992.87 | 2980.07           |          |
| Pea= Gsa   | Pe seco aparente (A/(A-C))   | gr/cm3   |         |                   |          |
| Pesss=Gsssb  | Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C))                  | gr/cm3   |         |                   |          |
| Pe,=Gsb  | Pe seco Bulk ( A/(B-C))  | gr/cm3   |         |                   |          |
| Ab   | Absorción ( (B-A)*100/A )  | %  |         |                   |          |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°48. Ensayo para la determinación peso específico y absorción agregado grueso de 1/2”

|  |  | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |         |                   |  |
|--|--|--|---------|-------------------|--|
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |  |  |         |                   |  |
| <b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN</b>   |  |  |         |                   |  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 206   |  |  |         |                   |  |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |  |  |         | FECHA: 08/12/2020 |  |
| LUGAR: Laboratorio UNIVERSAL TESTING.  |  |  |         |                   |  |
| MATERIAL: Agregado Grueso de 1/2" Planta Asfáltica de Caicay, Cusco  |  |  |         |                   |  |
| <b>PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO DE 1/2"</b>  |  |  |         |                   |  |
| SÍMBOLO  | DESCRIPCIÓN  | UNIDAD   | N°1     |                   |  |
| A  | Peso en el aire del agregado seco al horno                         | gr   | 1982.33 |                   |  |
| B  | Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco        | gr   | 2001.04 |                   |  |
| C  | Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua | gr   | 1212.05 |                   |  |
| Pea= Gsa   | Pe seco aparente (A/(A-C))   | gr/cm3   |         |                   |  |
| Pesss=Gsssb  | Pe de masa saturada con superficie seca (B/(B-C))                  | gr/cm3   |         |                   |  |
| Pe,=Gsb  | Pe seco Bulk ( A/(B-C))  | gr/cm3   |         |                   |  |
| Ab   | Absorción  | %  |         |                   |  |

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°49. Ensayo para la determinación peso específico y absorción del agregado fino  
arena triturada

|  |   | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |         |  |
|--|---|--|---------|--|
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |   |  |         |  |
| <b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN</b>   |   |  |         |  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 205   |   |  |         |  |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel   |   | FECHA: 08/12/2020  |         |  |
| Cristhian Chauca Quispe  |   |  |         |  |
| LUGAR: Laboratorio UNIVERSAL TESTING   |   |  |         |  |
| MATERIAL: Arena Triturada de Caicay, Cusco   |   |  |         |  |
| <b>PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO TRITURADA</b>   |   |  |         |  |
| SÍMBOLO  | DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | N°1     |  |
| A  | Peso en el aire del agregado seco al horno              | gr   | 537.21  |  |
| B  | Peso del Picnómetro + Agua                              | gr   | 1296.43 |  |
| C  | Peso del Picnómetro + Agregado + Agua hasta la marca    | gr   | 1615.43 |  |
| D  | Peso del material saturado superficialmente seco        | gr   | 539.87  |  |
| Pe=Gsa   | Pe seco aparente ( $A/(B+A-C)$ )                        | gr/cm <sup>3</sup>   |         |  |
| Pess=Gsssb   | Pe de masa saturada con superficie seca ( $D/(B+D-C)$ ) | gr/cm <sup>3</sup>   |         |  |
| Pe=Gsb   | Pe seco Bulk ( $A/(B+D-C)$ )                            | gr/cm <sup>3</sup>   |         |  |
| Ab   | Absorción ( $(D-A)*100/A$ )                             | gr/cm <sup>3</sup>   |         |  |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°50. Ensayo para la determinación peso específico y absorción del agregado fino  
arena lavada

|  |   | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |         |  |
|--|---|--|---------|--|
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |   |  |         |  |
| <b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN</b>   |   |  |         |  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 205   |   |  |         |  |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel   |   | FECHA: 08/12/2020  |         |  |
| Cristhian Chauca Quispe  |   |  |         |  |
| LUGAR: Laboratorio UNIVERSAL TESTING   |   |  |         |  |
| MATERIAL: Arena Lavada de Caicay, Cusco  |   |  |         |  |
| <b>PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO LAVADA</b>  |   |  |         |  |
| SÍMBOLO  | DESCRIPCIÓN   | UNIDAD   | N°1     |  |
| A  | Peso en el aire del agregado seco al horno              | gr   | 522.98  |  |
| B  | Peso del Picnómetro + Agua                              | gr   | 1296.43 |  |
| C  | Peso del Picnómetro + Agregado + Agua hasta la marca    | gr   | 1656.81 |  |
| D  | Peso del material saturado superficialmente seco        | gr   | 525.58  |  |
| Pe= Gsa  | Pe seco aparente ( $A/(B+A-C)$ )                        | gr/cm <sup>3</sup>   |         |  |
| Pess=Gsssb   | Pe de masa saturada con superficie seca ( $D/(B+D-C)$ ) | gr/cm <sup>3</sup>   |         |  |
| Pe=Gsb   | Pe seco Bulk ( $A/(B+D-C)$ )                            | gr/cm <sup>3</sup>   |         |  |
| Ab   | Absorción ( $(D-A)*100/A$ )                             | %  |         |  |

Fuente: Elaboración Propia



### 3.5.8. Ensayo de Límites de Consistencia

#### a) Materiales y equipos utilizados en la prueba

- Vasija y apisonador de porcelana
- Aparato del límite líquido o de Casagrande
- Taras: Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad
- Balanza de precisión: Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- Horno: Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de  $110 \pm 5$  °C para secar la muestra.
- Espátula: De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3"– 4") de longitud y 20 mm ( $\frac{3}{4}$ ") de ancho aproximadamente.
- Vidrio esmerilado
- Tamiz N°40
- Agua destilada: Puede emplearse agua destilada o agua desmineralizada.

#### b) Procedimiento

- Tamizaremos el agregado fino a partir del tamiz N°40 pasante. un total de 200 gramos.
- Calibramos la copa de Casagrande con una caída de 10mm

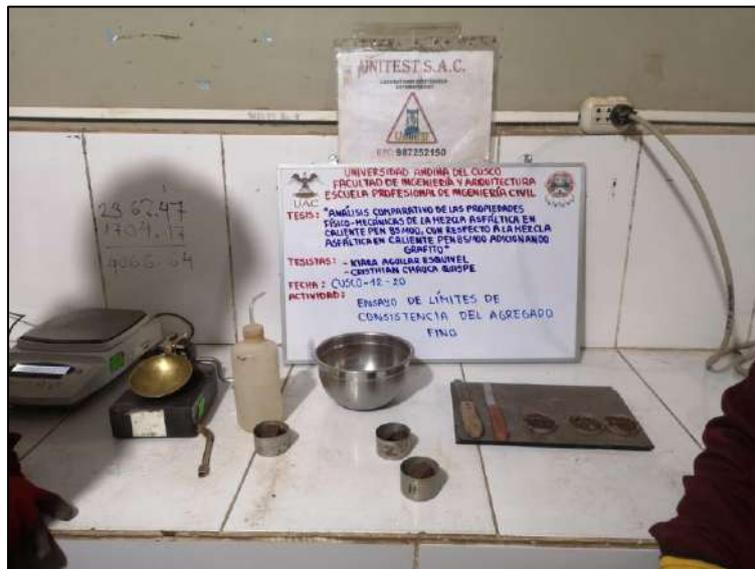


Figura N°41. Límites de consistencia - Materiales

Fuente: Elaboración Propia

- Colocar el material en la vasija de porcelana agregando cierta cantidad de agua con una piseta (agua destilada) y mezclarlos más homogéneamente.
- Colocarlo en la cuchara de Casagrande, expandirla de manera informe y horizontal.
- Realizamos una ranura con el acanalador de muestra en dos partes iguales.



- Girar el manubrio del equipo de Casagrande a una velocidad constante de 2 golpes por seg. hasta observar que las dos mitades se encuentre entre ellas.



Figura N°42. Límites de consistencia – Trazado de la ranura

Fuente: Elaboración Propia

- Registrar el número de golpes (N) necesario para unir las dos mitades, tomar parte de la muestra en una tara. Devolver la muestra sobrante de la copa.
- Lavar y secar la copa para luego fijarla nuevamente al soporte para realizar la siguiente prueba con la altura requerida.
- Mezclar y realizar nuevamente la prueba. Añadir agua destilada para aumentar su contenido de humedad y reducir el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.



Figura N°43. Límites de consistencia – Aumentando el contenido de humedad

Fuente: Elaboración Propia



NOTA:

- Determinar el contenido de humedad de la muestra, registrar los pesos iniciales de todas las taras, luego colocarlas en el horno y esperar al secado para volver a pesar.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

NOTA:

- No se pudo determinar el índice de plasticidad ya que el número para cerrar la ranura es menos a 25 golpes por eso se determina que el agregado es no plástico.

c) Toma de datos

Tabla N°51. Recolección de datos del ensayo de límites de consistencia para el agregado fino

|  |  |                   |          |                        |
|--|--|-------------------|----------|------------------------|
|  | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                   |          |                        |
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |  |                   |          |                        |
| <b>ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS</b>  |  |                   |          |                        |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 110   |  |                   |          |                        |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |  | FECHA: 11/12/2020 |          |                        |
| LUGAR: Laboratorio UNIVERSAL TESTING   |  |                   |          |                        |
| MATERIAL: Arena Triturada y Arena Lavada de Caicay, Cusco  |  |                   |          |                        |
| <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA PARA EL AGREGADO FINO</b>   |  |                   |          |                        |
|  | <b>LÍMITE LÍQUIDO</b>  |                   |          |                        |
| <b>Tara Número</b>   | <b>1</b>   | <b>2</b>          | <b>3</b> | <b>LÍMITE PLÁSTICO</b> |
| Peso Tara + Muestra Húmeda (A) gr  | 50.69  | 57.94             | 54.79    | -                      |
| Peso Tara + Muestra Seca (B) gr  | 45.85  | 53.02             | 50.75    | -                      |
| Peso de la Tara (C) gr   | 22.95  | 29.56             | 29.28    | -                      |
| Peso de la Muestra Seca (Pms=B-C) gr   | 22.90  | 23.46             | 21.47    | -                      |
| Peso del Agua (Pa=A-B) gr  | 4.84   | 4.92              | 4.04     | -                      |
| Contenido de Humedad (Pa/Pms)  | 21.14%   | 20.97%            | 18.82%   | -                      |
| Número de Golpes   | 18   | 22                | 36       | -                      |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.9. Ensayo de angularidad de finos

a) Materiales y equipos utilizados en la prueba

- Tamices; 2,36mm (N° 8) y 75mm (N° 200)
- Cilindro metálico de volumen conocido
- Embudo
- Vernier

b) Muestra

La muestra será la misma de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica, la combinación de la Arena triturada y Arena Lavada de acuerdo al MAC.



c) Procedimiento

- Registrar todas las medidas del molde: altura-diámetro,
- Registrar el peso del molde.



Figura N°44. Angularidad de finos – Calibración de la balanza y del molde

Fuente: Elaboración Propia

- Poner al horno para el secado, la mezcla combinada según el MAC agregado Fino (37% Triturada - 10% lavada según los resultados de la Tabla N°70.

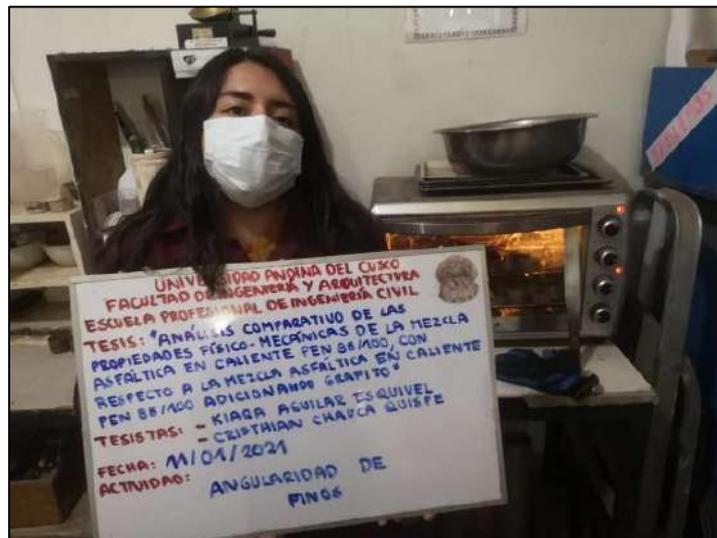


Figura N°45. Angularidad de finos – Colocado al horno

Fuente: Elaboración Propia

- Para realizar la combinación correcta se toma 78.72% de arena triturada y 21.28% de arena lavada respecto al peso para el ensayo.
- Tomar el material retenido entre los tamices #8y # 200, realizar el cuarteo para obtener la muestra representativa.

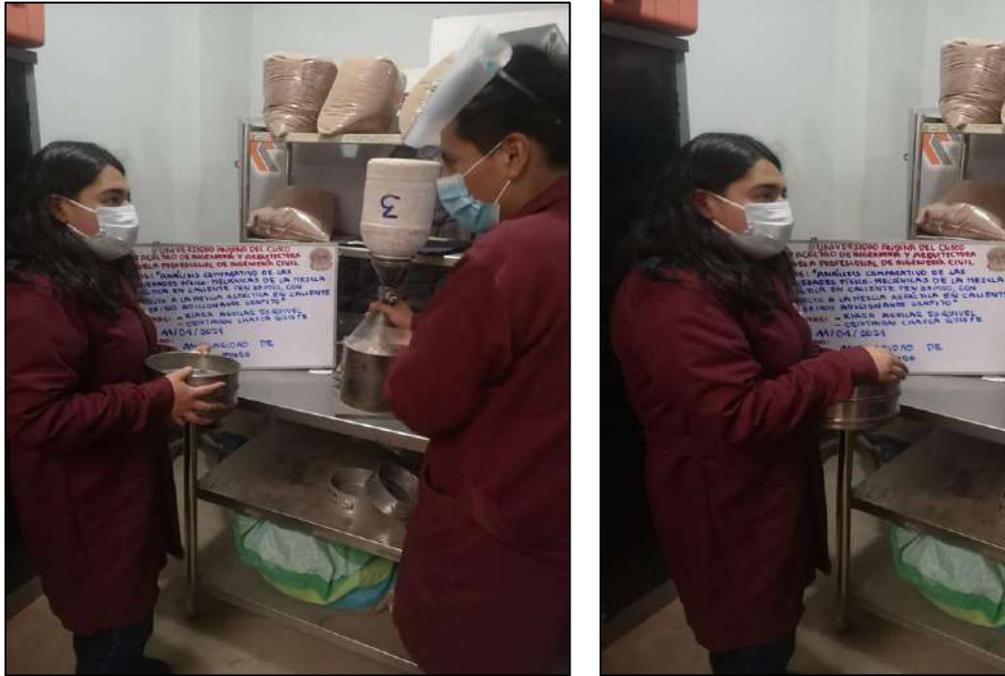
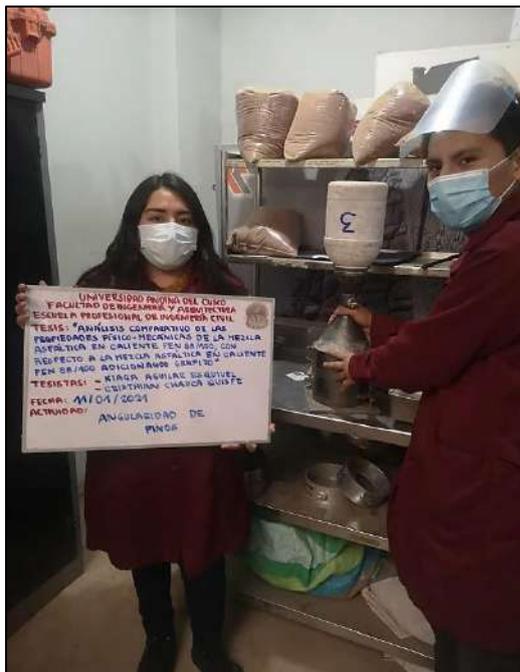


Figura N°46. Angularidad de finos – Tamizado

Fuente: Elaboración Propia

- Se vierte el agregado por el embudo hasta que rebose el cilindro de volumen conocido
- Se enrasa y se pesa el material retenido dentro del cilindro



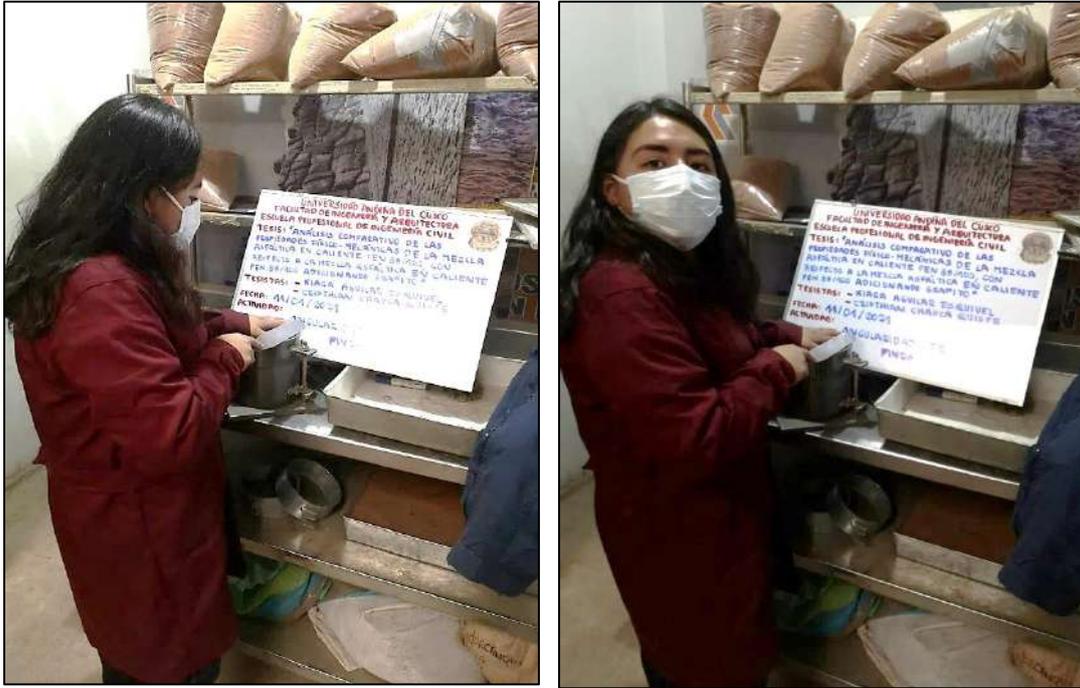


Figura N°47. Angularidad de finos – Enrasado del material

Fuente: Elaboración Propia

d) Toma de datos:

Tabla N°52. Recolección de datos del ensayo de angularidad para el agregado fino

|   |  |                          |
|---|--|--------------------------|
|   | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                          |
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |  |                          |
| <b>ENSAYO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 222   |  |                          |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel _____<br>Cristhian Chauca Quispe _____  |  | <b>FECHA:</b> 11/01/2021 |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |  |                          |
| <b>MATERIAL:</b> Arena Triturada y Arena Lavada de Caicay, Cusco  |  |                          |
| <b>ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO</b>  |  |                          |
| <b>Tamices utilizados:</b> N° 8 y N°200   |  |                          |
| <b>DATOS DEL ENSAYO</b>   |  | <b>MUESTRA</b>           |
| Peso del Molde (gr)   |  | 7155.00                  |
| Peso del Molde + Muestra Suelta (gr)  |  | 11552.00                 |
| Peso de la Muestra Suelta (gr)  |  |                          |
| Altura del Molde (cm)   |  | 16.72                    |
| Diámetro del Molde (cm)   |  | 15.24                    |
| Volumen del Molde (cm <sup>3</sup> )  |  |                          |
| Peso Unitario Suelto (gr/cm <sup>3</sup> )  |  |                          |
| Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )   |  | 2.84                     |
| Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )   |  |                          |
| Angularidad (%)   |  |                          |

Fuente: Elaboración Propia



### 3.5.10. Ensayo de durabilidad del agregado al sulfato de magnesio

#### a) Materiales y Equipos

- Serie de tamices N° 3/8", N° 4, N° 8, N°16, N° 30, N° 50
- Envases metálicos
- Termómetro
- Balanza
- Horno
- Reactivos. (sulfato de sodio y magnesio)

#### b) Muestra

- Agregado grueso: la muestra será la misma a utilizar en las para las elaboraciones de las probetas según el MAC 30% de 3/4" y 70% de 1/2" para su combinación
- Agregado fino: la muestra será la misma a utilizar en las para las elaboraciones de las probetas MAC 78.72 % de arena triturada 21.28 % de arena lavada para su combinación

#### c) Procedimiento

- Se realiza el tamizado de las muestras, agregado grueso y al agregado fino y se registran los pesos.



Figura N°48. Durabilidad del agregado al sulfato de magnesio – Tamizado

Fuente: Elaboración Propia

- En un bowl colocamos el reactivo sulfato de magnesio, durante 16 horas.
- La muestra debe encontrarse bajo 1.3 cm del nivel del reactivo.



*Figura N°49. Durabilidad del agregado al sulfato de magnesio – Colocado del reactivo*

Fuente: Elaboración Propia

- Cubrimos el bowl para evitar la evaporación y contaminación de agentes externos.
- Pasado el tiempo se escurre durante 15 min y se lleva al horno a una temperatura constante luego las pesamos.
- Luego se tamizan en las mallas registrando los pesos después de la sumersión.



*Figura N°50. Durabilidad del agregado al sulfato de magnesio – Colocado al horno*

Fuente: Elaboración Propia



d) Toma de datos

Tabla N°53. Recolección de datos del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio agregado fino

|  |                      |  |   |                         |                                      |
|--|----------------------|--|---|-------------------------|--------------------------------------|
|  |                      | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |   |                         |                                      |
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |                      |  |   |                         |                                      |
| <b>ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO</b>  |                      |  |   |                         |                                      |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 209   |                      |  |   |                         |                                      |
| RESPONSABLES: <u>Kiara Aguilar Esquivel</u><br><u>Cristhian Chauca Quispe</u>  |                      |  |   | FECHA: <u>4/01/2021</u> |                                      |
| LUGAR: <u>Laboratorio PRO&amp;CON SILVER S.C.R.L.</u>  |                      |  |   |                         |                                      |
| MATERIAL: <u>Agredado Fino de la Planta Asfáltica de Caicay</u>  |                      |  |   |                         |                                      |
| <b>DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO AGREGADO FINO</b>  |                      |  |   |                         |                                      |
| <b>PASA TAMIZ</b>  | <b>RETIENE TAMIZ</b> | <b>PESO MÍNIMO REQUERIDO (gr)</b>  | <b>PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)</b> | <b>CUMPLE</b>           | <b>TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO</b> |
| 3/8"   | N°4                  | 100  | 100.06  |                         | N°4                                  |
| N°4  | N°8                  | 100  | 100.06  |                         | N°8                                  |
| N°8  | N°16                 | 100  | 100.05  |                         | N°16                                 |
| N°16   | N°30                 | 100  | 100.03  |                         | N°30                                 |
| N°30   | N°50                 | 100  | 100.05  |                         | N°50                                 |
| TOTAL  |                      | 500  | 500.25  |                         |                                      |
| <b>PASA TAMIZ</b>  | <b>RETIENE TAMIZ</b> | <b>PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)</b>  | <b>PÉRDIDA TOTAL</b>                          |                         |                                      |
| 3/8"   | N°4                  | 98.6   |   |                         |                                      |
| N°4  | N°8                  | 96.24  |   |                         |                                      |
| N°8  | N°16                 | 96.6   |   |                         |                                      |
| N°16   | N°30                 | 93.82  |   |                         |                                      |
| N°30   | N°50                 | 90.62  |   |                         |                                      |
| TOTAL  |                      | 475.88   |   |                         |                                      |
| <b>CORRECCIÓN AL 100%</b>  |                      |  |   |                         |                                      |

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N°54. Recolección de datos del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio agregado grueso

|  |               | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |  |        |                               |
|--|---------------|--|------------|--|--------|-------------------------------|
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO" |               |  |            |  |        |                               |
| <b>ENSAYO DE DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO</b>  |               |  |            |  |        |                               |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 209   |               |  |            |  |        |                               |
| RESPONSABLES: <u>Kiara Aguilar Esquivel</u>  |               |  |            | FECHA: <u>16/12/2020</u>               |        |                               |
| Cristhian Chauca Quispe  |               |  |            |  |        |                               |
| LUGAR: <u>Laboratorio PRO&amp;CON SILVER S.C.R.L.</u>  |               |  |            |  |        |                               |
| MATERIAL: <u>Agredado Grueso de la Planta Asfáltica de Caicay - Huambutio</u>  |               |  |            |  |        |                               |
| <b>DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO AGREGADO GRUESO</b>  |               |  |            |  |        |                               |
|  |               |  |            |  |        |                               |
| PASA TAMIZ   | RETIENE TAMIZ | PESO REQUERIDO (gr)  | TOLERANCIA | PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr) | CUMPLE | TAMIZ PARA REMOVER EL RESIDUO |
| 2 1/2"   | 1 1/25"       | 5000   | ± 300      | -                                      |        | 1 1/25"                       |
| 1 1/25"  | 3/4"          | 1500   | ± 50       | 1000.4                                 |        | 3/4"                          |
| 3/4"   | 1/2"          | 1000   | ± 10       | 670.32                                 |        | 1/2"                          |
| 1/2"   | 3/8"          | 300  | ± 5        | 300.48                                 |        | 3/8"                          |
| TOTAL  |               | 7800   | -          | 1971.2                                 |        | -                             |
|  |               |  |            |  |        |                               |
| PASA TAMIZ   | RETIENE TAMIZ | PESO SECO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (gr)   |            | PÉRDIDA TOTAL                          |        |                               |
| 2 1/2"   | 1 1/25"       | -  |            | -                                      |        |                               |
| 1 1/25"  | 3/4"          | 990.65   |            |  |        |                               |
| 3/4"   | 1/2"          | 668.26   |            |  |        |                               |
| 1/2"   | 3/8"          | 297.17   |            |  |        |                               |
| TOTAL  |               | 1956.08  |            |  |        |                               |
| <b>CORRECCIÓN AL 100%</b>  |               |  |            |  |        |                               |

Fuente: Elaboración Propia

NOTA: Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.

3.5.11. Ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos (% de asfalto óptimo y % de grafito óptimo)

a) Materiales y equipos utilizados en la prueba

- Balanza de flotación.
- Equipo de flotación con baño de agua.
- Cesta de alambre o canastilla metálica.

b) Procedimiento

- Realizar el procedimiento para preparación de mezclas asfálticas compactadas.





*Figura N°52. Pesado de las probetas realizadas sin grafito y con grafito – Gravedad específica bulk*

Fuente: Elaboración Propia

- Sumergir la muestra en agua por unos minutos (5 a 10 minutos) y pesar la muestra en su condición saturada superficialmente seca en el agua con ayuda de la canastilla metálica.



*Figura N°53. Pesado de las probetas sumergidas en agua – Gravedad Específica Bulk*

Fuente: Elaboración Propia



- Sacar la muestra del agua, secar el exceso de agua con una franela y pesar en su condición saturada superficialmente seca en el aire.

c) Toma de datos

Tabla N°55. Recolección de datos del ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos para % asfalto óptimo

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>   |         | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                                 |   |  |
|---|---------|--|---------------------------------|---|---|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |         |  |                                 |   |   |
| <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS - % ASFALTO ÓPTIMO</b><br>BASADO EN LA NORMA AASHTO T166  |         |  |                                 |   |   |
| <b>RESPONSABLES:</b> <u>Kiara Aguilar Esquivel</u><br><u>Cristhian Chauca Quispe</u>  |         |  | <b>FECHA:</b> <u>15/02/2021</u> |   |   |
| <b>LUGAR:</b> <u>Laboratorio PRO&amp;CON SILVER S.C.R.L.</u>  |         |  |                                 |   |   |
| <b>MATERIAL:</b> <u>Probetas adicionadas sin Grafito, Cusco</u>   |         |  |                                 |   |   |
| <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS</b>  |         |  |                                 |   |   |
| %   | N°      | WD   | WSUB                            | WSSD                                    | Gmb   |
| PORCENTAJE DE ASFALTO   | PROBETA | PESO AL AIRE (g)   | PESO SUMERGIDO (g)              | PESO EN SU CONDICIÓN SSD EN EL AIRE (g) | GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL ESPECÍMEN  |
| 6   | 1       | 1211.940   | 680.000                         | 1216.500                                |   |
|   | 2       | 1213.190   | 692.500                         | 1216.000                                |   |
|   | 3       | 1215.180   | 695.000                         | 1218.000                                |   |
|   | 4       | 1226.040   | 702.000                         | 1230.500                                |   |
|   | -       | 662.000  |                                 |   |   |
| 6.5   | 1       | 1210.520   | 688.000                         | 1213.000                                |   |
|   | 2       | 1230.910   | 701.500                         | 1236.000                                |   |
|   | 3       | 1216.820   | 682.000                         | 1218.000                                |   |
|   | 4       | 1195.770   | 670.500                         | 1201.000                                |   |
|   | -       | PROMEDIO   |                                 |   |   |
| 7   | 1       | 1228.230   | 697.000                         | 1234.000                                |   |
|   | 2       | 1201.450   | 681.000                         | 1205.000                                |   |
|   | 3       | 1219.010   | 698.000                         | 1223.000                                |   |
|   | 4       | 1214.010   | 696.000                         | 1218.000                                |   |
|   | -       | PROMEDIO   |                                 |   |   |
| 7.5   | 1       | 1211.350   | 695.000                         | 1213.000                                |   |
|   | 2       | 1204.900   | 682.000                         | 1210.000                                |   |
|   | 3       | 1209.650   | 691.000                         | 1211.000                                |   |
|   | 4       | 1229.190   | 703.000                         | 1230.000                                |   |
|   | -       | PROMEDIO   |                                 |   |   |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°56. Recolección de datos del ensayo de gravedad específica bulk para parámetros volumétricos para % grafito óptimo

|   | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                         |                    |   |  |
|---|--|-------------------------|--------------------|---|--|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |  |                         |                    |   |  |
| <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS - % GRAFITO ÓPTIMO</b><br>BASADO EN LA NORMA AASHTO T166  |  |                         |                    |   |  |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |  | <b>FECHA:</b> 2/03/2021 |                    |   |  |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |  |                         |                    |   |  |
| <b>MATERIAL:</b> Probetas adicionadas con Grafito, Cusco  |  |                         |                    |   |  |
| <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK PROMEDIO DE LAS PROBETAS COMPACTADAS</b>  |  |                         |                    |   |  |
| %   | N°   | WD                      | WSUB               | WSSD                                    | Gmb                                    |
| PORCENTA JEDE GRAFITO   | PROBETA  | PESO AL AIRE (g)        | PESO SUMERGIDO (g) | PESO EN SU CONDICIÓN SSD EN EL AIRE (g) | GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL ESPECÍMEN |
| 5   | 1  | 1206.220                | 685.000            | 1209.000                                |  |
|   | 2  | 1227.310                | 696.000            | 1231.000                                |  |
|   | 3  | 1203.300                | 696.000            | 1205.500                                |  |
|   | 4  | 1181.060                | 686.500            | 1184.000                                |  |
|   | -  | PROMEDIO                |                    |   |  |
| 10  | 1  | 1205.420                | 696.000            | 1208.000                                |  |
|   | 2  | 1202.010                | 685.500            | 1206.500                                |  |
|   | 3  | 1182.460                | 673.500            | 1188.500                                |  |
|   | 4  | 1202.570                | 689.000            | 1204.500                                |  |
|   | -  | PROMEDIO                |                    |   |  |
| 15  | 1  | 1221.110                | 698.000            | 1223.000                                |  |
|   | 2  | 1206.420                | 683.000            | 1208.000                                |  |
|   | 3  | 1211.680                | 689.000            | 1216.000                                |  |
|   | 4  | 1218.280                | 687.500            | 1221.500                                |  |
|   | -  | PROMEDIO                |                    |   |  |
| 20  | 1  | 1207.280                | 674.500            | 1210.500                                |  |
|   | 2  | 1197.880                | 680.000            | 1200.000                                |  |
|   | 3  | 1203.230                | 680.000            | 1206.500                                |  |
|   | 4  | 1209.170                | 683.000            | 1212.000                                |  |
|   | -  | PROMEDIO                |                    |   |  |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.12. Ensayo de estabilidad y flujo

#### a) Materiales y equipos utilizados en la prueba

- Cabezal de ruptura.
- Máquina de carga a compresión.
- Dispositivo de medida de carga (anillo dinamómetro de 22 240 N (5000 lbf)).
- Medidor de flujo.
- Baño de maría (precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ ).

- Horno eléctrico.
- Termómetros digitales
- b) Procedimiento
- Se preparan los especímenes:
  - Mezcla asfáltica convencional
  - Mezcla asfáltica Con grafito



Figura N°54. Especímenes asfálticos – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Fuente: Elaboración Propia

- Realizar el procedimiento para preparación de mezclas asfálticas compactadas.



Figura N°55. Proceso de elaboración de especímenes asfálticos – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Fuente: Elaboración Propia



- Se realizará el pesado de cada material como el agregado grueso, agregado fino, grafito y filler, según la distribución de pesos realizada por MAC-01, identificando cada uno de estos con el porcentaje de grafito del espécimen asfáltico que contendrán.
- En la cocina se procede al mezclado del agregado grueso, el agregado fino previamente adicionado con grafito respecto a su peso, y el filler; el grafito deberá mezclarse en su totalidad en la mezcla asfáltica hasta encontrarse totalmente esparcida. Así mismo, calentar el asfalto y adicionar a la mezcla hasta llegar al peso del porcentaje requerido del total de la muestra.
- Se debe verificar la temperatura durante el proceso de mezclado, siendo 135°C la temperatura mínima.
- Luego se deja enfriar el espécimen y se procede a desmoldar.
- Medir el espesor y diámetro de los especímenes.



*Figura N°56. Medición de especímenes – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall*

Fuente: Elaboración Propia

- Los especímenes se sumergen en baño maría por un periodo de 30 a 45 min a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .



Figura N°57. Sumergido de Especímenes en baño maría – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Fuente: Elaboración Propia

- Verificar el interior de las superficies de las mordazas antes de realizar el ensayo evitar impurezas y desperdicios.
- Secar los especímenes y colocarlo en el molde lottman con las mordazas.
- Colocar el conjunto en la máquina de estabilidad Marshall. Sostenerlo durante el proceso del ensayo. Colocar el dial de deformación sobre el segmento superior del cabezal. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min, hasta que la carga decrezca en el dial de carga. Registrar los valores de estabilidad y flujo.



Figura N°58. Rotura de especímenes – Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

Fuente: Elaboración Propia

c) Toma de datos

Tabla N°57. Recolección de datos del Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para Especímenes sin Grafito



|  | <p><b>Universidad<br/>Andina<br/>del Cusco</b></p> | <p><b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b></p>   |                                 |                   |                  |
|--|--|---|---------------------------------|-------------------|------------------|
|  |  | <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br/>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> |                                 |                   |                  |
| <p><b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b></p> |  |   |                                 |                   |                  |
| <p><b>ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL</b></p>   |  |   |                                 |                   |                  |
| <p>BASADO EN LA NORMA MTC E.504</p>  |  |   |                                 |                   |                  |
| <p><b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br/>Cristhian Chauca Quispe</p>   |  | <p><b>FECHA:</b> 2/03/2021</p>  |                                 |                   |                  |
| <p><b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&amp;CON SILVER S.C.R.L.</p>   |  |   |                                 |                   |                  |
| <p><b>MATERIAL:</b> Probetas sin Grafito, Cusco</p>  |  |   |                                 |                   |                  |
| <p><b>ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SIN GRAFITO</b></p>  |  |   |                                 |                   |                  |
| <p><b>ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL</b></p>   |  |   |                                 |                   |                  |
| PROBETA  | ESTABILIDAD CORREGIDA                              | ESTABILIDAD PROMEDIO  | ALTURA APROXIMADA DEL ESPECIMEN | FLUJO MARSHALL    | FLUJO PROMEDIO   |
| N°   | kN   |   | cm                              | mm                | mm               |
| 1.000  | 20.660   |   | 6.611                           | 3.550             |                  |
| 2.000  | 15.610   |   | 6.579                           | 3.650             |                  |
| 3.000  | 15.110   |   | 6.706                           | 3.660             |                  |
| 4.000  | 14.690   |   | 6.732                           | 3.950             |                  |
| CONSIDERACIÓN  |  | UNIDAD  | C.A.                            | ESPECIFICACIONES  | CUMPLE/NO CUMPLE |
| <p>FLUJO Y ESTABILIDAD MARSHALL</p>  | Estabilidad Corregida Promedio                     |   | 6.50%                           | EG - 2013         |                  |
|  | Flujo Promedio                                     |   |                                 | Mínimo 8.15 kN    |                  |
|  | Relación Estabilidad/Flujo                         |   | mm                              |                   | 8 - 14           |
|  |  | kg/cm   |                                 | 1700.00 - 4000.00 |                  |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°58. Recolección de datos del ensayo de estabilidad y flujo Marshall para especímenes con grafito



| <br><b>Universidad<br/>Andina<br/>del Cusco</b>  | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |  |                                 |                   |                  |
|---|--|---|---------------------------------|-------------------|------------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |  |   |                                 |                   |                  |
| <b>ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL</b>   |  |   |                                 |                   |                  |
| BASADO EN LA NORMA MTC E.504  |  |   |                                 |                   |                  |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel _____<br>Cristhian Chauca Quispe _____  |  | <b>FECHA:</b> 9/03/2021   |                                 |                   |                  |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |  |   |                                 |                   |                  |
| <b>MATERIAL:</b> Probetas con Grafito, Cusco  |  |   |                                 |                   |                  |
| <b>ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON GRAFITO</b>  |  |   |                                 |                   |                  |
| <b>ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL</b>   |  |   |                                 |                   |                  |
| PROBETA   | ESTABILIDAD CORREGIDA  | ESTABILIDAD PROMEDIO  | ALTURA APROXIMADA DEL ESPECIMEN | FLUJO MARSHALL    | FLUJO PROMEDIO   |
| N°  | kN   |   | cm                              | mm                | mm               |
| 1.000   | 13.210   |   | 6.425                           | 5.460             |                  |
| 2.000   | 11.090   |   | 6.361                           | 5.770             |                  |
| 3.000   | 11.430   |   | 6.567                           | 5.760             |                  |
| 4.000   | 11.100   |   | 6.453                           | 6.100             |                  |
| CONSIDERACIÓN   |  | UNIDAD  | C.G.                            | ESPECIFICACIONES  | CUMPLE/NO CUMPLE |
| FLUJO Y ESTABILIDAD MARSHALL  | Estabilidad Corregida Promedio   | kN  | 15.0%                           | Mínimo 8.15 kN    |                  |
|   | Flujo Promedio   | mm  |                                 | 8 -14             |                  |
|   | Relación Estabilidad/Flujo   | kg/cm   |                                 | 1700.00 - 4000.00 |                  |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.13. Ensayo de cántabro o pérdida por desgaste

#### a) Materiales y equipos utilizados en la prueba

- Máquina de los ángeles
- Balanzas
- Bandejas
- Espátula
- Guantes

#### b) Procedimiento

Muestra: serán 4 especímenes con grafito y sin grafito.

- Pesamos cada espécimen y registramos cada peso con un aproximado de 0.1g.
- Introducimos cada probeta al bombo de la máquina de los ángeles junto con las bolas de metal



Figura N°59. Cántabro pérdida por desgaste – Introducción de los especímenes con grafito y sin grafito

Fuente: Elaboración Propia

- Luego pasamos a girar a una velocidad constante según la norma MTC E 207 (33 rpm), hasta las 300 vueltas.
- Al terminar se pesan cada probeta y se registran para luego realizar el cálculo.

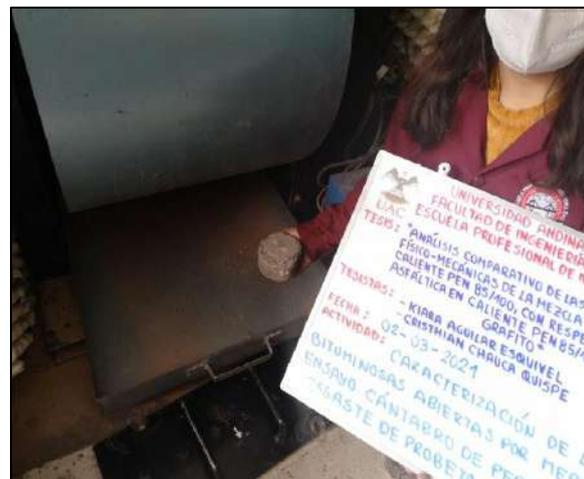


Figura N°60. Cántabro pérdida por desgaste – Girar a una velocidad 33 rpm

Fuente: Elaboración Propia



c) Toma de datos

Tabla N°59. Recolección de datos del ensayo cántabro

|   | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                                       |              |            |                          |              |
|---|--|---------------------------------------|--------------|------------|--------------------------|--------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |  |                                       |              |            |                          |              |
| <b>ENSAYO DE CÁNTABRO</b>   |  |                                       |              |            |                          |              |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 515  |  |                                       |              |            |                          |              |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |  | <b>FECHA:</b> 02/03/2021 - 09/03/2021 |              |            |                          |              |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |  |                                       |              |            |                          |              |
| <b>MATERIAL:</b> Probetas sin/con Grafito, Cusco  |  |                                       |              |            |                          |              |
|   |  |                                       |              |            |                          |              |
| PROBETA   | CA %   | ADICIONANTE                           | PESO INICIAL | PESO FINAL | PÉRDIDA POR DESGASTE (%) | PROMEDIO (%) |
| M-1   | 6.5  | CON GRAFITO                           | 1200.2       | 1035.72    |                          |              |
| M-2   |  |                                       | 1223.77      | 1154.59    |                          |              |
| M-3   |  |                                       | 1216.06      | 1165.13    |                          |              |
| M-4   |  |                                       | 1216.68      | 1160.8     |                          |              |
| M-1   | 6.5  | SIN GRAFITO                           | 1245         | 1193.77    |                          |              |
| M-2   |  |                                       | 1207.13      | 1137.23    |                          |              |
| M-3   |  |                                       | 1219.43      | 1168.77    |                          |              |
| M-4   |  |                                       | 1223.85      | 1166.59    |                          |              |

Fuente: Elaboración Propia

3.5.14. Ensayo al daño inducido por humedad

a) Materiales y equipos utilizados en la prueba

- Bomba de vacío
- Balanza
- Dial de vacío
- Congeladora
- Prensa de carga MTC E 504
- Horno eléctrico
- Probeta graduada 100 ml
- Recipientes metálicos
- Bolsas plásticas

b) Procedimiento

Muestra: 6 especímenes con grafito (3 seco - 3 húmedo) y 6 especímenes con grafito (3 seco - 3 húmedo).



Registrar la altura, diámetro de los especímenes para determinar su volumen y determinar el volumen de vacíos de aire.



*Figura N°61. Registro de medidas de los especímenes – Ensayo al daño inducido por humedad*

Fuente: Elaboración Propia

Los especímenes se sumergirán durante 2 horas en un recipiente de agua a temperatura 25 °C luego se llevará al ensayo.



*Figura N°62. Especímenes sumergidos – Ensayo al daño inducido por humedad*

Fuente: Elaboración Propia



El grupo húmedo se coloca en envase y aplicar vacío durante 10 minutos luego retirar y dejar sumergido por otro 10 minuto. Calcular volumen de agua absorbida y el grado de saturación de porcentaje (70-80).

Hermetizar los especímenes y llevar a la congeladora durante 16 horas a -18 grados centígrados. Sumergir en agua potable durante 24 horas. También otras 2 horas a temperatura 25 °C. Luego registrar los pesos, determinar los pesos de tensión indirecta.



Figura N°63. Probetas al vacío colocados en congeladora -18.1°C – Ensayo al daño inducido por humedad

Fuente: Elaboración Propia

c) Toma de datos



Tabla N°60. Recolección de datos del ensayo de daño inducido por humedad

|  <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
|--|----------------------------------|---------|---------|------------------------------------|---------|---------|----------------------------------|--------|--------|------------------------------------|-------|--------|
| TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| <b>RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD</b>  |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 522   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| RESPONSABLES: Kiara Aguilar Esquivel _____ FECHA: 11/03/2021<br>Cristhian Chauca Quispe _____<br>LUGAR: Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.<br>MATERIAL: Probetas con y sin Grafito, Cusco   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| <b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS CON Y SIN GRAFITO</b>  |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| DESCRIPCIÓN  | M1                               | M2      | M3      | M4                                 | M5      | M6      | M7                               | M8     | M9     | M10                                | M11   | M12    |
| Vacios de Aire en Porcentaje   | 4.00%                            | 4.00%   | 4.00%   | 4.00%                              | 4.00%   | 4.00%   | 4.00%                            | 4.00%  | 4.00%  | 4.00%                              | 4.00% | 4.00%  |
| Altura de la Briqueta (mm)   | 66.3                             | 64.27   | 65.05   | 63.35                              | 64.67   | 65.98   | 64.5                             | 63.41  | 64.77  | 64.51                              | 66.39 | 69.17  |
| Diámetro de la Briqueta (mm)   | 101.63                           | 103.66  | 103     | 103.38                             | 102.93  | 101.73  | 103.02                           | 103.39 | 102.93 | 103.19                             | 101.6 | 101.55 |
| Volumen del Especimen (cm <sup>3</sup> )   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Volumen de Vacios de Aire (cm <sup>3</sup> )   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| DESCRIPCIÓN  | Muestra Acondicionado en Seco    |         |         | Muestra Acondicionado en Humedo    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
|  | M4                               | M5      | M6      | M10                                | M11     | M12     |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Peso de la Briqueta SS (g)   | 1231.7                           | 1213.34 | 1205.56 | 1222.37                            | 1225.39 | 1218.91 |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Peso de la Briqueta Su (g)   | 1248.65                          | 1230.46 | 1222.14 | 1238.21                            | 1241.21 | 1235.58 |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Volumen Absorbido de Agua (cm <sup>3</sup> )   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Grado de Saturacion (%)  |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| DESCRIPCIÓN  | Sin Grafito                      |         |         | Sin Grafito                        |         |         | Con Grafito                      |        |        | Con Grafito                        |       |        |
|  | BRIQUETAS ACONDICIONADAS EN SECO |         |         | BRIQUETAS ACONDICIONADAS EN HÚMEDO |         |         | BRIQUETAS ACONDICIONADAS EN SECO |        |        | BRIQUETAS ACONDICIONADAS EN HÚMEDO |       |        |
|  | M1                               | M2      | M3      | M4                                 | M5      | M6      | M7                               | M8     | M9     | M10                                | M11   | M12    |
| Carga Maxima (N)   | 44930                            | 41500   | 42170   | 23340                              | 24960   | 22740   | 38970                            | 43840  | 43640  | 22530                              | 29210 | 31750  |
| Daño por Humedad   | 1                                |         | 1       | 2                                  | 1       | 2       |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Altura de la Briqueta (mm)   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Diámetro de la Briqueta (mm)   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Esfuerzo a la Tension (kPa) St   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| Esfuerzo a la Tension (kPa) St Promedio  |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |
| <b>Razon de Esfuerzo a Tension TSR</b>   |                                  |         |         |                                    |         |         |                                  |        |        |                                    |       |        |

Fuente: Elaboración Propia



### 3.6. Procedimientos de análisis de datos

#### 3.6.1. Ensayo de los componentes de la mezcla

##### 3.6.1.1. Ensayo de granulometría de los agregados

###### a) Procesamiento o Cálculos de la prueba

- $\% \text{ Retenido Parcial} = \text{Peso Retenido} * 100 / \text{Total Retenido}$

*Para A.G. de 3/4", % Retenido en Malla 3/4"*

$$\frac{2503.50 \times 100}{5109.81} = 48.99\%$$

- $\text{Retenido Acumulado} = \sum \text{Retenidos acumulados} + \text{Retenido de la malla}$

*Para A.G. de 3/4" Ret. Acum. en Malla 1/2"*

$$1441.67 + 2503.50 = 3945.17 \text{ gr}$$

- $\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido Parcial} + \% \text{ Retenido Acumulado}$

*Para A.G. de 3/4", % Ret. Acum. en Malla 1/2"*

$$48.99 + 28.21 = 77.21\%$$

- $\% \text{ Que pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido Acumulado}$

*Para A.G. de 3/4". % retenido 3/4" = 100% + 34.11% = 65.89%*

###### b) Diagramas, tablas

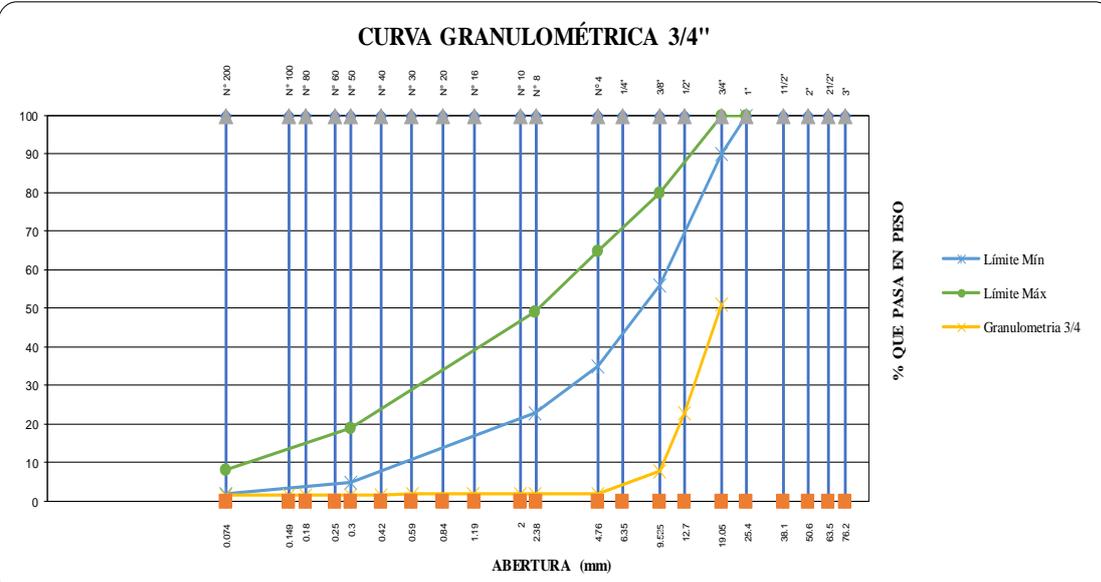


Tabla N°61. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso de 3/4"

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>   |               | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |                          |                      |  |                 |                 |
|---|---------------|--|------------|--------------------------|----------------------|---|-----------------|-----------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 204  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |               |  |            | <b>FECHA:</b> 21/12/2020 |                      |   |                 |                 |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>MATERIAL:</b> Piedra chancada 3/4" de la Cantera de Huambutio; Lucre   |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO 3/4"</b>   |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| TAMIZ N°  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr)   | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr)  | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA  | 19 mm TMN       |                 |
|   |               |  |            |                          |                      |   | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 1"  | 25.40         | 0.00   |            |                          |                      | 100.00  | 100             | 100             |
| 3/4"  | 19.05         | 2503.50  | 48.99      | 2503.50                  | 2552.49              | 51.01   | 90              | 100             |
| 1/2"  | 12.70         | 1441.67  | 28.21      | 3945.17                  | 2580.71              | 22.79   |                 |                 |
| 3/8"  | 9.53          | 766.79   | 15.01      | 4711.96                  | 2595.71              | 7.79  | 56              | 80              |
| N°4   | 4.76          | 298.99   | 5.85       | 5010.95                  | 2601.57              | 1.93  | 35              | 65              |
| N°8   | 2.36          | 2.26   | 0.04       | 5013.21                  | 2601.61              | 1.89  | 23              | 49              |
| N°10  | 2.00          | 2.20   | 0.04       | 5015.41                  | 2601.65              | 1.85  |                 |                 |
| N°16  | 1.18          | 1.29   | 0.03       | 5016.70                  | 2601.68              | 1.82  |                 |                 |
| N°30  | 0.60          | 2.28   | 0.04       | 5018.98                  | 2601.72              | 1.78  |                 |                 |
| N°40  | 0.42          | 2.12   | 0.04       | 5021.10                  | 2601.76              | 1.74  |                 |                 |
| N°50  | 0.30          | 1.20   | 0.02       | 5022.30                  | 2601.79              | 1.71  | 5               | 19              |
| N°80  | 0.18          | 2.40   | 0.05       | 5024.70                  | 2601.83              | 1.67  |                 |                 |
| N°100   | 0.15          | 2.25   | 0.04       | 5026.95                  | 2601.88              | 1.62  |                 |                 |
| N°200   | 0.07          | 2.12   | 0.04       | 5029.07                  | 2601.92              | 1.58  | 2               | 8               |
| <b>FONDO</b>  |               | 80.74  | 1.58       | 5109.81                  | 2603.50              | 0.00  |                 |                 |
| <b>TOTAL RETENIDO</b>   |               | 5109.81  |            |                          |                      |   |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA 3/4"**



Fuente: Elaboración Propia

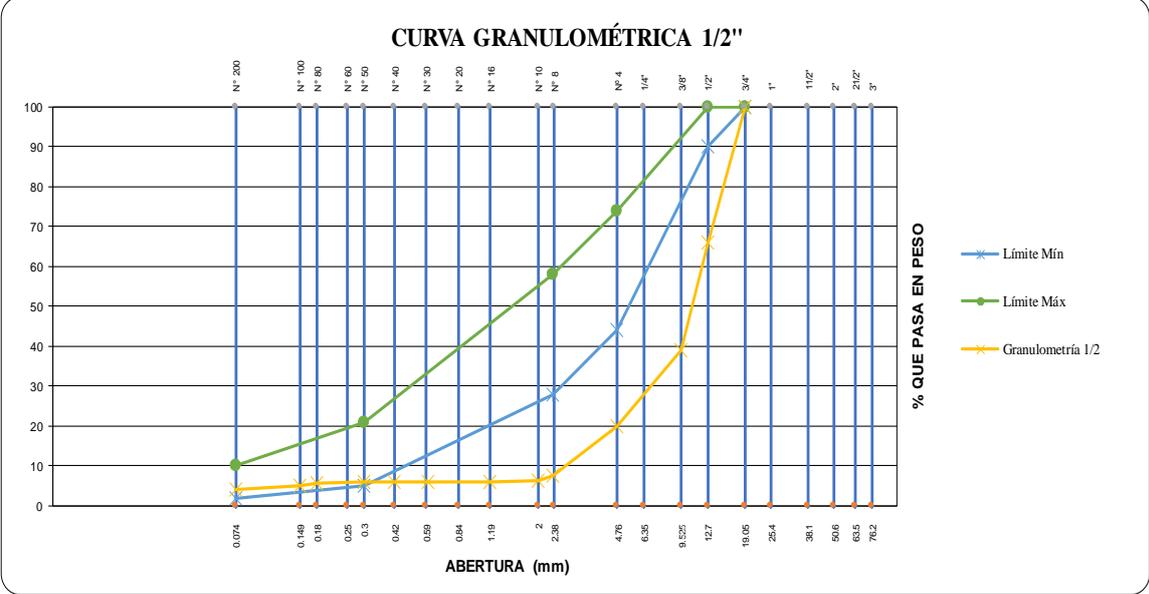


Tabla N°62. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso de 1/2"

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>   |               | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |                          |                      |  |                 |                 |
|---|---------------|--|------------|--------------------------|----------------------|---|-----------------|-----------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 204  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |               |  |            | <b>FECHA:</b> 21/12/2020 |                      |   |                 |                 |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.   |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>MATERIAL:</b> Piedra chancada 1/2" de la Planta Asfáltica de Caicay  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO 1/2"  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| TAMIZ N°  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr)   | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr)  | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA  | 12 mm TMN       |                 |
|   |               |  |            |                          |                      |   | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 3/4"  | 19.05         | 0.00   |            |                          |                      | 100.00  | 100             | 100             |
| 1/2"  | 12.70         | 1251.50  | 34.11      | 1251.50                  | 34.11                | 65.89   | 90              | 100             |
| 3/8"  | 9.53          | 984.11   | 26.82      | 2235.61                  | 60.93                | 39.07   |                 |                 |
| N° 4  | 4.76          | 701.39   | 19.12      | 2937.00                  | 80.05                | 19.95   | 44              | 74              |
| N° 8  | 2.36          | 449.30   | 12.25      | 3386.30                  | 92.29                | 7.71  | 28              | 58              |
| N° 10   | 2.00          | 45.91  | 1.25       | 3432.21                  | 93.54                | 6.46  |                 |                 |
| N° 16   | 1.18          | 16.37  | 0.45       | 3448.58                  | 93.99                | 6.01  |                 |                 |
| N° 30   | 0.60          | 3.05   | 0.08       | 3451.63                  | 94.07                | 5.93  |                 |                 |
| N° 40   | 0.42          | 1.50   | 0.04       | 3453.13                  | 94.12                | 5.88  |                 |                 |
| N° 50   | 0.30          | 0.85   | 0.02       | 3453.98                  | 94.14                | 5.86  | 5               | 21              |
| N° 80   | 0.18          | 10.74  | 0.29       | 3464.72                  | 94.43                | 5.57  |                 |                 |
| N° 100  | 0.15          | 20.75  | 0.57       | 3485.47                  | 95.00                | 5.00  |                 |                 |
| N° 200  | 0.07          | 30.78  | 0.84       | 3516.25                  | 95.84                | 4.16  | 2               | 10              |
| <b>FONDO</b>  |               | 152.80   | 4.16       | 3669.05                  | 100.00               | 0.00  |                 |                 |
| <b>TOTAL RETENIDO</b>   |               | 3669.05  |            |                          |                      |   |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA 1/2"**



El gráfico muestra la curva granulométrica para un agregado grueso de 1/2". El eje horizontal representa la abertura en milímetros (mm) con valores de tamices desde N° 200 hasta N° 3. El eje vertical representa el porcentaje que pasa en peso, desde 0 hasta 100. Se muestran tres series de datos: Límite Mínimo (línea azul con cruces), Límite Máximo (línea verde con círculos) y los resultados de la granulometría (línea naranja con cruces). La curva de la granulometría se encuentra entre los límites inferior y superior.

Fuente: Elaboración Propia

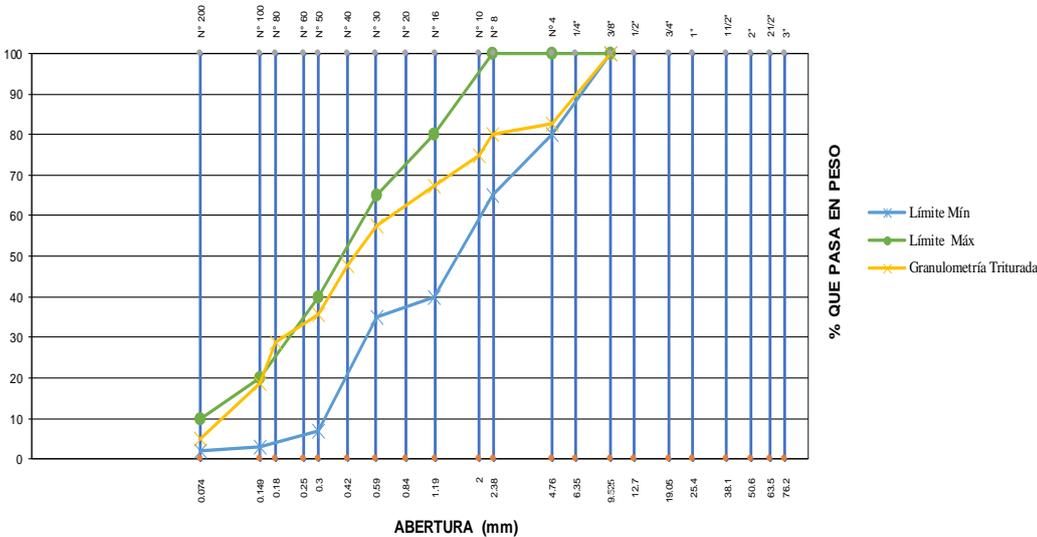


Tabla N°63. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso de arena triturada

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>   |               | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |                         |                      |  |                 |                 |
|---|---------------|--|------------|-------------------------|----------------------|---|-----------------|-----------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| <b>ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 204  |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |               |  |            |                         |                      | <b>FECHA:</b> 29/12/2020  |                 |                 |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio UNIVERSAL TESTING   |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| <b>MATERIAL:</b> Arena Triturada de la Planta Asfáltica de Caicay   |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| <b>GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO ARENA TRITURADA</b>  |               |  |            |                         |                      |   |                 |                 |
| TAMIZ N°  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr)   | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr) | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA  | 4 mm TMN        |                 |
|   |               |  |            |                         |                      |   | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 3/8"  | 9.525         | 0.00   |            |                         |                      | 100.00  | 100             | 100             |
| N° 4  | 4.76          | 354.61   | 17.46      | 354.61                  | 17.46                | 82.54   | 80              | 100             |
| N° 8  | 2.36          | 47.43  | 2.34       | 402.04                  | 19.80                | 80.20   | 65              | 100             |
| N° 10   | 2             | 110.17   | 5.42       | 512.21                  | 25.22                | 74.78   |                 |                 |
| N° 16   | 1.18          | 153.57   | 7.56       | 665.78                  | 32.78                | 67.22   | 40              | 80              |
| N° 30   | 0.6           | 193.30   | 9.52       | 859.08                  | 42.30                | 57.70   | 35              | 65              |
| N° 40   | 0.42          | 205.12   | 10.10      | 1064.20                 | 52.40                | 47.60   |                 |                 |
| N° 50   | 0.3           | 243.52   | 11.99      | 1307.72                 | 64.39                | 35.61   | 7               | 40              |
| N° 80   | 0.18          | 139.22   | 6.85       | 1446.94                 | 71.24                | 28.76   |                 |                 |
| N° 100  | 0.15          | 207.35   | 10.21      | 1654.29                 | 81.45                | 18.55   | 3               | 20              |
| N° 200  | 0.074         | 275.84   | 13.58      | 1930.13                 | 95.03                | 4.97  | 2               | 10              |
| <b>FONDO</b>  |               | 100.87   | 4.97       | 2031.00                 | 100.00               | 0.00  |                 |                 |
| <b>TOTAL RETENIDO</b>   |               | 2031.00  |            |                         |                      |   |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA ARENA TRITURADA**



Fuente: Elaboración Propia

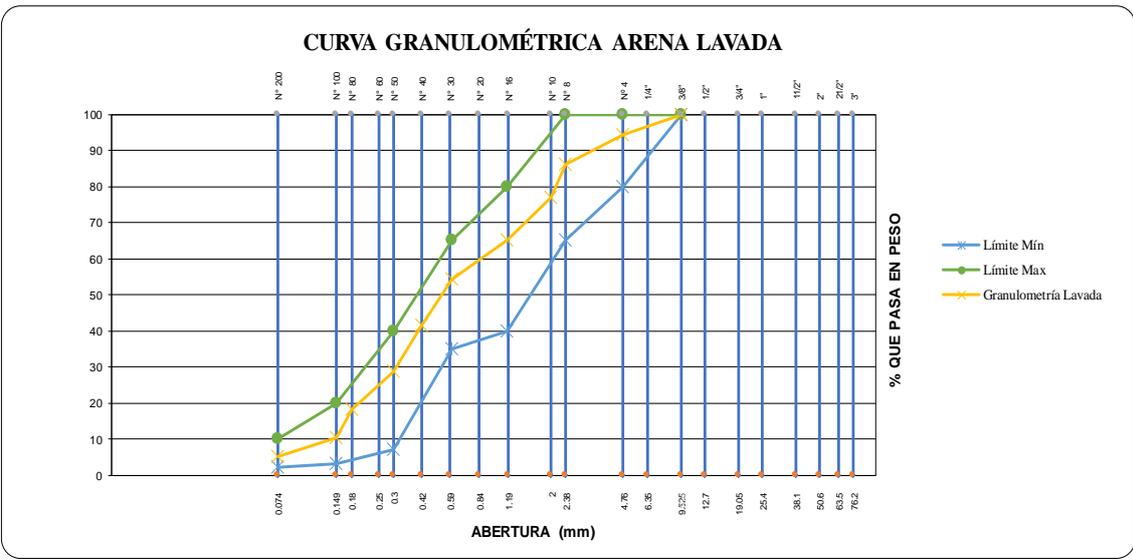


Tabla N°64. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso de arena lavada

|  <b>Universidad Andina del Cusco</b>   |               | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL |            |                          |                      |  |                 |                 |
|---|---------------|--|------------|--------------------------|----------------------|---|-----------------|-----------------|
| <b>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</b> |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS</b><br>BASADO EN LA NORMA MTC E 204  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>RESPONSABLES:</b> Kiara Aguilar Esquivel<br>Cristhian Chauca Quispe  |               |  |            | <b>FECHA:</b> 28/12/2020 |                      |   |                 |                 |
| <b>LUGAR:</b> Laboratorio UNIVERSAL TESTING   |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| <b>MATERIAL:</b> Arena Lavada de la Planta Asfáltica de Caicay  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO ARENA LAVADA  |               |  |            |                          |                      |   |                 |                 |
| TAMIZ N°  | ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (gr)   | % RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO (gr)  | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA  | 19 mm TMN       |                 |
|   |               |  |            |                          |                      |   | LÍMITE INFERIOR | LÍMITE SUPERIOR |
| 3/8"  | 9.525         | 0.00   | 0.00       |                          |                      | 100.00  | 100             | 100             |
| N° 4  | 4.76          | 97.60  | 5.82       | 97.60                    | 5.82                 | 94.18   | 80              | 100             |
| N° 8  | 2.36          | 137.26   | 8.18       | 234.86                   | 13.99                | 86.01   | 65              | 100             |
| N° 10   | 2             | 153.44   | 9.14       | 388.30                   | 23.14                | 76.86   |                 |                 |
| N° 16   | 1.18          | 198.46   | 11.82      | 586.76                   | 34.96                | 65.04   | 40              | 80              |
| N° 30   | 0.6           | 180.32   | 10.74      | 767.08                   | 45.70                | 54.30   | 35              | 65              |
| N° 40   | 0.42          | 212.67   | 12.67      | 979.75                   | 58.38                | 41.62   |                 |                 |
| N° 50   | 0.3           | 216.94   | 12.93      | 1196.69                  | 71.30                | 28.70   | 7               | 40              |
| N° 80   | 0.18          | 178.33   | 10.63      | 1375.02                  | 81.93                | 18.07   |                 |                 |
| N° 100  | 0.15          | 130.37   | 7.77       | 1505.39                  | 89.69                | 10.31   | 3               | 20              |
| N° 200  | 0.074         | 89.76  | 5.35       | 1595.15                  | 95.04                | 4.96  | 2               | 10              |
| <b>FONDO</b>  |               | 83.22  | 4.96       | 1678.37                  | 100.00               | 0.00  |                 |                 |
| <b>TOTAL RETENIDO</b>   |               | 1678.37  |            |                          |                      |   |                 |                 |

**CURVA GRANULOMÉTRICA ARENA LAVADA**



Fuente: Elaboración Propia

Análisis de la prueba:

Como se observa en las tablas N°61 y N°62 (A.G. 3/4", A.G. 1/2") no cumplen con parámetro de granulometría, por lo tanto, asumimos la combinación según MAC.



Tabla N°65. Combinación granulométrica de los agregados según MAC

| MALLA        |        | PORCENTAJE PASANTES (%) |        |        |        |         |        | ESPECIFICACIONES |      | OBSERVACIONES      |  |
|--------------|--------|-------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|------------------|------|--------------------|--|
| TAMIZ        | mm.    | GRAVA                   |        | ARENA  |        | FILLER  | MEZCLA | MAC              |      | Tamaño máximo 3/4" |  |
|              |        | 3/4"                    | 1/2"   | TRIT   | LAVAD  | Cemento |        | 1.0              |      |                    |  |
| AGREGADOS    |        | 50%                     |        | 47%    |        | 3%      |        |                  |      |                    |  |
| PROPORCIONES |        | 15.0%                   | 35.0%  | 37.0%  | 10.0%  | 3.0%    | 100.0% |                  |      |                    |  |
| 1"           | 25.400 |                         |        |        |        |         | 100.0  | 100              |      |                    |  |
| 3/4"         | 19.050 | 51.01                   | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 3.00    | 89.70  | 80               | 100  |                    |  |
| 1/2"         | 12.700 | 22.79                   | 65.89  | 100.00 | 100.00 | 3.00    | 73.60  | 67               | 85.0 |                    |  |
| 3/8"         | 9.525  | 7.79                    | 39.07  | 100.00 | 100.00 | 3.00    | 61.90  | 60               | -    | 77.0               |  |
| N° 4         | 4.760  | 1.93                    | 19.95  | 82.54  | 94.18  | 3.00    | 47.30  | 43               | -    | 54.0               |  |
| N° 8         | 2.360  | 1.89                    | 7.71   | 80.20  | 86.01  | 3.00    | 41.30  |                  |      |                    |  |
| N° 10        | 2.000  | 1.85                    | 6.46   | 74.78  | 76.86  | 3.00    | 38.00  | 29               | -    | 45.0               |  |
| N° 16        | 1.180  | 1.82                    | 6.01   | 67.22  | 65.04  | 3.00    | 33.80  |                  |      |                    |  |
| N° 30        | 0.600  | 1.78                    | 5.93   | 57.70  | 54.30  | 3.00    | 29.20  |                  |      |                    |  |
| N° 40        | 0.420  | 1.74                    | 5.88   | 47.60  | 41.62  | 3.00    | 24.20  | 14               | -    | 25.0               |  |
| N° 50        | 0.300  | 1.71                    | 5.86   | 35.61  | 28.70  | 3.00    | 18.40  |                  |      |                    |  |
| N° 80        | 0.180  | 1.67                    | 5.57   | 28.76  | 18.07  | 3.00    | 14.70  | 8                | -    | 17.0               |  |
| N° 100       | 0.150  | 1.62                    | 5.00   | 18.55  | 10.31  | 3.00    | 10.00  |                  |      |                    |  |
| N° 200       | 0.074  | 1.58                    | 4.16   | 4.97   | 4.96   | 3.00    | 4.10   | 4                | -    | 8.0                |  |
| pasa         |        | 0.00                    | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |                  |      |                    |  |

### REPRESENTACIÓN GRÁFICA

CURVA GRANULOMÉTRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje X representando la abertura en milímetros (mm) y el eje Y representando el porcentaje que pasa en peso. Se incluyen tres líneas: una azul para la especificación mínima, una verde para la especificación máxima y una amarilla para la curva real. La curva real se encuentra dentro del rango de especificaciones.

Fuente: Elaboración Propia



### Análisis de la prueba:

Tomando en cuenta los porcentajes que pasan de la combinación granulométrica de agregados, consideramos según el MAC 15% el agregado Grueso de 3/4 “, 35% el agredo grueso de 1/2 “., como también un 37% de la arena triturada y un 10% de la arena lavada, el cemento un 3% para esta investigación que cumple con las especificaciones según MAC.

### Procedimientos de Análisis de datos

#### a) Procedimiento o cálculo de la prueba

- Para el cálculo de % de la mezcla e incluirla en la curva MAC

$\% \text{ MEZCLA} = \text{Redondear } x (\text{GRAN } \frac{3}{4}'' \times \% \text{ de } \frac{3}{4}'') + (\text{GRAN } \frac{1}{2}'' \times \% \text{ de } \frac{1}{2}'') + (\text{GRAN TRIT} \times \% \text{ de TRIT}) + (\text{GRAN LAVAD} \times \% \text{ DE LAVAD})$

$\% \text{ MALLA N}^\circ 4 = (1.93 \times 15\%) + (19.95 \times 35\%) + (82.54 \times 37\%) + (94.18 \times 10\%) + (3 \times 3\%)$   
 $= 47.30 \%$

- Para el cálculo de pesos del molde

-  $\% \text{ Acumulado} = 100 - \% \text{ MEZCLA}$

$\% \text{ Acumulado} = 100 - 47.30 = 52.70\%$

-  $\% \text{ Retenido} = \% \text{ Acumulado} - \% \text{ Acumulado anterior}$

$\% \text{ Retenido} = 52.70\% - 38.10\% = 14.60\%$

- Para el cálculo de pesos para las probetas

Peso de la probeta = 1250.00 gr

Filler 3% = Peso de la Probeta x 3%

$\text{Filler } 3\% = 1250\text{kg} \times 3\% = 37.50 \text{ gr}$

Cemento asfáltico (CA) = 1250kg x %asfáltico

$\text{Cemento asfáltico (CA)} = 1250\text{kg} \times 7\% = 87.50 \text{ gr}$

Agregado en la mezcla = Peso de la probeta – Cemento asfáltico – Cemento asfáltico

$\text{Agregado en la mezcla} = 1250\text{gr} - 87.50\text{gr} - 37.50\text{gr} = 1125.00 \text{ gr}$

Peso N° 4 gr = Agregado en la mezcla x % retenido

$\text{Peso N}^\circ 4 \text{ gr} = 1125\text{gr} \times 14.60\% = 164.25 \text{ gr}$



Tabla N°66. Pesos para moldeo de las probetas con y sin grafito

|  Universidad Andina del Cusco  |  | <b>FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS</b><br>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |                          |  |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
|---|--|--|--------------------------|---|-----------------|--------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|--------------|--------------|
| <p>TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100, CON RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 85/100 ADICIONANDO GRAFITO"</p> |  |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>DETERMINACIÓN DE PESOS PARA PROBETAS SIN GRAFITO</b>   |  |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| BASADO EN LA NORMA MTC E 204  |  |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>RESPONSABLES:</b>  | Kiara Aguilar Esquivel                     |  | <b>FECHA:</b> 12/01/2021 |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
|   | Cristhian Chauca Quispe                    |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>LUGAR:</b>   | Laboratorio PRO&CON SILVER S.C.R.L.        |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>MATERIAL:</b>  | Agregado de la Cantera de Huambutio-Caycay |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>PESOS PARA MOLDEO</b>  |  |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| Granulometría de la mezcla teórica  |  |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>Tamiz</b>  | <b>% Ret.</b>                              | <b>% Acum.</b>   | <b>% Pas.</b>            |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 1"  |  |  | 100.00                   |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 3/4"  | 10.30                                      | 10.30  | 89.70                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 1/2"  | 16.10                                      | 26.40  | 73.60                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 3/8"  | 11.70                                      | 38.10  | 61.90                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 4  | 14.60                                      | 52.70  | 47.30                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 8  | 6.00                                       | 58.70  | 41.30                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 10   | 3.30                                       | 62.00  | 38.00                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 16   | 4.20                                       | 66.20  | 33.80                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 30   | 4.60                                       | 70.80  | 29.20                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 40   | 5.00                                       | 75.80  | 24.20                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 50   | 5.80                                       | 81.60  | 18.40                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 80   | 3.70                                       | 85.30  | 14.70                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 100  | 4.70                                       | 90.00  | 10.00                    |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 200  | 5.90                                       | 95.90  | 4.10                     |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| pasa  | 4.10                                       | 100.00   |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 41.3  |  |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
|   |  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>% Ret.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>10.30</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>16.10</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>11.70</td> </tr> <tr> <td>N° 4</td> <td>14.60</td> </tr> <tr> <td>N° 8</td> <td>6.00</td> </tr> <tr> <td>Arena</td> <td>41.30</td> </tr> <tr> <td><b>Total</b></td> <td><b>100.0</b></td> </tr> </tbody> </table> |                          |   | Tamiz           | % Ret. | 3/4" | 10.30 | 1/2" | 16.10 | 3/8" | 11.70 | N° 4 | 14.60 | N° 8 | 6.00 | Arena | 41.30 | <b>Total</b> | <b>100.0</b> |
| Tamiz   | % Ret.                                     |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 3/4"  | 10.30                                      |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 1/2"  | 16.10                                      |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 3/8"  | 11.70                                      |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 4  | 14.60                                      |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 8  | 6.00                                       |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| Arena   | 41.30                                      |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>Total</b>  | <b>100.0</b>                               |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>PESOS POR MALLAS PARA DISTINTOS PORCENTAJES DE CEMENTO ASFÁLTICO</b>   |  |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>Para briquetas de</b>  | <b>1250.00</b>                             |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>% de Cemento Asf.</b>  | <b>6.00</b>                                | <b>6.50</b>  | <b>7.00</b>              | <b>7.50</b>   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>Filler 3%</b>  | <b>37.50</b>                               | <b>37.50</b>   | <b>37.50</b>             | <b>37.50</b>  |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>Agregados en la mezcla</b>   | <b>1137.50</b>                             | <b>1131.25</b>   | <b>1125.00</b>           | <b>1118.75</b>  |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>Agregados por mallas</b>   |  |  |                          |   |                 |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>Tamiz</b>  | <b>% ret. Parcial</b>                      | <b>peso (g)</b>  | <b>peso (g)</b>          | <b>peso (g)</b>   | <b>peso (g)</b> |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 3/4"  | 10.30                                      | 117.16   | 116.52                   | 115.88  | 115.23          |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 1/2"  | 16.10                                      | 183.14   | 182.13                   | 181.13  | 180.12          |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| 3/8"  | 11.70                                      | 133.09   | 132.36                   | 131.63  | 130.89          |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 4  | 14.60                                      | 166.08   | 165.16                   | 164.25  | 163.34          |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| N° 8  | 6.00                                       | 68.25  | 67.88                    | 67.50   | 67.13           |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| Arena   | 41.30                                      | 469.79   | 467.21                   | 464.63  | 462.04          |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |
| <b>Cemento Asfáltico</b>  |  | <b>75.00</b>   | <b>81.25</b>             | <b>87.50</b>  | <b>93.75</b>    |        |      |       |      |       |      |       |      |       |      |      |       |       |              |              |

Fuente: Elaboración Propia