



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

---

---

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.

---

---

**Presentado por:**

Bach. Candia Ponce Daisy Gabriela

Bach. Ccorahua Quispe Vladimir Lenin

**Para optar al Título Profesional de:**

Ingeniero Civil.

**Asesor:**

Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez.

**CUSCO – PERÚ**

**2019**



## Dedicatoria

Dedico este trabajo al ángel que me guía desde el cielo mi mamita Lorenza, a mi familia, mis padres Lucrecia y Jesús Veto, a mi hermanita Hylary por ser las personas que me apoyaron de forma incondicional para poder culminar con satisfacción uno de mis más grandes objetivos.

Daisy Gabriela Candia Ponce

Va dedicado a mi padre Alberto Ccorahua Tancayllo, a mí madre Santusa Quispe Huillca, y mi hermano Dennis Alberto Ccorahua Quispe, mi querida familia, quienes me apoyaron en todo momento.

Vladimir Lenin Ccorahua Quispe



## Agradecimientos

A Dios por guiar mi camino.

A mi familia, mis padres Lucrecia y Jesús; por darme ánimos para seguir adelante y no rendirme.

A mis amigas Anita y Flor María, por estar en los momentos más difíciles a pesar de la distancia.

A E. Por estar en los momentos más difíciles, por su apoyo y cariño, por enseñarme a ver la fuerza interior que ahora tengo.

A nuestro asesor Ing. Víctor Chacón Sánchez por asesorarnos, guiarnos y sobre todo por su tiempo invertido en la elaboración de esta investigación.

Daisy Gabriela Candia Ponce

A Dios, por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de esta etapa, y porque me siga guiando por el camino del bien.

Agradezco a mis padres, que me enseñaron el camino de la superación e inculcaron en mis valores dignos de admirar.

Al Ing. Víctor Chacón Sánchez, quien con su profesionalismo ha puesto en marcha esta investigación.

Vladimir Lenin Ccorahua Quispe



## Resumen

La presente tesis tuvo por finalidad, realizar un análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas (Estabilidad Marshall, Flujo, Porcentaje de vacíos de aire), de una mezcla asfáltica en caliente convencional fabricada con asfalto PEN 85-100, respecto a una mezcla asfáltica en caliente modificada con la adición de Nanotubos de Carbono (NTC). Para la elaboración de estos dos tipos de mezclas asfálticas se utilizó la misma gradación y los mismos agregados pétreos, el agregado grueso es de procedencia de la cantera de Morro Blanco (San Salvador), para el agregado fino se usó material de dos canteras, Morro Blanco y Cunyac (Puente Cunyac), dichos agregados fueron obtenidos de la planta de Asfalto COPESCO. Este análisis comparativo se realizó mediante el método de diseño de mezclas asfálticas en caliente “Marshall”, cuyo objetivo es determinar el porcentaje óptimo de Asfalto para una combinación específica de agregados; para lo cual se fabricaron especímenes de mezcla asfáltica en caliente; los mismos que están compuestos por distintos porcentajes de asfalto (5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5 %). Posteriormente se determinó el contenido óptimo de asfalto que resulto ser del 6.3%, también se fabricaron especímenes de mezcla asfáltica en caliente con dicho contenido óptimo de Asfalto; los mismos que fueron adicionados con distintos porcentajes de Nanotubos de Carbono de entre 2%,3% y 4%. Estos especímenes fueron sometidos a ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas (Porcentaje de vacíos de aire) y mecánicas (Estabilidad, Marshall, Flujo). En función a estos resultados y la normativa del manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, se obtuvo un porcentaje de adición en peso respecto al contenido óptimo de Asfalto de Nanotubos de Carbono (NTC) del 2.0% en una mezcla asfáltica en caliente convencional fabricada con asfalto PEN 85-100. Se logró comparar las propiedades físico - mecánicas estudiadas, llegando a la siguiente conclusión: La mezcla asfáltica en caliente convencional fabricada con asfalto PEN 85-100 con adición de Nanotubos de Carbono en porcentaje de 2.0% brinda mayores beneficios en sus propiedades físico - mecánicas tales como el incremento de la Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional de 1295 kg a 1362 kg; el Flujo de la mezcla asfáltica convencional es de 3.35 mm, dicho valor para las mezclas modificadas con NTC al 2% es de 3.25 mm, así mismo el Porcentaje de Vacíos de la mezcla convencional disminuye de un 4.6% a 3.9%, similarmente los demás parámetros volumétricos mejoran considerablemente.

**PALABRAS CLAVE:** Nanotubos de Carbono, Mezcla asfáltica en caliente, Estabilidad, Flujo, Porcentaje de vacíos de aire, Físico – Mecánico, Ensayo Marshall, Parámetros Volumétricos.



### Abstract

The purpose of this thesis was to carry out a comparative analysis of the Physical - Mechanical Properties (Stability, Flow, Percentage of air voids), of a Conventional Hot Asphalt Mix manufactured with asphalt PEN 85-100, with respect to an Asphalt Mix in Hot modified with the addition of Carbon Nanotubes (NTC). For the elaboration of these two types of asphalt mixtures the same gradation and the same stone aggregates were used, the coarse aggregate is from the Morro Blanco quarry (San Salvador), for the fine aggregate material from two quarries, Morro Blanco and Cunyac (Puente Cunyac), these aggregates were obtained from the COPESCO Asphalt plant. This comparative analysis was performed using the "Marshall" hot asphalt mix design method, the objective of which is to determine the optimal percentage of asphalt for a specific combination of aggregates; for which hot asphalt mix specimens were manufactured; the same ones that are made up of different percentages of asphalt (5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5%). Subsequently, the Optimal Asphalt Content was determined to be 6.3%, specimens of hot asphalt mix were also manufactured with said Optimal Asphalt Content; the same ones that were added with different percentages of Carbon Nanotubes of between 2%, 3% and 4%. These specimens were subjected to laboratory tests to determine their physical (Percentage of air voids) and mechanical (Stability, Flow) properties. Based on these results and the regulations of the highway manual "General Technical Specifications for Construction EG - 2013" of the Ministry of Transport and Communications of Peru, an addition percentage by weight was obtained with respect to the Optimal Content of Carbon Nanotube Asphalt (NTC) of 2.0% in a Conventional Hot Asphalt Mix made with PEN 85-100 asphalt. It was possible to compare the studied physical-mechanical properties, reaching the following conclusion: The Conventional hot asphalt mix made with PEN 85-100 asphalt with the addition of Carbon Nanotubes in a percentage of 2.0% provides greater benefits in its Physical-Mechanical properties such such as increasing the stability of the conventional asphalt mix from 1295 kg to 1362 kg; the flow of the conventional asphalt mix is 3.35 mm, said value for mixtures modified with 2% NTC is 3.25 mm, likewise the percentage of voids in the conventional mix decreases from 4.6% to 3.9%, similarly the others Volumetric parameters improve considerably.

**KEY WORDS:** Carbon Nanotubes, Hot Asphalt Mix, Stability, Flow, Percentage of air voids, physical - mechanical, Marshall Test, Volumetric Parameters.



## Introducción

Las novedosas innovaciones en materiales proponen nuevos diseños asfálticos que estén a la vanguardia de la tecnología y sean útiles y aplicables a nuestro medio, por ello en esta investigación se realiza una comparación de una mezcla asfáltica modificada con NTC (Nanotubos de Carbono) con respecto a una mezcla asfáltica convencional.

Los Nanotubos de Carbono (NTC) son materiales con grandes propiedades mecánicas, electrónicas, térmicas, semiconductoras, elásticas. Al ser poseedores de dichas propiedades los Nanotubos de Carbono (NTC) nos ofrecerá un mayor desempeño físico - mecánico y por consiguiente la mayor vida útil de obras viales.

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo principal mejorar las propiedades físico - mecánicas de las mezclas asfálticas, fabricados con materiales propios de la región del Cusco, para mejorar las propiedades físico - mecánicas de la mezcla asfáltica, se añadirá Nanotubos de Carbono (NTC).

La investigación consiste en el planteamiento del problema, se determinan objetivos a los que se quiere llegar, planteando hipótesis, posteriormente se hacen ensayos a los agregados que intervienen en la elaboración de mezclas asfálticas, se elabora especímenes de mezcla asfáltica convencional para determinar el contenido óptimo de Asfalto, luego se elaboran especímenes de mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono (NTC) para realizarse un análisis comparativo, llegando a las conclusiones de la investigación.



## Índice General

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen .....	iii
Abstract .....	iv
Introducción .....	v
Índice General .....	vi
Índice de Tablas .....	x
Índice de Figuras .....	xvi
Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	1
1.1 Identificación del Problema.....	1
1.1.1 Descripción del problema .....	1
1.1.2 Formulación Interrogativa del Problema. ....	3
1.2 Justificación e Importancia de la Investigación.....	3
1.2.1 Justificación técnica. ....	3
1.2.2 Justificación social. ....	4
1.2.3 Justificación por viabilidad. ....	4
1.2.4 Justificación por relevancia.....	4
1.3 Limitaciones de la Investigación .....	4
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos. ....	6
Capítulo II: Marco Teórico .....	7
2.1. Antecedentes de la Tesis o Investigación actual. ....	7
2.1.1 Antecedentes a nivel nacional.....	7



2.1.2 Antecedentes a nivel internacional. ....	8
2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes.....	10
2.2.1 Asfalto.....	10
2.2.2 Mezcla Asfáltica. ....	14
2.2.3 Diseño de Mezclas Asfálticas en caliente según Método de Marshall. ....	17
2.2.4 Nanotubos de Carbono.....	56
2.3 Hipótesis .....	62
2.3.1 Hipótesis general.....	62
2.3.2 Sub hipótesis. ....	63
2.4 Definición de Variables .....	63
2.4.1 Variables Independientes. ....	63
2.4.2 Variables dependientes. ....	63
2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables.....	64
Capítulo III: Metodología.....	65
3.1 Metodología de la investigación.....	65
3.1.1 Enfoque de investigación. ....	65
3.1.2 Nivel o alcance de la investigación.....	65
3.1.3 Método de investigación. ....	66
3.2 Diseño de la Investigación.....	66
3.2.1 Diseño metodológico. ....	66
3.2.2 Diseño de ingeniería. ....	67
3.3 Población y Muestra. ....	68
3.3.1 Población.....	68
3.3.2 Muestra. ....	68
3.4 Instrumentos .....	72





3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.....	72
3.4.2 Instrumentos de Ingeniería.....	86
3.5 Procedimiento de recolección de Datos.....	89
3.5.1 Toma de muestra de Asfalto y agregados (Cantera).....	89
3.5.2 Ensayo de Granulometría de agregados por tamizado.....	91
3.5.3 Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio.....	99
3.5.4 Ensayo de Abrasión de los Ángeles.....	105
3.5.5 Ensayo de Adherencia -Bitumen .....	108
3.5.6 Ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad.....	111
3.5.7 Ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas.....	119
3.5.8 Ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas .....	122
3.5.9 Ensayo de Sales solubles en agregados para Pavimentos Flexibles .....	125
3.5.10 Ensayo de Peso Específico y Absorción.....	129
3.5.11 Ensayo de Equivalente de Arena .....	137
3.5.12 Ensayo de Angularidad del agregado fino.....	141
3.5.13 Ensayo de Azul de Metileno (AASHTO TP 57). .....	143
3.5.14 Ensayo de Límites de Consistencia.....	146
3.5.15 Ensayo de Gravedad Especifica Rice de Mezcla Bituminosa .....	149
3.5.16 Ensayo de Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando Equipo Marshall.....	152
3.6 Procedimiento de Análisis de Datos.....	180
3.6.1 Ensayo de Granulometría de agregados por tamizado.....	180
3.6.2 Ensayo de Durabilidad al sulfato de Magnesio.....	188
3.6.3 Ensayo de Abrasión de los Ángeles.....	190
3.6.4 Ensayo de Adherencia -Bitumen .....	192
3.6.5 Ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad.....	193



3.6.6 Ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas.....	196
3.6.7 Ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas .....	198
3.6.8 Ensayo de Sales solubles en agregados para Pavimentos Flexibles .....	200
3.6.9 Ensayo de Peso Específico y Absorción.....	203
3.6.10 Ensayo de Equivalente de Arena .....	207
3.6.11 Ensayo de Angularidad del agregado fino. ....	209
3.6.12 Ensayo de Azul de Metileno (AASHTO TP 57). ....	211
3.6.13 Ensayo de Límites de Consistencia.....	213
3.6.14 Ensayo de Gravedad Especifica Rice de Mezcla Bituminosa.....	215
3.6.15 Ensayo de Resistencia de mezclas bituminosas empleando Equipo Marshall.....	219
Capítulo IV. Resultados .....	259
4.1. Control de calidad de los componentes de la mezcla .....	259
4.1.1. Control de calidad del agregado grueso.....	259
4.1.2. Control de calidad del Agregado Fino .....	264
4.2. Control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente con Nanotubos .....	269
4.2.1. Diseño Mezclas asfálticas en caliente.....	269
4.2.2. Propiedades Físico - Mecánicas.....	272
Capítulo V. Discusión .....	278
GLOSARIO.....	282
CONCLUSIONES .....	284
RECOMENDACIONES .....	286
REFERENCIAS .....	288
ANEXOS.....	292
APÉNDICE .....	305



## Índice de Tablas

Tabla 1. Requerimientos para los agregados gruesos. ....	18
Tabla 2. Requerimientos para los agregados finos.....	19
Tabla 3. Selección del tipo de cemento asfáltico .....	20
Tabla 4. Husos Granulométricos .....	21
Tabla 5. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso. ....	21
Tabla 6. Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA). ....	22
Tabla 7. Cantidad mínima de muestra de agregado grueso.....	23
Tabla 8. Tamices en los cuales se evaluara el agregado fino .....	25
Tabla 9. Tamices en los cuales se evaluara el agregado grueso (según gradación).....	26
Tabla 10. Tamices para ensayos en agregado grueso después de eliminar sulfatos .....	28
Tabla 11. Carga según tipo de gradación de la muestra para el ensayo de abrasión.....	28
Tabla 12. Gradación de las muestras de ensayo.....	29
Tabla 13. Gradación para el procedimiento A y B.....	31
Tabla 14. Soluciones a esta ecuación para el procedimiento A. ....	34
Tabla 15. Pesos mínimos requeridos para el ensayo dependiendo del tamaño máximo nominal..	35
Tabla 16. Peso de muestra con relación al tamaño del agregado .....	37
Tabla 17. Peso de muestra según el tipo de agregado .....	38
Tabla 18. Peso mínimo de la muestra de ensayo.....	40
Tabla 19. Tabla de operacionalización de variables. ....	64
Tabla 20. Cantidad de muestras de mezclas asfálticas a realizar .....	70
Tabla 21. Formato de recolección de datos para el ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado. .....	72
Tabla 22. Formato de recolección de datos para el ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio .....	73
Tabla 23. Formato de recolección de datos para el ensayo de abrasión (Máquina de los Ángeles) .....	74
Tabla 24. Formato de recolección de datos para ensayo de adherencia agregado – bitumen .....	74
Tabla 25. Formato de Recolección de datos para ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad	75
Tabla 26. Formato de Recolección de datos para ensayo de Determinación de Partículas Chatas y Alargadas.....	76



Tabla 27. Formato de Recolección de datos para ensayo de Determinación del Porcentaje de partículas fracturadas.....	77
Tabla 28. Formato de Recolección de datos para ensayo de Sales solubles en agregados .....	78
Tabla 29. Formato de Recolección de datos del Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso .....	79
Tabla 30. Formato de Recolección de datos del Peso Específico y Absorción de Agregado Fino	80
Tabla 31. Formato de Recolección de datos del Ensayo de Equivalente de Arena .....	81
Tabla 32. Formato de Recolección de datos del Ensayo de Angularidad del agregado fino .....	82
Tabla 33. Formato de Recolección de datos del Ensayo de Azul de Metileno .....	83
Tabla 34. Formato de Recolección de datos del Ensayo de Límites de Consistencia.....	83
Tabla 35. Formato Recolección datos Ensayo Gravedad Especifica Rice de Mezcla Bituminosa	84
Tabla 36. Formato de Recolección datos de Resistencia mezcla bituminosa en equipo Marshall	85
Tabla 37. Instrumentos de ingeniería empleados en los ensayos de agregados gruesos.....	86
Tabla 38. Instrumentos de ingeniería empleados en los ensayos de agregados finos .....	87
Tabla 39. Instrumentos de ingeniería empleados en la Elaboración de Mezcla Asfáltica .....	88
Tabla 40. Instrumentos de ingeniería empleados para la Resistencia de mezclas Bituminosas empleando Equipo Marshall.....	89
Tabla 41. Recolección de datos del ensayo de granulometría del agregado grueso – Grava Chancada .....	94
Tabla 42. Recolección de datos del ensayo de granulometría del agregado fino –Arena Chancada .....	97
Tabla 43. Recolección de datos del ensayo de granulometría del agregado fino –Arena Zarandeada .....	98
Tabla 44. Tamices en los cuales se evaluara el agregado grueso.....	99
Tabla 45. Recolección de datos del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso .....	101
Tabla 46. Tamices en los cuales se evaluara el agregado fino .....	102
Tabla 47. Recolección de datos del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino .....	104
Tabla 48. Gradación de las muestras de ensayo.....	105
Tabla 49. Recolección de datos del ensayo de Abrasión (Máquina de los Ángeles).....	108



Tabla 50. Recolección de datos del ensayo de Adherencia entre el Agregado y Bitumen. ....	111
Tabla 51. Gradación y pesos para la muestra sometida al ensayo de Índice de durabilidad.....	112
Tabla 52. Recolección de datos del ensayo de Índice de Durabilidad del agregado grueso .....	116
Tabla 53. Recolección de datos del ensayo de Índice de Durabilidad del agregado fino .....	119
Tabla 54. Recolección de datos del ensayo de Partículas Chatas y Alargadas .....	122
Tabla 55. Recolección de datos del ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas .....	124
Tabla 56. Cantidad de muestra para el ensayo según Agregado .....	125
Tabla 57. Recolección de datos del ensayo de Sales Solubles del agregado grueso.....	128
Tabla 58. Recolección de datos del ensayo de Sales Solubles del agregado fino.....	129
Tabla 59. Peso mínimo de la muestra del agregado grueso para el ensayo .....	130
Tabla 60. Recolección de datos de ensayo Peso Específico y Absorción del agregado grueso..	132
Tabla 61. Recolección de datos del ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino.	136
Tabla 62. Recolección de datos del ensayo de Equivalente de Arena .....	141
Tabla 63. Recolección de datos del ensayo de Angularidad de agregado fino .....	143
Tabla 64. Recolección de datos del ensayo de Azul de Metileno .....	146
Tabla 65. Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia.....	149
Tabla 66. Recolección de datos del ensayo de Gravedad Especifica Rice de mezcla asfáltica con contenidos de Asfalto desde 5.5% -7.5%. ....	151
Tabla 67. Recolección de datos del ensayo de Gravedad Especifica Rice de mezcla asfáltica del contenido óptimo de Asfalto 6.3%. ....	152
Tabla 68. Ejemplo de Recolección de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall para determinar el Contenido Optimo de Asfalto. ....	177
Tabla 69. Recolección de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall del Contenido Optimo de Asfalto 6.3% .....	178
Tabla 70. Ejemplo de Recolección de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de Carbono al 3% con Equipo Marshall .....	179
Tabla 71. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso – Grava Chancada .....	181
Tabla 72. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado fino – Arena Chancada.....	184
Tabla 73. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado fino – Arena Zarandeada.....	185
Tabla 74. Combinación de granulometría de los agregados.....	187



Tabla 75. Cálculo del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso .....	189
Tabla 76. Cálculo del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino .....	190
Tabla 77. Cálculo del ensayo de Abrasión los Ángeles .....	191
Tabla 78. Cálculo del ensayo de Adherencia – Bitumen .....	192
Tabla 79. Cálculo del ensayo de Índice de Durabilidad del agregado grueso .....	194
Tabla 80. Cálculo del ensayo de Índice de durabilidad del agregado fino.....	196
Tabla 81. Cálculo de ensayo de partículas Chatas y Alargadas en agregado grueso .....	197
Tabla 82. Cálculos de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas....	199
Tabla 83. Cálculo del ensayo de Sales solubles en el agregado grueso .....	201
Tabla 84. Cálculo del ensayo de Sales solubles en el agregado fino .....	202
Tabla 85. Cálculo del ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso .....	204
Tabla 86. Cálculo del ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino .....	207
Tabla 87. Cálculo del ensayo de Equivalente de Arena .....	209
Tabla 88. Cálculo del ensayo de Angularidad del agregado fino.....	211
Tabla 89. Cálculo del ensayo de Azul de Metileno.....	212
Tabla 90. Tabla A – 1 de Factor “K” factor para Limite Liquido.....	214
Tabla 91. Cálculo del ensayo de Límites de Consistencia .....	214
Tabla 92. Cálculo del ensayo de Gravedad Especifica Rice de mezcla asfáltica con contenidos de Asfalto desde 5.5% -7.5%. .....	217
Tabla 93. Cálculo del ensayo de Gravedad Especifica Rice de mezcla asfáltica del contenido óptimo de Asfalto 6.3%.....	218
Tabla 94. Diseño de dosificación propuesto: .....	219
Tabla 95. Combinación de Granulometría de los agregados para diseño .....	220
Tabla 96. Lectura del anillo registrado de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5% .....	227
Tabla 97. Estabilidad Marshall sin corregir de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%.....	228
Tabla 98. Factores de corrección de la Estabilidad.....	229
Tabla 99. Factores de Estabilidad Marshall de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%.....	229



Tabla 100. Estabilidad Marshall corregida de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%.....	230
Tabla 101 . Lectura registrado del Fleximetro de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%.....	230
Tabla 102. . Fluencia en mm de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5% .....	231
Tabla 103. Factor de Rigidez de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5% .....	231
Tabla 104. Ejemplo de Análisis de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall para determinar el Contenido Óptimo de Asfalto .....	232
Tabla 105. Contenido de ligante asfáltico vs. Densidad .....	233
Tabla 106. Contenido de ligante asfáltico vs. Estabilidad Marshall .....	234
Tabla 107. Contenido de ligante asfáltico vs. Flujo.....	234
Tabla 108. Contenido de ligante asfáltico vs. % Vacíos.....	235
Tabla 109. Contenido de ligante asfáltico vs. %VMA.....	235
Tabla 110. Contenido de ligante asfáltico vs. %VFA .....	235
Tabla 111. Contenido de ligante asfáltico vs. Índice de Rigidez .....	236
Tabla 112. Especificaciones de parámetros físico-mecánicas de la mezcla con Contenido Óptimo de Asfalto de 6.3%. .....	236
Tabla 113. Lectura del anillo registrado de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% .....	242
Tabla 114. Estabilidad Marshall sin corregir de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%.....	243
Tabla 115. Factores de Estabilidad Marshall de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%.....	243
Tabla 116. Estabilidad Marshall corregida de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%.....	244
Tabla 117. Lectura registrado del Fleximetro de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%.....	244
Tabla 118. Fluencia en mm de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%.....	245
Tabla 119. Factor de Rigidez de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%.....	245
Tabla 120. Análisis de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall de probetas con Contenido Optimo de Asfalto.....	246



Tabla 121. Lectura del anillo registrado de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%.....	253
Tabla 122. Estabilidad Marshall sin corregir de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 3%.....	253
Tabla 123. Factores de Estabilidad Marshall de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 3%.....	254
Tabla 124. Estabilidad Marshall corregida de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%.....	254
Tabla 125. Lectura registrado del Fleximetro de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%.....	255
Tabla 126. Fluencia en mm de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%.....	255
Tabla 127. Factor de Rigidez de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%.....	256
Tabla 128. Ejemplo de Análisis de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas modificadas con nanotubos de Carbono en Equipo Marshall (ejemplo NTC-2%) .....	257
Tabla 129. Resultados del control de calidad del agregado grueso .....	259
Tabla 130. Resultados del control de calidad del agregado fino.....	264
Tabla 131. Comparación de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC y las propiedades de diseño según norma. ....	276
Tabla 132.Requisitos para mezcla de concreto bituminoso según el MTC .....	276
Tabla 133. Matriz de consistencia.....	292





## Índice de Figuras

Figura 1. Carretas asfaltadas en caliente defectuosas. Caso: Prolongación Av. La cultura (altura UAC).....	2
Figura 2. Carreteras asfaltadas en caliente defectuosa. Caso: Paradero Enaco (carril de bajada). Fuente: Elaboración propia. ....	2
Figura 3. Propiedades químicas del asfalto. ....	11
Figura 4. Estructura coloidal del asfalto.....	12
Figura 5. Leyenda de partes de la muestra. ....	35
Figura 6. Aparato para medir la Angularidad del agregado fino. ....	46
Figura 7. Representación del halo azul. ....	48
Figura 8. Aparato manual para límite líquido (Cuchara de Casagrande).....	49
Figura 9. Muestras del material a ensayar (antes y después). ....	49
Figura 10. Vacíos en el Agregado Mineral, VMA.....	54
Figura 11. Máquina de Estabilidad Marshall con anillo de carga. ....	56
Figura 12. Formas alotrópicas del carbono. ....	57
Figura 13. Esquema de una cámara de arco de Descarga. ....	58
Figura 14. Partícula metálica catalizadora que forma nanotubo .....	58
Figura 15. Esquema del láser en obtención de Nanotubos.....	59
Figura 16. Gráfico de la Estructura de un nanotubo de carbono de pared simple. ....	61
Figura 17. Gráfico de la Estructura de un nanotubo de carbono de pared múltiple- modelo muñeca rusa. ....	62
Figura 18. Esquema de diseño de ingeniería. ....	67
Figura 19. Ubicación de la planta de Asfalto- COPESCO.....	90
Figura 20. Tamizado de agregado grueso de forma manual. ....	92
Figura 21. Continuar el tamizado sosteniendo el tamiz ligeramente inclinado. ....	93
Figura 22. Análisis Granulométrico de agregado Grueso. ....	93
Figura 23. Tamizado de Agregado Fino de forma manual. ....	95
Figura 24. Continuar el tamizado sosteniendo el tamiz ligeramente inclinado. ....	96
Figura 25. Análisis Granulométrico de agregado Fino. ....	96
Figura 26. Muestras de agregado grueso sumergidas en reactivo (Sulfato de Magnesio).....	100
Figura 27. Ecurrimiento del agregado grueso por 15 min. ....	100



Figura 28. Repetir el proceso de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos .....	100
Figura 29. Lavado final de la muestra para eliminar reactivo excedente.....	101
Figura 30. Muestras de agregado fino sumergidas en reactivo (Sulfato de Magnesio) .....	103
Figura 31. Colocación de muestras de agregado fino con reactivo al horno .....	103
Figura 32. Muestras de agregado Ffino pesado después del ciclo final.....	104
Figura 33. Colocación del agregado graduado a la Máquina de los Ángeles .....	106
Figura 34. Procedimiento del retiro del agregado de la Máquina de los Ángeles.....	106
Figura 35. Tamizaje del agregado ensayado por la malla N° 12 para posterior pesaje. ....	107
Figura 36. Mezcla del agregado con el Asfalto precalentado. ....	109
Figura 37. El agregado revestido de asfalto es cubierto con agua destilada. ....	110
Figura 38. Estado del agregado revestido de bitumen luego de reposar 18 horas en agua destilada .....	110
Figura 39. Se vierte la solución de Cloruro de Calcio a la probeta.....	113
Figura 40. Agregado después del proceso de agitación. ....	113
Figura 41. Agitación y vertido en la probeta del agua de lavado.....	114
Figura 42. Agitación del agua de lavado con solución en probeta.....	114
Figura 43. Reposo de las probetas tras agitación y lectura de la altura de sedimentación.....	115
Figura 44. Agregado fino después de ser agitado por 2 minutos. ....	117
Figura 45. Agregado fino en probetas después del agitado mecánico. ....	118
Figura 46. Probetas con agregado Fino después de ensayo de Equivalente de Arena para complementar el ensayo de Índice de Durabilidad. ....	118
Figura 47. Ensayo de partículas Chatas. ....	120
Figura 48. Ensayo de partículas Alargadas. ....	120
Figura 49. Clasificación de las partículas según su forma: Chatas, Alargadas y Ni chatas ni alargadas.....	121
Figura 50. Registro del peso de cada clase de agregado según el tipo de partícula.....	121
Figura 51. Se observa detenidamente y directamente cada partícula para determinar sus caras fracturadas. ....	123
Figura 52. Muestra de partículas desde la partícula con más caras fracturadas hasta la más redondeada. ....	123



Figura 53. Peso de los grupos clasificados según el tipo de caras fracturadas .....	124
Figura 54. Registro del peso de la muestra de agregado fino y grueso después del secado .....	126
Figura 55. Decantación del líquido sobrenadante del agregado.....	126
Figura 56. Se agrega las gotas del reactivo: Nitrato de Plata. ....	127
Figura 57. Vaciamos los líquidos sobrenadantes acumulados a un matraz aforado. ....	127
Figura 58. Muestra proporcional de agregado grueso y fino cristalizada .....	128
Figura 59. Muestra de agregado grueso después de estar sumergida por 24horas.....	130
Figura 60. Peso del agregado en estado Saturado Superficialmente Seco. ....	131
Figura 61. Peso del agregado sumergido en agua a una temperatura aproximada de 23°C.....	131
Figura 62. La muestra se lleva al horno, luego enfría y se registra su peso .....	131
Figura 63. Agregado fino extendido en superficie plana después de remojo. ....	133
Figura 64. La muestra de agregado fino se coloca en el molde cónico para apisonar 25 veces ..	133
Figura 65. El cono de agregado se derrumba al retirar el molde lo que indica que está en estado de Superficie Seca.....	134
Figura 66. Introducimos la muestra a la fiola y llenamos con agua hasta los 500 cm <sup>3</sup> .....	134
Figura 67. Agitado manual de la fiola con el agregado .....	135
Figura 68. Ajustamos la temperatura de la fiola a 23°C para registrar el peso .....	135
Figura 69. Secado de material y posterior pesado de material seco.....	136
Figura 70. Vaciamos 3 medidas de la muestra y las enrasamos .....	137
Figura 71. Vertimos la Solución Stock de Cloruro de Calcio a las probetas con el sifón. ....	138
Figura 72. Agitamos vigorosamente la probeta de forma horizontal.....	139
Figura 73. Proceso de Irrigación. ....	139
Figura 74. Colocamos el pisón sobre la probeta con las muestras.....	140
Figura 75. Lectura de Arena de las tres muestras .....	140
Figura 76. Se tamiza la muestra usando el agregado retenido en el tamiz N°200 .....	142
Figura 77. Vertido del agregado por el embudo hasta que rebose el cilindro.....	142
Figura 78. La bureta llena de solución de Azul de Metileno tinte los finos en suspensión.....	144
Figura 79. Agitamos la suspensión y la vertimos en papel filtro .....	145
Figura 80. Formación del halo color cian que indica la finalización del ensayo .....	145
Figura 81. Se mezcla la muestra con agua destilada con ayuda de la piseta.....	147
Figura 82. Se esparce la mezcla en cuchara de Casagrande y con el acanalador se divide en 2 .	147



Figura 83. Girar el manubrio hasta que las dos mitades estén en contacto en la base de la ranura. .....	148
Figura 84. Procedimiento de ensayo Rice .....	150
Figura 85. Combinación de agregados pasantes las mallas N°4 y N°8. ....	153
Figura 86. Combinación de agregados retenidos en la malla N°8. ....	153
Figura 87. Combinación de agregados retenidos en la malla N° 4 .....	154
Figura 88. Gradación de grava de ½”retenida en los tamices N° 3/8” y N° 1/2” respectivamente .....	154
Figura 89. Combinación de agregados final para preparación de mezcla asfáltica según diseño. .....	155
Figura 90. Pesaje de la combinación de agregados según el Diseño MAC -02.....	156
Figura 91. Pesaje de la combinación de agregados con 5.5% de contenido de asfalto.....	156
Figura 92. Pesaje de la combinación de agregados con 6.0% de contenido de asfalto.....	157
Figura 93. Pesaje de la combinación de agregados con 6.5% de contenido de asfalto.....	157
Figura 94. Pesaje de la combinación de agregados con 7.0% de contenido de asfalto.....	158
Figura 95. Pesaje de la combinación de agregados con 7.5% de contenido de asfalto.....	158
Figura 96. El agregado así como el cemento asfáltico es calentado en el horno. ....	159
Figura 97. Pesaje y añadido de agregados y cemento asfáltico. ....	159
Figura 98. Mezcla de los agregados y el cemento asfáltico en estufa para mantener temperatura caliente. ....	160
Figura 99. Colocación de la mezcla asfáltica en la briqueta y posterior control de temperatura.	160
Figura 100. Compactación de los especímenes de mezcla asfáltica con un compactador manual. .....	161
Figura 101. Extracción de las briquetas con el eyector de muestras.....	162
Figura 102. Sumersión de todos los especímenes asfálticos en baño María a una temperatura de 60°C.....	163
Figura 103. Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall .....	163
Figura 104. Evaluación de los especímenes asfálticos, tras rotura Marshall. ....	164
Figura 105. Pesaje de la combinación de agregados con de contenido de asfalto óptimo de 6.3%. .....	165



Figura 106. Pesaje de los agregados con contenido óptimo de Asfalto y 2% de Nanotubos de Carbono. ....	166
Figura 107. Pesaje de los agregados con contenido óptimo de Asfalto y 3% de Nanotubos de Carbono. ....	166
Figura 108. Pesaje de los agregados con contenido óptimo de Asfalto y 4% de Nanotubos de Carbono. ....	167
Figura 109. El agregado como el cemento asfáltico previamente pesado son calentados en el horno. ....	168
Figura 110. Pesaje de los Nanotubos de Carbono según porcentajes. ....	168
Figura 111. Se agregan los Nanotubos de Carbono al pesaje de agregados y se mezclan.....	169
Figura 112. Dispersión homogénea de los Nanotubos de Carbono con los agregados.....	169
Figura 113. Se agrega el cemento asfáltico para su posterior mezclado en caliente.....	170
Figura 114. Colocación de la mezcla en la briqueta Marshall .....	170
Figura 115. Compactación de los especímenes de mezcla asfáltica modificada con un compactador manual. ....	171
Figura 116. Extracción de las briquetas modificadas con el eyector de muestras .....	171
Figura 117. Pesaje en seco de Especímenes Marshall convencionales y modificados. ....	172
Figura 118. Pesaje de Especímenes Marshall convencionales y modificados sumergidos en agua a temperatura controlada.....	173
Figura 119. Secado con franela y pesaje de Especímenes convencionales y modificados superficialmente secos.....	173
Figura 120. Sumersión de todos los especímenes asfálticos modificados en Baño María a una temperatura de 60°C.....	174
Figura 121. Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall en muestras Modificadas .....	175
Figura 122. Evaluación de Especímenes modificados con NTC - 2% y contenido de Asfalto 6.3%tras rotura Marshall. ....	175
Figura 123. Evaluación de especímenes modificados con NTC - 3% y contenido de Asfalto 6.3%tras rotura Marshall.....	176
Figura 124. Evaluación de especímenes modificados con NTC - 3% y contenido de Asfalto 6.3%tras rotura Marshall.....	176
Figura 125. Análisis visual del revestimiento de asfalto PEN 85/100 al agregado grueso.....	192



Figura 126. Especificaciones técnicas del concreto asfáltico. ....	222
Figura 127. Resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.....	260
Figura 128. Resultado del Ensayo de Abrasión de los Ángeles.....	260
Figura 129. Resultado del Ensayo de Adherencia -Bitumen .....	261
Figura 130. Resultado del Ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad .....	261
Figura 131. Resultado del Ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas.....	262
Figura 132. Resultado del Ensayo de Determinación del porcentaje de una cara fracturada .....	262
Figura 133. Resultado del Ensayo de Determinación del porcentaje de dos caras a más fracturadas .....	263
Figura 134. Resultado del Ensayo de Sales solubles en agregados gruesos .....	263
Figura 135. Resultado ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados gruesos .....	264
Figura 136. Resultado del ensayo de equivalente de arena.....	265
Figura 137. Resultado del ensayo de Angularidad del agregado fino.....	266
Figura 138. Resultado del ensayo de Azul de Metileno.....	266
Figura 139. Resultado de los ensayos de límites de consistencia .....	267
Figura 140. Resultado de los ensayos de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino .....	267
Figura 141. Resultado de los ensayos de Índice de durabilidad del agregado fino.....	268
Figura 142. Resultado del Ensayo de Sales solubles en agregados finos .....	268
Figura 143. Resultado ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados finos .....	269
Figura 144. Curva granulométrica de la combinación de agregados para diseño.....	270
Figura 145. Resultados combinados de Estabilidad Marshall, Flujo, Densidad y volumen de Vacíos para determinar el Contenido Óptimo de Asfalto. Fuente: Elaboración propia.....	271
Figura 146. Peso unitario de mezclas asfálticas con Optimo de C.A. vs modificadas .....	272
Figura 147. % de Vacíos de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas .....	273
Figura 148. Porcentaje de V.M.A. de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas .....	273
Figura 149. Vacíos llenados de C.A. de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas ....	274
Figura 150. Flujo de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas.....	274
Figura 151. Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas .....	275
Figura 152. Índice de Rigidez de las mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas.....	275



## Capítulo I: Planteamiento del Problema

### 1.1 Identificación del Problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

Actualmente en la mayoría de ciudades del Perú y el mundo, así como en la ciudad del Cusco, el parque automotor se viene incrementando considerablemente a consecuencia de esto se tiene el rápido deterioro de la carpeta asfáltica en las carreteras debido a la acción continua de tráfico, temperatura, envejecimiento natural del pavimento y el mal mantenimiento de la infraestructura vial; entre otros, los cuales conllevan a que la mayoría de los tramos en la red vial no estén funcionando correctamente porque están disminuyendo las propiedades físico mecánicas del firme; este deterioro pone en riesgo la transitabilidad de los usuarios con vehículos que están propensos a provocar o sufrir accidentes; todo ello se ve reflejado en la disminución del confort y seguridad en la vía.

Siendo uno de los pilares de la ingeniería el de usar el ingenio para buscar nuevas tecnologías y procedimientos que nos ayuden a reducir los costos de operación y mantenimiento en la pavimentación de las vías, es por ello que en diversas partes del mundo se vienen realizando constantes investigaciones para mejorar las propiedades físico- mecánicas de los asfaltos y por ende de las mezclas asfálticas.

Algunos estudios previos a la presente investigación certifican que las mezclas asfálticas con nanotecnologías han mostrado excelentes resultados en cuanto al desempeño de sus propiedades físico-mecánicas. Este tipo de mezcla nano-modificada muestra características superiores al de las mezclas asfálticas convencionales. Los Asfaltos convencionales no ofrecen una adecuada resistencia a las diversas deformaciones que se pueden manifestar en un pavimento asfáltico como pueden ser el ahuellamiento, fisuración por fatiga y fisuración.

Los Asfaltos modificados con nanotecnologías se aplican justamente en aquellos casos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes principalmente por las siguientes condiciones como son propiedades deficientes de los materiales que componen el paquete estructural, propiedades volumétricas erróneas y por las solicitaciones sobre la estructura debidas al tránsito y las condiciones climáticas.



**Figura 1.** Carretas asfaltadas en caliente defectuosas. Caso: Prolongación Av. La cultura (altura UAC). Fuente: Elaboración propia.

El uso de mezclas asfálticas en caliente modificadas con la incorporación de Nanotubos de Carbono contribuye a que la mezcla bituminosa sea más resistente, flexible y durable de modo que pueda enfrentar dichas deformaciones en el Asfalto de mejor manera. Este superior desempeño de las mezclas modificadas frente a las deformaciones y fallas en el pavimento suceden precisamente cuando las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica mejoran.

Teniendo el conocimiento de que mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de carbono tiene un sobresaliente desempeño frente a las deformaciones comparadas a una mezcla asfáltica convencional, esto debido a su mejoría en las propiedades físicas, mecánicas, químicas y hasta reológicas; y así mismo, sabiendo que las actuales mezclas asfálticas aplicadas en las pavimentaciones de las vías en Cusco son deficientes, es que surge la propuesta de cómo esta tecnología aplicada a un diseño convencional y con materiales de la zona puede mejorar y ser usado a futuro para así tener un mejor desempeño y brindar una mejor calidad en el pavimento para la transitabilidad de los usuarios y vehículos.



**Figura 2.** Carreteras asfaltadas en caliente defectuosa. Caso: Paradero Enaco (carril de bajada). Fuente: Elaboración propia.





## 1.1.2 Formulación Interrogativa del Problema.

### 1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general.

**Problema General:** ¿Cómo variarán las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional, utilizando el diseño de mezclas Marshall?

### 1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos.

**Problema Específico 01:** ¿Cuál será el porcentaje óptimo de contenido de NTC (Nanotubos de Carbono) respecto al peso del contenido óptimo de cemento asfáltico?

**Problema Específico 02:** ¿Cuáles serán los valores de Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a la mezcla asfáltica óptima convencional?

**Problema Específico 03:** ¿Cómo variarán los valores del Flujo de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a la mezcla asfáltica óptima convencional?

**Problema Específico 04:** ¿Cómo variarán los porcentajes de Vacíos de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a la mezcla asfáltica óptima convencional?

## 1.2 Justificación e Importancia de la Investigación

### 1.2.1 Justificación técnica.

Se trata de analizar y saber nuevos diseños de mezcla asfáltica debido a las innovaciones tecnológicas, las que nos ofrecerá un mayor desempeño físico-mecánico y por consiguiente la mayor vida útil de obras viales, por lo tanto, se concentra a la elaboración de mezclas asfálticas y pertenece al área de transportes, específicamente, a la especialidad de pavimentos.

Se hace el uso de Nanotubos de Carbono como aditivo en la mezcla asfáltica por sus propiedades físicas en la que resaltan la elevada resistencia especialmente a la tensión, su módulo de rotura es bastante alto lo cual podría contribuir a que una mezcla a la cual se le adicionen estos NTC también incrementa su resistencia a la rotura que generalmente se produce en la mezcla asfáltica por efecto de las gradientes térmicas o el constante uso del pavimento (al recibir las cargas de los vehículos en su circulación, frenado y arranque) y se



evalúo la respuesta del conjunto a través de la resistencia final del concreto asfáltico y su durabilidad.

### **1.2.2 Justificación social.**

Esta investigación contribuirá en la implementación de la búsqueda de nuevos materiales que están a la vanguardia de la tecnología, en estudiantes de Ingeniería Civil, profesionales de diferentes áreas, o específicamente a los que están interesados en brindar mejores alternativas en el diseño de mezclas asfálticas.

La utilización de mezclas asfálticas con NTC (Nanotubos de Carbono) brindara mejores propiedades físico - mecánicas, las cuales traen ventajas considerables en el diseño de pavimentos flexibles.

### **1.2.3 Justificación por viabilidad.**

Esta investigación es viable, debido a que contamos con materiales y equipos necesarios para la realización de los ensayos pertinentes a la investigación, estos son realizados en el laboratorio de HRUIZ-GEOPAV (Laboratorio de suelos, concreto y asfaltos), así como también se cuenta con el material de Nanotubos de Carbono, que es proporcionado por la empresa Jiangsu XFNANO Materials Tech Co. Ltd.

La viabilidad de investigar materiales que sean innovadores y estén a la vanguardia de la tecnología, genera gran impacto y por lo tanto supone que la mezcla asfáltica modificada con NTC (Nanotubos de Carbono) traerá consigo mejoras considerables frente a una mezcla convencional.

### **1.2.4 Justificación por relevancia.**

La importancia del uso de materiales nanotecnológicos para obras viales, ya que se requiere de los mejores materiales y equipos frente a los convencionales para lograr mejores resultados, además la existencia de cambios bruscos de temperatura en nuestro medio es crítica, por lo cual esta mezcla modificada presenta propiedades que disminuyan tal efecto de variaciones bruscas de temperatura, garantizando un resultado de calidad.

## **1.3 Limitaciones de la Investigación**

- La investigación se basa en el análisis comparativo del desempeño mecánico de la mezcla asfáltica, convencional y modificada con NTC (Nanotubos de Carbono), para los cuales se determinará las propiedades físicas (Porcentajes de vacíos) y mecánicas (Flujo y Estabilidad Marshall).



- Los dos tipos de diseño de mezclas asfálticas se realizarán mediante el método Marshall, AASHTO, ASTM y según la norma peruana del Ministerio de Transportes: Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013).
- Los ensayos de laboratorio se realizarán en el laboratorio HRUIZ-GEOPAV (Laboratorio de suelos, concreto y asfaltos).
- Los agregados utilizados son provenientes de la cantera de la planta de Asfalto COPESCO: agregado grueso – grava chancada proveniente de la cantera Morro Blanco (San Salvador – Calca - Cusco).
- Los agregados utilizados son provenientes de la cantera de la planta de Asfalto COPESCO: agregado fino – arena chancada proveniente de la cantera Morro Blanco (San Salvador – Calca - Cusco).
- Los agregados utilizados son provenientes de la cantera de la planta de Asfalto COPESCO: agregado fino – arena zarandeada proveniente de la cantera Cunyac (Cunyac – Abancay - Apurímac.)
- El Asfalto utilizado es el PEN 85/100, sin ninguna modificación.
- La clase de mezcla asfáltica de acuerdo a la temperatura del proceso de fabricación a usar en la presente investigación es la de mezcla asfáltica en caliente. La mezcla asfáltica en caliente tiene mejores condiciones en cuanto a la Estabilidad, Durabilidad, Flexibilidad, Resistencia a la Fatiga, Resistencia al Fracturamiento por bajas temperaturas, Resistencia al daño por Humedad, Resistencia al deslizamiento y Trabajabilidad.
- El porcentaje de Asfalto usado en esta investigación es del 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, 7.5%, ya que el contenido de Asfalto para mezclas asfálticas en caliente para zonas con temperatura media anual de 5°C -15°C varía entre 6% y 7% y se tomaron porcentajes con variación de 0.5% por recomendación del MTC. (MTC E-504).
- La mezcla asfáltica convencional fue modificada según la metodología de modificación por vía seca con los Nanotubos de Carbono en los porcentajes respectivos.
- El tipo de Nanotubo de Carbono usado en la presente investigación es el tipo de pared múltiple (MWNT por sus siglas en inglés), dicho tipo de NTC consta de varias capas laminadas (tubos concéntricos) de grafeno las cuáles ayudaran a mejorar las propiedades físico- mecánicas de la mezcla asfáltica convencional. (Ver ficha técnica en el apéndice 1)



- El porcentaje de Nanotubos usado en esta investigación es del 2%, 3% y 4% con respecto al peso del Contenido Óptimo de Asfalto. Dicha cantidad de Nanotubos de Carbono ha modificado la mezcla al ser añadida a la misma, no se ha sustituido ni disminuido los demás componentes de la mezcla.
- El diseño de mezcla asfáltica se elabora para tráfico pesado que pertenece a una clase de mezcla A.
- La presente investigación se llevó a cabo en el año 2020 y con los materiales de la zona del Cusco ya mencionados.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general.

Determinar la variación de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional, utilizando específicamente el diseño de mezclas Marshall.

### 1.4.2 Objetivos específicos.

**Objetivo Especifico 01:** Determinar el porcentaje óptimo de NTC (Nanotubos de Carbono) respecto al peso del contenido óptimo de cemento asfáltico.

**Objetivo Especifico 02:** Determinar los valores de Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.

**Objetivo Especifico 03:** Determinar la variación de los valores del Flujo de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.

**Objetivo Especifico 04:** Determinar la variación de los porcentajes de Vacíos de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.



## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes de la Tesis o Investigación actual.

#### 2.1.1 Antecedentes a nivel nacional.

**Título:** “MEJORAMIENTO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO”

**Autor:** Apaza Mango, Víctor Ángel; Quispe Mamani Katherine Milagros (2018)

**Universidad:** Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa - Arequipa, Perú.

**Resumen:** En esta investigación se estudió a fondo las mejoras que puede brindar la adición de Nanotubos de Carbono a las mezclas de concreto elaboradas con 2 tipos distintos de cemento, por una parte mezclas elaboradas con cemento Yura tipo IP y por otra parte mezclas elaboradas con cemento Wari tipo I. Inicialmente se caracterizaron los materiales y se evaluó el proceso de dispersión de Nanotubos de Carbono en las mezclas de concreto utilizando varios agentes dispersante haciendo uso de la Sonicación como método de dispersión. Con las proporciones óptimas encontradas se elaboraron muestras de concreto para hacer ensayos de compresión, tracción, flexión, permeabilidad y módulo de elasticidad. Los resultados obtenidos en estos ensayos fueron comparados con una mezcla que se denomina mezcla patrón, la cual no tiene adición de Nanotubos de Carbono pero sí todos los demás componentes en la misma proporción que las demás mezclas.

Se llega a la conclusión de que se ha demostrado que la adición de Nanotubos de Carbono mejora las propiedades mecánicas del concreto de forma integral usando cantidades óptimas de NTC, donde para el caso de mezclas elaboradas con cemento Yura tipo IP es 0,05% del peso del cemento, ya que tanto desde el punto de vista económico y de performance es el que mejor se comporta. En el caso de concretos con cemento tipo I -Wari se ha llegado a una dosificación óptima de 0,10%, sin embargo esta alternativa resulta antieconómica.

Se presenta este antecedente por ser uno de los primeros estudios con Nanotubos de Carbono en nuestro país, usando la metodología de adicionar dicho material a las mezclas elaboradas con cemento mejora las propiedades mecánicas de manera integral, y esto se aplica a la presente tesis siguiendo la misma metodología de adición del material a la mezcla asfáltica y así determinar de qué manera aporta mecánicamente a nuestro aglutinante-asfalto, esto lo evaluaremos mediante el diseño Marshall.



### 2.1.2 Antecedentes a nivel internacional.

**Título:** “DETERMINACIÓN DEL DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE TAMAÑO DE NOMINAL 9,5 MM 12,5 MM MODIFICADO CON NANO-SÍLICA”

**Autor:** Xu Ye, Lilly. (2016).

**Universidad:** Universidad de Costa Rica - San José, Costa Rica.

**Resumen:**

El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo. El porcentaje de mezcla asfáltica producida con asfaltos modificados ha crecido en los últimos años debido a todas las ventajas que la modificación del Asfalto puede brindar a las mezclas, en cuanto a factores ambientales y económicos, mejora del desempeño, incremento de la vida útil y hasta para cumplimiento de especificaciones contractuales. Se evaluaron las cuatro mezclas asfálticas de granulometría densa: dos clasificadas finas y las otras dos clasificadas como gruesas, con dos tamaños nominales máximos distintos (12.5mm y 9.5mm) que son consideradas mezclas típicas en el país, mediante varios ensayos de desempeño. Los ensayos utilizados fueron: resistencia retenida a la tensión diametral, resistencia a la deformación permanente mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), resistencia al agrietamiento mediante el ensayo de fatiga a flexo-tracción y módulo dinámico de la mezcla. Para todos los casos, el modificante utilizado fue un polímero SBR (Estireno-Butadieno-Caucho), que actualmente se está utilizando en algunos proyectos a nivel nacional. Los resultados de este estudio mostraron que la modificación del Asfalto con polímeros puede utilizarse en mezclas típicas de Costa Rica para mejorar el desempeño de los pavimentos asfálticos. Se llega a la conclusión de que las mezclas modificadas ayudan a reducir deterioros en pavimentos como son la deformación permanente, agrietamiento por fatiga, pérdida de adhesividad, y daño por humedad y especialmente mejora propiedades mecánicas y físicas del Asfalto y mezcla asfáltica.

Se presenta este antecedente porque se demuestra que el uso de nano-materiales mejoran las propiedades mecánicas tanto del Asfalto como de la mezcla asfáltica, y esto se aplica a la presente tesis para determinar de qué manera específicamente los nano-materiales,



específicamente el de Carbono, mejora las propiedades físico - mecánicas de nuestra mezcla asfáltica mediante el diseño Marshall.

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

**Autor:** Jiménez Téllez, Gabriel Alejandro (2012).

**Universidad:** Pontificia Universidad Javeriana - Medellín, Colombia

**Resumen:**

Se realizó un diseño de experimentos para el proceso de descomposición catalítica de metano, en el que se evaluó la temperatura (600, 700 y 800° C), el tipo de catalizador y el tiempo de reacción (1, 2 y 3 h). La variable de selección fue el peso bruto de los NTC obtenidos. Se presenta la mayor actividad usando el catalizador de Ni-Cu-Al y Metano, sin diluyente, bajo régimen isotérmico a 700° C durante 3 horas. Los Nanotubos de Carbono de pared múltiple (MWCNTs) fueron caracterizados por Análisis Termogravimétrico (TGA), Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). El Asfalto 60/70 convencional y modificado se caracterizó reológica, mecánica y químicamente, y se realizaron ensayos dinámicos a la mezcla asfáltica MDC-2, convencional y modificada, con el fin de evaluar la resistencia a la fatiga y el ahuellamiento, así como para medir el Módulo Dinámico.

Se llega a la conclusión de que la mezcla asfáltica modificada con NTC (2% en peso) presenta una reducción en el ahuellamiento del 19% para el tiempo final del análisis. El promedio de reducciones en las deformaciones es cercano al 31%, por lo que la adición de NTC incrementa la resistencia a las deformaciones permanentes y reduce la susceptibilidad a los deterioros asociados. La adición de NTC (2% en peso de asfalto), genera un aumento en todas las magnitudes de los módulos dinámicos, y su porcentaje promedio de incremento fue mayor a temperaturas más elevada, lo que contribuye a la Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica, disminuyendo su susceptibilidad a la temperatura.

El presente antecedente lo aplicamos en nuestra investigación para determinar el porcentaje óptimo de NTC (Nanotubos de Carbono) usado en el diseño de la mezcla asfáltica, además



que se demuestra como con el uso de un aditivo mejora la propiedad mecánica de la Estabilidad la cual aumenta en su valor.

## 2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

### 2.2.1 Asfalto.

El Asfalto es un material aglomerante de color negro a pardo oscuro, cuyos constituyentes son betunes que se encuentran en la naturaleza o son obtenidas por destilación del petróleo. (*Asphalt Intitute, 1992*)

Es un cementante que varía en consistencia, entre sólido y semisólido, a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezclas en caliente; ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo.

Casi todo Asfalto es producido en refinerías de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

Los principales tipos de ligantes bituminosos que se utilizan para la producción de mezclas asfálticas son:

- Los cementos asfálticos o asfaltos de penetración.
- Los asfaltos líquidos o asfaltos rebajados.
- Las emulsiones asfálticas.
- Los crudos de petróleo.

El cemento asfáltico por lo general se designa con las letras AC, y es un excelente material impermeabilizante, con propiedades aglutinantes y que no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Se le considera como un material ideal para los trabajos de pavimentación, pues además de poseer características de flexibilidad y durabilidad, son excelentes para unir partículas de agregado en un pavimento de mezclas en caliente.

El Asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregados. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades de asfaltos, y si se toman



medidas, durante la construcción para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

### 2.2.1.1 Propiedades químicas del asfalto.

(Lizcado, 2004) Manifiesta que el Asfalto está compuesto por varios hidrocarburos solubles en Sulfuro de Carbono (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono), estos son procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación o extracción.

(Asphalt Intitute, 1992) Indica que básicamente, el asfalto es compuesto por varios hidrocarburos y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto cuando es disuelto en un solvente, puede separarse en dos partes principales: Asfaltenos y Maltenos.



*Figura 3. Propiedades químicas del asfalto.*

*Fuente: Propuesta de método de diseño de mezclas asfálticas abiertas en caliente como capa de alivio (Figura 1.2)*

- **Los Asfáltenos.** Son compuestos químicos orgánicos y concentran los compuestos más pesados como el azufre, y por tanto de mayor punto de ebullición. Una vez separados de los máltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfáltenos le dan al asfalto color y dureza y se encuentran disueltos en los máltenos, es decir, es la fase discontinua del asfalto. El contenido de asfáltenos en un cemento asfáltico varía entre un 15% y un 20%. (Chiliquinga, 2015)
- **Los Máltenos.** Son la fracción soluble en hidrocarburos de bajo punto de ebullición que forman la fase continua del asfalto; su contenido se asocia a las propiedades mecánicas mostradas por el Asfalto. El mayor contenido de Máltenos y su naturaleza química son las

que le dan la calidad a un asfalto, ya que regulan las propiedades químicas del asfalto. (Chiliquinga, 2015)

Por su parte el *Asphalt Intitute (1992)* describe a los Máltenos como líquidos compuestos por resinas y aceites. Las resinas son color ámbar o pardo, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (aglutinantes), mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los Asfáltenos y resinas y así, hacerlos trabajables. Describiendo la estructura del coloide, las resinas circundan en forma inmediata a los Asfáltenos y los aceites rodean a los Máltenos. (Chiliquinga, 2015)



**Figura 4.** Estructura coloidal del asfalto.

*Fuente: Propuesta de método de diseño de mezclas asfálticas abiertas en caliente como capa de alivio (Figura 1.3)*

### 2.2.1.2 Propiedades físicas del asfalto

Según el *Asphalt Intitute (1992)* las propiedades físicas del asfalto más relevantes al momento de diseñar, construir y dar mantenimiento a la vía son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

**a. Durabilidad.** Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos de degradación y envejecimiento, principalmente cuando son mezclados con los agregados. Propiedad calificada a través del comportamiento del Asfalto, ya que el envejecimiento continúa toda la vida del pavimento, por la acción del medio ambiente u otros factores, y por consiguiente es difícil de precisar su definición en términos de las propiedades del Asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del



pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

**b. Adhesión y Cohesión.** Adhesión es la capacidad del Asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del Asfalto de mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado bajo las grandes deformaciones causadas por el tránsito.

**c. Susceptibilidad a la Temperatura (Viscosidad).** El Asfalto es un material termoplástico; por lo que su consistencia se vuelve más dura (más viscosa) a medida que su temperatura disminuye, y más blanda (menos viscosa) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más importantes de un Asfalto, porque esta indica a que temperatura se debe mezclar el Asfalto con el agregado y a la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla asfáltica en obra.

Debe entenderse que es muy importante que un Asfalto tenga una temperatura adecuada, ya que este debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el proceso de mezclado y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

**d. Endurecimiento y Envejecimiento.** Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en capas delgadas de asfalto (como la capa que cubre las partículas del agregado). El Asfalto se encuentra a altas temperaturas y en capas delgadas mientras esta revistiendo las partículas del agregado durante el mezclado.

El endurecimiento del Asfalto continúa en el pavimento después de la construcción, y sus causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados en el pavimento terminado si se mantiene una cantidad pequeña de vacíos de aire interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado (*Asphalt Intitute, 1992*)



## 2.2.2 Mezcla Asfáltica.

### 2.2.2.1 Definición

(Kraemer *al*, 2004) Indica que las mezclas asfálticas (o bituminosas), también nombradas aglomerados, están formadas por una combinación de áridos y un ligante hidrocarbonado, de manera que aquellos quedan cubiertos por una lámina continua de éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra, allí se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. La falta de calidad en alguno de los componentes mencionados afecta la mezcla. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total. (Chiliquina, 2015)

### 2.2.2.2 Clasificación de las mezclas asfálticas

#### 2.2.2.2.1 Clases de mezcla asfáltica de acuerdo a la Temperatura del proceso de fabricación

##### a. Mezcla Asfáltica en Caliente.

Según Chiliquina (2015) esta mezcla se caracteriza porque tanto los agregados pétreos y el ligante asfáltico que se utilizan, se calientan antes del mezclado entre 130° y 160 °C. Además de estar compuesta por un 93 a 97% de agregado pétreo y por un 3 a 7% de Asfalto con relación a la masa total de la mezcla. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Es importante mencionar que este tipo de mezcla es la más utilizada en el país. Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores.

##### b. Mezcla Asfáltica en Frío.

Para Chiliquina (2015) estas mezclas no necesitan ser calentadas para el secado de los áridos, es decir, que los agregados pétreos puede utilizarse con su humedad natural; y el Asfalto puede ser precalentado hasta no más de 60 °C. Está compuesta por la combinación de agregados pétreos con una emulsión bituminosa cuya mezcla, aplicación y compactación se realizan en frío. Se pueden elaborar en una planta asfáltica o in situ, la



cual se compactará a una temperatura ambiente, son utilizadas generalmente como capas de rodadura, de base o subbase.

**c. Mezcla Asfáltica Tibia**

De acuerdo con *Orellana (2016)*, en este tipo de mezcla, se usan métodos para reducir la temperatura de producción entre 15°C a 50°C con respecto a una mezcla asfáltica en caliente, entre ellas: Aditivos químicos para reducir la alta temperatura del cemento asfáltico para llegar a una viscosidad trabajable, adición de agua para formar una espuma o procesos que involucran la adición de cementos asfálticos blandos y duros a diversas posiciones durante la producción de la mezcla. Tienen diversos beneficios, como mejor costo, por la reducción de combustibles que se necesita para la mezcla, menor emisión de gases, y potencialmente un mejor comportamiento debido a la disminución del envejecimiento prematuro de la mezcla.

**2.2.2.2.2 Clases de mezcla asfáltica de acuerdo a la proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica.**

**a. Mezcla Porosa o Drenante**

Como indica *Chiliquinga (2015)* en este tipo de mezclas predomina el agregado grueso en más del 75 %, lo que hace que este tipo de mezclas tenga un porcentaje de vacíos elevado de aproximadamente entre 18 % a 25%, lo cual permite el paso del agua a través de la mezcla, y hace que posea una excelente drenabilidad superficial. Usualmente, son usadas como capa de rodadura, en lugares donde hay gran presencia de lluvia. Sin embargo, este tipo de mezclas también son usadas como capa de alivio de fisuras, ya que la porosidad de estas mezclas, impide la inducción de grietas desde un pavimento antiguo a uno nuevo.

**b. Mezclas Abiertas**

Con una proporción de vacíos mayor de 12 % hasta 20%. Mezclas con gradación uniforme, cuyo principal objetivo es servir de capa drenante tanto en la superficie como en la estructura del pavimento. Debido a su granulometría y la gran cantidad de vacíos que posee, son necesarias temperaturas de mezcla menores, para así evitar el escurrimiento del cemento asfáltico. (*Orellana, 2016*)



**c. Mezclas Semi - Cerradas o Semi - Densas**

La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 12 %. La función de este tipo de mezclas es similar a las mezclas densas debido a que logran una impermeabilización apropiada con una adecuada compactación.

**d. Mezclas Cerradas o Densas**

Con una proporción de vacíos no mayor al 6 %. Según (Orellana, 2016) estas mezclas son de granulometría bien gradada que permite que se logren llenar la mayor cantidad de vacíos con una baja cantidad de cemento asfáltico. Por ello es que son usadas como capas funcionales en la mayoría de pavimentos.

**2.2.2.2 Tipos de mezcla asfáltica de acuerdo a su Granulometría.**

- **Mezclas Continuas.** Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- **Mezclas Discontinuas.** Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico. (*Chiliquinga, 2015*)

**2.2.2.3 Mezclas Asfálticas Modificadas**

Teniendo en cuenta, la tendencia global de mitigar el impacto generado por los diferentes derivados del petróleo, se ha procurado direccionar las investigaciones en la búsqueda del mejoramiento de las mezclas asfálticas con el uso de agentes modificadores, que brinden la posibilidad de reducir el impacto ambiental sin desmejorar las características físicas y reológicas de las mismas. Las mezclas asfálticas modificadas tal como su nombre lo indica son aquellas donde se adiciona un elemento distinto a cemento asfáltico y agregados pétreos, buscando disminuir las patologías propias de los pavimentos. (Mejía Umbarila & Sierra Hernández, 2017).

Dichas modificaciones se pueden dar según las siguientes tipologías:

**2.2.2.3.1 Modificación por Vía seca**

En el proceso de incorporación por vía seca es aquel en el cual el aditivo es mezclado con los agregados pétreos antes de adicionar el cemento asfáltico. Es decir, el aditivo es considerado como un árido más, o como sustituto de una pequeña parte del agregado fino. Mediante este proceso, el aditivo pasa a ser un modificador del ligante en la mezcla asfáltica. (Chamorro Molina & Chancusi Ortega, 2017)



### **2.2.2.3.1 Modificación por Vía Húmeda**

El proceso de incorporación por vía húmeda consiste en la mezcla de cemento asfáltico y el aditivo en ciertos porcentajes en relación con el cemento asfáltico, a una temperatura elevada (170 a 200 C°), durante un determinado período de tiempo. Esa mezcla reacciona y forma un asfalto modificado con propiedades reológicas diferentes del cemento asfáltico original. (Chamorro Molina & Chancusi Ortega, 2017).

Siguiendo la misma metodología, hacemos la experimentación con los Nanotubos de Carbono los cuales se adicionaran a la mezcla asfáltica por vía seca.

## **2.2.3 Diseño de Mezclas Asfálticas en caliente según Método de Marshall.**

### **2.2.3.1 Materiales**

#### **a. Agregados Minerales Gruesos.**

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) los agregados pétreos empleados para la ejecución de mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa de material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito, en caso de que esta circunstancia se produzca, será necesario añadir algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una buena adhesividad.

La proporción de los agregados, retenida en la malla N° 4, se denominara agregado grueso y deberá proceder de la trituración de roca, de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto.

Los agregados gruesos, deben cumplir además con los siguientes requerimientos:



**Tabla 1.** *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.

*Fuente: De la Tabla N°423-01 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265*

- \* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.
- \* La notación “85/50” indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

**b. Agregados Minerales Finos.**

Según el *Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)* la proporción de los agregados que pasan la malla N° 4, se designará agregado fino y se compondrá de arena natural de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el Asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

Los Agregados finos deberán cumplir con los siguientes requisitos:





**Tabla 2.** *Requerimientos para los agregados finos.*

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

*Fuente: De la Tabla N°423-02 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265*

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

### c. **Cemento Asfáltico**

El cemento asfáltico puede definirse como un ligante hidrocarbonado sólido o semisólido, natural o preparado a partir de hidrocarburos naturales por destilación, oxidación o cracking, es un material ideal para aplicaciones en trabajos de pavimentación por sus propiedades aglutinantes, impermeabilizantes, flexibilidad, durabilidad, alta resistencia a los ácidos y álcalis en general. Se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por la viscosidad absoluta y por su penetración (PEN) (Orellana, 2016)

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C. Dicho cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro producto garantizado (Rosales Lecca, 2019).

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013), el cemento asfáltico a emplear será según las características climáticas de la región, tal como lo indica la siguiente tabla:



**Tabla 3. Selección del tipo de cemento asfáltico**

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

*Fuente: De la Tabla N° 415-01 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.222*

### **Cemento asfáltico PEN 85/100**

El cemento asfáltico 85/100, es un material asfáltico de uso vial. Es una combinación de compuestos orgánicos e hidrocarburos de alto peso molecular (>C 25), con cierto contenido de metales como Hierro, Níquel y otros. Se obtienen a partir de un proceso de desasfaltización por Propano a partir del destilado pesado de Petróleo. (PETROPERÚ S.A., 2019).

#### **d. Polvo Mineral (Filler)**

El filler o relleno mineral que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante de la mezcla asfáltica o como mejorador de adherencia será de preferencia la cal hidratada que deberá cumplir los requisitos que se especifican en la norma AASHTO-M303. (Padilla, 2004).

#### **Características:**

- **Finura.-** Al ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de vacíos de la mezcla evitando un aumento pronunciado de la cantidad de ligante asfáltico.
- **Modificación del comportamiento reológico.-** El empleo del polvo mineral, incrementa la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, sin modificar la naturaleza viscosa del ligante, originando como consecuencia un aumento de la resistencia al corte de las mezclas asfálticas.
- **Acción estabilizante frente al agua.-** Debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular evitando el acceso del agua al interior, y por otro lado debido a que algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el ligante asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el ligante asfáltico. (Padilla, 2004)



### 2.2.3.2 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 siguiente tabla; alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto.

**Tabla 4. Husos Granulométricos.**

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.° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: De la Tabla N°423-03 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.266

### 2.2.3.3 Requerimientos de construcción.

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013), las características de calidad de la mezcla asfáltica deberán estar de acuerdo con las siguientes exigencias:

**Tabla 5. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.**

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
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 (3) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (7)	0,6-1,1	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 Min.		

Fuente: De la Tabla N°423-06 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág. 570



Además debe cumplir con los parámetros de requisitos de adherencia y Vacíos Mínimos del Agregado mineral (VMA) descritos a continuación:

**Tabla 6.** Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA).

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (1/2")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 1/2")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

*Fuente: De la Tabla N°423-08 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág. 57*

#### 2.2.3.4 Ensayos de materiales para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

##### 2.2.3.4.1 Análisis granulométrico (MTC E – 204)

###### a) Muestra

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016) las muestras para el ensayo se obtendrán 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 la masa seca aproximada y consistir en una fracción completa de la operación de cuarteo. No está permitido seleccionar la muestra a un peso exacto determinado. Las muestras de agregado fino para el análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener aproximadamente los siguientes pesos:

- Agregados en que por lo menos el 95% pasa el tamiz de 8.36mm (No.8).100 gr.
- Agregados en que por lo menos el 85% pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4), y más del 5% queda retenido en el tamiz de 2.36 mm (No. 8).500 gr.
- Las muestras de agregado grueso para el análisis granulométrico, después de secadas, deberán tener aproximadamente los siguientes pesos:



**Tabla 7.** Cantidad mínima de muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal 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: Manual de Ensayo de Materiales, 2016. Pág. 304*

Para mezclas de agregados gruesos y finos, la muestra será separada en dos tamaños, por el tamiz de 4.75 mm (No. 4)

### **b) Preparación de la muestra**

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Séquese la muestra a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$ ), 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 ( $1/2$ )
- b) El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menores de 4.75 mm (No. 4).
- c) El agregado grueso sea altamente absorbente (por ejemplo, un agregado ligero).

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 de los agregados.

### **b) Procedimiento**

1. Selecciónese un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar. Colóquense 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.
2. Límitese la cantidad de material en un tamiz dado, de tal forma que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz varias veces durante la operación del tamizado. El peso retenido en tamices menores al de 4.75 mm (No. 4) cuando se complete la operación de tamizado, no debe ser mayor de 6 kg/m<sup>2</sup>.
  3. 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 minuto de tamizado continuo a mano, realizado de la siguiente manera: tómesese 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 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.
  4. 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.
  5. 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. Comiéncese el ensayo, 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 este. Cuando sea necesario determinar la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 mm (No. 200), se ensayará primero la muestra de acuerdo con la norma citada. Se añade el porcentaje de material más fino que el tamiz de 75 mm (No. 200) determinado por el mencionado método, al porcentaje tamizado sobre este mismo tamiz, determinado en el resto de la muestra, cuando se ensaye en seco mediante el presente método.



6. Determinése 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. El peso total del material después del tamizado, debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó.

#### 2.2.3.4.2 Durabilidad al Sulfato de Magnesio. (MTC E - 209).

##### a) Muestra

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

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 8.** Tamices en los cuales se evaluara el agregado fino

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8”)	4,75 mm (Nº 4)

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 331

1. Agregado grueso. La muestra del agregado grueso debe ser un material del que se han eliminado todas las fracciones inferiores- al tamiz de 4.75 mm (No.4). Estos tamaños eliminados se ensayan de acuerdo con el procedimiento para el agregado fino. La muestra debe tener, mínimo, el peso suficiente para obtener de ella, las cantidades de, las fracciones indicadas en la tabla anterior, que estén presentes en cantidad de 5% como mínimo.
2. Si las muestras contienen menos del 5% de algunas de las fracciones indicadas, no se ensayará esta fracción, pero para el cálculo de los resultados del ensayo se considerará que tienen la misma pérdida a la acción de los sulfatos, de sodio o magnesio, que la media de las fracciones, inferior y superior más próximas, o bien si una de estas fracciones falta, se considerará que tiene la misma pérdida que la fracción inferior o superior que esté presente. Cuando las fracciones de 9.5 a 19.0 mm, 19 a 37.5 mm o 37.5 mm a 63 mm no pueden prepararse debido a la falta de uno de los dos tamaños indicados, el tamaño del que se



disponga en exceso se utilizará para preparar la fracción de ensayo de la que no había cantidad suficiente.

**Tabla 9.** Tamices en los cuales se evaluará el agregado grueso (según gradación)

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
<b>Consistiendo de:</b>	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 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 1/2") 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 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") 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: *Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 331*

### b) Preparación de muestra

(*Manual de Ensayo de Materiales, 2016*)

1. Agregado fino: La muestra de agregado fino se lava bien sobre un tamiz de 300 mm (No. 50); se seca hasta peso constante, a una temperatura de 110 – 5 °C (230 –9 °F) y se separa en las diferentes fracciones por medio de un tamizado realizado de la siguiente manera: Se hace primero una separación aproximada, por medio de una serie de los tamices indicados. De cada una de las fracciones obtenidas de esta forma se separa la suficiente cantidad de muestra para poder obtener 100 g. Las partículas de agregado fino que quedan encajadas en la malla del tamiz, no se emplean en la preparación de la muestra. Las muestras de 100 g, de cada una de las fracciones, después del tamizado final, se pesan y colocan por separado en los recipientes para ensayo.
2. Agregado grueso. La muestra de agregado grueso se lava bien, se seca hasta peso constante, 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 mm (3/4"), se cuenta también el número de partículas. Cuando son rocas deberán ser rotas





en fragmentos uniformes, se pesaran 100 gr, de c/u. La muestra de ensayo pesará 5000 gr. La muestra será bien lavada y secada antes del ensayo.

### **c) Procedimiento**

*(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)*

1. 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 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  $21 \pm 1$  °C ( $70 \pm 2$  °F), durante todo el tiempo de inmersión.
2. Después la muestra se saca de la solución dejándola escurrir durante  $15 \pm 5$  minutos y se la introduce en el horno, cuya temperatura se habrá regulado previamente a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °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 g en el caso del agregado fino, o menos de 1.0 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**

*(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)*

1. Después de terminado el último ciclo y de 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 ( $\text{BaCl}_2$ ). Durante el lavado se debe evitar someter las partículas a impactos y frotamientos que puedan facilitar su fractura o desgaste.
2. Después de eliminar todo el Sulfato de Sodio o de Magnesio, cada fracción de la muestra se seca hasta peso constante, a una temperatura de  $110 - 5$  °C ( $230 - 9$  °F), y se pesa. Se tamiza el agregado fino sobre los mismos tamices en que fue retenido antes del ensayo, y



el agregado grueso sobre los tamices indicados a continuación, según el tamaño de las partículas.

**Tabla 10.** Tamices para ensayos en agregado grueso después de eliminar sulfatos

Tamaño del agregado	Tamiz normalizado usado para determinar la pérdida
63 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	31,5 mm (1 1/4")
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	16,0 mm (5/8")
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	8,0 mm (5/16")
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	4,0 mm (Nº 5)

Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 332*

### 2.2.3.4.3 Abrasión de los ángulos al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 1/2"). (MTC E-207)

#### a) Muestra y Carga

(*Manual de Ensayo de Materiales, 2016*)

Máquina de Los Ángeles: La máquina consistirá en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 711 mm ± 5 mm y una longitud interior de 508 mm ± 5 mm. El cilindro debe tener una abertura para la introducción de la muestra de ensayo. Tiene una cubierta hermética al polvo y provista de medios para atornillarla en su lugar, una pestaña removible de acero, que abarque toda la longitud del cilindro, la localización de la pestaña se hará de tal manera que la muestra y las esferas de acero no impacten en las cercanías de la abertura y su cubierta.

Carga: La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46,8 mm de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g. La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo como se describe en la preparación de la muestra, será como sigue:

**Tabla 11.** Carga según tipo de gradación de la muestra para el ensayo de abrasión.

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 316*



### b) Preparación de muestra

Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a  $110 \pm 5$  °C, separar cada fracción individual y recombinar a la gradación de la siguiente Tabla, 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 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 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-,-	-,-	-,-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-,-	-,-	-,-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ±10	2 500 ±10	-,-	-,-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ±10	2 500 ±10	-,-	-,-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-,-	-,-	2 500 ±10	-,-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (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: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 316*

### c) Procedimiento

1. Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y hacerla rotar entre 30 a 33 rpm, por 500 revoluciones (15 min), luego descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (No. 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al modo operativo MTC E 204. Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a  $110 \pm 5$  °C, hasta peso constante (véase el apartado 6.2) y determinar la masa.
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. 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 (No. 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.

#### **d) Cálculos**

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.

### **2.2.3.4.4 Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – Bitumen (MTC E 517).**

#### **a) Muestra**

*(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)*

**Agregados.-** Prepare el agregado, tal que el 100% pase por la malla de 9,5 mm (3/8”) y sea retenido en la malla de 6,3 mm (1/4”). Los agregados para la prueba de revestimiento seco serán lavados en agua destilada para remover todos los finos, secado entre 135 a 149 °C hasta peso constante y almacenado en un recipiente hermético hasta ser requerido para su uso. Los agregados a ser usados en la prueba del revestimiento húmedo, será llevado a condición de saturación con superficie seca, usando agua destilada como lo descrito en el método para la gravedad específica y absorción del agregado grueso

**Bitúmenes.-** Donde se proponga la evaluación del bitumen, use el material de tipo, grado y fuente propuesta para la obra de construcción. Si los aditivos químicos son propuestos, agregar al bitumen en la cantidad especificada y mezclar completamente antes del ensayo.

#### **b) Procedimiento**

*(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)*

1. Revestimiento: pesar  $100 \pm 1$  g del agregado, seco en horno, a temperatura apropiada dentro del recipiente de mezclado y añadir  $5 \pm 0,2$  g de material bituminoso precalentado. Mezclar el material bituminoso y el agregado vigorosamente con la espátula por 2 minutos.
2. Curado en horno: curar el agregado revestido por 2 horas en el recipiente original a 60 °C. El punto de ventilación del horno debería ser abierto durante esta etapa de curado. Después de curar, remezclar con la espátula mientras la mezcla se enfría a temperatura ambiente o



hasta que el material bituminoso deje de drenar de los agregados. El revestimiento debe ser completo después del remezclado; no serán permisibles las zonas pardas.

3. Transferir el agregado revestido a un recipiente de vidrio de 600 ml, cubrir inmediatamente con 400 ml de agua destilada a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C). Dejar el agregado revestido para que permanezca inmerso en agua por 16 a 18 horas.
4. Estimación visual del área recubierta en la prueba de desprendimiento: sin revolver o agitar el agregado recubierto, quitar cualquier película flotante de la superficie del agua. Por observación a través del agua, por encima, estimar el porcentaje del área total visible del agregado con revestimientos retenidos por encima o por debajo que 95%. Cualquier área de marrón escaso o translucido son consideradas completamente revestidas.

### c) Cálculos

Reportar la estimación del área revestida como “Mayor de 95%” o “Menor de 95%”.

#### 2.2.3.4.5 Revestimiento Índice de durabilidad (MTC E 214).

##### a) Muestra

*(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)*

1. Obténgase las muestras del agregado a ser ensayado de acuerdo con la norma MTC E 201. La muestra de agregado debe estar seca con la finalidad de que, al pasar por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) permita una condición de fluidez.
2. Determinar el procedimiento de ensayo: si el 10% del agregado pasa el tamiz N° 4, ensayar con agregado grueso (Procedimiento A). Si el 10% del agregado es de tamaño mayor al tamiz No. 4, ensayar con agregado fino (Procedimiento B).
3. Determine la gradación de la muestra con los tamices de 19,0; 12,5; 9,5; 4,75; 2,36 y 1,18 mm ( $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", N° 4, N° 8, N° 16).

##### b) Procedimiento operatorio (Procedimiento A - Agregado Grueso)

1. Preparar una muestra de  $2550 \pm 0,25$  g, secado al aire libre, usar la siguiente gradación.

**Tabla 13.** Gradación para el procedimiento A y B.

Tamaño del agregado	Peso seco al aire, g
19,0 a 12,5 mm ( $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " )	1070 $\pm$ 10
12,5 a 9,5 mm ( $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ " )	570 $\pm$ 10
9,5 a 4,75 mm ( $\frac{3}{8}$ " a N° 4)	910 $\pm$ 5
	2550 $\pm$ 25

Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 354*



2. Introducir la muestra en vaso mecánico de lavado, añadir  $1000 \pm 5$  ml de agua destilada, verificar que el vaso esto cerrado. Lavar el material que no fue inundado completamente y ajuste a los pesos de la muestra y los volúmenes de agua. Determinar peso específico, el peso total de la muestra de ensayo se obtendrá aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Peso calculado de la muestra} = \frac{\text{Peso específico del agregado}}{2,65} \times W$$

Ajuste el volumen del agua de ensayo, con la siguiente ecuación:

$$\text{Agua ajustada} = 1000 + (A \times W) - 50$$

A= Absorción del agregado, %

W= Peso de muestra de ensayo secada al horno.

3. Después de  $60 \pm 10$  segundos de haber introducido el agua, agítese el vaso en el agitador de tamices por 2 minutos. Remover el vaso, destapar y verter contenido en el tamiz N°4. Lavar los finos y depositarlo en el mismo recipiente. Secar la fracción retenida en el tamiz N°4, a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y pesar.
4. Colocar un recipiente colector o fondo de mallas, circular, de al menos 254 mm (1,0") de diámetro y de aproximadamente 102 mm (4") de profundidad, para recoger el agua resultante del lavado de la muestra, en una superficie fija.
5. Colocar la muestra del ensayo en el vaso mecánico, agitar el vaso  $600 \pm 15$  segundos; retire el vaso, agitar el contenido del vaso de cinco a seis veces para que los finos se queden en suspensión y verter contenido en recipiente, descarta el material retenido en la malla N° 4, recoger el agua de lavado y el material que pase por la malla N° 200 en el recipiente colector. No debe quedar nada retenido en la malla N° 200. Si aún queda algo retenido en el tamiz se debe reusar el agua y verter sobre el tamiz.
6. Añadir agua destilada hasta que sea  $1000 \pm 5$  ml de agua sucia. Colocar embudo en el cilindro plástico graduado, agitar manualmente el agua lavada para poner a los finos en suspensión, estando aun turbulenta el agua, verter agua dentro del cilindro y que llegue el agua a la medida 380 mm (15").



7. Remueva el embudo, coloque tapón en el extremo del cilindro y mezcle el contenido inmediatamente. Mezcle contenido mediante movimientos de agitación, produciendo que la burbuja atraviese completamente cilindro 20 veces en 35 segundos.
8. Terminando el proceso colocar el cilindro sobre la mesa de trabajo y remueva el tapón, reposar el contenido por  $1200 \pm 15$  segundos. Registre la altura de la columna de sedimentación, con aproximación de 2,5 mm (0,1”).

#### **c) Procedimiento operatorio (Procedimiento B - Agregado fino)**

1. Cuartear una porción representativa del material que pase por el tamiz 4, una cantidad de  $500 \pm 0.25$  g, secar la muestra a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y colocar muestra en el vaso mecánico de lavado, añadir  $1000 \pm 5$  ml de agua destilada. Colocar el vaso en el agitador, por un periodo de  $120 \pm 5$  segundos.
2. Retire el vaso del agitador destape y cuele el contenido a través del tamiz N° 200, protegido con el tamiz N°4, enjuague el vaso y el tamiz hasta que el agua que pasa por el tamiz salga clara. Después de lavado, transfiera el material retenido en el tamiz a un recipiente de secado, secar a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, es necesario lavar el material retenido en la malla N° 200 para transferirlo al recipiente de secado.
3. Dividir el material secado en una muestra de 3 onzas (85 ml) hasta el borde, consolidar el material y enrasar el nivel superior. Hágase un ensayo de equivalente de arena según la norma MTC E114, con la excepción de que se usara agitador mecánico por un tiempo de  $600 \pm 15$  segundos.

#### **d) Cálculos**

1. PROCEDIMIENTO A - AGREGADO GRUESO: Calcúlese el índice de durabilidad del agregado grueso, aproximándolo al entero más cercano, usando la siguiente ecuación:

$$D_c = 30,3 + 20,8 \cot (0,29 + 0,15 H)$$

Donde:

$D_c$  = Índice de durabilidad



H = Altura de sedimentación, en mm, y la cantidad (0,29 + 0,15 H) en radianes.

La siguiente tabla muestra soluciones a esta ecuación.

**Tabla 14.** Soluciones a esta ecuación para el procedimiento A.

Altura de sedimentación			Altura de Sedimento			Altura de sedimentación			Altura de Sedimento			Altura de sedimentación		
Pulg	Mm	D <sub>c</sub>	Pulg	Mm	D <sub>c</sub>	Pulg	Mm	D <sub>c</sub>	Pulg	Mm	D <sub>c</sub>	Pulg	Mm	D <sub>c</sub>
0,0	0,0	100	3,0	76,2	53	6,0	152,4	39	9,0	228,6	29	12,0	304,8	18
0,1	2,5	96	3,1	78,7	52	6,1	154,9	38	9,1	231,1	29	12,1	307,0	18
0,2	5,1	93	3,2	81,3	52	6,2	157,5	38	9,2	233,7	28	12,2	309,9	18
0,3	7,6	90	3,3	83,8	51	6,3	160,0	38	9,3	236,2	28	12,3	312,4	17
0,4	10,2	87	3,4	86,4	51	6,4	162,6	37	9,4	238,8	28	12,4	315,0	17
0,5	12,7	85	3,5	88,4	50	6,5	165,1	37	9,5	241,3	27	12,5	317,5	16
0,6	15,2	82	3,6	91,4	49	6,6	167,6	37	9,6	243,8	27	12,6	320,0	16
0,7	17,8	80	3,7	94,0	49	6,7	170,2	36	9,7	246,4	27	12,7	322,6	15
0,8	20,3	78	3,8	96,5	48	6,8	172,7	36	9,8	248,9	26	12,8	325,1	15
0,9	22,9	76	3,9	99,1	48	6,9	175,3	36	9,9	251,5	26	12,9	327,7	14
1,0	25,4	74	4,0	101,6	47	7,0	177,8	35	10,0	254,0	26	13,0	330,2	14
1,1	27,9	73	4,1	104,1	47	7,1	180,3	35	10,1	256,5	25	13,1	332,7	13
1,2	30,5	71	4,2	106,7	46	7,2	182,9	35	10,2	259,1	25	13,2	335,3	13
1,3	33,0	70	4,3	109,2	46	7,3	185,4	34	10,3	261,6	25	13,3	337,8	12
1,4	35,6	68	4,4	111,8	45	7,4	188,0	34	10,4	264,2	24	13,4	340,4	12
1,5	38,1	67	4,5	114,3	45	7,5	190,5	34	10,5	266,7	24	13,5	342,9	11
1,6	40,6	66	4,6	116,8	44	7,6	193,0	33	10,6	269,2	24	13,6	345,4	11
1,7	43,2	65	4,7	119,4	44	7,7	195,6	33	10,7	271,8	23	13,7	348,0	10
1,8	45,7	63	4,8	121,9	43	7,8	198,1	33	10,8	274,3	23	13,8	350,5	9
1,9	48,3	62	4,9	124,5	43	7,9	200,7	32	10,9	276,9	23	13,9	353,1	9
2,0	50,8	61	5,0	127,0	43	8,0	203,2	32	11,0	279,4	22	14,0	355,6	8
2,1	53,4	60	5,1	129,5	42	8,1	205,7	32	11,1	281,9	22	14,1	358,1	7
2,2	55,9	59	5,2	132,1	42	8,2	208,3	31	11,2	284,5	22	14,2	360,7	7
2,3	58,9	59	5,3	134,6	41	8,3	210,8	31	11,3	287,0	21	14,3	363,2	6
2,4	61,0	58	5,4	137,2	41	8,4	213,4	31	11,4	289,6	21	14,4	365,8	5
2,5	63,5	57	5,5	139,7	40	8,5	215,9	30	11,5	292,1	20	14,5	368,3	4
2,6	66,0	56	5,6	142,2	40	8,6	218,4	30	11,6	294,6	20	14,6	370,8	4
2,7	68,0	55	5,7	144,8	40	8,7	221,0	30	11,7	297,2	20	14,7	373,4	3
2,8	71,1	54	5,8	147,3	39	8,8	223,5	29	11,8	299,7	19	14,8	375,9	2
2,9	73,7	54	5,9	149,9	39	8,9	226,1	29	11,9	302,3	19	14,9	378,5	1
												15,0	381,0	0

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 359

3. PROCEDIMIENTO B – AGREGADO FINO: Calcúlese el índice de durabilidad del agregado fino, aproximándolo al entero inmediatamente superior, usando la siguiente ecuación:

$$D_f = \frac{\text{Lectura de la arena}}{\text{Lectura de la arcilla}} \times 100$$

Si se desea calcular el índice como el promedio de varios índices, cada índice se calcula al entero superior y el promedio de ellos también se aproxima al entero superior.

#### 2.2.3.4.6 Partículas Chatas Y Alargadas En Agregados (MTC E223)

##### a) Muestra

(Manual de Ensayo de Materiales, 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 en la siguiente tabla:

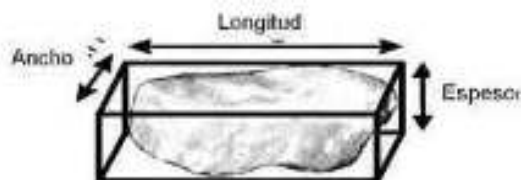
**Tabla 15.** Pesos mínimos requeridos para el ensayo dependiendo del tamaño máximo nominal

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: *Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 392*

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 las partículas, ancho: máxima dimensión en el plano perpendicular a la longitud, espesor: máxima dimensión perpendicular a lo largo y ancho.

**Figura 5.** Leyenda de partes de la muestra.



Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 391*

## b) Procedimiento

1. Si se requiere determinación por peso, secar la muestra al horno a peso constante a la temperatura de  $110 \pm 5$  °C, 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") 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") 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.

**2.2.3.4.7 Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E 210).**

**a) Muestra**

*(Manual de Ensayo de Materiales, 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.
2. Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 3, 7.5 mm y 9.5 mm (1 1/2" y 3/8") y descártese el resto.
3. El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:



**Tabla 16.** *Peso de muestra con relación al tamaño del agregado*

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: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 338*

### **b) Procedimiento**

*(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)*

1. Extiéndase la muestra en un área grande, para inspeccionar cada partícula. Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.
2. Prepare tres recipientes: sepárense con una espátula, las partículas redondeadas y las que tengan una, o más de dos caras fracturadas. Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.
3. Pénsese los dos recipientes con las partículas fracturadas y anótese este valor. Tenga en cuenta la suma del peso de los dos recipientes, cuando determine las partículas con una sola cara fracturada.

### **c) Cálculos**

*(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)*

1. Anótese en la columna A, el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños especificados.
2. En la columna B anótese el peso del material con una cara fracturada para cada tamaño.
3. La columna C representa el porcentaje de material con una cara fracturada para cada tamaño:

$$C = \frac{B}{A}$$



- Regístrese en la columna D los valores correspondientes del análisis granulométrico de la muestra original.
- Después de calcular la columna E = C x D y sumar los valores de cada Columna, el porcentaje de caras fracturadas se calcula así, expresándolo con aproximación del 1%:

$$\% \text{ de Caras Fracturadas} = \frac{\text{Suma de \% de caras fracturadas, Ponderados según gradacion Original}}{\text{Muestra de ensayo como \% del material original}} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$$

- Repítase el cálculo para los materiales con dos caras fracturadas.

#### 2.2.3.4.8 Sales solubles en agregados para Pavimentos Flexibles (MTC E 219).

##### a) Muestra

Una muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de estas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman precipitados visibles. Del agua total de lavado se toma una alícuota y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes. La cantidad de muestra y aforo debe ajustarse a lo que se indica en la tabla adjunta:

*Tabla 17. Peso de muestra según el tipo de agregado*

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 - 20 mm	1000	500
Grava 20 - 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 379*

##### b) Procedimiento

- Secar la muestra en horno a  $110 \pm 5$  ° C hasta masa constante, aproximando a 0,01 g. Registre esta masa como A. Colocar la muestra en un vaso de precipitado, agregue agua destilada hasta cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra caliente hasta ebullición.



2. Agitar durante 1 min. Repetir la agitación a intervalos regulares, hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min. Decantar mínimo 10 min hasta que el líquido se aprecie transparente y transvase el líquido sobrenadante a otro vaso. Determine en forma separada, en dos tubos de ensaye, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos. La presencia de cloruros se detecta con unas gotas de nitrato de plata, formándose un precipitado blanco de cloruro de plata y la de sulfatos con unas gotas de cloruro de bario, dando un precipitado blanco de sulfato de bario.
3. Repetir los pasos anteriores hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes. Una vez enfriados, vacíe todos los líquidos sobrenadantes acumulados, a un matraz aforado y enrase con agua destilada. En caso de tener un volumen superior, concentre mediante evaporación. Registre el aforo como B.
4. Tomar una alícuota de un volumen entre 50 y 100 ml, de la muestra previamente homogeneizada, del matraz aforado y registre su volumen como C. Cristalizar la alícuota en un horno a  $100 \pm 5$  ° C, hasta masa constante y registre la masa como D.

#### c) Cálculos

El cálculo está dado por la siguiente relación:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

#### 2.2.3.4.9 Peso específico y absorción de agregado grueso (MTC E 206).

##### a) Muestra

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (Nº 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 (Nº 4) (tales como tamaño Nº 8 y 9 considerados en la Clasificación de la ASTM D 448), usar el tamiz 2,36 mm (Nº8) en vez del tamiz 4,75 mm (Nº 4). El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado se presenta en la siguiente Tabla:



**Tabla 18.** *Peso mínimo de la muestra de ensayo*

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo 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 1/2)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 1/2)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 1/2)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 1/2)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 312*

### **b) Procedimiento**

(Manual de Ensayo de Materiales, 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 1/2") 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  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ .
2. 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 este y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que sea mayor.
3. 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 a una temperatura entre  $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ , densidad  $997 \pm 2\text{ kg/m}$ . Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge.
4. 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

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Peso Específico de Masa o Gravedad Específica Seca Bulk (Pem) (Gsb)

$$G_{sb} = P_{e_m} = \frac{A}{(B - C)}$$

Peso específico de masa saturado con superficie seca o Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk (Pesss) (Gsssb)

$$G_{sssb} = P_{e_{sss}} = \frac{B}{B - C}$$

Peso específico aparente o Gravedad Especifica Seca Aparente (Pea) (Gsa)

$$G_{sa} = P_{e_a} = \frac{A}{A - C}$$

Absorción (Ab)

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

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

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

C = Peso en el agua de la muestra saturada

#### 2.2.3.4.10 Peso específico y absorción de agregado fino (MTC E 205).

##### a) Muestra

(Manual de Ensayo de Materiales, 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 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.

3. 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**

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

1. Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  ° 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. 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  $23 \pm 2$  ° 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  $110 \pm 5$  ° C, enfriar a temperatura ambiente por  $\frac{1}{2}$  a  $1 \frac{1}{2}$  hora y determinar el peso.

#### **c) Cálculos**

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Peso Específico de Masa (Pem) (Gsb)

$$Pe_m = \frac{W_o}{V - V_a} \times 100$$





Peso específico de masa saturado con superficie seca (P<sub>esss</sub>) (G<sub>sssb</sub>)

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

Peso específico aparente (Pe<sub>a</sub>) (G<sub>sa</sub>)

$$P_{e_a} = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)} \times 100$$

Absorción (Ab)

$$Ab = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

W<sub>0</sub> = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g.

V = Volumen del frasco en cm<sup>3</sup>.

V<sub>a</sub> = Peso en gramos o volumen en cm<sup>3</sup> de agua añadida al frasco.

(Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

Gravedad Específica Seca Bulk (P<sub>em</sub>) (G<sub>sb</sub>)

$$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk (P<sub>esss</sub>) (G<sub>sssb</sub>)

$$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

Gravedad Especifica Seca Aparente (Pe<sub>a</sub>) (G<sub>sa</sub>)

$$G_{sa} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

Absorción (Ab)

$$Absorción (\%) = \frac{D - A}{A} \times 100$$

A = Peso en el aire del agregado seco al horno, gramos.

B = Peso del matraz (picnómetro) con agua, gramos.



C = Peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca, gramos.

D = Peso del material saturado superficialmente seco (500+10 gr)

#### 2.2.3.4.11 Equivalente de Arena (MTC E 114).

##### a) Muestra

Este método de ensayo se propone para indicar las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75 mm). El término “Equivalente de Arena”, expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables.

Muestrear el material a ser ensayado en concordancia con ASTM D 75 (Cuarteo). Obtener como mínimo 1500 g de material pasante el tamiz N°4 (4,75 mm) de la siguiente manera:

1. Separar la muestra en el tamiz N°4 (4,75 mm) por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado por una acción chocante, de tal manera que se mantenga a la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie del tamiz. Continuar el tamizado hasta que no más del 1 % en peso del residuo pase el tamiz durante 1 min. Cuando se está determinado, todo el tamizado mecánico, usar el método manual descrito más arriba, usando una capa simple de material sobre el tamiz.
2. Desmenuzar cualquier grumo de material en la fracción gruesa que pase el tamiz N°4 (4,75 mm). Se puede usar un mortero y un pisón cubierto de jebe o cualquier otro medio que no cause apreciable degradación del agregado.
3. Remover cualquier capa de finos adheridos a los agregados gruesos secando superficialmente el agregado grueso y refregando luego sobre un recipiente plano.
4. Añadir el material pasante del tamiz obtenido en los pasos anteriores de este ensayo para separar la porción fina de la muestra.

##### b) Preparación de la Muestra

1. Verter el material para evitar la segregación o pérdida de finos durante las operaciones de cuarteo. Tener cuidado al añadir humedad a la muestra para mantener una condición libre de flujo de material.
2. Usando el recipiente de medida, tomar cuatro de estas medidas de la muestra. Cada vez que una medida llena del material es recogida de la muestra, golpee el extremo inferior de



la medida sobre una superficie dura cuatro veces y sacúdala ligeramente para producir una medida de material consolidado a nivel o ligeramente redondeado sobre el extremo.

3. Determinar y registrar la cantidad de material contenido en esas cuatro medidas por peso o por volumen en un cilindro plástico seco. Retornar el material a la muestra y proceder a cuartear la muestra y haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso o volumen predeterminado. Cuando este peso o volumen son obtenidos, dos operaciones adicionales sucesivas de cuarteo sin ajuste, deberán proporcionar la cantidad apropiada de material para rellenar la medida, y proporcionar por lo tanto un espécimen de ensayo.
4. Secar el espécimen de ensayo a peso constante a  $110 \pm 5$  °C y enfriar a la temperatura del cuarto antes de ensayar.

### c) Procedimiento

(Maldonado, 2015)

1. Agregar en la probeta solución de trabajo hasta la marca de 10 cm o 4" colocar dentro de la probeta el contenido en una de las cápsulas procurando que la solución impregne el suelo dándole unos golpes en la parte inferior de la probeta y dejar en reposo durante 10 min. para que se homogenice la muestra, pasando ese tiempo se lleva al agitador y se coloca en él durante 45 segundos, y en caso de que no se cuente con este elemento se hará manualmente agiténdola en forma horizontal de tal modo que se cumpla 90 cm.
2. Se retira del agitador y se coloca debajo del gabinete para agregarle solución de trabajo hasta la marca final (38 cm o 15"). Adicionalmente se debe darse un picado con la varilla por la que fluye la solución para que tiendan a subir las partículas finas y no queden atrapadas debajo de la arena, después de esto se va subiendo lentamente el tubo regador y se irá lavando las paredes de la probeta bajándose nuevamente el tubo provocándole a la muestra una turbulencia con el mismo cuando se llega a la marca final se cierra la manguera del irrigador y esta solución se deja en reposo durante 20 min.
3. Después de este tiempo se lee directamente en la probeta la altura a la que se encuentra los finos a este valor le llamaremos "Lectura de arcilla".
4. Después de esto y ayudados con el pisón introducirlo lentamente para evitar turbulencias cuando ya no baje más se le dará un pequeño giro sin aplicar presiones y ayudados con la marca del pisón tomaremos la altura a la que se encuentra la arena a esto le llamaremos lectura aparente de arena y para conocer la lectura real le restaremos 25.4 cm o 10".

#### d) Cálculos

Calcular el equivalente de arena al más cercano 0,1 % como sigue:

$$SE = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100$$

Donde:

SE = Arena equivalente

Si el equivalente de arena calculado no es un número entero, reportarlo como el siguiente número entero más alto.

#### 2.2.3.4.12 Angularidad del agregado fino (MTC E 222).

##### a) Muestra

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

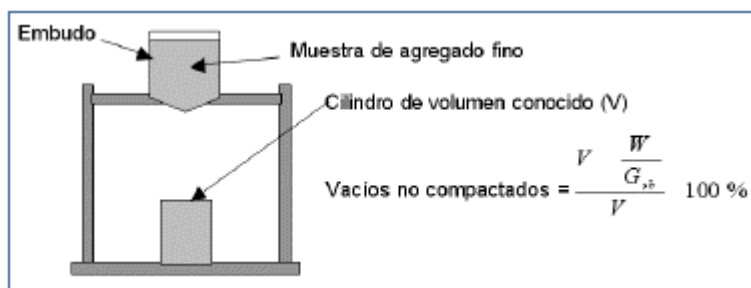
La muestra será de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica. Se separa material que pase el tamiz 2,36 mm (No. 8) y sea retenido en el tamiz 75 mm (No.200).

##### b) Procedimiento

(Manual de Ensayo de Materiales, 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 6.** Aparato para medir la Angularidad del agregado fino.

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 389*

##### c) Cálculos

(Manual de Ensayo de Materiales, 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:

$$\text{Angularidad del Agregado Grueso} = \frac{V - \frac{W}{G_{sb}}}{V} \times 100$$

#### 2.2.3.4.13 Azul de metileno (AASHTO TP 57).

##### a) Muestra

(Instituto Mexicano del Transporte, 2019)

El ensayo de azul de metileno tiene como objetivo caracterizar de manera global la fracción arcillosa de un suelo o agregado mineral.

El agregado fino se muestrea de acuerdo con la práctica MTC E101, la muestra de agregado se mezcla bien y luego se cuartea, aplicando los procedimientos de la práctica MTC E 103. Se obtiene por lo menos 05 g de material que pasa el tamiz de 0.075 mm (N° 200).

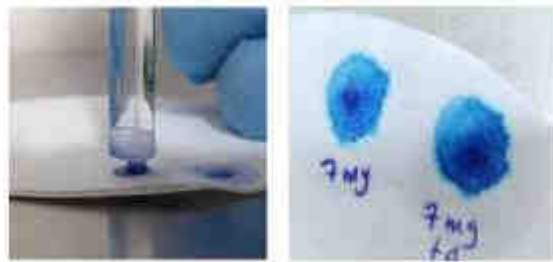
##### b) Procedimiento

(Instituto Mexicano del Transporte, 2019)

1. Preparar la solución de Azul de Metileno llenar la bureta con la solución de azul de metileno y aforarla. Revisar que no exista aire en la salida de la bureta, fijar la bureta en posición vertical haciendo uso del soporte universal y ajustarla a la altura requerida sobre el vaso de precipitado de 100 ml.
2. Colocar  $1.0 \pm 0.05$  g de la muestra seca en un vaso de precipitado 100 ml y añadir  $30 \pm 0.1$  g de agua destilada en el vaso de precipitado e iniciar la agitación hasta que la arcilla se disperse uniformemente (aproximadamente 5 minutos). La velocidad deberá ser tal que se genere un buen mezclado, pero evitando salpicaduras de muestra.
3. Añadir 0.50 ml de la solución Azul de Metileno a la suspensión y agitar por 1 min. Sin detener la agitación, retirar una gota de la suspensión con la punta de la varilla de vidrio y colocar en el papel de filtro. Observar el aspecto de la gota sobre el papel de filtro.
4. Si la formación de un halo color azul claro alrededor de la gota no se observa, continuar agregando la solución de Azul de Metileno a la suspensión en incrementos de 0.50 ml con 1 min de agitación, y retirando una gota de la suspensión por cada incremento. La prueba terminará cuando se observe el halo azul alrededor de la gota.



*Figura 7. Representación del halo azul.*



*Fuente: Manual de Ensayos para Laboratorio: Agregados (AG) para mezclas asfálticas, 2019 Pág. 40*

### c) Cálculos

El valor de azul de metileno (MBV) es equivalente a la cantidad de mililitros de solución de azul de metileno utilizados hasta su saturación (aparición del halo), y se reporta en miligramos de azul de metileno por gramo del material evaluado.

$$MBV = \frac{C_{sol}}{C_{filler}}$$

MBV [mg/g] = Valor de azul de metileno, con aproximación de 0.1 mg/g.

Csol [mg] = Cantidad de azul de metileno necesario para alcanzar el punto final del ensayo.

Cfiller [g] = Cantidad de material contenido en la suspensión.

### 2.2.3.14 Límites de Consistencia (MTC E 110)

#### a) Muestra

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Se obtiene una porción representativa de 150 a 200 g de material pasante del tamiz (N° 40). Las muestras que fluyen libremente se reducen por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente con una espátula, y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.

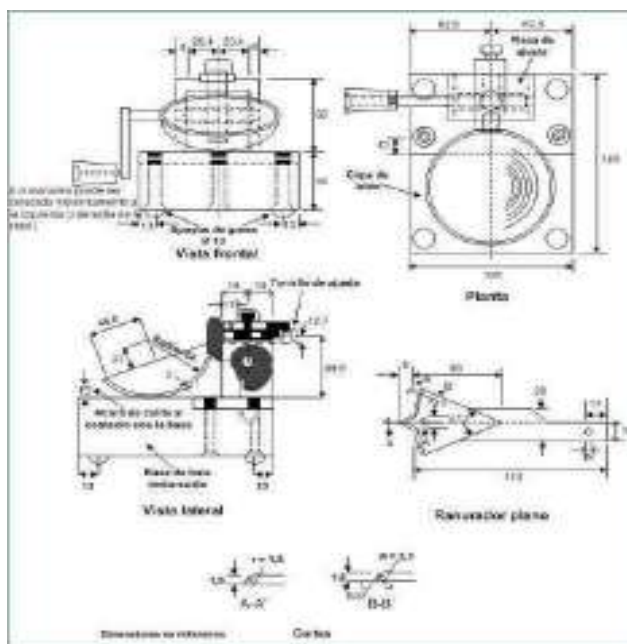
#### b) Procedimiento

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

1. Colocar una porción del suelo preparado en el punto donde la copa descansa sobre la base, presionándola, esparciéndola en la copa hasta una profundidad de 10 mm en su punto más

profundo, formando una superficie 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 y cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra, como principal fuente tendremos a MTC E110.

**Figura 8.** Aparato manual para límite líquido (Cuchara de Casagrande).



Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales*, 2016 Pág. 68.

**Figura 9.** Muestras del material a ensayar (antes y después).



Fuente: *Manual de Ensayo de Materiales*, 2016 Pág. 68

- 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.

3. 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"). Se recomienda el uso de una regla graduada para verificar que la ranura se cerró en 13 mm (1/2").
4. 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 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.
5. 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.
6. Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar, secar la copa y el acanalador y fijar la copa de nuevo a su soporte para la siguiente prueba.
7. 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 del 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.





8. Determinar el contenido de humedad ( $W$ ) 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.

**c) Cálculos**

(Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

1. Representar la relación entre el contenido de humedad ( $W^n$ ) y el número de golpes correspondientes ( $N$ ) de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.
2. Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.

### **2.2.3.5 Ensayos para evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente**

#### **2.2.3.5.1 Parámetros volumétricos de mezclas compactadas**

Un factor importante a considerar en el comportamiento de mezclas asfálticas son las relaciones volumétricas entre el ligante asfáltico y los agregados. Las propiedades volumétricas más importantes de una mezcla compactada de pavimento son: Vacíos de aire ( $V_a$ ), Vacíos en el Agregado Mineral (VMA), Vacíos llenos con Asfalto (VFA), y contenido de Asfalto Efectivo ( $P_{be}$ ), ya que proporcionan un índice del probable comportamiento de la mezcla durante su vida de servicio. (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

Es necesario entender las definiciones y procedimientos analíticos de la evaluación de las relaciones peso-volumen, para seleccionar la mezcla adecuada, por ello definiremos las siguientes relaciones peso-volumen para un mejor entendimiento de la investigación.

**a) Gravedad Específica Bulk de la combinación de agregados ( $G$  o  $G_{sb}$ )**

Cuando el agregado total consiste de fracciones separadas de agregados grueso, fino y filler, todos tienen diferentes gravedades específicas, la gravedad específica bulk de la combinación de agregados se calcula usando:



$$G \text{ o } G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

G: Gravedad específica promedio

G1, G2,..., Gn: Valores de gravedad específica por fracción 1, 2,..., n

P1, P2,..., Gn: Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2,..., n (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

### b) Gravedad Específica Teórica Máxima Rice (Gmm)

La gravedad específica Rice en las mezclas asfálticas en caliente (Gmm) se calculan de acuerdo a la norma AASHTO T209, su valor se emplea en el cálculo de los vacíos. 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. (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

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:

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

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

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

Donde

G<sub>sb</sub>: Gravedad Específica Bulk

G<sub>sa</sub>: Gravedad Específica Aparente



### c) Gravedad Específica Bulk De Mezclas Compactadas ( $G_{mb}$ )

Según (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006) se debe determinar la gravedad específica bulk de cada espécimen tan pronto como las probetas compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, según la norma 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:

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

Donde:

$G_{mb}$ : Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada

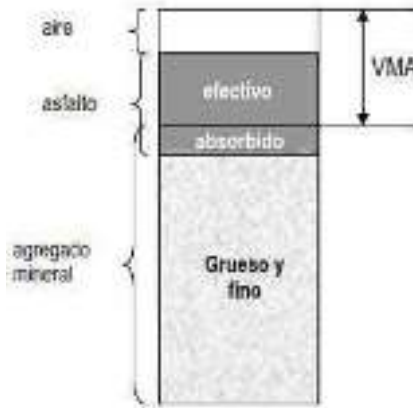
$W_D$ : Peso del espécimen al aire

$W_{SSD}$ : Peso del espécimen en su condición SSD en el aire

$W_{sub}$ : Peso del espécimen sumergido.

### d) Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Según (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 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 10.** Vacíos en el Agregado Mineral, VMA.

Fuente: (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

Donde:

VMA: Vacíos en el Agregado Mineral.

Gmb: Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

Gsb: Gravedad Especifica Bulk de la combinación de agregados.

Ps: Porcentaje de agregado en la mezcla.

#### e) **Porcentaje de Vacíos de aire en mezclas compactadas (Va)**

Los Vacíos de aire, Va, 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: (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)

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

Donde:

Va: Porcentaje de Vacíos de aire en mezclas compactadas.

Gmm: Gravedad Especifica Teórica Máxima de la mezcla.

Gmb: Gravedad Especifica Bulk de la mezcla.

#### 2.2.3.5.2 **Ensayo De Estabilidad Y Flujo Marshall**

Según el Manual de Ensayo de Materiales (2016)

##### a) **Muestra**

Preparación de especímenes mezclados y compactados en laboratorio



### **b) Procedimiento**

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. 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.
4. Mantener el baño u horno a  $60 \pm 1^\circ \text{C}$  para cemento asfáltico.
5. Limpiar 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  $40^\circ \text{C}$ . Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.
6. Remover un espécimen del agua, horno o 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 fluxómetro 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.
7. 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 fluxómetro 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 concluir el ensayo y registrar los datos.

*Figura 11. Máquina de Estabilidad Marshall con anillo de carga.*



*Fuente: (Minaya Gonzales & Ordoñez Huaman, 2006)*

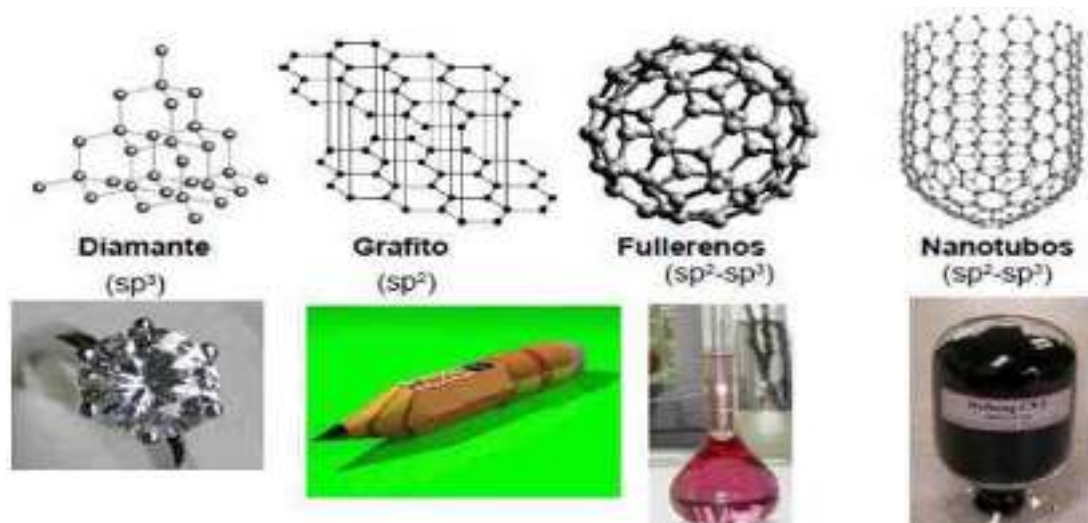
## **2.2.4 Nanotubos de Carbono.**

### **2.2.4.1 Definición**

Los Nanotubos de Carbono (del inglés Carbon Nanotube o CNT) son alótropos de este mismo elemento con una nano estructura cilíndrica, la Alotropía es la propiedad que poseen algunos elementos químicos de presentarse bajo estructuras químicas diferentes, citando el ejemplo del carbono algunos alótropos del mismo son grafito, diamante, grafeno y fullerenos. (Pretil, Tafur, Cruz Osco, Hurtado, Espinoza, 2015).



*Figura 12. Formas alotrópicas del carbono.*



Fuente: (Pretil, et al., 2015)

La estructura de los Nanotubos de Carbono procede de una lámina de grafeno enrollada sobre sí misma, dependiendo del grado de enrollamiento, y forma de la lámina pueden dar lugar a nanotubos de distinto diámetro y geometría interna, que confiere a estos materiales propiedades eléctricas, mecánicas y térmicas que los hacen muy valiosos para distintas aplicaciones tecnológicas. (Vicente Pérez, y otros, 2016).

Según Corimayta (2010) estos fueron descubiertos en 1991 por Sumio Iijima, cuando este estaba efectuando investigaciones sobre los buckyballs (pelotas de Bucky), que son; a su vez esferas de carbón puro descubiertas por Harry Kroto, Bob Curl y Rick Smalley (Premios Nobel), en 1985.

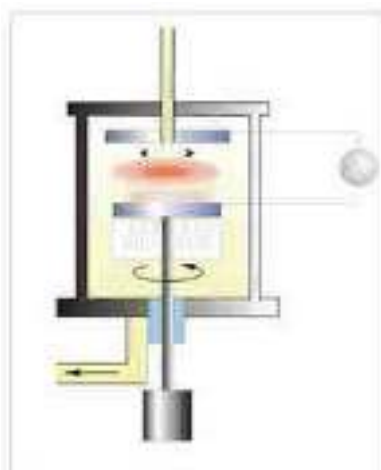
#### 2.2.4.2 Formas de obtención.

##### a. El arco de descarga.

Primera que se usó en la obtención de nanotubos, realizadas en una cámara de arco de descarga, en el interior se colocan dos barras de grafito y se aplica corriente; una de las barras es el ánodo y otra, cátodo. Se acerca las barras y se aplica corriente produciendo una chispa entre las barras que hace que la punta de la barra se vaporice y ese gas de carbono forma los nanotubos. El hollín negro cubre toda la cámara, el ánodo se consumió y el cátodo también tiene un polvo negro en donde se encuentran los nanotubos.

Este tipo de nanotubos tienen de 20 a 30 paredes (aunque insertando un metal en el ánodo se obtienen nanotubos de una sola pared) los cuales son perfectos, sin defectos en sus paredes, el problema es que se producen nanotubos y otras nano-formas difícil de separarlas, y es difícil producir grandes cantidades. (Alex, Nanotubos de Carbono, 2010)

*Figura 13. Esquema de una cámara de arco de Descarga.*



*Fuente: (Corimayta, 2010), pág. 11.*

#### **b. Deposición Química de Vapor.**

Más conocida como CVD (Chemical Vapor Deposition) por sus siglas en inglés. En este caso el material de inicio no es grafito, sino un gas hecho a base de Carbono (un hidrocarburo), también se necesita un metal que forma diminutas partículas que actúan como catalizador, que son como semillas para el crecimiento de nanotubos. (Corimayta, 2010).

*Figura 14. Partícula metálica catalizadora que forma nanotubo*



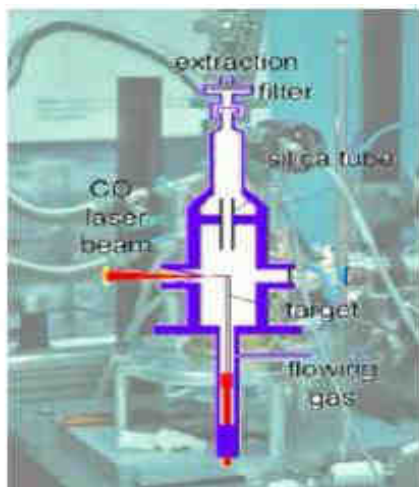
*Fuente: (Corimayta, 2010), pág. 11.*



### c. El láser.

Esta técnica consiste en usar un láser para vaporizar una pieza de grafito en átomos de Carbono. Normalmente el láser produce nanotubos de una sola pared. (Corimayta, 2010).

*Figura 15. Esquema del láser en obtención de Nanotubos.*



*Fuente: (Corimayta, 2010), pág. 12.*

#### 2.2.4.3 Propiedades.

Según Corimayta (2010) el estudio de los Nanotubos de Carbono es un tema apasionante tanto como sus múltiples aplicaciones y posibilidades, como por su complejidad porque tiene variedad de propiedades electrónicas, térmicas y estructurales según el diámetro, la longitud, la forma de enrollar, etc. A continuación se mencionan las siguientes propiedades:

##### a) Propiedades electrónicas.

Los nanotubos se caracterizan por su gran complejidad electrónica, ya que estos pueden comportarse como semiconductores o superconductores, esta propiedad está definida su grado de enrollamiento, su diámetro o el número de capas que la componen. También es importante resaltar a los nanotubos en el papel de superconductores que podrían ser utilizados para el estudio de efectos cuánticos, y también en la búsqueda de aplicaciones prácticas en la informática cuántica molecular. Por otra parte, son capaces de transportar corriente eléctrica en cantidades aproximadas de mil millones de A/cm<sup>2</sup>. (Amperes por centímetro cuadrado).



### **b) Propiedades térmicas.**

Los nanotubos tienen una conductividad térmica de 6000 W/mK (W = Vatios, mK = milikelvin). Además son estables térmicamente, ya que son estables a temperaturas cercanas a los 2800 °C en el vacío, y de 750 °C en el aire. Las propiedades de los nanotubos podría modificarse encapsulando metales en su interior e incluso gases. Siendo así, serían unos grandes almacenadores de Hidrógeno, solucionando el principal problema del desarrollo de las pilas de combustible. (Corimayta, 2010).

Es necesario recalcar que una de sus propiedades de los Nanotubos de Carbono, es la estabilidad térmica porque soporta grandes temperaturas y es estable hasta 750 °C, por lo tanto no se diluye, no pierde su estructura y llega a mezclarse bien logrando adhesividad.

### **c) Propiedades mecánicas**

(Corimayta, 2010) Explica en su investigación que los nanotubos son 10 veces más resistentes que el acero, y 6 veces más ligeros, según diversos estudios han tratado de medir las propiedades mecánicas y la tensión máxima soportada por un nanotubo, con resultados que muestran que la tensión máxima podría rondar los 150 GPa.

Este dato implica que un cable de 1 cm<sup>2</sup> de grosor formado por nanotubos podría aguantar un peso de unas 1.500 toneladas. Por comparación, un cable equivalente del mejor acero conocido puede soportar 20 toneladas, ya que, aunque se rompiese un nanotubo, como se comportan como unidades independientes, la fractura no se propagaría a los otros colindantes. Es por ello que los nanotubos al ser altamente resistente a cargas y tensiones extremas, podría ser un modificador que ayude a mejorar las propiedades físicas mecánicas en una mezcla asfáltica, en mezclas cementantes de concreto y otros materiales estructurales.

### **d) Propiedades Semiconductoras**

Varios investigadores han construido con éxito dispositivos electrónicos operativos (Nano circuitos) a partir de Nanotubos de Carbono. Se utilizan nanotubos como semiconductores sencillos entre dos electrodos metálicos para crear un canal por donde circulan los electrones. La corriente que fluye a través del mismo puede activarse o desactivarse aplicando voltaje a un tercer electrodo inmediato. Los dispositivos basados en nanotubos funcionan a temperatura ambiente con características eléctricas notablemente similares a los dispositivos comerciales



de Silicio, sin embargo, los nanotubos conmutarían sin error y consumiendo mucha menos energía que un dispositivo de Silicio. (Fernando., 2016)

#### e) **Propiedades Elásticas**

Por su geometría, los nanotubos son flexibles a deformaciones perpendiculares al eje. La curvatura causa aumento de la energía. Las características mecánicas de los nanotubos son superiores a las fibras de Carbono; resistencia a deformaciones parciales, flexibilidad, etc. Las cuales las hacen idóneas para muchas aplicaciones posibles. (Fernando., 2016)

#### 2.2.4.4 Aplicaciones de Nanotubos de Carbono

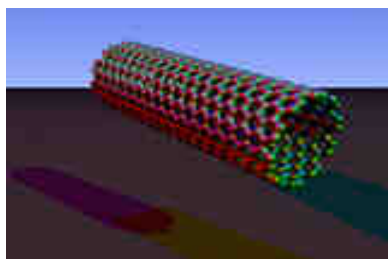
- **Sensores supersensibles.-** Los nanotubos semiconductores cambian de resistencia de un modo drástico cuando se exponen a álcalis, halógenos y otros gases a temperatura ambiente. De ahí su uso para lograr mejores sensores químicos, más efectivos y económicos.
- **Almacenamiento de hidrógeno e iones.-** Los nanotubos almacenan Hidrógeno en su interior hueco y lo liberan de a pocos en pilas de combustible baratas y eficientes. Albergan también iones de Litio, que podrían llevarnos a pilas de mayor duración y menor costo.
- **Materiales de máxima resistencia.-** Incrustados en un material compuesto, los nanotubos disfrutan de enorme elasticidad y resistencia a la tracción. Podrían emplearse en coches que reboten en un accidente o edificios que oscilen en caso de terremoto en lugar de agrietarse.

#### 2.2.4.5 Tipos de Nanotubos de Carbono.

##### a) **De pared simple (SWNT).**

La estructura de un SWNT se puede conceptualizar como el envolvimiento de una sola capa de grafito, llamado grafeno, en un cilindro transparente con un diámetro de cerca de 1 nanómetro (nm). Los nanotubos de capa única se observaron por primera vez en 1993. (M.S. Dresselhaus, 2001).

*Figura 16. Gráfico de la Estructura de un nanotubo de carbono de pared simple.*

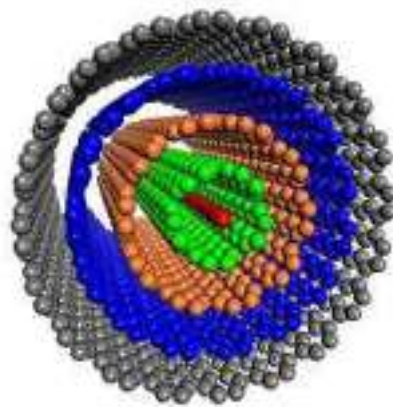


Fuente: (M.S. Dresselhaus, 2001), Pág. 20.

### b) De pared múltiple (MWNT).

Los nanotubos de pared múltiple (MWNT) constan de varias capas laminadas (tubos concéntricos) de grafeno. Hay dos modelos para describir las estructuras de nanotubos de paredes múltiples: el modelo de la muñeca rusa, las láminas de grafito están dispuestas en cilindros concéntricos, es el que más abunda, y el modelo de pergamino, una sola hoja de grafito se enrolla en torno a sí mismo, se asemeja a un rollo de pergamino o a un periódico enrollado. Los nanotubos de pared múltiple están constituidos por 2-50 capas cilíndricas de grafeno, tienen un diámetro interior de 2-10 nm, un diámetro exterior de 15-30 nm y la distancia entre las capas, 0.34 nm. (M.S. Dresselhaus, 2001).

*Figura 17. Gráfico de la Estructura de un nanotubo de carbono de pared múltiple- modelo muñeca rusa.*



Fuente: (M.S. Dresselhaus, 2001), Pág. 21.

### c) Torus.

O nanotorus es un nanotubo con forma de donut tienen muchas propiedades únicas, tales como momento magnético, estabilidad térmica, etc. varían ampliamente dependiendo del radio del toroide y del radio del tubo. (Liu, Guo, Jayanthi, & Wu, 2002)

## 2.3 Hipótesis

### 2.3.1 Hipótesis general.

Las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) generan un incremento del valor de Estabilidad Marshall y disminuyen los valores de Flujo y Porcentaje de Vacíos, con respecto a una mezcla óptima asfáltica convencional utilizando el diseño Marshall.



### 2.3.2 Sub hipótesis.

**Sub hipótesis 01:** El porcentaje óptimo de NTC (Nanotubos de Carbono), es al 2% del peso del contenido óptimo de cemento asfáltico.

**Sub hipótesis 02:** Los valores de Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) serán como mínimo de 1350 Kg, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.

**Sub hipótesis 03:** Los valores de Flujo de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) variarán al disminuir su valor, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.

**Sub hipótesis 04:** Los porcentajes de Vacíos de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) variarán al disminuir su valor, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.

## 2.4 Definición de Variables

### 2.4.1 Variables Independientes.

- Mezcla asfáltica convencional.
- Nanotubos de Carbono

Indicadores de Variables Independientes:

- Mezcla asfáltica convencional.
  - ✓ Estabilidad Marshall (Kg).
  - ✓ Flujo Marshall (mm).
  - ✓ Porcentaje de Vacíos (%)
- Nanotubos de Carbono
  - ✓ Densidad (gr/cm<sup>3</sup>).

### 2.4.2 Variables dependientes.

- Mezcla asfáltica modificada con NTC (Nanotubos de Carbono).

Indicador de Variables Dependientes:

- ✓ Estabilidad Marshall (Kg).
- ✓ Flujo Marshall (mm).
- ✓ Porcentajes de Vacíos (%)



2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables.

Tabla 19. Tabla de operacionalización de variables.

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
Variable	Definición	Indicadores	Unidades	Instrumentos
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>				
Mezcla asfáltica convencional	Diseño de mezcla asfáltica realizada con agregados pétreos y ligante asfáltico convencional.	Estabilidad Marshall	Kg	Fichas de Laboratorio
		Flujo Marshall	Milímetros (mm)	
		Porcentajes de Vacíos	Porcentaje (%)	Instrumentos de ingeniería para diseño de mezcla
Nanotubos de Carbono	Nano estructura de Carbono utilizada como aditivo por sus propiedades altamente resistentes a cargas y tensiones extremas	Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	Ficha Técnica del proveedor
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>				
Mezcla asfáltica modificada con NTC (Nanotubos de Carbono)	Diseño de mezcla asfáltica modificada con NTC realizada con agregados pétreos y ligante asfáltico convencional	Estabilidad Marshall	Kg	Fichas de Laboratorio
		Flujo Marshall	Milímetros (mm)	
		Porcentajes de Vacíos	Porcentaje (%)	Instrumentos de ingeniería para diseño de mezcla

Fuente: Elaboración Propia



## Capítulo III: Metodología

### 3.1 Metodología de la investigación

#### 3.1.1 Enfoque de investigación.

La presente investigación es de Enfoque Cuantitativo, tal como (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2010) lo define pues usamos la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías, de las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables, se determina un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis.

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

##### Nivel Descriptivo

Según (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2010) los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables más no indicar cómo se relacionan estas.

##### Nivel Descriptivo Correlacional

Según (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2010) este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. Los estudios correlacionales, al evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas (presuntamente relacionadas) y, después, cuantifican y analizan la vinculación. Tales correlaciones se sustentan en hipótesis sometidas a prueba.

El nivel de investigación del presente trabajo es Descriptivo – Correlacional, debido a que se pretende medir y recoger información de manera conjunta sobre las variables, con el fin de indicar como se relacionan.

Esta investigación tiene como finalidad el diseño de una mezcla asfáltica de acuerdo a la normativa peruana Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) mediante el método Marshall, donde debe cumplir requisitos del



agregado pétreo, y uso de un cemento asfáltico convencional, los Nanotubos de Carbono modifican a la mezcla asfáltica, y no directamente al cemento asfáltico como los antecedentes, debido a que en nuestra normativa los Nanotubos de Carbono son Alótopos, y la única norma estipulada para modificaciones del cemento asfáltico son para polímeros y cauchos, entonces al no ser objeto de investigación el cemento asfáltico es ajeno a la Sección 4.3.1. Cementos Asfálticos Modificados.

Haciendo énfasis en el uso de este material como agente modificador de la mezcla asfáltica y no del cemento asfáltico, de esta manera el objetivo de la investigación es conocer la variación de las propiedades físico – mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente modificada con Nanotubos de Carbono con respecto a una mezcla asfáltica en caliente convencional.

### **3.1.3 Método de investigación.**

(Behar Rivero, 2008) Indica que en el método Hipotético-Deductivo (o de contrastación de hipótesis) se trata de establecer la verdad o falsedad de las hipótesis (que no podemos comprobar directamente, por su carácter de enunciados generales, o sea leyes, que incluyen términos teóricos), a partir de la verdad o falsedad de las consecuencias observacionales, unos enunciados que se refieren a objetos y propiedades observables, que se obtienen deduciéndolos de las hipótesis y, cuya verdad o falsedad estamos en condiciones de establecer directamente.

## **3.2 Diseño de la Investigación.**

### **3.2.1 Diseño metodológico.**

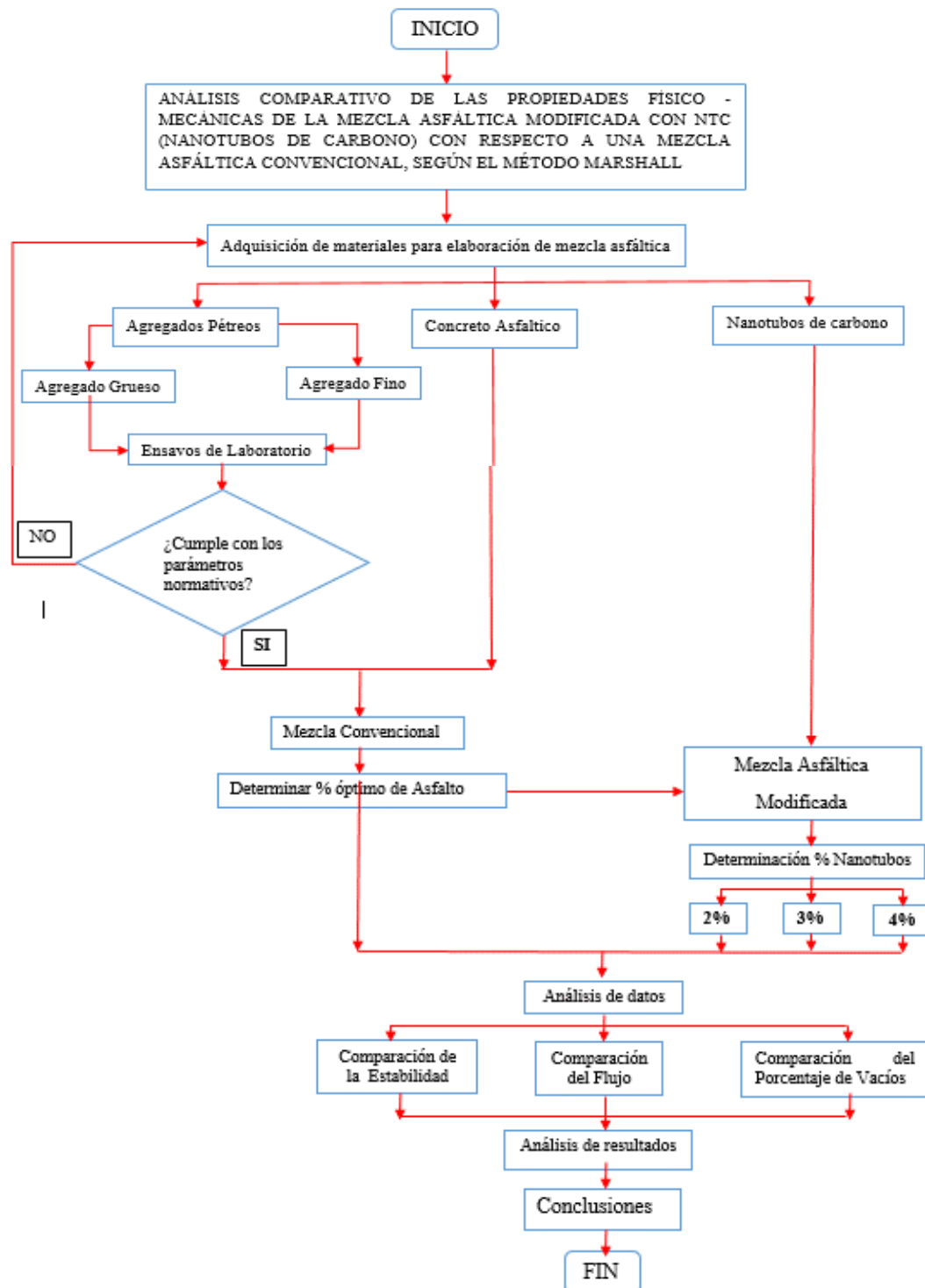
La presente investigación es de Diseño Experimental también conocida como “experimental auténtica”, Rodríguez Gómez y Vallderiola Roquet (2014) mencionan que dicho diseño, se caracterizan, básicamente, por la manipulación intencional de unas o más variables independientes, para observar/medir su influencia en una o más variables dependientes, y por la asignación aleatoria de los sujetos. Es decir, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente).





### 3.2.2 Diseño de ingeniería.

Figura 18. Esquema de 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 como 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, convencional (sin aditivos) y modificadas con adición de Nanotubos de Carbono en porcentajes de 2%, 3% y 4%.

##### **3.3.1.2 Cuantificación de la población.**

Para propósitos de diseño de mezcla los resultados de los ensayos de Estabilidad Marshall y Flujo deberán consistir del promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0,5% sobre un rango de contenido de ligante.

Se considera a la población igual a la muestra por lo que la población consta de 60 especímenes asfálticos: para un diseño de cinco (05) contenidos de asfalto necesitara 25 probetas para la mezcla asfáltica convencional (05 para cada porcentaje de contenido de asfalto), 05 probetas para la mezcla con contenido óptimo de asfalto y 30 probetas para la mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono.

#### **3.3.2 Muestra.**

##### **3.3.2.1 Descripción de la muestra.**

Según *Monje Álvarez (2011)* indica que 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, representados por, especímenes convencionales y especímenes modificados con Nanotubos de Carbono, siendo estos especímenes con propuestas de contenido de asfalto diferentes; con contenido óptimo de asfalto y con adición de Nanotubos de Carbono. Los especímenes serán elaborados con agregado grueso (Grava chancada) y agregado fino (Arena chancada) proveniente de la cantera Morro Blanco, del sector de San Salvador y agregado fino (Arena zarandeada) proveniente de la cantera de Cunyac del Puente Cunyac en Apurímac, además de cemento asfáltico PEN 85/100 (PER PLAN COPESCO) y Nanotubos de Carbono marca XFNANO.

Además de ello la muestra de la investigación tendrá las siguientes características físicas probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y  $63.5 \pm 1.3$  mm (2 ½") de altura con superficies planas, creados a partir de un diseño de mezcla asfáltica especificado.

### **3.3.2.2 Cuantificación de la muestra.**

Se tiene como muestra 60 probetas, en la cuantificación de la muestra se considera 25 (05 especímenes para cada uno) especímenes asfálticos convencionales sin modificador con los que se determinara el contenido óptimo de Asfalto (de 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5%), 05 especímenes asfálticos con contenido óptimo de Asfalto (6.3%) y sin modificador, 30 especímenes asfálticos modificados con Nanotubos de Carbono, 10 especímenes en proporción de 2% respecto al peso total del contenido óptimo de Asfalto; 10 especímenes en proporción de 3% respecto al peso total del contenido óptimo de Asfalto y 10 especímenes en proporción de 4% respecto al peso total del contenido óptimo de Asfalto a los cuales se les determinara sus parámetros físico – mecánicos de Estabilidad Marshall, Flujo y porcentaje de Vacíos. La comparación será entre los especímenes convencionales con contenido óptimo de Asfalto y los modificados con Nanotubo de Carbono.



**Tabla 20.** Cantidad de muestras de mezclas asfálticas a realizar

CANTIDAD DE MUESTRAS A REALIZAR DE MEZCLAS ASFALTICAS					
	ENSAYO	DESCRIPCION	% DE ASFALTO	N° DE MUESTRAS	TOTAL
MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	PROPIEDADES FISICO - MECANICAS	Especímenes usados para determinar el Contenido Óptimo de Asfalto	5.5%	5	30
			6.0%	5	
			6.5%	5	
			7.0%	5	
			7.5%	5	
	PROPIEDADES FISICO - MECANICAS	Especímenes con Contenido Óptimo de Asfalto	6.3%	5	
MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	PROPIEDADES FISICO - MECANICAS	Especímenes con Contenido Óptimo de Asfalto modificados con Nanotubos de Carbono	2.0%	10	30
			3.0%	10	
			4.0%	10	
				TOTAL	60

*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 causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico, ni con 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. (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2010)

Por lo expuesto anteriormente el método de muestreo usado en la presente investigación es el No Probabilístico, porque no se efectuaran mediante normas probabilísticas de selección; así, en sus procesos intervendrán opiniones y criterios de los investigadores, la selección de las muestras de especímenes asfálticos se dio al tomar como referencia las normas del MTC, AASHTO y ASTM.

### 3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra.

Para la evaluación de la muestra se tomó en cuenta los siguientes criterios:



- El diseño de mezclas asfálticas correspondiente a la mezcla asfáltica convencional y el diseño de mezclas asfálticas modificado con adición de Nanotubos de Carbono será elaborado por vía seca, se evaluarán mediante el **método Marshall** descrito en la norma de **Ensayo MTC E 504**.
- Todos los cuerpos de prueba utilizados para el diseño de mezclas deberán realizarse de manera controlada, cumpliendo todos los estándares establecidos en norma con la finalidad de tener consistencia y repetitividad en los resultados de los ensayos.
- Para el diseño de mezclas asfáltico en caliente convencional, formada por agregado fino, agregado grueso y cemento asfáltico, posteriormente nuestros especímenes deben tener una geometría cilíndrica con las siguientes dimensiones, 10 cm (4" aprox.) de diámetro y 6 cm aproximadamente de altura (2 ½") y una textura lisa.
- Para el diseño de mezclas asfáltico en caliente modificado con nanotubos, formada por agregado fino, agregado grueso y cemento asfáltico, además debe ser adicionada con Nanotubos de Carbono (NTC) en los porcentajes de 2%, 3% y 5%. Posteriormente nuestros especímenes deben tener una geometría cilíndrica con las siguientes dimensiones, 10 cm (4" aprox.) de diámetro y 6 cm aproximadamente de altura (2 ½") y una textura lisa.
- Para la evaluación de las propiedades físico –mecánicas (Estabilidad Marshall, Flujo y Porcentaje de Vacíos) de las briquetas, el contenido de cemento asfáltico con el que se fabrican los cuerpos de prueba será el óptimo determinado en el diseño Marshall, tanto para la mezcla asfáltica convencional como para la mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono (NTC).
- Homogeneidad del espécimen.
- Caras superior e inferior totalmente horizontales, sin protuberancias o espacios vacíos.
- Cara lateral del testigo cilíndrico totalmente llano y textura lisa.

### 3.3.3 Criterios de inclusión.

- Los agregados así como el cemento asfáltico (PEN 85/100) utilizados son obtenidos de la Planta de Asfalto del PER PLAN COPESCO de los cuales el agregado grueso (Grava chancada) y agregado fino (Arena chancada) provienen de la cantera Morro Blanco, del sector de San Salvador y el agregado fino (Arena Zarandeada) proviene de la cantera de Cunyac del Puente Cunyac en Apurímac.
- El aditivo a utilizar es el Nanotubo de Carbono (NTC) de la marca XFNANO.



- El diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional es: 35% de grava triturada, 35% de arena natural y 30% de arena chancada; además de 6.3% de cemento asfáltico.
- Para el caso de la mezcla asfáltica en caliente modificada con Nanotubos de Carbono (NTC) adicionaremos en un 2.0%, 3.0% y 4.0% del peso del cemento asfáltico.
- Los especímenes son elaborados en el laboratorio de geotecnia, suelos, pavimentos y concretos: “HRUIZ – GEOPAV”.

### 3.4 Instrumentos

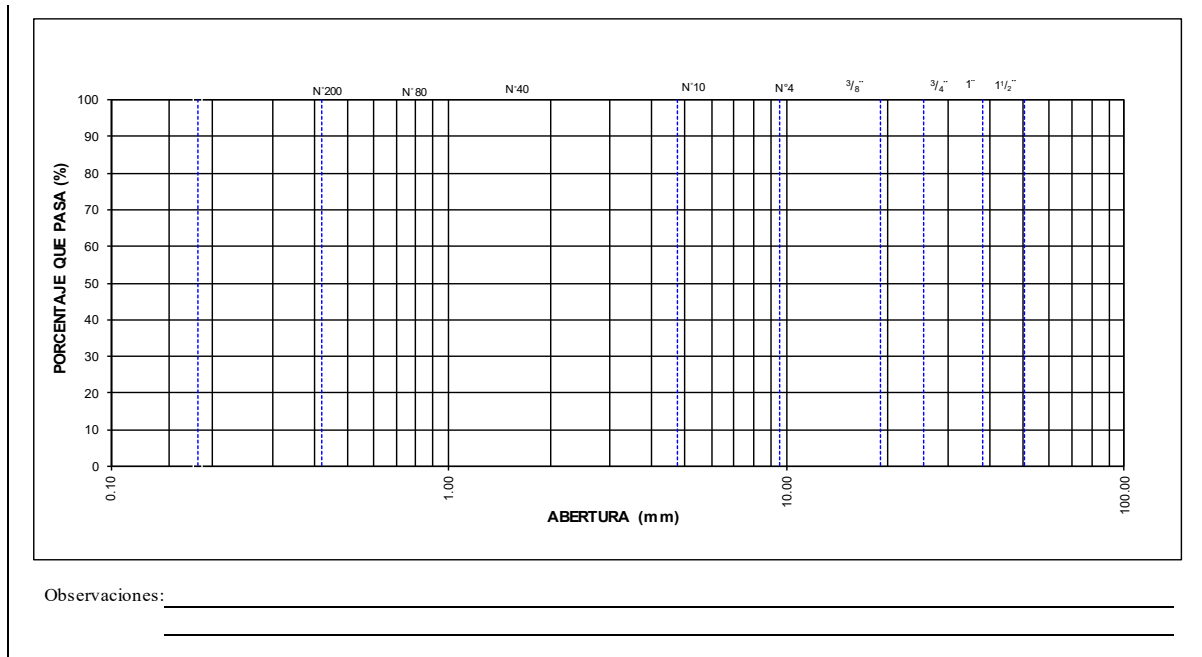
#### 3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.

##### 3.4.1.1 Formato N°01 – Ensayo de análisis granulométrico

*Tabla 21. Formato de recolección de datos para el ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado.*

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>					
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>							
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D136)							
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.							
Tesisistas :		Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce					
		Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Muestra :							
Cantera :							
Fecha :		/ /					
TAMIZ	ABERTURA (m m)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	REIENIDO ACUMULADO	% REIENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						PESO INICIAL SECO: 30836.0
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
N° 4	4.750						
N° 8	2.360						
N° 10	2.000						Módulo de Fineza : 6.9%
N° 16	1.190						
N° 30	0.600						% pasa malla N°200:
N° 40	0.420						
N° 50	0.300						OBSERVACIONES :
N° 100	0.150						
N° 200	0.075						
< N° 200	FONDO						

**CURVA GRANULOMETRICA**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.1.2 Formato N°02 – Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Tabla 22. Formato de recolección de datos para el ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**



**ENSAYO DE DURABILIDAD - SULFATO DE MAGNESIO**

(NORMA MTC E209, AASHTO T-104)

TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.

Tesistas : \_\_\_\_\_ Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce  
 \_\_\_\_\_ Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe

Muestra : \_\_\_\_\_

Cantera : \_\_\_\_\_

Fecha : \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

AGREGADO								
TAMAÑO		PESO REQUERIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL (gr)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA
PASA	RETIENE				PESO	%		
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"							
3/4"	1/2"							
1/2"	3/8"							
3/8"	N° 4							
PERDIDA TOTAL								

Fuente: Elaboración propia.



### 3.4.1.3 Formato N°03 – Ensayo de Abrasión de los Ángeles

Tabla 23. Formato de recolección de datos para el ensayo de abrasión (Máquina de los Ángeles)

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>			
<b>ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)</b>					
(NORMA MTC E 207; AASHTO T-96)					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.					
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce			
		Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	:	_____			
Cantera	:	_____			
Fecha	:	____ / ____ / ____			
		<b>GRADUACIONES</b>			
<b>TAMIZ</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
2" - 1 1/2"					
1 1/2" - 1"					
1" - 3/4"					
3/4" - 1/2"					
1/2" - 3/8"					
3/8" - 1/4"					
1/4" - N° 4					
<b>PESO TOTAL</b>					
<b>PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO</b>					
<b>PESO OBTENIDO</b>					
<b>N° DE ESFERAS</b>					
<b>PESO DE LAS ESFERAS</b>					
<b>PORCENTAJE OBTENIDO</b>					

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.1.4 Formato N°04 – Ensayo de Adherencia Agregado – Bitumen

Tabla 24. Formato de recolección de datos para ensayo de adherencia agregado – bitumen

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>			
<b>ADHERENCIA AGREGADO - BITUMEN</b>					
(NORMA MTC E 517; ASTM D 1664)					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.					
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce			
		Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	:	_____			
Cantera	:	_____			
Fecha	:	____ / ____ / ____			
		<b>DATOS</b>			
<b>ADITIVO</b>					
<b>TIPO DE ASFALTO (ASFALTO LIQUIDO)</b>					
<b>RECUBRIMIENTO (%)</b>					
<b>PORCENTAJE ESPECIFICADO</b>					
<b>PORCENTAJE DE RECUBRIMIENTO ESTIMADO</b>					
Observaciones: _____					
_____					

Fuente: Elaboración propia.





### 3.4.1.5 Formato N°05 – Ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad

*Tabla 25. Formato de Recolección de datos para ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad*

<div style="display: inline-block; text-align: center;"> <p><b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b></p> </div>																																																																						
<p><b>INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADOS</b></p> <p>(NORMA AASHTO T-210, MTC E214, ASTM D 3744)</p>																																																																						
<p>TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.</p>																																																																						
<p>Tesistas _____ Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce          _____ Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe</p> <p>Muestra _____</p> <p>Cantera _____</p> <p>Fecha _____ / _____ / _____</p>																																																																						
<p><b>PREPARACION DE LA MUESTRA GRUESA - GRAVA</b></p>																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">N° DE ENSAYO</th> <th style="width: 5%;">UND</th> <th style="width: 15%;">1</th> <th style="width: 15%;">2</th> <th style="width: 15%;">3</th> <th style="width: 15%;">4</th> <th style="width: 15%;">5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>PESO DE LA MUESTRA</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4" - 1/2"</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/2" - 3/8"</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8" - N° 4</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Gravedad Especifica del Agregado</td> <td>gr/m<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Agua Destilada para Ensayo</td> <td>ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de entrada de Agitacion</td> <td>min</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de salida de Agitacion</td> <td>min</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	N° DE ENSAYO	UND	1	2	3	4	5	<b>PESO DE LA MUESTRA</b>							3/4" - 1/2"	gr						1/2" - 3/8"	gr						3/8" - N° 4	gr						Gravedad Especifica del Agregado	gr/m <sup>3</sup>						Agua Destilada para Ensayo	ml						Hora de entrada de Agitacion	min						Hora de salida de Agitacion	min												
N° DE ENSAYO	UND	1	2	3	4	5																																																																
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>																																																																						
3/4" - 1/2"	gr																																																																					
1/2" - 3/8"	gr																																																																					
3/8" - N° 4	gr																																																																					
Gravedad Especifica del Agregado	gr/m <sup>3</sup>																																																																					
Agua Destilada para Ensayo	ml																																																																					
Hora de entrada de Agitacion	min																																																																					
Hora de salida de Agitacion	min																																																																					
<p><b>ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO - GRAVA</b></p>																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">N° DE ENSAYO</th> <th style="width: 15%;">1</th> <th style="width: 15%;">2</th> <th style="width: 15%;">3</th> <th style="width: 15%;">4</th> <th style="width: 15%;">PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>ENSAYO</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tamaño maximo (pasa malla N°4)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora inicial del proceso de mezcla</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora final del proceso de mezcla</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de entrada a decantación</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de entrada a decantación (más 20")</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nivel Superior Suspension Arcillosa (pulg.)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>ECUACION DE CALCULO</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr style="background-color: yellow;"> <td><b>DC = 30.3+20.8cot (0.29 +0.015H)</b></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	N° DE ENSAYO	1	2	3	4	PROMEDIO	<b>ENSAYO</b>						Tamaño maximo (pasa malla N°4)						Hora inicial del proceso de mezcla						Hora final del proceso de mezcla						Hora de entrada a decantación						Hora de entrada a decantación (más 20")						Nivel Superior Suspension Arcillosa (pulg.)						<b>ECUACION DE CALCULO</b>						<b>DC = 30.3+20.8cot (0.29 +0.015H)</b>															
N° DE ENSAYO	1	2	3	4	PROMEDIO																																																																	
<b>ENSAYO</b>																																																																						
Tamaño maximo (pasa malla N°4)																																																																						
Hora inicial del proceso de mezcla																																																																						
Hora final del proceso de mezcla																																																																						
Hora de entrada a decantación																																																																						
Hora de entrada a decantación (más 20")																																																																						
Nivel Superior Suspension Arcillosa (pulg.)																																																																						
<b>ECUACION DE CALCULO</b>																																																																						
<b>DC = 30.3+20.8cot (0.29 +0.015H)</b>																																																																						
<p>OBSERVACIONES: _____</p> <p>_____</p>																																																																						

*Fuente: Elaboración propia.*



### 3.4.1.6 Formato N°06 – Ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas

*Tabla 26. Formato de Recolección de datos para ensayo de Determinación de Partículas Chatas y Alargadas*

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>							
<b>DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>									
(NORMA ASTM D-693) - MTC E 221 -									
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.									
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce							
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe							
Muestra	:	_____							
Cantera	:	_____							
Fecha	:	____ / ____ / ____							
<b>MATERIAL</b>		<b>PESO RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PARTICULAS CHATAS</b>		<b>PARTICULAS ALARGADAS</b>		<b>CHATAS Y ALARGA</b>	
TAMIZ (pulg)	Abertura (mm)			PESO MAT.	% PARCIAL	PESO MAT.	% PARCIAL	(%) PARCIAL	
3"	76.2								
2"	50.8								
1 1/2"	38.1								
1"	25.4								
3/4"	19.05								
1/2"	12.7								
3/8"	8.75								
N° 4	4.75								
TOTAL									
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		(gr.)							
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS		(%)							
OBSERVACIONES :		_____				_____			

*Fuente: Elaboración propia.*



3.4.1.7 Formato N°07 – Ensayo de Determinación del Porcentaje de caras fracturadas

Tabla 27. Formato de Recolección de datos para ensayo de Determinación del Porcentaje de partículas fracturadas

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>					
<b>DETERMINACION DE CARAS FRACTURADAS</b>						
NORMA ASTM D-5821 - MTC E 210						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.						
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe				
Muestra	:					
Cantera	:					
Fecha	:	/ /				
<b>A.- CON UNA CARA FRACTURADA</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETIENE EN TAMIZ	(gr.)	(gr.)	((B/A)*100)		(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
TOTAL						
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$		%		
<b>B.- CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETIENE EN TAMIZ	(gr.)	(gr.)	((B/A)*100)		(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"					
1/2"	3/8"					
TOTAL						
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$		%		
OBSERVACIONES : _____						
_____						
_____						

Fuente: Elaboración propia.



### 3.4.1.8 Formato N°08 – Ensayo de Sales solubles en agregados para Pavimentos Flexibles

Tabla 28. Formato de Recolección de datos para ensayo de Sales solubles en agregados

<span style="font-weight: bold; text-decoration: underline;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>	
<b>CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS</b>	
(NORMA MTC E 219 )	
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.	
Tesisistas	_____ Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce _____ Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe
Muestra	_____
Cantera	_____
Fecha	_____ / _____ / _____

AGREGADO				
N° DE VASO	1	2	3	PROMEDIO
DESCRIPCION				
PESO TARRO (Biker 100 ml)				
PESO TARRO + AGUA + SAL				
PESO TARRO SECO + SAL				
PESO DE SAL				
PESO DE AGUA				
PORCENTAJE DE SAL				

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

*Fuente: Elaboración propia*



### 3.4.1.9 Formato N°09 – Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

*Tabla 29. Formato de Recolección de datos del Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso*

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>					
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS</b>							
(NORMA MTC E 206, ASTM D-127 - AASHTO T-84, T-85)							
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.							
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce					
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Muestra	:	Agregado Grueso - Grava Chancada					
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador					
Fecha	:	/ /					
<b>AGREGADO GRUESO</b>							
SIMBOLO	ENSAYO N°	1	2	3	Promedio		
A	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)(gr.)						
B	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Agua)(gr.)						
C	Vol. De masa = A - B (gr.)						
D	Peso material seco en estufa ( 105°C)						
E	Vol. De Masa = C - (A - D) (gr.)						
	Pe Bulk (Base Seca) = D/C						
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/C						
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E						
	% de Absorción = ((A - D)/ D)*100 (%)						
OBSERVACIONES :							
_____							
_____							
_____							

*Fuente: Elaboración propia.*



3.4.1.10 Formato N°10 – Ensayo de Peso Especifico y Absorción del Agregado Fino

*Tabla 30. Formato de Recolección de datos del Peso Especifico y Absorción de Agregado Fino*

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>					
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS</b>							
(NORMA MTC E 205, AASHTO T-84, T-85)							
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.							
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce					
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Muestra	:						
Cantera	:						
Fecha	:	/	/				
<b>AGREGADO FINO</b>							
	<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Promedio</b>	
<b>A</b>	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)(gr.)						
<b>B</b>	Peso Frasco + agua						
<b>C</b>	Peso Frasco + agua + A (gr.)						
<b>D</b>	Peso de Mat. + Agua en el Frasco (gr.)						
<b>E</b>	Vol. De Masa + Vol de Vacío = C-D (gr.)						
<b>F</b>	Pe. De Mat. Seco en Estufa (105°C) (gr.)						
<b>G</b>	Vol. De Masa= E-(A-F) (gr.)						
	Pe Bulk (Base Seca) = F/E						
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/E						
	Pe Aparente (Base Seca) = F/G						
	% de Absorción = ((A-F)/F)*100						
OBSERVACIONES :							
_____							
_____							
_____							

*Fuente: Elaboración propia.*



### 3.4.1.11 Formato N°11 – Ensayo de Equivalente de Arena

*Tabla 31. Formato de Recolección de datos del Ensayo de Equivalente de Arena*

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>					
<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.						
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce				
Tesista	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe				
Muestra	:					
Cantera	:					
Fecha	:	/	/	/		
<b>AGREGADO FINO - ARENA</b>						
ENSAYO N°	N°	1.00	2.00	3.00	<b>PROMEDIO</b>	
Tamaño máximo (pasa mala n° 04)	mm					
Hora de entrada a saturación						
Hora de salida de saturación ( más 10")						
hora de entrada a decantación (más 20")						
hora de entrada a decantación						
Altura máxima de material fino	mm					
Altura máxima de la arena	mm					
Equivalente de Arena	%					

*Fuente: Elaboración propia.*



### 3.4.1.12 Formato N°12 – Ensayo de Angularidad del agregado fino.

Tabla 32. Formato de Recolección de datos del Ensayo de Angularidad del agregado fino

<span style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>										
<b>ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO</b>										
(NORMA ASTM C - 1252, MTC E 222)										
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.										
Tesistas : <u>Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce</u> Tesista : <u>Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe</u> Muestra : _____ Cantera : _____ Fecha : _____ / _____ / _____										
<b>AGREGADO FINO</b>										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">ENSAYO N°</th> <th style="width: 12.5%;">1</th> <th style="width: 12.5%;">2</th> <th style="width: 12.5%;">3</th> <th style="width: 12.5%;">Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><b>METODO DE PRUEBA</b></td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ENSAYO N°	1	2	3	Promedio	<b>METODO DE PRUEBA</b>	C	C	C	
ENSAYO N°	1	2	3	Promedio						
<b>METODO DE PRUEBA</b>	C	C	C							
<b>MATERIAL AGREGADO</b>										
Peso Agregado N° 8 a N° 16 gr.										
Peso Agregado N° 8 a N° 16 gr.										
Peso Agregado N° 8 a N° 16 gr.										
Peso Agregado N° 8 a N° 16 gr.										
Peso Total de la muestra gr.										
<b>CALIBRACIÓN DEL CILINDRO</b>										
Peso total del Agua en Cilindro gr.										
Temperatura de Agua °C										
Densidad del Agua gr/cm3										
Factor de Corrección por Temp. Del Agua gr.										
Litros Netos de Agua Usado en el Cilindro ml.										
<b>CALCULO DE ANGULARIDAD DE AGREGADO</b>										
Volumen del Cilindro cm3										
Masa neta del Agregado en el Cilindro gr.										
Gravedad Especifica del Agregado gr/cm2										
Porcentaje de Vacios en Agregado %										
OBSERVACIONES : _____ _____										

*Fuente: Elaboración propia.*





3.4.1.13 Formato N°13 – Ensayo de Azul de Metileno (AASHTO TP 57).

Tabla 33. Formato de Recolección de datos del Ensayo de Azul de Metileno

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>			
<b>AZUL DE METILENO</b> (NORMA AASHTO TP 057, ASTM C - 837)			
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.			
Tesistas :	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce		
:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe		
Muestra :	_____		
Cantera :	_____		
Fecha :	___ / ___ / ___		
<b>AGREGADO FINO</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>UND</b>	<b>DATOS</b>	<b>Promedio</b>
A	Peso material preparao pasante malla # 200	gr.	
B	Peso material seco utilizado en la prueba	gr.	
C	Agua destilada añadida	ml	
D	Solucion inicial de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	
E	Solucion final de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	
F	Concentracion Azul Metileno gr/ml de solucion	%	
			<b>Promedio</b>
G	<b>VALOR AZUL DE METILENO</b>	mg/g	
OBSERVACIONES : _____			

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.14 Formato N°14 – Ensayo de Límites de Consistencia (MTC E 110)

Tabla 34. Formato de Recolección de datos del Ensayo de Límites de Consistencia

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>							
<b>LIMITESB DE CONSISTENCIA</b> (NORMA MTC E 110)							
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.							
Tesistas :	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce						
:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe						
Muestra :	Agregado Fino - Arena						
Cantera :	_____						
Fecha :	___ / ___ / ___						
<b>ENSAYO N°</b>	<b>LIMITE LIQUIDO (gr)</b>						<b>LIMITE PLASTICO</b>
	1	2	3	4	5	6	
Peso tara + Muestra Humeda (A)							
Peso tara + Muestra Seca (B)							
Peso tara (C)							
Peso muestra seca (Pms =B-C)							
Peso de Agua (Pa=A-B)							
Contenido de Humedad (Pa/Pms)							
Numero de Golpes							
OBSERVACIONES : _____							

Fuente: Elaboración propia



### 3.4.1.15 Formato N°15 – Gravedad Especifica Rice de Mezcla Bituminosa

*Tabla 35. Formato Recolección datos Ensayo de Gravedad Especifica Rice de Mezcla Bituminosa*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
GRAVEDAD ESPECIFICA RICE DE MEZCLA BITUMINOSA					
(NORMA ASTM D -2041, AASHTO T -209)					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.					
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce			
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Material	:				
Fecha	:	/ /			
CARACTERISTICAS GENERALES					
Item	MATERIALES	GRAVEDAD ESPECIFICA		PORCENTAJE EN PESO	
		Bulk, Base Seca	Aparente	Agregados	Mezcla
a	Asfalto PEN 60-70	1.014			6.30
b	Agregado Grueso	2.657	2.691	45.90	43.01
c	Agregado Fino	2.679	2.73	54.10	50.69
MUESTRA N°					
DESCRIPCION					
1	Peso del frasco				
2	Peso del frasco + el agua				
3	Peso del frasco + mezcla + agua				
4	Peso neto de la muestra				
5	Diferencia del peso (03-04)				
6	Agua desplazada (02-05)				
7	Peso Especifico Maximo				
8	Contenido de cemento Asfaltico (%)				
<p style="text-align: center;"><b>Gravedad Especifica V.S Cemento Asfaltico (%)</b></p> <p>The graph plots Specific Gravity (Rice Gr/Cm<sup>3</sup>) on the y-axis (ranging from 2.300 to 2.600) against Asphalt Cement (%) on the x-axis (ranging from 4.0 to 7.5). A data point is highlighted at 5.5% asphalt cement content, corresponding to a specific gravity of 2.485 Gr/Cm<sup>3</sup>.</p>					
OBSERVACIONES:					

*Fuente: Elaboración propia*



### 3.4.1.16 Formato N°16 – Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando Equipo Marshall

*Tabla 36. Formato de Recolección datos de Resistencia de mezcla bituminosa en equipo Marshall*

















UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO								
RESISTENCIA DE MESCLAS BITUMINOSAS EN EQUIPO MARSHALL								
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.								
Tesisistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce						
		Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe						
Material	:	_____						
Fecha	:	____/____/____						
	DESCRIPCION	UND	PROBETAS					Prom.
			1	2	3	4	5	
1	C.A. En peso de la mezcla	%						
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%						
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%						
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%						
5	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc						
6	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc						
7	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc						
8	Peso Especifico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc						
9	Peso Especifico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc						
10	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc						
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm						
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.						
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.						
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.						
15	Volumen de la Probeta	cc						PROMEDIO
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc						
17	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc						
18	Máxima Densidad Teórica	gr/cc						
19	% Vacios	%						
20	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc						
21	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc						
22	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc						
23	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%						
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%						
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%						
26	% de vacios del Agregado Mineral	%						
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%						
28	Relacion Betun Vacios	%						
29	Lectura del Anillo	kg.						
30	Estabilidad Sin Corregir	kg.						
31	Factor de Estabilidad							
32	Estabilidad Corregida	kg.						
33	Lectura del Flexímetro ( 0.001" )	pul						
34	Fluencia	mm.						
35	Factor de Rigidez	Kg/cm						

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.2 Instrumentos de Ingeniería.

#### 3.4.2.1 Instrumentos de ingeniería para agregado grueso

*Tabla 37. Instrumentos de ingeniería empleados en los ensayos de agregados gruesos*

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA AGREGADOS GRUESOS			
Granulometria de Agregados Gruesos			
Ensayo de Durabilidad al Sulfato de -magnesio			
Ensayo de Adherencia			
Ensayo de Indice de durabilidad			
Ensayo de Abrasion Los Angeles			
Ensayo de Particulas Chatas y Alargadas en Agregados			
Ensayo para la determinacion del porcentaje de Particulas Fracturadas			
Ensayo de Sales Solubles en el agregado			
Ensayo de Peso Especifico y Absorcion			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
Balanza	Bandejas	Bowls	Serie de Tamices
			
Cucharones Metalicos	Espátulas	Horno Electrico	Maquina de los Ángeles
			
Esferas de Acero para abrasion	Reactivos Quimicos según Ensayo	Vaso de Precipitado	Vaso Mecanico de Lavado
			
Calibrador de Espesores	Termómetro	Pipetas	Equipo de flotacion

*Fuente: Elaboración propia*



### 3.4.2.2 Instrumentos de Ingeniería para agregado fino






*Tabla 38. Instrumentos de ingeniería empleados en los ensayos de agregados finos*

INSTRUMENTOS B3:E36 DE INGENIERIA PARA AGREGADOS FINOS			
Granulometria de Agregados Finos Ensayo de Durabilidad al Sulfato de -magnesio Ensayo de Equivalente de Arena Ensayo de Angularidad del Agregado Fino Ensayo de Azul de Metileno Ensayo de Indice de Plasticidad Ensayo de Indice de Durabilidad Ensayo de Sales Solubles en el agregado Ensayo de Peso Especifico y Absorcion			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
Balanza	Bandejas	Bowls y Taras	Serie de Tamices
			
Cucharones Metalicos	Espátulas	Horno Electrico	Reactivos según Ensayo
			
Vaso Mecanico de Lavado	Aparatoo de Ensayo de Azul de Metileno	Copa de Casagrande y Ranurador	Aplsonador y recipiente de porcelana
			
Cronometro	Probetas y pipetas	Termómetro	Recipiente y apisonador
			
Estufa	Vaso de Precipitado	Vidrio Esmerilado	Fiola 500 ml

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.2.3 Instrumentos de Ingeniería para Elaboración de Mezcla Asfáltica









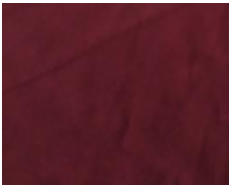

*Tabla 39. Instrumentos de ingeniería empleados en la Elaboración de Mezcla Asfáltica*

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA LA ELABORACION DE MEZCLAS ASFALTICAS			
Mezcla Asfaltica para Determinacion de % Optimo de Asfalto			
Mezcla Asfaltica con Contenido Optimo de Asfalto			
Mezcla Asfaltica con Contenido Optimo de Asfalto y Mdficado con Nanotubos			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
Balanza	Bandejas	Bowls y taras	Espátulas
			
Guantes	Estufa	Horno Electrico	Termometro
			
Base, Collar y Briquetas Marshall	Eyector de Muestras	Compactador de Mezclas Asfalticas	Martillo Compactador

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.2.4 Instrumentos de ingeniería para Resistencia de mezclas Bituminosas empleando Equipo Marshall

*Tabla 40. Instrumentos de ingeniería empleados para la Resistencia de mezclas Bituminosas empleando Equipo Marshall*

INSTRUMENTOS DE INGENIERIA PARA RESITENCIA DE MEZCLAS ASFALTICAS EMPLEANDO EQUIPO MARSHALL			
Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall			
Parámetros Volumétricos para Determinacion de % Optimo de Asfalto			
Parámetros Volumétricos para Contenido Optimo de Asfalto			
Parámetros Volumétricos para Contenido Optimo de Asfalto y Mdoficado con Nanotubos			
EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS			
			
Baño María	Dial de Carga	Dial de Deformacion	Maquina Marshall
			
Termometro	Balanza	Canastillas	Equipo de Flotacion
			
Franelas	Guantes		

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5 Procedimiento de recolección de Datos

#### 3.5.1 Toma de muestra de Asfalto y agregados (Cantera)

##### Datos de la cantera

- Entidad : Planta de Asfalto – COPESCO
- Localidad : Huacarpay
- Distrito : Lucre
- Provincia : Quispicanchi



▪ Coordenadas aproximadas:

Latitud : 13°36'07.8"S

Longitud: 71°43'39.4"W



*Figura 19. Ubicación de la planta de Asfalto- COPESCO.*

*Fuente: Google Maps.*

**a) Equipo, materiales**

- Herramientas manuales (Pala).
- Sacos.

**b) Procedimiento**

Se realiza la visita a la planta de asfalto de COPESCO.

- Se identifica los materiales acumulados en montículos, se observa y se determina escoger la muestra representativa la cual se obtendrá al sacar material de la parte superior, central e inferior del montículo para tener un muestreo con todas las características representativas del agregado.
- Con ayuda de equipos, se extrae los materiales.
  - Arena natural
  - Arena triturada
  - Piedra de ½"
- Posteriormente se ubican los cilindros contenedores de Asfalto PEN 85/100 y con ayuda del operario responsable de la planta se extrajeron 1 galón de Asfalto PEN 85/100 en estado semi-sólido que se almaceno en un recipiente metálico limpio y libre de impurezas.





### **Obtención de Muestras representativas (Muestreo)**

Con este procedimiento, del total de la muestra, se obtiene una muestra representativa necesaria para la ejecución de los ensayos a realizar.

#### **a) Equipos utilizados.**

- Pala, cucharón metálico o badilejo para manejar el material.
- Varilla metálica, de longitud apropiada.

#### **b) Muestra.**

La muestra de suelo; tal como fue recibida, se seca al aire colocándola en forma extendida sobre una superficie plana horizontal. Se opta por la realización del método B cuarteo manual según el Manual de Ensayo de Materiales MTC pág. 37.

#### **c) Procedimiento de ensayo**

- Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas.
- Se mezcla bien hasta formar una pila en forma de cono, repitiendo esta operación cuatro veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del mismo.
- Cuidadosamente se aplana y extiende la pila cónica hasta darle una base circular, espesor y diámetro uniforme, presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarteo del sector contenga el material original.
- Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra requerida.

### **3.5.2 Ensayo de Granulometría de agregados por tamizado**

#### **3.5.2.1 Granulometría de agregado grueso**

##### **a) Equipos, materiales**

- Balanza de precisión.
- Cucharón metálico.
- Serie de tamices para agregados grueso:  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8 y fondo.
- Bandejas metálicas.



### b) Muestra

- Separamos las muestras y reducimos dichas muestras mediante el proceso de cuarteo manual, de acuerdo a las características de cada agregado utilizado.
- Se seca completamente las muestras de agregado fino hasta peso constante a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Se pesa la cantidad total de agregado a tamizar la cual es de 30 836.0 g.

### c) Procedimiento

- Posterior al secado del material, se seleccionó la serie de tamices de tamaños de 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', N°4 y N° 8. Encajamos los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo.
- Depositamos la cantidad de muestra sobre el tamiz superior y efectuamos el tamizado de forma manual.



*Figura 20. Tamizado de agregado grueso de forma manual.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Limitamos la cantidad de material para que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz por varias veces durante el proceso de tamizado.
- Continuar el tamizado por un período de tiempo suficiente, como sigue: sostener individualmente cada tamiz, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, girando el tamiz.



**Figura 21.** Continuar el tamizado sosteniendo el tamiz ligeramente inclinado.

*Fuente: Elaboración propia*

- Determinamos el peso de la muestra retenido en cada tamiz y procedemos con la toma de datos.



**Figura 22.** Análisis Granulométrico de agregado Grueso.

*Fuente: Elaboración propia*



d) Toma de datos

Tabla 41. Recolección de datos del ensayo de granulometría del agregado grueso – Grava Chancada

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>	
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D136)	
TESIS: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LAS MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.	
Tesistas :	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe
Muestra :	Agregado Grueso - Grava Chancada
Cantera :	Morroblanco - San Salvador
Fecha :	28 / 01 / 2020

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						PESO INICIAL SECO: 30836.0
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	336.0	1.1	336.0	1.1	98.9	
1/2"	12.500	18969.0	61.5	19305.0	62.6	37.4	
3/8"	9.500	6845.0	22.2	26150.0	84.8	15.2	
Nº 4	4.750	4464.0	14.5	30614.0	99.3	0.7	
Nº 8	2.360	222.0	0.7	30836.0	100.0	0.0	
Nº 10	2.000						Módulo de Fineza : 6.9%
Nº 16	1.190						
Nº 30	0.600						% pasa malla Nº200:
Nº 40	0.420						
Nº 50	0.300						OBSERVACIONES :
Nº 100	0.150						
Nº 200	0.075						
< Nº 200	FONDO						

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

Observaciones: \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración propia



### 3.5.2.2 Granulometría de Agregado Fino

#### a) Equipos, materiales

- Balanza de precisión.
- Cucharon metálico.
- Serie de tamices para agregados finos: N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 200 y fondo.
- Bandejas metálicas

#### b) Muestra

- Separamos las muestras y reducimos dichas muestras mediante el proceso de cuarteo manual, de acuerdo a las características de cada agregado utilizado.
- Se seca completamente las muestras de agregado fino hasta peso constante a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Se pesa la cantidad total de agregado a tamizar la cual es de 1183.5 g de Arena Chancada y 1167.3 g de Arena Zarandeada.

#### c) Procedimiento

- Posterior al secado del material, se seleccionó la serie de tamices de tamaños de N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 200 y fondo. Encajamos los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo.
- Depositamos la cantidad de muestra sobre el tamiz superior y efectuamos el tamizado de forma manual.



*Figura 23. Tamizado de Agregado Fino de forma manual.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Limitamos la cantidad de material para que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz por varias veces durante el proceso de tamizado.



- Continuar el tamizado por un período de tiempo suficiente, como sigue: sostener individualmente cada tamiz, con la mano en una posición ligeramente inclinada. Golpear el filo del tamiz, con un movimiento hacia arriba contra la palma de la otra mano, girando el tamiz.



*Figura 24. Continuar el tamizado sosteniendo el tamiz ligeramente inclinado.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Determinamos el peso de la muestra retenido en cada tamiz y procedemos con la toma de datos.
- Todos estos pasos se repiten en el ensayo de Análisis Granulométrico para la Arena Zarandeada.



*Figura 25. Análisis Granulométrico de agregado Fino.*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **d) Toma de datos**



*Tabla 42. Recolección de datos del ensayo de granulometría del agregado fino –Arena Chancada*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>	
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D136)	
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.	
Tesistas :	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce
	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe
Muestra :	Agregado Fino- Arena Chancada
Cantera :	Morroblanco - San Salvador
Fecha :	29 / 01 / 2020

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETIENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						PESO INICIAL SECO: <b>1183.5</b>
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
N° 4	4.750	39.4	3.3	39.4	3.3	96.7	
N° 8	2.360	367.1	31.0	406.5	34.3	65.7	
N° 10	2.000						Módulo de Fineza : <b>2.67%</b>
N° 16	1.190						
N° 30	0.600						% pasa malla N°200:
N° 40	0.420	490.9	41.5	897.4	75.8	24.2	
N° 50	0.300						OBSERVACIONES :
N° 80	0.180	95.3	8.1	992.7	83.9	16.1	
N° 100	0.150	13.9	1.2	1006.6	85.1	14.9	
N° 200	0.075	57.1	4.8	1063.7	89.9	10.1	
< N° 200	FONDO	119.8	10.1	1183.5	100.0	0.0	

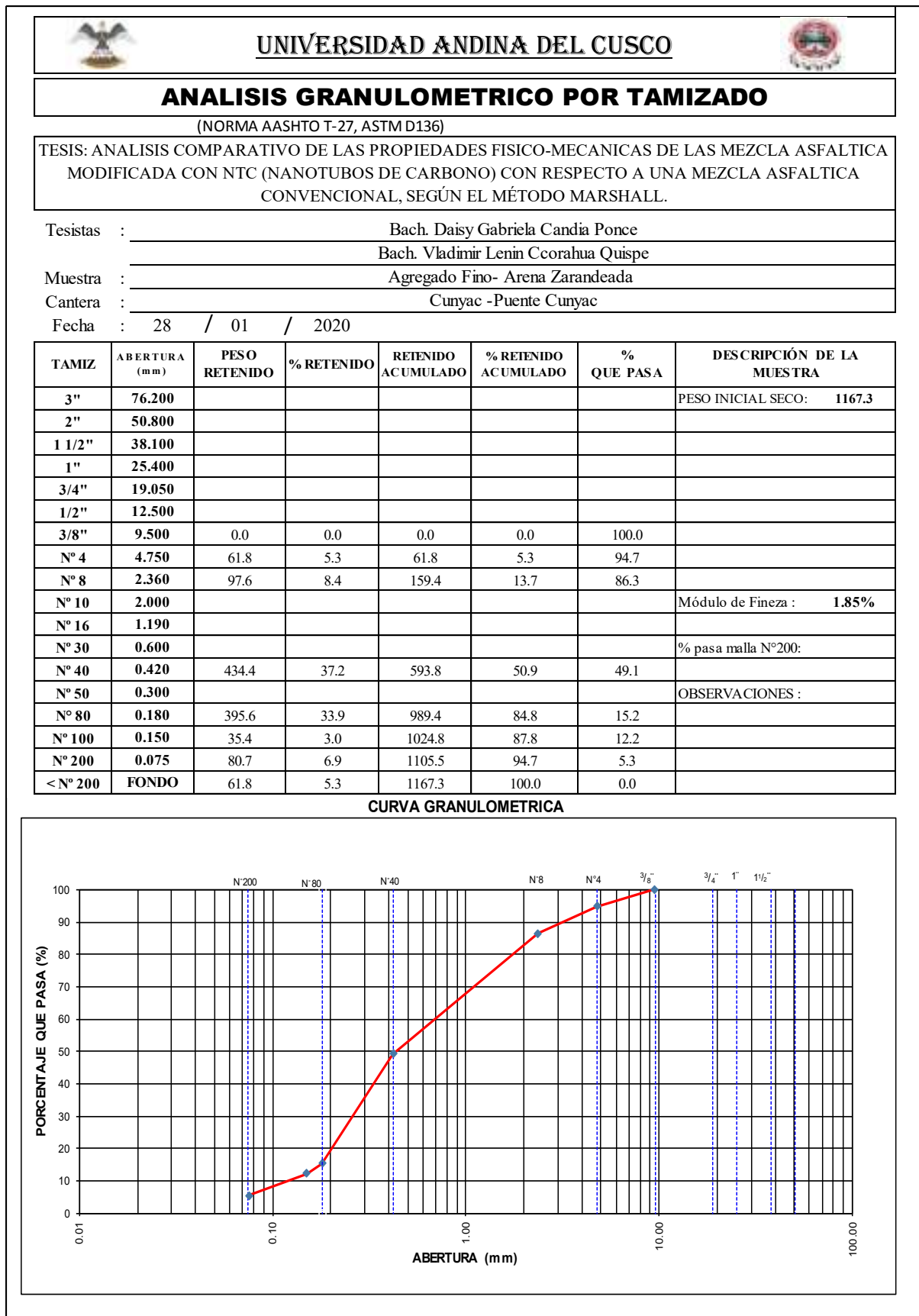
**CURVA GRANULOMETRICA**

Observaciones: \_\_\_\_\_

*Fuente: Elaboración propia*



**Tabla 43. Recolección de datos del ensayo de granulometría del agregado fino –Arena Zarandeada**



Fuente: Elaboración propia





### 3.5.3 Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio.

#### 3.5.3.1 Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso

##### a) Equipos, materiales y reactivos

- Tamices.
- Envases.
- Horno de secado.
- Solución de Sulfato de Magnesio.

##### b) Muestra

- 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 44. Tamices en los cuales se evaluará el agregado grueso*

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g.
<b>Consistiendo de:</b>	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 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 1/2") 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 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") 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: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 331*

##### c) Procedimiento

- Se lava y seca completamente las muestras de agregado grueso hasta peso constante a 105 °C a 110 °C y se separará en los diferentes tamaños indicados en la tabla anterior.
- Se introducirán las muestras en la solución de Sulfato de Magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal, que la solución las cubra a una profundidad de por lo menos 1,5 cm.



**Figura 26.** Muestras de agregado grueso sumergidas en reactivo (Sulfato de Magnesio)

*Fuente: Elaboración propia*

- Después del periodo de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución, se deja escurrir durante  $15 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$  y se coloca en el horno de secar.



**Figura 27.** Escurrimiento del agregado grueso por 15 min.

*Fuente: Elaboración propia*

- Una vez obtenido un peso constante se deja a la intemperie sin enfriamiento, a intervalos de 2 a 4 h. Se repite el proceso de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.



**Figura 28.** Repetir el proceso de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos. *Fuente: Elaboración propia*



- Después de completar el ciclo final y enfriado la muestra a temperatura ambiente se lava cada fracción por separado para eliminar el Sulfato de Magnesio. El agregado grueso se tamizará para cada tamaño apropiado de partícula.



**Figura 29.** Lavado final de la muestra para eliminar reactivo excedente

Fuente: Elaboración propia

**d) Toma de datos**

**Tabla 45.**Recolección de datos del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>						
<b>ENSAYO DE DURABILIDAD - SULFATO DE MAGNESIO</b>								
(NORMA MTC E209, AASHTO T-104)								
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.								
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce						
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe						
Muestra	:	Agregado Grueso - Grava Chancada						
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador						
Fecha	:	03	/	'02	/	2020		
<b>AGREGADO</b>								
TAMAÑO		PESO REQUERIDO	PESO INICIAL (gr.)	PESO FINAL (gr.)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA
PASA	RETIENE				PESO	%		
			1300.00					
1 1/2"	1"	1000 ± 10						
1"	3/4"	670 ± 10						
3/4"	1/2"	670 ± 10	670.00	620.40	49.60	7.40	51.54	3.82
1/2"	3/8"	300 ± 5	330.00	291.70	38.30	11.61	25.38	2.95
3/8"	N° 4	300 ± 5	300.00	250.40	49.60	16.53	23.08	3.82
<b>PERDIDA TOTAL</b>								<b>10.58</b>

Fuente: Elaboración propia



### 3.5.3.2 Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino

#### a) Equipos, materiales y reactivos

- Recipientes
- Balanza
- Dispositivo calibrador proporcional
- Horno
- Solución de Sulfato de Magnesio.

#### b) Muestra

- Se lava completamente la muestra de agregado fino sobre un tamiz normalizado 300 mm (Nº 50), se seca hasta peso constante a 105 °C o 110 °C, y separa en diferentes tamaños.
- El agregado fino para el ensayo se pasará por un tamiz normalizado 9,50 mm (3/8"). La muestra será de un peso tal, que una vez tamizada queden por lo menos 100 g de material en cada uno de los tamices.

*Tabla 46. Tamices en los cuales se evaluara el agregado fino*

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el Tamiz normalizado
600µm (Nº 30)	300µm (Nº 50)
1,18 mm (Nº 16)	600µm (Nº 30)
2,36 mm (Nº 8)	1,18 mm (Nº 16)
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (Nº 4)

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 331*

#### c) Procedimiento

- Se lava y seca completamente las muestras de agregado fino hasta peso constante a 105°C a 110°C y se separará en los diferentes tamaños indicados en la tabla anterior.
- Se introducirán las muestras en la solución de Sulfato de Magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal, que la solución las cubra a una profundidad de por lo menos 1,5 cm.



**Figura 30.** Muestras de agregado fino sumergidas en reactivo (sulfato de Magnesio)

*Fuente: Elaboración propia*

- Después del periodo de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución, se deja escurrir durante  $15 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$  y se coloca en el horno de secar.



**Figura 31.** Colocación de muestras de agregado fino con reactivo al horno

*Fuente: Elaboración propia*

- Una vez obtenido un peso constante se deja a la intemperie sin enfriamiento, a intervalos de 2 a 4 h. Se repite el proceso de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos.
- Después de completar el ciclo final y enfriado la muestra a temperatura ambiente se lava cada fracción por separado para eliminar el Sulfato de Magnesio.



Figura 32. Muestras de agregado Ffino pesado después del ciclo final

Fuente: Elaboración propia

d) Toma de datos

Tabla 47. Recolección de datos del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino

TAMAÑO		PESO REQUERIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL (gr.)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA CORREGI
PASA	RETIENE				PESO	%		
N° 3/8	N° 04	100.0	100.30	91.30	9.00	8.97	16.62	1.49
N° 4	N° 08	100.0	100.10	86.00	14.10	14.09	16.58	2.34
N° 8	N° 16	100.0	99.70	86.20	13.50	13.54	16.52	2.24
N° 16	N° 30	100.0	101.10	84.70	16.40	16.22	16.75	2.72
N° 30	N° 50	100.0	102.40	80.20	22.20	21.68	16.96	3.68
N° 50	N° 100	100.0	100.00	82.30	17.70	17.70	16.57	2.93
<b>TOTALES</b>								<b>15.4%</b>

Fuente: Elaboración propia



### 3.5.4 Ensayo de Abrasión de los Ángeles

#### a) Equipos, materiales

- Máquina de Los Ángeles:
- Tamices
- Balanza
- Carga (esferas de acero)

#### b) Muestra

- Se determina el Tamaño Máximo Nominal del agregado, siendo  $\frac{3}{4}$ ". Se Lava y seca al horno la muestra reducida a peso constante.
- Se identifica los requerimientos del agregado según su Tamaño Máximo Nominal y el tipo de gradación es el método B.

*Tabla 48. 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 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-	-	-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	-	-	-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-	-	2 500 ± 10	-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº 4)	-	-	2 500 ± 10	-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 6)	-	-	-	5 000
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 316*

- Se prepara la muestra con ayuda de un cucharón se toma el material para depositarlo en el juego de tamices, primero utilizamos los tamices de  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ " hasta conseguir el peso de  $2500 \pm 10$ , luego seguimos con los tamices de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{8}$ " hasta conseguir el peso de  $2500 \pm 10$  gr.
- Se unen las gradaciones en un recipiente en común, el cual deberá pesar  $5000 \pm 10$  gr.

#### c) Procedimiento

- Colocamos la carga abrasiva, colocándolos una por una y luego depositamos el agregado graduado, y cerramos la tapa de la máquina, asegurándonos que las rosca estén adecuadamente ajustadas.



*Figura 33. Colocación del agregado graduado a la Máquina de los Ángeles*

*Fuente: Elaboración propia*

- Se procede al encendido de la máquina de los ángeles, la cual girara a una velocidad comprendida entre 30 a 33 rpm, con un número total de 500 revoluciones.
- Una vez finalizado el número de vueltas, se hace el desenrosque de los tornillos para hacer retiro del material, para ello ponemos una bandeja en la parte inferior y giramos la Máquina de los Ángeles lentamente y depositamos el material interior.



*Figura 34. Procedimiento del retiro del agregado de la Máquina de los Ángeles.*

*Fuente: Elaboración propia*





- A continuación, el material ensayado se tamiza por la malla N° 12, al material retenido se registra su peso en una balanza.



*Figura 35. Tamizaje del agregado ensayado por la malla N° 12 para posterior pesaje.*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **d) Toma de datos**



**Tabla 49.** Recolección de datos del ensayo de Abrasión (Máquina de los Ángeles)

<span style="font-size: 1.2em; font-weight: bold; margin: 0 10px;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>					
<b>ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)</b>					
(NORMA MTC E 207; AASHTO T-96)					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.					
Tesisistas	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce				
	: Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe				
Muestra	: Agregado Grueso - Grava Chancada				
Cantera	: Morroblanco - San Salvador				
Fecha	: 01 / 02 / 2020				
<b>TAMIZ</b>	<b>GRADUACIONES</b>				
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">A</th> <th style="width: 25%;">B</th> <th style="width: 25%;">C</th> <th style="width: 25%;">D</th> </tr> </table>	A	B	C	D
A	B	C	D		
2" - 1 1/2"					
1 1/2" - 1"					
1" - 3/4"					
3/4" - 1/2"	2502.2				
1/2" - 3/8"	2501.8				
3/8" - 1/4"					
1/4" - N° 4					
<b>PESO TOTAL</b>	5004				
<b>PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO</b>	1106				
<b>PESO OBTENIDO</b>	3898				
<b>N° DE ESFERAS</b>	11				
<b>PESO DE LAS ESFERAS</b>	5013				
<b>PORCENTAJE OBTENIDO</b>	22.1%				

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.5 Ensayo de Adherencia -Bitumen

#### a) Equipos, materiales

- Recipientes
- Tamices
- Balanza
- Termómetro
- Agua destilada
- Espátula
- Asfalto PEN 85/100



### b) Muestra

- Se lava el agregado grueso en agua destilada para remover todos los finos y se seca a temperatura de 135 °C a 149 °C hasta peso constante.
- Se prepara el bitumen en un recipiente metálico en horno a una temperatura  $140 \pm 5$  °C, durante 2 horas. Se prepara el material y se tamiza en las mallas 3/8" y sea retenido en la malla 1/4".

### c) Procedimiento

- Pesamos  $100 \pm 1$  g de la muestra a temperatura controlada dentro del recipiente donde se mezclará con en el agregado.
- Añadimos  $5 \pm 0,2$  g de material bituminoso precalentado que para el presente ensayo es el asfalto PEN 85/100. Mezclamos el material bituminoso y el agregado vigorosamente con la espátula por 2 minutos, se hace hasta que cubra en su totalidad al agregado.



*Figura 36. Mezcla del agregado con el Asfalto precalentado.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Luego curamos el agregado revestido por 2 horas en horno a 60 °C.
- Después del curado se remezcla con la espátula hasta llegar a una temperatura ambiente. El revestimiento debe ser completo.
- Luego el agregado revestido se coloca a un recipiente, al cual cubrimos con agua destilada a temperatura ambiente, dejándolo por 16 a 18 horas.



*Figura 37. El agregado revestido de asfalto es cubierto con agua destilada.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Luego de las 18 horas, revisamos el área revestida del agregado con el bitumen para la toma de datos.



*Figura 38. Estado del agregado revestido de bitumen luego de reposar 18 horas en agua destilada. Fuente: Elaboración propia*

#### **d) Toma de datos**



*Tabla 50. Recolección de datos del ensayo de Adherencia entre el Agregado y Bitumen.*

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>	
<b>ADHERENCIA AGREGADO - BITUMEN</b> (NORMA MTC E 517; ASTM D 1664)	
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.	
Tesisistas	: _____ Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe
Muestra	: _____ Agregado Grueso - Grava Chancada
Cantera	: _____ Morroblanco - San Salvador
Fecha	: 29 / 01 / 2020
<b>DESCRIPCION</b>	<b>DATOS</b>
<b>ADITIVO</b>	Sin aditivo
<b>TIPO DE ASFALTO (ASFALTO LIQUIDO)</b>	<b>PEN 85-100</b>
<b>RECUBRIMIENTO (%)</b>	<b>+95%</b>
<b>PORCENTAJE ESPECIFICADO</b>	Min. 95%
<b>PORCENTAJE DE RECUBRIMIENTO ESTIMADO</b>	100% RET
Observaciones:	_____

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.6 Ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad

#### 3.5.6.1 Índice de Durabilidad del agregado grueso

##### a) Equipos, materiales y reactivos

- Vaso mecánico de lavado, cilíndrico
- Recipiente colector o fondo de mallas
- Agitador
- Tamices
- Balanza
- Termómetro
- Agua destilada
- Soluciones de Cloruro de Calcio-Stock
- Horno.

##### b) Muestra

- Se hace el secado del agregado grueso en horno.



- Determinamos el método a usar, menos del 10 % del agregado pasa el tamiz N° 04, por lo que se realiza por el procedimiento A.
- Preparamos la muestra de acuerdo a la siguiente gradación y pesos.

**Tabla 51.** Gradación y pesos para la muestra sometida al ensayo de Índice de durabilidad

Tamaño del agregado	Peso seco al aire, g
19,0 a 12,5 mm (¾" a ½")	1070 ± 10
12,5 a 9,5 mm (½" a ¾")	570 ± 10
9,5 a 4,75 mm (¾" a N° 4)	910 ± 5
	2550 ± 25

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 354*

- Introducimos la muestra dentro del vaso mecánico de lavado y añadimos  $1000 \pm 5$  ml de agua destilada
- Llevamos el vaso mecánico a la agitadora. Después de dejarlo saturado el material por  $60 \pm 10$  segundos, se agita el vaso mecánico en el agitador por un periodo de  $120 \pm 5$  segundos.
- Después del proceso de agitación, sacamos el vaso mecánico del agitador, se destapa y vertimos el contenido en el tamiz N ° 4, tratamos de retirar todo el material fino quedante, asegurándonos de que caiga en el mismo recipiente de los agregados que lo atravesaron. Secamos el material retenido en el tamiz N° 4 a peso contante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y se registra su peso.
- Utilizamos las probetas de Equivalente de Arena, el cual debe estar en equilibrio constante sin perturbaciones de entorno durante el proceso de sedimentación del ensayo.

### c) Procedimiento

- Se vierte 7 ml de la solución de Cloruro de Calcio dentro de la probeta de plástico.



**Figura 39.** Se vierte la solución de Cloruro de Calcio a la probeta.

*Fuente: Elaboración propia*

- Colocamos la muestra de ensayo en el vaso de lavado mecánico, añadimos agua destilada, se ajusta la tapa y colocamos el vaso en el agitador, se comienza con el proceso de agitación después de 60 segundos de haber vertido el agua del lavado. Se espera el agitado del vaso por  $600 \pm 15$  segundos.
- Después del proceso de agitado, retiramos el vaso del agitador y quitamos la tapa, se realiza movimientos verticales y horizontales-circulares al vaso mecánico, por 5 o 6 veces para poner los finos en suspensión y llevamos a un recipiente colector de agua.
- Descartamos el material retenido en el tamiz N° 4.



**Figura 40.** Agregado después del proceso de agitación.

*Fuente: Elaboración propia*

- Se prioriza el recojo de toda el agua de lavado y material que pasa el tamiz N° 200, asegurándonos que pase por el tamiz mencionado en su totalidad y se junten en el



recipiente colector. Se añade agua destilada hasta dar un volumen de  $1000 \pm 5$  ml de agua sucia.

- Colocamos el material en la probeta de plástico, se agita el agua para poner a los finos en suspensión, vertimos el agua del lavado dentro del cilindro graduado hasta que llegue al nivel de la marca.



*Figura 41. Agitación y vertido en la probeta del agua de lavado.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Se coloca el tapón en el extremo del cilindro y preparamos para su mezclado. Mezclamos el contenido mediante movimientos alternados de agitación hacia arriba y hacia abajo a la derecha y a la izquierda, haciendo que la burbuja atraviese completamente el cilindro 20 veces en 35 segundos aproximadamente.



*Figura 42. Agitación del agua de lavado con solución en probeta*

*Fuente: Elaboración propia*

- Después del proceso de mezclado, colocamos la probeta cilíndrica sobre una mesa de trabajo y quitamos el tapón, dejamos reposar el cilindro por  $1200 \pm 15$  segundos





cuidando de no perturbarlo, exactamente al final del tiempo leemos y registramos la altura de la columna de sedimentación.



*Figura 43. Reposo de las probetas tras agitación y posterior lectura de la altura de sedimentación. Fuente: Elaboración propia*

#### **d) Toma de datos**



**Tabla 52. Recolección de datos del ensayo de Índice de Durabilidad del agregado grueso**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
<b>INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADOS</b>						
(NORMA AASHTO T-210, MTC E214, ASTM D 3744)						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.						
Tesistas	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce					
Muestra	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Cantera	Agregado Grueso - Grava Chancada					
Fecha	Morroblanco - San Salvador					
	01	/	02	/	2020	
<b>PREPARACION DE LA MUESTRA GRUESA - GRAVA</b>						
<b>N° DE ENSAYO</b>	UND	1	2	3	4	5
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>						
3/4" - 1/2"	gr	1076.3				
1/2" - 3/8"	gr	571.4				
3/8" - N° 4	gr	912.8				
Gravedad Especifica del Agregado	gr/m <sup>3</sup>	2.7				
Agua Destilada para Ensayo	ml	1000.0				
Hora de entrada de Agitacion	min	12:44				
Hora de salida de Agitacion	min	12:54				
<b>ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO - GRAVA</b>						
<b>N° DE ENSAYO</b>	1	2	3	4	PROMEDIO	
<b>ENSAYO</b>						
Tamaño maximo (pasa malla N°4)	4.76	4.76	4.76			
Hora inicial del proceso de mezcla	11:22	11:24	11:26			
Hora final del proceso de mezcla	11:32	11:34	11:36			
Hora de entrada a decantación	11:34	11:36	11:38			
Hora de entrada a decantación (más 20")	11:54	11:56	11:58			
Nivel Superior Suspension Arcillosa (pulg.)	1.00	1.10	1.00			
<b>ECUACION DE CALCULO</b>						
DC = 30.3+20.8cot (0.29 +0.015H)	74.00%	73.00%	74.00%		<b>73.7%</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.6.2 Índice de Durabilidad del agregado fino

#### a) Equipos, materiales y reactivos

- Vaso mecánico de lavado, cilíndrico
- Recipiente colector o fondo de mallas
- Agitador
- Tamices
- Balanza
- Termómetro
- Agua destilada
- Soluciones de Cloruro de Calcio-Stock
- Horno.



### b) Muestra

- Se hace el cuarteo de una porción representativa del material que pase por el tamiz 4, una cantidad de  $500 \pm 0.25$  g, secar la muestra a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

### c) Procedimiento

- Colocar muestra en el vaso mecánico de lavado, añadir  $1000 \pm 5$  ml de agua destilada. Colocar el vaso en el agitador, por un periodo de  $120 \pm 5$  segundos.
- Retire el vaso del agitador destape y cuele el contenido a través del tamiz N° 200, protegido con el tamiz N°4, enjuague el vaso y el tamiz hasta que el agua que pasa por el tamiz salga clara.



*Figura 44. Agregado fino después de ser agitado por 2 minutos.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Después de lavado, transfiera el material retenido en el tamiz a un recipiente de secado, secar a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, es necesario lavar el material retenido en la malla N° 200 para transferirlo al recipiente de secado.



- Dividir el material secado en una muestra de 3 onzas (85ml) hasta el borde, consolidar el material y enrasar el nivel superior.



**Figura 45.** Agregado fino en probetas después del agitado mecánico.

*Fuente: Elaboración propia*

- Hágase un ensayo de Equivalente de Arena según la norma MTC E114, con la excepción de que se usara agitador mecánico por un tiempo de  $600 \pm 15$  segundos. Posteriormente registramos la altura de la columna de sedimentación.



**Figura 46.** Probetas con agregado Fino después de ensayo de Equivalente de Arena para complementar el ensayo de Índice de Durabilidad. Fuente: Elaboración propia

#### d) Toma de datos



**Tabla 53.** Recolección de datos del ensayo de Índice de Durabilidad del agregado fino

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>			
<b>INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADOS</b>					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.					
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candía Ponce			
Tesista	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	:	Agregado Fino - Arena			
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador			
Fecha	:	01	/	02	/2020
<b>ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO - GRAVA</b>					
<b>AGREGADO FINO - ARENA</b>					<b>PROMEDIO</b>
ENSAYO N°	N°	1	2	3	
Tamaño máximo (pasa mala n° 04)	mm	4.76	4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación	min	14:20	14:22	14:24	
Hora de salida de saturación ( más 10")	min	14:30	14:32	14:34	
hora de entrada a decantación (más 20")	min	14:32	14:34	14:36	
hora de entrada a decantación	min	14:52	14:54	14:56	
Altura máxima de material fino	mm	6.60	6.80	6.60	
Altura máxima de la arena	mm	3.80	3.80	3.80	
Equivalente de Arena	%	57.6%	55.9%	57.6%	57.0%

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.7 Ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas

#### a) Equipos, materiales

- Recipientes
- Balanza
- Dispositivo calibrador proporcional
- Horno

#### b) Muestra

- Secamos la muestra a horno a peso constante a temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- La norma nos pide que para nuestro Tamaño Máximo Nominal de  $\frac{3}{4}$ " la cantidad de muestra a usar es mínimamente de 2 kg. Nosotros usamos una muestra de 8 kg aproximadamente.



### c) Procedimiento

- Ensayamos cada partícula de cada fracción medida y colocamos en uno de los tres grupos 1) Chatas, 2) Alargadas, 3) Ni chatas ni alargadas. Para ello utilizaremos el Calibrador Proporcional, el cual es un equipo consiste en una base plana con dos postes fijos y un brazo giratorio entre ellos de tal modo que las distancias entre los extremos del brazo y los postes, mantengan una relación constante.
- Ensayo de Partículas Chatas: Ajustar la abertura entre el brazo mayor y el poste, al ancho de las partículas. La partícula es Chata si su espesor pasa por la abertura menor.



*Figura 47. Ensayo de partículas Chatas. Fuente: Elaboración propia*

- Ensayo de Partículas Alargadas: Ajustar la abertura mayor a la longitud de la partícula. La partícula es Alargada si su ancho pasa por la abertura menor.



*Figura 48. Ensayo de partículas Alargadas.*

*Fuente: Elaboración propia*



- Luego de la clasificación en los grupos descritos, determinamos la proporción de la muestra por cada grupo.



**Figura 49.** Clasificación de las partículas según su forma: Chatas, Alargadas y Ni chatas ni alargadas. Fuente: Elaboración propia

- Registramos los pesos de cada grupo y procedemos con la toma de datos en función a la proporción de cada grupo respecto a la muestra total.



**Figura 50.** Registro del peso de cada clase de agregado según el tipo de partícula.

Fuente: Elaboración propia

#### d) Toma de datos



*Tabla 54. Recolección de datos del ensayo de Partículas Chatas y Alargadas*

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
<b>DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>						
(NORMA ASTM D-693) - MTC E 221 -						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.						
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce				
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe				
Muestra	:	Agregado Grueso - Grava Chancada				
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador				
Fecha	:	03	/	02	/	2020

TAMIZ (pulg)		PESO RETENIDO	% RETENIDO	PARTICULAS CHATAS		PARTICULAS ALARGADAS		CHATAS Y ALARGADAS
PASA	RETIENE			PESO MAT.	% PARCIAL	PESO MAT.	% PARCIAL	(%) PARCIAL
3"	2 1/2"							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"							
3/4"	1/2"							
1/2"	3/8"	4795.00	58.08	150.20	3.13	200.70	4.19	4.45
3/8"	1/4"	3461.00	41.92	199.50	5.76	160.70	4.64	4.41
TOTAL		8256.00	100.00	Prom	4.45	Prom	4.41	8.86

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(gr.)	8256.00
<b>PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>	<b>(%)</b>	<b>8.86</b>

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.8 Ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas

#### a) Equipos, materiales

- Recipientes
- Tamices
- Balanza
- Espátula

#### b) Procedimiento

- Lavamos la muestra sobre el tamiz designado para la determinación de partículas fracturada y secamos a masa constante.
- Extendemos 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.



**Figura 51.** Se observa detenidamente y directamente cada partícula para determinar sus caras fracturadas. Fuente: Elaboración propia

- Usando la espátula separamos en dos grupos: (1) Partículas fracturadas en una cara o (2) Partículas fracturadas en dos o más caras. En la figura se muestra partículas desde la que tiene más caras fracturadas hasta la partícula canto rodado, es decir, la más redondeada.



**Figura 52.** Muestra de partículas desde la partícula con más caras fracturadas hasta la más redondeada. Fuente: Elaboración propia

- Determinamos los pesos de cada grupo y procedemos con la toma de datos.



**Figura 53.** Peso de los grupos clasificados según el tipo de caras fracturadas

*Fuente: Elaboración propia*

**c) Toma de datos**

**Tabla 55.** Recolección de datos del ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>						
<b>DETERMINACION DE CARAS FRACTURADAS</b>						
NORMA ASTM D-5821 - MTC E 210						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.						
Tesistas	: <u>Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce</u> <u>Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe</u>					
Muestra	: <u>Agregado Grueso - Grava Chancada</u>					
Cantera	: <u>Morroblanco - San Salvador</u>					
Fecha	: <u>03 / 02 / 2020</u>					
<b>A.- CON UNA CARA FRACTURADA</b>						
TAMAÑO DEL AGREGADO	A	B	C	D	E	
PASA TAMIZ	RETIENE EN TAMIZ	(gr.)	(gr.)	((B/A)*100)	((A/ΣA)*100)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1325.00	1301.20	98.20	81.04	7958.41
1/2"	3/8"	310.00	300.80	97.03	18.96	1839.76
TOTAL		1635.0	1602.0	195.2	100.00	9798.2
<b>PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA</b>		TOTAL E		<b>97.98 %</b>		
		TOTAL D				



B.- CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETIENE EN TAMIZ	(gr.)	(gr.)	((B/A)*100)		(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1325.0	1010.5	76.3	81.04	6180.4
1/2"	3/8"	310.0	191.5	61.8	18.96	1171.3
TOTAL		1635.0	1202.0	138	100.00	7351.7
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA			TOTAL E	73.52 %		
			TOTAL D			

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.9 Ensayo de Sales solubles en agregados para Pavimentos Flexibles

#### a) Equipos, materiales y reactivos

Los equipos, materiales y reactivos para este ensayo son los mismos para el ensayo aplicado al agregado grueso y al agregado fino.

- Balanza analítica, con sensibilidad de 0,01 g
- Estufa,
- Plancha de calentamiento
- Mecheros
- Matraces aforados
- Vasos de precipitado
- Pipetas
- Tubos de ensayo
- Agua destilada
- Solución Nitrato de Plata.

#### b) Muestra

- La cantidad de muestra se debe ajustar a lo establecido en la siguiente tabla:

**Tabla 56.** Cantidad de muestra para el ensayo según Agregado

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 - 20 mm	1000	500
Grava 20 - 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 379*

### c) Procedimiento

El procedimiento para este ensayo es el igual tanto como para el ensayo aplicado al agregado grueso y al agregado fino lo único que varía es la cantidad de muestra tal como lo indica la tabla N° 56.

- Secamos la muestra en horno a 110 °C, registramos su peso .Este viene a ser el peso A.



**Figura 54.** Registro del peso de la muestra de agregado fino y grueso después del secado

*Fuente: Elaboración propia*

- Se coloca la muestra en un vaso precipitado, se agrega agua destilada que logre cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra, agitamos el vaso precipitado hasta completar 4 agitaciones en periodo de 10 min. Decantar hasta que el líquido se aprecie transparente transvase el líquido sobrenadante a otro vaso.



**Figura 55.** Decantación del líquido sobrenadante del agregado.

*Fuente: Elaboración propia*



- En dos tubos de precipitados separados, agregamos unas gotas del reactivo, la presencia de cloruros se detecta con unas gotas de Nitrato de Plata, el cual forma un precipitado blanco de Cloruro de Plata.



**Figura 56.** Se agrega las gotas del reactivo: Nitrato de Plata.

*Fuente: Elaboración propia*

- Repetimos el agregado de agua destilada que logre cubrir 3 cm sobre el nivel de la muestra y decantar el líquido hasta que no se detecte presencia de sales.
- Después vaciamos todos los líquidos sobrenadantes acumulados, a un matraz aforado, enrasamos con agua destilada. Registramos el peso, este peso registrado será el peso B.



**Figura 57.** Vaciamos los líquidos sobrenadantes acumulados a un matraz aforado.

*Fuente: Elaboración propia*

- Tomamos una muestra proporcional de un volumen entre 50 y 100 ml, de la muestra del matraz aforado y registre su peso, este peso se denominara como C.
- Cristalizamos esta muestra en un horno a  $100 \pm 5^\circ \text{C}$ , hasta masa constante y registramos el peso como D.



- Se procede con la toma de datos.



*Figura 58. Muestra proporcional de agregado grueso y fino cristalizada*

*Fuente: Elaboración propia*

**d) Toma de datos**

*Tabla 57. Recolección de datos del ensayo de Sales Solubles del agregado grueso*

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
<b>CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS</b>				
(NORMA MTC E 219 )				
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGUN EL METODO MARSHALL.				
Tesistas	_____ Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce _____ Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	_____ Agregado Grueso - Grava Chancada			
Cantera	_____ Morroblanco - San Salvador			
Fecha	30 / 01 / 2020			
<b>AGREGADO GRUESO</b>				
N° DE VASO	1	2	3	PROMEDIO
DESCRIPCION				
<b>PESO TARRO (Biker 100 ml)</b>	57.00	56.69		
<b>PESO TARRO + AGUA + SAL</b>	121.11	129.49		
<b>PESO TARRO SECO + SAL</b>	57.05	56.74		
<b>PESO DE SAL</b>	0.05	0.05		
<b>PESO DE AGUA</b>	64.06	72.75		PROMEDIO
<b>PORCENTAJE DE SAL</b>	<b>0.078</b>	<b>0.069</b>		<b>0.07</b>
OBSERVACIONES: _____				

*Fuente: Elaboración propia*



**Tabla 58.** *Recolección de datos del ensayo de Sales Solubles del agregado fino*

<span style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>					
<p><b>CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS</b></p> <p>(NORMA MTC E 219)</p>					
<p>TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.</p>					
Tesisistas	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce				
	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe				
Muestra	Agregado Fino - Arena				
Cantera	Morroblanco - San Salvador				
Fecha	30 / 01 / 2020				
AGREGADO FINO					
N° DE VASO					
DESCRIPCION	1	2	3	PROMEDIO	
PESO TARRO (Biker 100 ml)	51.70				
PESO TARRO + AGUA + SAL	104.16				
PESO TARRO SECO + SAL	51.78				
PESO DE SAL	0.08				
PESO DE AGUA	52.38			PROMEDIO	
<b>PORCENTAJE DE SAL</b>	<b>0.153</b>			<b>0.15</b>	
OBSERVACIONES: _____					
_____					

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.10 Ensayo de Peso Específico y Absorción

#### 3.5.10.1 Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso

##### a) Equipos, materiales

- Balanza,
- Cesta con malla de alambre
- Depósito de agua
- Tamices
- Estufa

##### b) Muestra

- Se obtiene el material necesario para la práctica, según el peso mínimo de la muestra en función al Tamaño Máximo Nominal.

**Tabla 59.** Peso mínimo de la muestra del agregado grueso para el ensayo

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso Mínimo de la Muestra de Ensayo 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 1/2)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 1/2)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 1/2)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 1/2)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, 2016 Pág. 312

- Se pasa la muestra por el tamiz N° 4 para rechazar todo el material pasante, luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales.

### c) Procedimiento

- Dejamos secar la muestra a una  $110 \pm 5$  °C, para posteriormente dejar enfriar en temperatura ambiente.
- Sumergimos el agregado en agua por un periodo de 24 horas.



**Figura 59.** Muestra de agregado grueso después de estar sumergida por 24 horas.

Fuente: Elaboración propia

- Se extrae la muestra del agua y se coloca sobre una superficie absorbente, evitando la evaporación se procede a secar la superficie del agregado, la muestra se considerara seca cuando se hace desaparecer toda película de agua visible.
- Se determina la masa del agregado en estado saturado superficialmente seca.





**Figura 60.** Peso del agregado en estado Saturado Superficialmente Seco.

*Fuente: Elaboración propia*

- Después se procede a depositar la muestra en la canastilla de agua, determinamos su masa en el agua a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ , evitar de no dejar aire atrapado dentro de la muestra.



**Figura 61.** Peso del agregado sumergido en agua a una temperatura aproximada de  $23^{\circ}\text{C}$ .

*Fuente: Elaboración propia*

- Se retira la muestra del agua, y la llevamos al horno para su secado a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Retiramos la muestra del horno, y dejamos enfriar durante 1 a 3 horas, posteriormente procedemos a registrar su peso.



**Figura 62.** La muestra se lleva al horno, luego enfría y se registra su peso

*Fuente: Elaboración propia*



d) Toma de datos

*Tabla 60. Recolección de datos del ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso*

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>			
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS</b>					
(NORMA MTC E 206, ASTM D-127 - AASHTO T-84, T-85)					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.					
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce			
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	:	Agregado Grueso - Grava Chancada			
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador			
Fecha	:	29	/	01	/ 2020
<b>AGREGADO GRUESO</b>					
SIMBOLO	ENSAYO N°	1	2	3	Promedio
A	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)(gr.)	1918.9			
B	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Agua)(gr.)	1196.8			
C	Vol. De masa = A - B (gr.)	722.1			
D	Peso material seco en estufa ( 105°C)	1904.4			
E	Vol. De Masa = C - (A - D) (gr.)	707.6			<b>Promedio</b>
	Pe Bulk (Base Seca) = D/C	2.637			2.637
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/C	2.657			2.657
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.691			2.691
	% de Absorción = ((A - D)/ D)*100 (%)	0.761%			0.76%

*Fuente: Elaboración propia*

**3.5.10.2 Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino**

**a) Equipos, materiales**

- Balanza
- Estufa
- Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup>
- Molde cónico
- Varilla para apisonado.
- Fiola

**b) Muestra**

- Muestreamos el agregado y reducimos por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.



- Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas.

### c) Procedimiento

- 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.



*Figura 63. Agregado fino extendido en superficie plana después de remojo.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Colocamos en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde hasta conseguir consistencia superficie seca, la cual conseguiremos cuando el cono se derrumbe al quitar el molde.



*Figura 64. La muestra de agregado fino se coloca en el molde cónico para apisonar 25 veces*

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 65.** El cono de agregado se derrumba al retirar el molde lo que indica que está en estado de Superficie Seca. Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente introducimos en el frasco una muestra de 300 g de material preparado, llenamos parcialmente con agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  ° C hasta alcanzar la marca de 500 cm<sup>3</sup>.



**Figura 66.** Introducimos la muestra a la fiola y llenamos con agua hasta los 500 cm<sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

- Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual, es decir, rodar, invertir y agitar el frasco para eliminar todas las burbujas de aire.



**Figura 67.** *Agitado manual de la fiola con el agregado*

*Fuente: Elaboración propia*

- Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a  $23 \pm 2$  °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.



**Figura 68.** *Ajustamos la temperatura de la fiola a 23°C para registrar el peso*

*Fuente: Elaboración propia*

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



**Figura 69.** Secado de material y posterior pesado de material seco

Fuente: Elaboración propia

**d) Toma de datos**

**Tabla 61.** Recolección de datos del ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino.

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>					
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS</b>							
(NORMA MTC E 205, AASHTO T-84, T-85)							
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.							
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce					
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Muestra	:	Agregado Fino - Arena					
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador					
Fecha	:	29	/	01	/	2020	
<b>AGREGADO FINO</b>							
	<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Promedio</b>	
<b>A</b>	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)(gr.)	300.00					
<b>B</b>	Peso Frasco + agua	680.20					
<b>C</b>	Peso Frasco + agua + A (gr.)	980.20					
<b>D</b>	Peso de Mat. + Agua en el Frasco (gr.)	868.20					
<b>E</b>	Vol. De Masa + Vol de Vacío = C-D (gr.)	112.00					
<b>F</b>	Pe. De Mat. Seco en Estufa (105°C) (gr.)	296.70					
<b>G</b>	Vol. De Masa= E-(A-F) (gr.)	108.70					Promedio
	Pe Bulk (Base Seca) = F/E	2.649					<b>2.649</b>
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/E	2.679					<b>2.679</b>
	Pe Aparente (Base Seca) = F/G	2.730					<b>2.730</b>
	% de Absorción = ((A-F)/F)*100	1.11%					<b>0.011</b>
OBSERVACIONES :							
_____							
_____							
_____							

Fuente: Elaboración propia



### 3.5.11 Ensayo de Equivalente de Arena

#### a) Equipos, materiales y reactivos

- Un cilindro graduado, transparente de plástico acrílico, tapón de jebe, tubo irrigador, dispositivo de pesado de pie y ensamblaje del sifón.
- Horno.
- Lata de medición
- Tamiz N°4 (4,75mm)
- Embudo
- Botellas para almacenar la solución.
- Platillo plano.
- Reloj.
- Papel filtro.
- Solución Stock.

#### b) Muestra

- Obtener como mínimo 1500 g de material pasante el tamiz N°4 (4,75mm)

#### c) Procedimiento

- Se homogeniza el material puesto en superficie plana, humedecemos el material para evitar segregación o pérdida de finos.
- Usando un medidor metálico vaciamos 3 medidas de la muestra, en cada ocasión donde una medida de material es vaciada de la muestra, golpeamos la base de material sobre la mesa de trabajo, con un golpe ligero para que el suelo se acomode en el medidor, determinamos la cantidad de material que hay en los medidores.



**Figura 70.** Vaciamos 3 medidas de la muestra y las enrasamos

*Fuente: Elaboración propia*



- Regresamos el material a la muestra y se vuelve a homogeneizar el material, cuando el peso es el predeterminado, dos cuarteos sucesivos sin ajuste deben proveer la cantidad apropiada de material para llenar el medidor y por lo tanto proporcionar un espécimen de prueba.
- Secamos cada espécimen de prueba a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, y enfriamos a temperatura ambiente.
- Colocamos el sifón y vaciamos  $102 \pm 3$  mm indicado en la probeta graduada de la solución de trabajo del Cloruro de Calcio dentro de la probeta de plástico.



*Figura 71. Vertimos la Solución Stock de Cloruro de Calcio a las probetas con el sifón.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Vaciamos un espécimen dentro de la probeta de plástico usando el embudo para evitar que se derrame, golpeamos la base de la probeta con movimientos enérgicos para sacar las burbujas de aire atrapadas y favorecer el humedecimiento del espécimen.
- Dejamos que el espécimen se humedezca y q la probeta con material repose sin manipularla por  $10 \pm 1$  min y Tapamos la probeta.
- Aflojamos el material de la base e invirtiéndolo parcialmente y agitando al mismo tiempo la probeta.





- Después tomamos la probeta con posición horizontal y agitamos vigorosamente con movimientos en línea horizontal de extremo a extremo.



*Figura 72. Agitamos vigorosamente la probeta de forma horizontal*

*Fuente: Elaboración propia*

- Agitamos 90 veces en aproximadamente 30 segundos con un desplazamiento de  $23 \pm 3$  cm. Después de la operación de agitado, colocamos la probeta sobre la mesa de trabajo y removemos el tapón.
- Procedemos al proceso de irrigación, consiste en mantener la probeta vertical, insertamos el tubo irrigador en la parte superior de la probeta y lavamos el material de laterales de la probeta mientras el irrigador desciende, introducimos el irrigador dentro del material hasta la pared inferior de la probeta y aplicamos suaves punzadas al mismo tiempo que gira el irrigador, mientras la solución de trabajo fluye del extremo del irrigador, lava el material fino y lo hace entrar en suspensión, continuamos aplicando las punzadas y los giros mientras lava los finos, hasta que la probeta se llena a 38 cm de gradación.



*Figura 73. Proceso de Irrigación.*

*Fuente: Elaboración propia*



- Extraemos el irrigador lentamente sin cortar el flujo para que el líquido se mantenga en aproximadamente las 15 pulgadas de gradación mientras el irrigador es retirado, regulamos el flujo justo antes de que el irrigador sea completamente extraído y ajustamos el nivel final a las 38 cm de gradación.
- Después dejamos que la probeta y su contenido estén en reposo por 20 min  $\pm$  15 segundos. Al final de los 20 min de sedimentación, leemos y registramos el nivel de suspensión de la arcilla.
- Después colocamos el pisón sobre la probeta y suavemente dejamos caer hasta que llegue a descansar sobre la arena.



*Figura 74. Colocamos el pisón sobre la probeta con las muestras.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Restamos 25,4 cm del nivel indicado por el borde superior extremo del indicador y registramos este valor como la "Lectura de Arena" y procedemos con la toma de datos.



*Figura 75. Lectura de Arena de las tres muestras*

*Fuente: Elaboración propia*



d) Toma de datos

*Tabla 62. Recolección de datos del ensayo de Equivalente de Arena*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
EQUIVALENTE DE ARENA					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.					
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce			
Tesista	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	:	Agregado Fino - Arena			
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador			
Fecha	:	29 / 01 / 2020			
AGREGADO FINO - ARENA					PROMEDIO
ENSAYO N°	N°	1	2	3	
Tamaño máximo (pasa mala n° 04)	mm	4.76	4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación	min	14:20	14:22	14:24	
Hora de salida de saturación ( más 10")	min	14:30	14:32	14:34	
hora de entrada a decantación ( más 20")	min	14:32	14:34	14:36	
hora de entrada a decantación	min	14:52	14:54	14:56	
Altura máxima de material fino	mm	6.60	6.80	6.60	
Altura máxima de la arena	mm	3.80	3.80	3.80	
Equivalente de Arena	%	57.6%	55.9%	57.6%	57.0%

*Fuente: Elaboración propia*

**3.5.12 Ensayo de Angularidad del agregado fino.**

**a) Equipos, materiales**

- Cilindro metálico de volumen conocido
- Tamices
- Embudo metálico
- Marco metálico

**b) Muestra**

- La muestra será la misma de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica.

**c) Procedimiento**

- Identificamos las medidas del cilindro (altura y diámetro) así como su peso.



- Separamos el material que pase el tamiz 2,36 mm (N° 8) y sea retenido en el tamiz 75mm (N° 200).



*Figura 76. Se tamiza la muestra usando el agregado retenido en el tamiz N°200*

*Fuente: Elaboración propia*

- Vertimos 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 77. Vertido del agregado por el embudo hasta que rebose el cilindro.*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **d) Toma de datos**



**Tabla 63. Recolección de datos del ensayo de Angularidad de agregado fino**

<span style="font-size: 1.2em; font-weight: bold; margin: 0 10px;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>						
<b>ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO</b>						
(NORMA ASTM C - 1252, MTC E 222)						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.						
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce				
Tesista	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe				
Muestra	:	Agregado Fino - Arena				
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador				
Fecha	:	30	/	01	/	2020
AGREGADO FINO						
ENSAYO N°		1	2	3	Promedio	
METODO DE PRUEBA		C	C	C		
MATERIAL AGREGADO						
Peso Agregado N° 8 a N° 16	gr.					
Peso Agregado N° 8 a N° 16	gr.					
Peso Agregado N° 8 a N° 16	gr.					
Peso Agregado N° 8 a N° 16	gr.					
Peso Total de la muestra	gr.	190.10	190.00	190.20		
CALIBRACIÓN DEL CILINDRO						
Peso total del Agua en Cilindro	gr.	100.30	100.30	100.30		
Temperatura de Agua	°C	15.00	15.00	15.00		
Densidad del Agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.9992	0.9992	0.9992		
Factor de Corrección por Temp. Del Agua	gr.	100.22	100.22	100.22		
Litros Netos de Agua Usado en el Cilindro	ml.	100.22	100.22	100.22		
CALCULO DE ANGULARIDAD DE AGREGADO						
Volumen del Cilindro	cm <sup>3</sup>	100.22	100.22	100.22		
Masa neta del Agregado en el Cilindro	gr.	141.87	140.22	141.11		
Gravedad Especifica del Agregado	gr/cm <sup>2</sup>	2.649	2.649	2.649		
Porcentaje de Vacios en Agregado	%	46.56%	47.18%	46.85%	46.86%	

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.13 Ensayo de Azul de Metileno (AASHTO TP 57).

#### a) Equipos, materiales y reactivos

- Azul de Metileno
- Tamices
- Balanza
- Espátula
- Bureta
- Vaso de precipitado
- Agitador
- Varilla de vidrio
- Cronometro



- Matraz volumétrico
- Horno
- Papel filtro
- Pinzas para soporte universal

#### **b) Muestra**

- Se separa mediante cribado , al menos 5 gramos de material que pasa la malla N° 200, el material cribado se seca en horno a  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante.
- Después se pesa 1 gramo de material que pasa la malla n° 200, se vierte en el vaso de precipitado de 50 ml se añade posteriormente 30 ml de agua destilada se coloca el vaso de precipitado sobre el agitador magnético, se introduce la barra agitadora y se comienza una agitación vigorosa del agua destilada con los finos.
- Por otra parte se prepara en el matraz volumétrico una solución de 1 gramo de Azul de Metileno grado reactivo en 1000 gramos de agua destilada, para que la concentración de Azul de Metileno en agua destilada sea de 1 en 1000.

#### **c) Procedimiento**

- Se llena la bureta graduada hasta la marca con la solución de Azul de Metileno en agua destilada, con la solución de Azul de Metileno se tintura la suspensión de finos en agua destilada en alícuotas de 1 ml a la vez sin detener la agitación de la suspensión.



**Figura 78.** La bureta llena de solución de Azul de Metileno tintura los finos en suspensión

*Fuente: Elaboración propia*

- Después de cada adición de solución se agita la suspensión por un minuto.



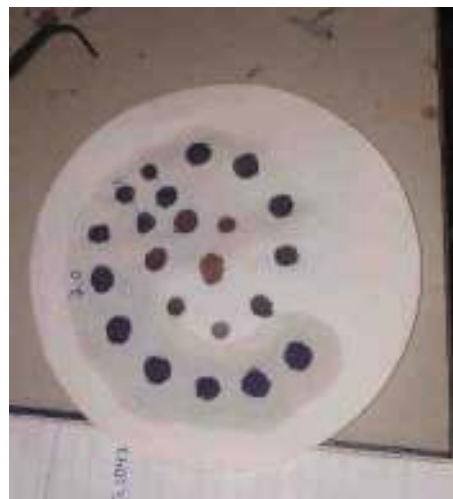
- Después de ese lapso se toma con la punta de la barra de vidrio una gota de suspensión y se vierte sobre el papel filtro para observar la acción de la gota sobre el papel.



*Figura 79. Agitamos la suspensión y la vertimos en papel filtro*

*Fuente: Elaboración propia*

- El punto final del ensayo, es cuando se observa alrededor de la gota la formación de un pequeño halo color azul cian, sino se alcanza esa condición, se debe seguir añadiendo más solución de azul de metileno.
- Una vez formado el halo, debemos continuar con la agitación por 4 min más y observamos y evaluamos la culminación del ensayo.



*Figura 80. Formación del halo color cian que indica la finalización del ensayo*

*Fuente: Elaboración propia*



d) Toma de datos

*Tabla 64. Recolección de datos del ensayo de Azul de Metileno*

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
<b>AZUL DE METILENO</b>				
(NORMA AASHTO TP 057, ASTM C - 837)				
MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.				
Tesistas	: Bach. Daisy Gabriela Candía Ponce			
	: Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	: Agregado Fino - Arena			
Cantera	: Morroblanco - San Salvador			
Fecha	: 01 / 02 / 2020			
<b>AGREGADO FINO</b>				
	<b>ENSAYO N°</b>	<b>UND</b>	<b>DATOS</b>	<b>Promedio</b>
A	Peso material preparao pasante malla # 200	gr.	100.0	
B	Peso material seco utilizado en la prueba	gr.	10.0	
C	Agua destilada añadida	ml	30.0	
D	Solucion inicial de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	0.5	
E	Solucion final de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	7.0	
F	Concentracion Azul Metileno gr/ml de solucion	%	8.0	
				<b>Promedio</b>
G	<b>VALOR AZUL DE METILENO</b>	mg/g	5.6	5.6

*Fuente: Elaboración propia*

**3.5.14 Ensayo de Límites de Consistencia**

**a) Equipos, materiales**

- Espátula,
- Recipiente para almacenaje
- Balanza
- Horno
- Tamiz N° 40
- Agua destilada
- Vidrios de reloj
- Superficie de rodadura

**b) Muestra**

- Se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido.





### c) Procedimiento

#### PARA LIMITE LÍQUIDO

- Calibrar la copa de Casagrande de tal forma que al girar la manija de este tenga una altura de caída al contacto con la base de 10mm.
- Verificar los pesos de los recipientes (taras) e identificarlos.
- Colocar una porción del material ya tamizado en la vasija de porcelana e ir agregando cierta cantidad de agua destilada con ayuda de una piseta y finalmente mezclar la muestra.



*Figura 81. Se mezcla la muestra con agua destilada con ayuda de la piseta*

*Fuente: Elaboración propia*

- Colocar una porción del material en la cuchara de casa grande y esparcirla de manera uniforme formando una superficie aproximadamente horizontal.
- Utilizando el acanalador dividir la muestra contenida en la copa de Casagrande haciendo una ranura por el medio de la muestra dividiéndola en 2.



*Figura 82. Se esparce la mezcla en la cuchara de Casagrande y con el acanalador se divide en 2. Fuente: Elaboración propia*



- Levantar y soltar la copa de Casagrande girando el manubrio del equipo a una velocidad de dos golpes por segundo hasta que las dos mitades de la muestra estén en contacto en la base de la ranura.
- Registrar el número de golpes (N) necesario para cerrar la ranura.
- Tomar parte de la muestra que se encuentra en la cuchara colocándola en una tara.
- Mezclar nuevamente la muestra en la vasija y añadirle agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.



*Figura 83. Girar el manubrio hasta que las dos mitades estén en contacto en la base de la ranura. Fuente: Elaboración propia*

#### PARA LIMITE PLASTICO

- Luego de varias pruebas a contenidos de humedad (06), la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa, esto debido a que el material (pasante malla N°200) está libre de limos y arcillas, por ende no existía mucha cohesión entre las partículas de la muestra. El número de golpes necesarios para cerrar la ranura siempre era menor de 25 (en nuestro caso particular 20 golpes), entonces se registra que el Índice de Plasticidad no pudo determinarse.
- Así, en este caso se reporta al suelo como No Plástico, sin realizar el ensayo de límite plástico tal como lo indica la Norma MTC E-110 “Determinación del Límite Líquido de los suelos” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

#### **d) Toma de datos**



**Tabla 65. Recolección de datos del ensayo de Límites de Consistencia**

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>	
<b>LIMITESB DE CONSISTENCIA</b>	
(NORMA MTC E 110)	
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.	
Tesisistas	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce
	: Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe
Muestra	: Agregado Fino - Arena
Cantera	: Morroblanco - San Salvador
Fecha	: 31 / 01 / 2020

ENSAYO N°	LIMITE LIQUIDO (gr)						LIMITE PLASTICO
	1	2	3	4	5	6	
Peso tara + Muestra Humeda (A)	27.63	29.89	29.35	29.75	28.13	29.25	-
Peso tara + Muestra Seca (B)	25.90	27.60	27.71	26.41	26.40	26.42	-
Peso tara (C)	15.18	16.20	15.35	16.25	15.64	16.30	-
Peso muestra seca (Pms =B-C)							-
Peso de Agua (Pa=A-B)							-
Contenido de Humedad (Pa/Pms)							-
Numero de Golpes	20	20	20	20	20	20	-

OBSERVACIONES : El numero de golpes al ser menor a 25 condicionara a que se registre el agregado como No Plastico por ende, el ensayo de límite plástico no se realizo.

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.15 Ensayo de Gravedad Especifica Rice de Mezcla Bituminosa

#### a) Equipos, materiales

- Recipiente de vacíos.
- Balanza.
- Bomba de vacíos.
- Termómetro.
- Bandejas metálicas.

#### b) Muestra

- Muestra de agregado sin compactar con su respectiva granulometría y contenido de asfalto caliente.
- Según el tamaño máximo nominal del agregado que en nuestro caso es de es ¾” nos pide como mínimo 2500 g.



### c) Procedimiento

- Obtenemos el peso del recipiente vacío.
- Luego aseguramos que el material este disgregado y obtenemos el peso del recipiente más la mezcla asfáltica.
- Agregamos la cantidad suficiente de agua hasta que quede sumergida, tapamos en el dispositivo agitador y encendemos el equipo de bomba de vacíos, durante 15 min.



*Figura 84. Procedimiento de ensayo Rice*

*Fuente: Elaboración propia*

- Retiramos del dispositivo agitador, y luego completamos con agua destilada a temperatura óptima al material desairado, tapamos hasta que salga la cantidad excedente de agua obteniendo el agua desplazada y procedemos con la toma de datos.

### d) Toma de datos



**Tabla 66.** Recolección de datos del ensayo de Gravedad Especifica Rice de mezcla asfáltica con contenidos de Asfalto desde 5.5% -7.5%.

MUESTRA N°		1	2	3	4	5
DESCRIPCION						
1	Peso del frasco	1708.0	1708.0	1708.0	1709.0	1710.0
2	Peso del frasco + el agua	7232.0	7232.0	7232.0	7232.0	7232.0
3	Peso del frasco + mezcla + agua	6731.6	6726.4	6720.2	6716.0	6709.0
4	Peso neto de la muestra	7979.6	7965.7	7967.0	7965.8	7958.8
5	Diferencia del peso (04-03)	1248.0	1239.3	1246.8	1249.8	1249.8
6	Agua desplazada (02-03)	500.4	505.6	511.8	516.0	523.0
7	Peso Especifico Maximo (05/06)	2.494	2.451	2.436	2.422	2.390
8	Contenido de cemento Asfáltico (%)	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%	7.50%

**Gravedad Especifica V.S Cemento Asfáltico (%)**

Cemento Asfáltico (%)	Gravedad Especifica (Rice Gr/Cm3)
5.50%	2.494
6.00%	2.451
6.50%	2.436
7.00%	2.422
7.50%	2.390

Fuente: Elaboración propia



*Tabla 67. Recolección de datos del ensayo de Gravedad Especifica Rice de mezcla asfáltica del contenido óptimo de Asfalto 6.3%.*

MUESTRA N°		1	2	3	4	5
DESCRIPCION						
1	Peso del frasco	1708.0				
2	Peso del frasco + el agua	7232.0				
3	Peso del frasco + mezcla + agua	6717.2				
4	Peso neto de la muestra	7978.4				
5	Diferencia del peso (04-03)	1261.2				
6	Agua desplazada (02-03)	514.8				
7	Peso Especifico Maximo (05/06)	2.450				
8	Contenido de cemento Asfáltico (%)	6.30%				

**Gravedad Especifica V.S Cemento Asfáltico (%)**

GRAVEDAD ESPECIFICA (Rice Gr/Cm3)

CEMENTO ASFALTICO ( % )

2.485 Gr/Cm3

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.16 Ensayo de Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando Equipo Marshall

#### 3.5.16.1 Combinación de agregados

##### a) Equipos, materiales



- Balanza.
- Cucharón metálico.
- Espátula
- Serie de tamices para agregados grueso:  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8 y fondo.
- Bandejas metálicas.

#### b) Procedimiento

- Se tiene los agregados de diferentes características y forma, por lo que se procede con el Muestreo de agregados.
- Grava de  $\frac{1}{2}$ ", Arena Chancada, Arena Natural pasantes los tamices N°04 y N°08, respectivamente.



**Figura 85.** Combinación de agregados pasantes las mallas N°4 y N°8.

*Fuente: Elaboración propia*

- Arena Natural y Arena Chancada retenidos en la malla N°08.

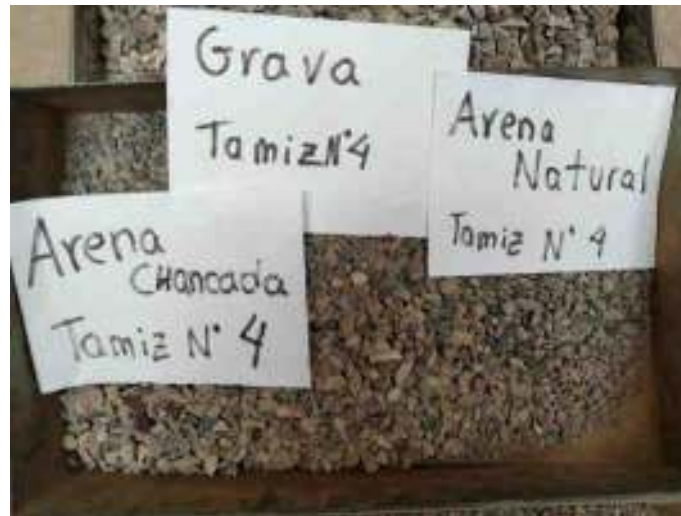


**Figura 86.** Combinación de agregados retenidos en la malla N°8.

*Fuente: Elaboración propia*



- Arena Chancada, Grava de  $\frac{1}{2}$ " y Arena Natural retenidos en la Malla N°04.



**Figura 87.** Combinación de agregados retenidos en la malla N° 4

*Fuente: Elaboración propia*

- Grava de  $\frac{1}{2}$ " Retenido en Malla N°  $\frac{3}{8}$ " y Grava de  $\frac{1}{2}$ " Retenido en Malla N°  $\frac{1}{2}$ ".



**Figura 88.** Gradación de grava de  $\frac{1}{2}$ " retenida en los tamices N°  $\frac{3}{8}$ " y N°  $\frac{1}{2}$ "

*respectivamente. Fuente: Elaboración propia*

- Preparamos el material para pesar en proporciones definidas de acuerdo a su granulometría.





*Figura 89. Combinación de agregados final para preparación de mezcla asfáltica según diseño. Fuente: Elaboración propia*

### **3.5.16.2 Preparación de muestras convencionales**

#### **a) Equipos, materiales**

- Balanza de precisión.
- Cucharon metálico.
- Bandejas metálicas

#### **b) Muestra**

- Realizamos la mezcla asfáltica de acuerdo al Tamaño Máximo Nominal, teniendo una gradación de mezcla asfáltica en caliente MAC-2.
- El tipo de cemento asfáltico es PEN 85-100.
- Preparamos 5 muestras para cada contenido de asfalto de 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0%, 7.5%, cada muestra con un peso de 1250 gr.



### c) Procedimiento

- Se tiene el agregado definidas de acuerdo a la granulometría específica para una mezcla asfáltica en caliente MAC-02
- Se procede con realizar el pesaje de para cada muestra. Por cada porcentaje de contenido de asfalto se harán 05 muestras para hallar el contenido óptimo de asfalto.



*Figura 90. Pesaje de la combinación de agregados según el Diseño MAC -02.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Pesaje para 5.5 % de contenido de asfalto.



*Figura 91. Pesaje de la combinación de agregados con 5.5% de contenido de asfalto.*

*Fuente: Elaboración propia*



- Pesaje para 6.0 % de contenido de asfalto.



*Figura 92. Pesaje de la combinación de agregados con 6.0% de contenido de asfalto.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Pesaje para 6.5 % de contenido de asfalto.



*Figura 93. Pesaje de la combinación de agregados con 6.5% de contenido de asfalto.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Pesaje para 7.0 % de contenido de asfalto.



*Figura 94. Pesaje de la combinación de agregados con 7.0% de contenido de asfalto.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Pesaje para 7.5 % de contenido de asfalto.
- Se culmina con el pesaje de agregado para las primeras 25 muestras (05 muestras por cada cantidad de contenido de asfalto)



*Figura 95. Pesaje de la combinación de agregados con 7.5% de contenido de asfalto.*

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.5.16.3 Preparación de Especímenes Marshall convencional.**

#### **a) Equipos, materiales y reactivos**

- Balanza de precisión.
- Cucharón metálico.



- Serie de tamices para agregados finos: N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 200 y fondo.
- Bandejas metálicas

### b) Procedimiento

- Se procede con la preparación de agregados, secar los agregados a peso constante. El secado en horno será hecho a la temperatura de 105 ° C a 110 ° C, así como el cemento asfáltico empleado en preparar las muestras también será calentado hasta que esté en su estado líquido.



*Figura 96. El agregado así como el cemento asfáltico es calentado en el horno.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Se hace el pesaje de la muestra y posteriormente se añade el porcentaje de Asfalto correspondiente. La cantidad de cemento asfáltico será la del diseño de mezcla asfáltica en caliente MAC -02 y estará en proporción al 5.5 %, 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5% del peso de la muestra.



*Figura 97. Pesaje y añadido de agregados y cemento asfáltico.*

*Fuente: Elaboración propia*



- Se realiza la mezcla para la homogenización de los agregados con el cemento asfáltico es necesario recalcar que dicha mezcla se hace en la estufa para mantener las temperaturas mínimas acorde a las mezclas asfálticas en caliente.



**Figura 98.** Mezcla de los agregados y el cemento asfáltico en estufa para mantener temperatura caliente. Fuente: Elaboración propia

- La base, collar y briqueta Marshall también son calentadas en una bandeja en la estufa con el fin de evitar que al momento de la compactación la mezcla asfáltica se enfríe.
- Se procede con la colocación de la muestra, con el respectivo chuseo de 25 golpes a la mitad y cuando esté lleno, en la briqueta Marshall y determinamos la temperatura de compactación.



**Figura 99.** Colocación de la mezcla asfáltica en la briqueta y posterior control de temperatura Fuente: Elaboración propia



- Compactamos el testigo dando 75 golpes (tránsito pesado) a ambas caras del testigo esto con ayuda del compactador manual.



*Figura 100. Compactación de los especímenes de mezcla asfáltica con un compactador manual. Fuente: Elaboración propia*

- Se retira la briqueta y se deja enfriar con el espécimen asfáltico hasta una temperatura adecuada para así poder realizar la extracción de la misma mediante el eyector de muestras.
- Se procede a identificar con un código cada briqueta, se almacena y se deja por 24 horas para someterlas a cualquier tipo de ensayo.
- Realizamos lo mismo para todas las muestras convencionales.



*Figura 101. Extracción de las briquetas con el eyector de muestras*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **3.5.16.4 Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras convencionales**

##### **a) Equipos, materiales**

- Equipo Marshall con dial de deformación y flujo.
- Equipo de baño María.
- Termómetro.
- Molde Lottman
- Especímenes Marshall.
- Balanza.
- Guantes

##### **b) Procedimiento**

- Se sumerge en baño María durante 30 minutos a una temperatura de 60°C.
- Es necesario controlar la temperatura de muestra en el agua, el agua deberá cubrir en su totalidad los especímenes asfálticos, para su correcto ensayo en el equipo de Flujo Marshall.





*Figura 102. Sumersión de todos los especímenes asfálticos en baño María a una temperatura de 60°C. Fuente: Elaboración propia*

- Una vez pasado los 30 min. Se coloca el espécimen en el molde Lotman, se le coloca en el Equipo Marshall, es necesario aclarar que el espécimen deberá estar centrado en el molde para así poder proceder correctamente con el ensayo.



*Figura 103. Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall*

*Fuente: Elaboración propia*



- Después de la rotura de especímenes Marshall, se evalúa las muestras.



*Figura 104. Evaluación de los especímenes asfálticos, tras rotura Marshall.*

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.5.16.5 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO**

#### **b) Procedimiento**

- El contenido óptimo de asfalto es finalmente encontrado basado en resultados combinados de Estabilidad Marshall, Flujo, Densidad y volumen de Vacíos.
- Se determina que el Contenido Óptimo de Asfalto para la propuesta de diseño de mezcla asfáltica en caliente MAC -02 es de 6.3%
- Se realiza el pesaje de para cada muestra y se procede con la elaboración de 05 especímenes tal como en el punto 3.5.16.3 Preparación de especímenes Marshall convencional pero con el contenido de cemento asfáltico del 6.3%.



*Figura 105. Pesaje de la combinación de agregados con de contenido de asfalto óptimo de 6.3%. Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.16.6 Preparación de muestras modificadas

#### a) Equipos, materiales

- Balanza de precisión.
- Cucharon metálico.
- Bandejas metálicas

#### b) Muestra

- Obtenido el porcentaje óptimo de contenido de Asfalto al 6.3%
- El tipo de cemento asfáltico es PEN 85-100.
- Preparamos 10 muestras incorporando 2% de Nanotubos de Carbono con respecto al contenido de Asfalto, 10 muestras incorporando 3% de Nanotubos de Carbono con respecto al contenido de Asfalto y 10 muestras incorporando 3 % de Nanotubos de Carbono respecto al contenido de Asfalto, cada muestra con un peso de 1250 gr.

#### c) Procedimiento

- Se tiene el agregado definido de acuerdo a su granulometría de la mezcla asfáltica en caliente MAC -02 y se realiza el pesaje de para cada muestra.
- Preparamos el pesaje de 10 muestras para especímenes modificados incorporando NTC al 2% con respecto al contenido óptimo de Asfalto.



*Figura 106. Pesaje de los agregados con contenido óptimo de Asfalto y 2% de Nanotubos de Carbono. Fuente: Elaboración propia*

- Preparamos el pesaje de 10 muestras para especímenes modificados incorporando NTC al 3% con respecto al contenido óptimo de Asfalto.



*Figura 107. Pesaje de los agregados con contenido óptimo de Asfalto y 3% de Nanotubos de Carbono. Fuente: Elaboración propia*

- Preparamos el pesaje de 10 muestras para especímenes modificados incorporando NTC al 4% con respecto al contenido óptimo de Asfalto.
- Y se culmina con el pesaje de muestras modificadas.



*Figura 108. Pesaje de los agregados con contenido óptimo de Asfalto y 4% de Nanotubos de Carbono. Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.16.7 Preparación de Especímenes Marshall modificados.

#### a) Equipos, materiales

- Balanza de precisión.
- Cucharon metálico.
- Serie de tamices para agregados finos: N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 200 y fondo.
- Bandejas metálicas

#### b) Procedimiento

La elaboración de mezclas asfálticas modificadas se fundamenta en los criterios de elaboración de mezclas asfálticas convencionales, con la diferencia que se adicionan una cantidad de Nanotubos de Carbono a la combinación de agregados, y mediante un proceso mecánico de mezclado todo el material se uniformiza, lo cual se aprecia visualmente porque al añadir el aditivo la mezcla se oscurece logrando una dispersión homogénea. Posteriormente se añade el asfalto y se continúa con el procedimiento convencional de mezclas asfálticas en caliente.

- Empezamos con la preparación de agregados, su respectivo pesaje según el diseño de mezcla asfáltica modificada con NTC.
- Secamos los agregados a peso constante. El secado en horno será hecho de 105 ° C a 110 ° C. Así mismo el cemento asfáltico empleado para preparar las muestras será calentado.



*Figura 109. El agregado como el cemento asfáltico previamente pesado son calentados en el horno. Fuente: Elaboración propia*

- Se realiza y prepara el pesaje de Nanotubos de Carbono para los respectivos porcentajes de 2%, 3% y 4%. Estos porcentajes son respecto al peso del cemento asfáltico y son 1.58 gr, 2.363 gr, 3.15 gr respectivamente.



*Figura 110. Pesaje de los Nanotubos de Carbono según porcentajes.*

*Fuente: Elaboración propia*

- Y posteriormente se le añade el porcentaje de Nanotubos de Carbono correspondiente a la combinación de agregados según el diseño.
- Se realiza la mezcla y homogenización de la muestra, es decir; se mezcla arena natural, arena triturada, grava de ½” y los Nanotubos de Carbono con total ausencia de Asfalto. Se observa que la mezcla logra una dispersión homogénea porque visualmente cambia de color además que los Nanotubos de Carbono se compenetran perfectamente haciéndose imposible diferenciar el aditivo del agregado.



*Figura 111. Se agregan los Nanotubos de Carbono al pesaje de agregados y se mezclan.*

*Fuente: Elaboración propia*



*Figura 112. Dispersión homogénea de los Nanotubos de Carbono con los agregados.*

- Luego se añade el porcentaje de Asfalto correspondiente.
- Se realiza la mezcla para la homogenización de los agregados con Nanotubos de Carbono y el cemento asfáltico, es necesario recalcar que dicha mezcla se hace en la estufa para mantener las temperaturas mínimas acorde a las mezclas asfálticas en caliente.



*Figura 113. Se agrega el cemento asfáltico para su posterior mezclado en caliente.*

*Fuente: Elaboración propia*

- La base, collar y briqueta Marshall también son calentadas en una bandeja en la estufa con el fin de evitar que al momento de la compactación la mezcla asfáltica se enfríe.
- Se procede con la colocación de la muestra, con el respectivo chuseo de 25 golpes a la mitad y cuando esté lleno, en la briqueta Marshall y determinamos la temperatura de compactación.



*Figura 114. Colocación de la mezcla en la briqueta Marshall*

*Fuente: Elaboración propia.*

- Compactamos el testigo dando 75 goles (tránsito pesado) a ambas caras del testigo esto con ayuda del compactador manual.





**Figura 115.** Compactación de los especímenes de mezcla asfáltica modificada con un compactador manual. Fuente: Elaboración propia

- Se retira la briqueta y se deja enfriar con el espécimen asfáltico hasta una temperatura adecuada para así poder realizar la extracción de la misma mediante el eyector de muestras.
- Se procede a identificar con un código cada briqueta, se almacena y se deja por 24 horas para someterlas a cualquier tipo de ensayo.
- Realizamos lo mismo para todas las muestras de mezcla asfáltica modificada.



**Figura 116.** Extracción de las briquetas modificadas con el eyector de muestras  
Fuente: Elaboración propia



### 3.5.16.8 Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall convencionales y modificados.

#### a) Equipos, materiales

- Balanza,
- Depósito de agua
- Termómetro
- Franela

#### b) Procedimiento

El procedimiento descrito a continuación describe los pasos a seguir para determinar los parámetros volumétricos de los especímenes Marshall por lo tanto el procedimiento es el mismo tanto para especímenes Marshall convencionales y modificados. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se realiza los pesajes correspondientes de todos los especímenes.
- Luego se continúa registrando el Peso seco de los especímenes Modificados con Nanotubos de Carbono y los convencionales con contenido óptimo de Asfalto del 6.3%.



**Figura 117.** Pesaje en seco de Especímenes Marshall convencionales y modificados.

*Fuente: Elaboración propia.*

- Luego en depósito de agua se le llena con agua tibia a una temperatura controlada que en nuestro caso fue de 26 °C, posteriormente se sumergen los especímenes convencionales y modificados uno por uno para registrar el peso de los mismos.
- Se determina el Peso Sumergido de especímenes modificados con Nanotubos de Carbono y los convencionales con contenido óptimo de Asfalto del 6.3%.



**Figura 118.** Pesaje de Especímenes Marshall convencionales y modificados sumergidos en agua a temperatura controlada. Fuente: Elaboración propia

- Finalmente con ayuda de una franela se seca la parte externa de las briquetas convencionales y modificadas una por una para posteriormente ser pesadas.
- Se determina el Peso Superficialmente Seco de especímenes modificados con Nanotubos de Carbono y los convencionales con contenido óptimo de asfalto del 6.3%.



**Figura 119.** Secado con franela y pesaje de Especímenes convencionales y modificados superficialmente secos. Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.16.9 Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras modificadas

#### a) Equipos, materiales

- Equipo Marshall con dial de deformación y flujo.
- Equipo de Baño María.
- Termómetro.



- Molde de Lottman
- Especímenes Marshall.
- Balanza.
- Guantes

#### b) Procedimiento

- Se sumerge en baño María durante 30 minutos a una temperatura de 60°C.
- Es necesario controlar la temperatura de muestra en el agua, el agua deberá cubrir en totalidad los especímenes asfálticos, para su correcto ensayo en el equipo de Flujo Marshall.



*Figura 120. Sumersión de todos los especímenes asfálticos modificados en Baño María a una temperatura de 60°C. Fuente: Elaboración propia.*

- Una vez pasado los 30 min. Se coloca el espécimen en el molde Lotman, se le coloca en el Equipo Marshall, es necesario aclarar que el espécimen deberá estar centrado en el molde para así poder proceder correctamente con el ensayo.



**Figura 121.** Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall en muestras Modificadas

*Fuente: Elaboración propia.*

- Después de la rotura de especímenes Marshall modificados, se evalúa las muestras.
- Se evalúan los 10 Especímenes modificados con Nanotubos de Carbono al 2% y contenido óptimo de Asfalto al 6.3% después de rotura Marshall.



**Figura 122.** Evaluación de Especímenes modificados con NTC - 2% y contenido de Asfalto 6.3% tras rotura Marshall. *Fuente: Elaboración propia*

- Se evalúan los 10 Especímenes modificados con Nanotubos de Carbono al 3% y contenido óptimo de Asfalto al 6.3% después de rotura Marshall.



*Figura 123. Evaluación de especímenes modificados con NTC - 3% y contenido de Asfalto 6.3% tras rotura Marshall. Fuente: Elaboración propia*

- Se evalúan los 10 Especímenes modificados con Nanotubos de Carbono al 4% y contenido óptimo de Asfalto al 6.3% después de rotura Marshall.



*Figura 124. Evaluación de especímenes modificados con NTC - 3% y contenido de Asfalto 6.3% tras rotura Marshall. Fuente: Elaboración propia*

#### **d) Toma de datos**

- En el ejemplo se ve los datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall para determinar el Contenido Optimo de Asfalto con un contenido de asfalto del 6.0%



**Tabla 68.** Ejemplo de Recolección de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall para determinar el Contenido Optimo de Asfalto.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
		<b>RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN EQUIPO MARSHALL</b>						
		(NORMA ASTM D -2041, AASHTO T -209)						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.								
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce						
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe						
Material	:	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 6.0% DE CONCRETO ASFALTICO						
Fecha	:	11 / 02 / 2020						
	DESCRIPCION	UND	PROBETAS					Prom.
			1	2	3	4	5	
1	C.A. En peso de la mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%	35.38	35.38	35.38	35.38	35.38	
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%	58.62	58.62	58.62	58.62	58.62	
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	
6	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	
7	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.674
8	Peso Especifico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	
9	Peso Especifico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.705
10	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm						
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1230.0	1243.3	1236.0	1247.2	1233.2	
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1230.8	1244.0	1236.9	1247.8	1233.6	
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	699.6	708.1	706.7	713.0	704.4	
15	Volumen de la Probeta	cc	531.2	535.9	530.2	534.8	529.2	PROMEDIO
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.316	2.320	2.331	2.332	2.330	2.326
17	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.451	2.451	2.451	2.451	2.451	
18	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	
19	% Vacios	%	5.5	5.3	4.9	4.9	4.9	5.1
20	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
21	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	
22	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	
23	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	81.50	81.66	82.05	82.08	82.02	
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	12.97	13.00	13.06	13.07	13.06	
26	% de vacios del Agregado Mineral	%	18.50	18.34	17.95	17.92	17.98	18.1
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70	
28	Relacion Betun Vacios	%	70.12	70.87	72.77	72.92	72.61	71.9
29	Lectura del Anillo	kg.	294	284	305	352	348	
30	Estabilidad Sin Corregir	kg.	1273	1230	1320	1522	1505	
31	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	
32	Estabilidad Corregida	kg.	1222	1181	1267	1461	1445	1315
33	Lectura del Flexímetro ( 0.001" )	pul	13.0	12.0	12.0	14.0	13.0	
34	Fluencia	mm.	3.30	3.05	3.05	3.56	3.30	3.3
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	3701	3873	4158	4110	4376	4044
<b>OBSERVACIONES:</b> 1. Grava Chancada 1 /2" 35.0% Cantera Morroblanco San Salvador 2. Arena Chancada 35.0% Cantera Morroblanco San Salvador 3. Arena Natural 30.0% Cantera Cunyac 4. Cemento Asfáltico Pen 85-100 Refineria La Pampilla REPSOL-Peru								

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 69. Recolección de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall del Contenido Optimo de Asfalto 6.3%**

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>								
<b>RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN EQUIPO MARSHALL</b> (NORMA ASTM D -2041, AASHTO T -209)								
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.								
Tesistas	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe							
Material	: MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL de CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO 6.3%							
Fecha	: 13 / 02 / 2020							
1	DESCRIPCION	UND	PROBETAS					Prom.
			1	2	3	4	5	
1	C.A. En peso de la mezcla	%	6.3	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%	0	0.00	0	0	0	
5	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	
6	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	
7	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.674
8	Peso Especifico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	
9	Peso Especifico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.705
10	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm						
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1237.4	1240.8	1237.4	1235.6	1240.4	
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1238.3	1241.6	1238.3	1236.4	1241.0	
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	707.9	710.7	707.1	708.6	711.7	
15	Volumen de la Probeta	cc	530.4	530.9	531.2	527.8	529.3	PROMEDIO
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.333	2.337	2.329	2.341	2.343	2.337
17	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	
18	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	
19	% Vacios	%	4.8	4.6	4.9	4.4	4.3	4.6
20	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
21	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	
22	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	
23	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	81.85	82.00	81.73	82.13	82.22	
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	13.37	13.40	13.35	13.42	13.43	
26	% de vacios del Agregado Mineral	%	18.15	18.00	18.27	17.87	17.78	18.0
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	
28	Relacion Betun Vacios	%	73.68	74.42	73.07	75.11	75.55	74.4
29	Lectura del Anillo	kg.	334	300	286	342	301	
30	Estabilidad Sin Corregir	kg.	1441	1294	1234	1475	1299	
31	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	
32	Estabilidad Corregida	kg.	1383	1243	1185	1416	1247	1295
33	Lectura del Flexímetro ( 0.001" )	pul	13.0	12.0	14.0	14.0	13.0	
34	Fluencia	mm.	3.30	3.05	3.56	3.56	3.30	3.35
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	4189	4077	3332	3982	3776	3871
<b>OBSERVACIONES:</b> 1. Grava Chancada 1/2" 35.0% Cantera Morroblanco San Salvador 2. Arena Chancada 35.0% Cantera Morroblanco San Salvador 3. Arena Natural 30.0% Cantera Cunyac 4. Cemento Asfáltico Pen 85-100 Refineria La Pampilla REPSOL-Peru								

Fuente: Elaboración propia





- En el siguiente ejemplo se ve los datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de Carbono en Equipo Marshall con un contenido óptimo de Asfalto del 6.3% y NTC al 3%

**Tabla 70. Ejemplo de Recolección de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de Carbono al 3% con Equipo Marshall**

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO												
		RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN EQUIPO MARSHALL												
		(NORMA ASTM D -2041, AASHTO T -209)												
		TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.												
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce												
		Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe												
Material	:	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL de CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO 6.3% MODIFICADA CON NANOTUBOS DE CARBONO AL 3%												
Fecha	:	15 / 02 / 2020												
DESCRIPCION	UND	PROBETAS										Prom.		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	C.A. En peso de la mezcla	%	6.3	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014
6	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657
7	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.674
8	Peso Especifico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679
9	Peso Especifico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.705
10	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm												
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1226.0	1237.5	1242.5	1240.2	1235.5	1237.4	1234.6	1231.4	1231.7	1234.3	1234.3	
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1227.3	1238.4	1243.6	1240.9	1235.7	1238.0	1235.1	1231.9	1232.3	1234.8	1234.8	
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	702.2	709.8	714.9	709.9	711.5	712.2	713.2	712.0	709.0	711.5	711.5	
15	Volumen de la Probeta	cc	525.1	528.6	528.7	531.0	524.2	525.8	521.9	519.9	523.3	523.3	523.3	PROMEDIO
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.335	2.341	2.350	2.336	2.357	2.353	2.366	2.369	2.354	2.359	2.352	2.352
17	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
18	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439
19	% Vacios	%	4.7	4.4	4.0	4.6	3.8	3.9	3.4	3.3	3.9	3.7	4.0	4.0
20	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671
21	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715
22	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693
23	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	81.92	82.14	82.45	81.94	82.69	82.57	83.00	83.10	82.58	82.75	82.75	82.75
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	13.42	13.46	13.51	13.43	13.55	13.53	13.60	13.61	13.53	13.56	13.56	13.56
26	% de vacios del Agregado Mineral	%	18.08	17.86	17.55	18.06	17.31	17.43	17.00	16.90	17.42	17.25	17.5	17.5
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01
28	Relacion Betun Vacios	%	74.21	75.33	76.99	74.35	78.28	77.60	79.97	80.56	77.67	78.62	77.4	77.4
29	Lectura del Anillo	kg.	342	319	370	302	350	346	350	310	315	340	340	340
30	Estabilidad Sin Corregir	kg.	1475	1376	1595	1303	1509	1492	1509	1337	1359	1467	1467	1467
31	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	1.00	1.00	0.96	0.96	0.96	0.96
32	Estabilidad Corregida	kg.	1416	1321	1532	1251	1449	1433	1509	1337	1305	1408	1396	1396
33	Lectura del Flexímetro ( 0.001" )	pul	12.0	12.0	13.0	14.0	14.0	12.0	12.0	14.0	12.0	14.0	14.0	14.0
34	Fluencia	mm.	3.05	3.05	3.30	3.56	3.56	3.05	3.05	3.56	3.05	3.56	3.28	3.28
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	4646	4335	4638	3518	4075	4700	4952	3761	4280	3959	4287	4287

Fuente: Elaboración propia



### 3.6 Procedimiento de Análisis de Datos

#### 3.6.1 Ensayo de Granulometría de agregados por tamizado

##### 3.6.1.1 Granulometría de agregado grueso

###### a) Procesamiento o cálculos de prueba

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido} \cdot 100}{\text{Total Retenido}}$$

$$\text{Para Agregado Grueso - Grava Chancada, \% Retenido en } \frac{3}{4}'' = \frac{336.0 \cdot 100}{30836.0} = 1.09\%$$

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

Para Agregado Grueso - Grava Chancada, Retenido Acumulado en  $\frac{1}{2}''$

$$= 336.0 + 18969.0 = 19305.0 \text{I9}$$

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \frac{\text{Peso Retenido Acumulado} \cdot 100}{\text{Total Retenido}}$$

Para Agregado Grueso - Grava Chancada, \% Retenido Acumulado en  $\frac{1}{2}''$

$$= \frac{19305.0 \cdot 100}{30896.0} = 62.61\%$$

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

Para Agregado Grueso - Grava Chancada, \% Retenido Acumulado en  $\frac{1}{2}''$

$$= 100\% - 62.61\% = 37.39\%$$

###### b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem



Tabla 71. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado grueso – Grava Chancada

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>						
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO</b>								
(NORMA AASHTO T-27, ASTM D136)								
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.								
Tesistas :	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce							
	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe							
Muestra :	Agregado Grueso - Grava Chancada							
Cantera :	Morroblanco - San Salvador							
Fecha :	28 / 01 / 2020							
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	76.200						PESO INICIAL SECO: <b>30836.0</b>	
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400	0.0	0.00	0.0	0.00	100.00		
3/4"	19.050	336.0	1.09	336.0	1.09	98.91		
1/2"	12.500	18969.0	61.52	19305.0	62.61	37.39		
3/8"	9.500	6845.0	22.20	26150.0	84.80	15.20		
Nº 4	4.750	4464.0	14.48	30614.0	99.28	0.72		
Nº 8	2.360	222.0	0.72	30836.0	100.00	0.00		
Nº 10	2.000						Módulo de Fineza : <b>6.9%</b>	
Nº 16	1.190							
Nº 30	0.600						% pasa malla Nº200:	
Nº 40	0.420							
Nº 50	0.300						OBSERVACIONES :	
Nº 100	0.150							
Nº 200	0.075							
< Nº 200	FONDO							

**CURVA GRANULOMETRICA**

Abertura (mm)	Porcentaje que Pasa (%)
2.000	0.00
2.360	0.72
2.500	0.72
3.000	15.20
3.750	37.39
4.750	99.28
5.000	99.28
75.000	99.28
76.200	99.28

Fuente: Elaboración propia



### c) Análisis de la prueba.

Los porcentajes que pasan de las granulometrías de agregado grueso – Grava Chancada se utilizarán en el diseño Mezcla Asfáltica en Caliente MAC - 02 para una proporción de 35% de Grava Chancada, 35% de Arena Natural y Arena Chancada al 30%.

#### 3.6.1.2 Granulometría de agregado fino

##### a) Procesamiento o cálculos de prueba

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido} * 100}{\text{Total Retenido}}$$

Para Agregado Fino – Arena Chancada, % Retenido en malla N° 4 =  $\frac{39.4 * 100}{1183.5} = 3.33\%$

**Retenido Acumulado =  $\sum$  Retenidos acumulados + Retenido de la malla**

Para Agregado Fino – Arena Chancada, % Retenido en malla N° 8

$$= 39.40 + 367.1 = 406.50$$

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \frac{\text{Peso Retenido Acumulado} * 100}{\text{Total Retenido}}$$

Para Agregado Fino – Arena Chancada, % Retenido en malla N° 8

$$= \frac{406.50 * 100}{1183.50} = 34.35\%$$

**% Que pasa = 100 % - % Retenido Acumulado**

Para Agregado Fino – Arena Chancada, % Retenido en malla N° 8

$$= 100\% - 34.5\% = 65.65\%$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido} * 100}{\text{Total Retenido}}$$

Para Agregado Fino – Arena Zarandeada, % Retenido en malla N° 4 =  $\frac{61.8 * 100}{1167.3} =$

5.29%



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

Para Agregado Fino – Arena Zarandeada, % Retenido en malla N° 8

$$= 61.80 + 97.60 = 159.40$$

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \frac{\text{Peso Retenido Acumulado} * 100}{\text{Total Retenido}}$$

Para Agregado Fino – Arena Zarandeada, % Retenido en malla N° 8

$$= \frac{159.40 * 100}{1167.30} = 13.66\%$$

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

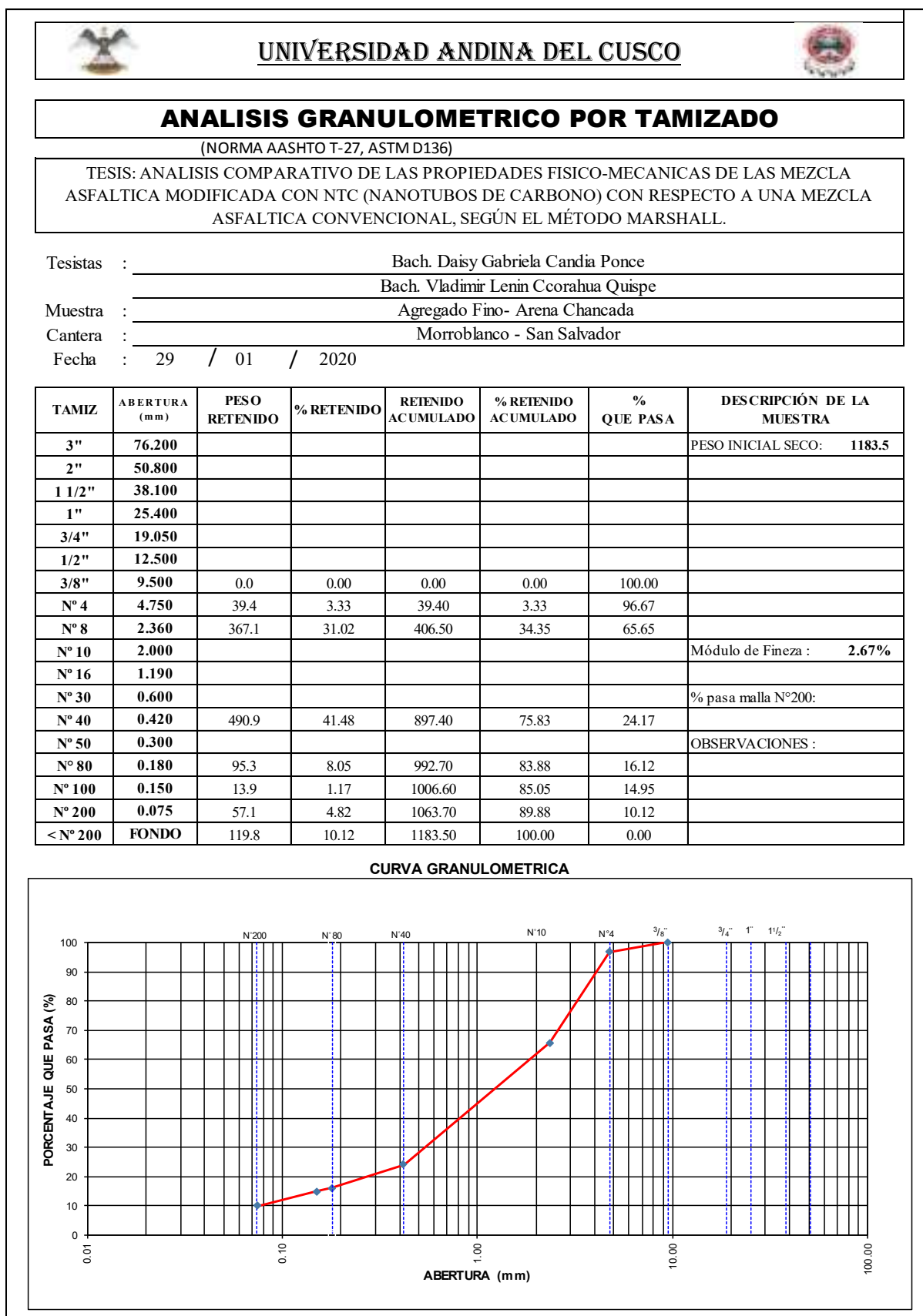
Para Agregado Fino – Arena Zarandeada, % Retenido en malla N° 8

$$= 100\% - 13.66\% = 86.34\%$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**



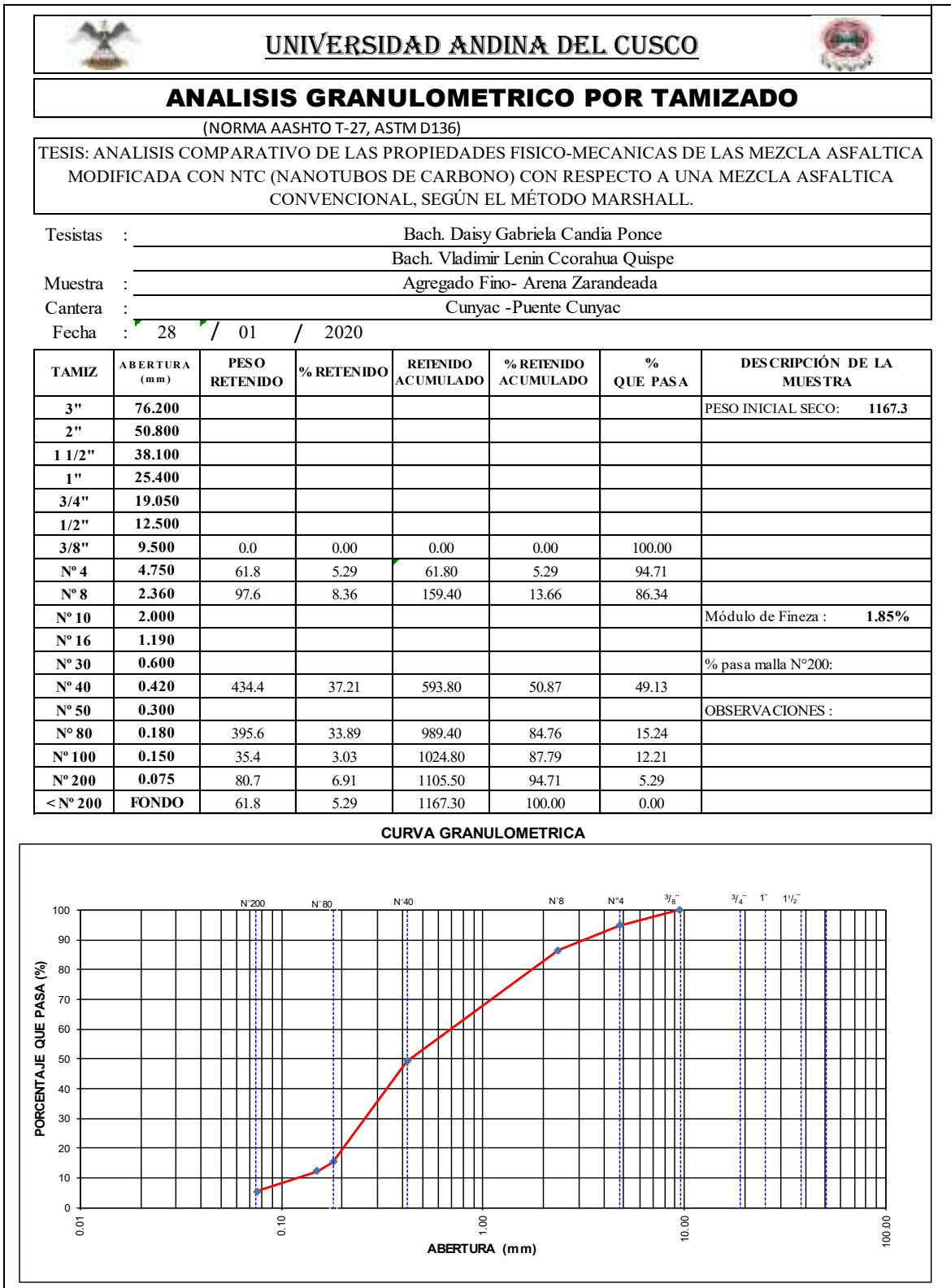
Tabla 72. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado fino – Arena Chancada



Fuente: Elaboración propia



Tabla 73. Cálculo del ensayo de granulometría del agregado fino – Arena Zarandeada



Fuente: Elaboración propia



**c) Análisis de la prueba.**

Los porcentajes que pasan de las granulometrías de los agregado fino – Arena Chancada y agregado fino – Arena Zarandeada se utilizaran en el diseño Mezcla Asfáltica en Caliente MAC - 02 para una proporción de 35% de Grava Chancada, 35% de Arena Natural y Arena Chancada al 30%.





Tabla 74. Combinación de granulometría de los agregados

MATERIAL		DOSIFICACION		PROCEDENCIA		OBSERVACIONES	
1. Grava Chancada 1/2"		35.0%		Cantera Morroblanco San Salvador			
2. Arena Chancada		35.0%		Cantera Morroblanco San Salvador			
3. Arena Natural		30.0%		Cantera Cunyac			
4. Cal Hidratada (Filler)		0.0%					
Total		100.0%					

Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe
Fecha	:	30 / 01 / 2020

TAMZ	ABERT. mm.	% RETENIDO PARCIAL				Promedio % Que Pasa	ESPECIFICACIÓN		FORMULA DE TRABAJO SEGUN ESPECIFICACIÓN		DESCRIPCION
		1. Arena Natural	2. Grava Chancada	3. Arena Chancada	4. Cal Hidrat.		Minima	Maxima	Minima	Maxima	
1 1/2"	38.100						MTC		MAC-2		Tamaño maximo : 3/4"
1"	25.400										Tamaño Nominal : 1/2 "
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	100	100	
1/2"	12.500	100.0	46.4	100.0	100.0	81.2	80	100	80.0	100.0	Composicion de Agregados :
3/8"	9.500	100.0	19.6	100.0	100.0	71.9	70	88	70.0	88.0	Grava : 37.6 %
Nº 4	4.750	94.7	0.3	96.7	100.0	62.4	51	68	51.0	68.0	Arena : 57.3 %
Nº 8	2.360	86.3	0.0	65.7	100.0	48.9					Finos : 5.1 %
Nº 10	2.000	82.0	0.0	61.3	100.0	46.1	38	52	38.0	52.0	
Nº 40	0.425	49.1	0.0	24.2	100.0	23.2	17	28	17	28	
Nº 80	0.180	15.2	0.0	16.1	100.0	10.2	8	17	8	17	
Nº 100	0.150	12.2	0.0	14.9	100.0	8.9					
Nº 200	0.075	5.3	0.0	10.0	100.0	5.1	4	8	4.0	8.0	
< Nº 200											

**ESPECIFICACIÓN CARPETA ASFALTICA (MAC-ASTM D3515)**

Fuente: Elaboración propia



### c) Análisis de la prueba.

Los Porcentajes que pasan de la combinación granulométrica de los agregados Grueso (Grava Chancada), Fino (Arena Chancada y Arena Zarandeada), en proporción de 35% de Grava Chancada de 1/2", con un 35% de Arena Natural Zarandeada y con 30% de Arena chancada cumplen con las especificaciones de distribución granulométrica para un diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente tipo MAC – 02 tal como se ve en el gráfico de curvas granulométricas donde la curva de la combinación de los agregados se encuentra dentro de los límites establecidos según la especificación MAC – 02.

## 3.6.2 Ensayo de Durabilidad al sulfato de Magnesio.

### 3.6.2.1 Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Pérdida de peso (gr) = Peso inicial empleado (gr) – Peso Final (gr)

Pérdida de peso (pasa 3/4" Ret. 1/2") = 670.00 - 620.40 = 49.60

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Pérdida de peso (gr)}}{\text{Peso Inicial empleado (gr)}} * 100$$

$$\text{Pérdida de peso (pasa 3/4" Ret. 1/2")} = \frac{49.60}{670.00} * 100 = 7.40\%$$

$$\text{Gradación Original (\%)} = \frac{\text{Peso Inicial empleado (gr)}}{\text{Peso total (gr)}} * 100$$

$$\text{Gradación Original (pasa 3/4" Ret. 1/2")} = \frac{670.00}{1300.00} * 100 = 51.54\%$$

$$\text{Perdida corregida (\%)} = \frac{\text{Perdida de peso} * \text{Gradacion Original}}{100}$$

$$\text{Perdida corregida (pasa 3/4" Ret. 1/2")} = \frac{7.40 * 51.54}{100} = 3.82\%$$

#### b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem



**Tabla 75. Cálculo del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>						
<b>ENSAYO DE DURABILIDAD - SULFATO DE MAGNESIO</b>								
(NORMA MTC E209, AASHTO T-104)								
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.								
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce						
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe						
Muestra	:	Agregado Grueso - Grava Chancada						
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador						
Fecha	:	03 / '02 / 2020						
<b>AGREGADO</b>								
TAMAÑO		PESO REQUERIDO	PESO INICIAL (gr.)	PESO FINAL (gr.)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA CORREGIDA
PASA	RETIENE				%			
			1300.00					
1 1/2"	1"	1000 ± 10						
1"	3/4"	670 ± 10						
3/4"	1/2"	670 ± 10	670.00	620.40	49.60	7.40	51.54	3.82
1/2"	3/8"	300 ± 5	330.00	291.70	38.30	11.61	25.38	2.95
3/8"	N° 4	300 ± 5	300.00	250.40	49.60	16.53	23.08	3.82
<b>PERDIDA TOTAL</b>								<b>10.58</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### c) Análisis de la prueba.

El ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso, cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para agregado grueso establecidos en la norma MTC – E 209.

### 3.6.2.2 Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Pérdida de peso (gr) = Peso inicial empleado (gr) – Peso Final (gr)

Pérdida de peso (pasa 3/8" Ret. #4) = 100.30 – 91.30 = 9.00

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{Pérdida de peso (gr)}}{\text{Peso Inicial empleado (gr)}} * 100$$

$$\text{Pérdida de peso (pasa 3/8" Ret. #4)} = \frac{9.00}{100.30} * 100 = 8.97\%$$

$$\text{Gradación Original (\%)} = \frac{\text{Peso Inicial empleado (gr)}}{\text{Peso total (gr)}} * 100$$



$$\text{Gradación Original (pasa 3/8" Ret. \#4)} = \frac{100.30}{603.60} * 100 = 16.62\%$$

$$\text{Pérdida corregida (\%)} = \frac{\text{Pérdida de peso} * \text{Gradación Original}}{100}$$

$$\text{Pérdida corregida (pasa 3/8" Ret. \#4)} = \frac{8.97 * 16.62}{100} = 1.49\%$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**

**Tabla 76.** Cálculo del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>						
<b>ENSAYO DE DURABILIDAD - SULFATO DE MAGNESIO</b>								
(NORMA MTC E209; ASTM C88; AASHTO T-104)								
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.								
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce						
	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe						
Muestra	:	Agregado Fino - Arena						
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador						
Fecha	:	31 / 01 / 2020						
<b>AGREGADO FINO</b>								
<b>Peso Total 603.60</b>								
TAMAÑO		PESO REQUERIDO	PESO INICIAL	PESO FINAL (gr.)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL	PERDIDA CORREGI
PASA	RETIENE				PESO	%		
N° 3/8	N° 04	100.0	100.30	91.30	9.00	8.97	16.62	1.49
N° 4	N° 08	100.0	100.10	86.00	14.10	14.09	16.58	2.34
N° 8	N° 16	100.0	99.70	86.20	13.50	13.54	16.52	2.24
N° 16	N° 30	100.0	101.10	84.70	16.40	16.22	16.75	2.72
N° 30	N° 50	100.0	102.40	80.20	22.20	21.68	16.96	3.68
N° 50	N° 100	100.0	100.00	82.30	17.70	17.70	16.57	2.93
<b>TOTALES</b>								<b>15.4%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**c) Análisis de la prueba.**

El ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso, cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para agregado grueso establecidos en la norma MTC – E 209.

**3.6.3 Ensayo de Abrasión de los Ángeles**

**a) Procesamiento o cálculos de prueba**



$$\% \text{ Abrasión} = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}}$$

$$\% \text{ Abrasión para Agregado Grueso} = \frac{5004 - 3898}{5004} * 1000 = 22.10\%$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**

*Tabla 77. Cálculo del ensayo de Abrasión los Ángeles*

<span style="font-size: 1.2em; font-weight: bold; margin: 0 10px;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>																																																									
<b>ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)</b>																																																									
(NORMA MTC E 207; AASHTO T-96)																																																									
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.																																																									
Tesisistas	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce																																																								
	: Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe																																																								
Muestra	: Agregado Grueso - Grava Chancada																																																								
Cantera	: Morroblanco - San Salvador																																																								
Fecha	: 01 / 02 / 2020																																																								
<b>TAMIZ</b>	<b>GRADUACIONES</b>																																																								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">A</th> <th style="width: 25%;">B</th> <th style="width: 25%;">C</th> <th style="width: 25%;">D</th> </tr> <tr> <td>2" - 1 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1/2" - 1"</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1" - 3/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4" - 1/2"</td> <td style="text-align: center;">2502.2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/2" - 3/8"</td> <td style="text-align: center;">2501.8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8" - 1/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/4" - N° 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>PESO TOTAL</b></td> <td style="text-align: center;">5004</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO</b></td> <td style="text-align: center;">1106</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>PESO OBTENIDO</b></td> <td style="text-align: center;">3898</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>N° DE ESFERAS</b></td> <td style="text-align: center;">11</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>PESO DE LAS ESFERAS</b></td> <td style="text-align: center;">5013</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>PORCENTAJE OBTENIDO</b></td> <td style="text-align: center; background-color: yellow;">22.10</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	A	B	C	D	2" - 1 1/2"				1 1/2" - 1"				1" - 3/4"				3/4" - 1/2"	2502.2			1/2" - 3/8"	2501.8			3/8" - 1/4"				1/4" - N° 4				<b>PESO TOTAL</b>	5004			<b>PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO</b>	1106			<b>PESO OBTENIDO</b>	3898			<b>N° DE ESFERAS</b>	11			<b>PESO DE LAS ESFERAS</b>	5013			<b>PORCENTAJE OBTENIDO</b>	22.10		
A	B	C	D																																																						
2" - 1 1/2"																																																									
1 1/2" - 1"																																																									
1" - 3/4"																																																									
3/4" - 1/2"	2502.2																																																								
1/2" - 3/8"	2501.8																																																								
3/8" - 1/4"																																																									
1/4" - N° 4																																																									
<b>PESO TOTAL</b>	5004																																																								
<b>PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO</b>	1106																																																								
<b>PESO OBTENIDO</b>	3898																																																								
<b>N° DE ESFERAS</b>	11																																																								
<b>PESO DE LAS ESFERAS</b>	5013																																																								
<b>PORCENTAJE OBTENIDO</b>	22.10																																																								

*Fuente: Elaboración propia*

**c) Análisis de la prueba.**

El porcentaje de abrasión del agregado grueso de la cantera de Morroblanco - San Salvador, determinado por medio de la máquina Los Ángeles, cumple con un valor mínimo al valor máximo establecido dentro de los requisitos de calidad para agregado grueso del ensayo MTC – E 207.



### 3.6.4 Ensayo de Adherencia -Bitumen

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Tal como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) lo indica en la sección de cálculos del ensayo de Revestimiento y desprendimiento de Mezclas agregado – Bitumen:

“Reportar la estimación del área revestida como “Mayor de 95%” o “Menor de 95%”.



*Figura 125. Análisis visual del revestimiento de asfalto PEN 85/100 al agregado grueso.  
Fuente: Elaboración propia*

Registramos como “Mayor de 95% de revestimiento”

#### b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

*Tabla 78. Cálculo del ensayo de Adherencia – Bitumen*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO	
<b>ADHERENCIA AGREGADO - BITUMEN</b> (NORMA MTC E 517; ASTM D 1664)	
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.	
Tesistas	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe
Muestra	: Agregado Grueso - Grava Chancada
Cantera	: Morroblanco - San Salvador
Fecha	: 29 / 01 / 2020
DESCRIPCION	DATOS
ADITIVO	Sin aditivo
TIPO DE ASFALTO (ASFALTO LIQUIDO)	PEN 85-100
<b>RECUBRIMIENTO (%)</b>	<b>+95%</b>
PORCENTAJE ESPECIFICADO	Min. 95%
PORCENTAJE DE RECUBRIMIENTO ESTIMADO	100% RET

*Fuente: Elaboración propia*



### c) Análisis de la prueba.

El ensayo de Revestimiento y desprendimiento de Mezclas agregado – Bitumen, es un ensayo descriptivo por lo tanto los cálculos y análisis son de forma visual. Así como se observa en la Figura 124, se ve que el asfalto PEN 85/100 se adhieren al agregado grueso en más del 95% de la muestra por ende cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para agregado Ggrueso establecidos en la norma MTC – E 517.

En consecuencia NO se requiere incluir aditivo para Adherencia del Agregado.

## 3.6.5 Ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad

### 3.6.5.1 Índice de Durabilidad del agregado grueso

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Preparamos la muestra:

- *Peso de la muestra de 3/4" - 1/2"* = 1076.300 gr
- *Peso de la muestra de 1/2" - 3/8"* = 571.40 gr
- *Peso de la muestra de 3/8" - N°4* = 912.80 gr
- *Gravedad Especifica* = 2.657 gr/cm<sup>3</sup> = 2.70 gr/cm<sup>3</sup>

Se determina las lecturas correspondientes del material fino y altura máxima de la arena.

Lectura maxima de material Fino<sub>1</sub> = 1.0 mm

#### *Ecuación de Calculo*

$$DC_1 = 30.3 + 20.8\cot(0.29 + 0.015H)$$

$$DC_1 = 30.3 + 20.8\cot(0.29 + 0.015(1))$$

$$DC_1 = 74.00 \%$$

$$DC_2 = 30.3 + 20.8\cot(0.29 + 0.015H)$$

$$DC_2 = 30.3 + 20.8\cot(0.29 + 0.015(1.10))$$

$$DC_2 = 73.00 \%$$

$$DC_3 = 30.3 + 20.8\cot(0.29 + 0.015H)$$



$$DC_3 = 30.3 + 20.8 \times \cot(0.29 + 0.015(1))$$

$$DC_3 = 74.00 \%$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**

*Tabla 79. Cálculo del ensayo de Índice de Durabilidad del agregado grueso*

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
<b>INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADOS</b>						
<small>(NORMA AASHTO T-210, MTC E214, ASTM D 3744)</small>						
<small>TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.</small>						
Tesistas	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce					
	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Muestra	Agregado Grueso - Grava Chancada					
Cantera	Morroblanco - San Salvador					
Fecha	01 /	02 /	2020			
<b>PREPARACION DE LA MUESTRA GRUESA - GRAVA</b>						
<b>N° DE ENSAYO</b>	UND	1	2	3	4	5
<b>PESO DE LA MUESTRA</b>						
3/4" - 1/2"	gr	1076.30				
1/2" - 3/8"	gr	571.40				
3/8" - N° 4	gr	912.80				
Gravedad Especifica del Agregado	gr/m <sup>3</sup>	2.657				
Agua Destilada para Ensayo	ml	1000.00				
Hora de entrada de Agitacion	min	12:44				
Hora de salida de Agitacion	min	12:54				
<b>ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO - GRAVA</b>						
<b>N° DE ENSAYO</b>		1	2	3	4	PROMEDIO
<b>ENSAYO</b>						
Tamaño maximo (pasa malla N°4)		4.76	4.76	4.76		
Hora inicial del proceso de mezcla		11:22	11:24	11:26		
Hora final del proceso de mezcla		11:32	11:34	11:36		
Hora de entrada a decantación		11:34	11:36	11:38		
Hora de entrada a decantación (más 20")		11:54	11:56	11:58		
Nivel Superior Suspension Arcillosa (pulg.)		1.00	1.10	1.00		
<b>ECUACION DE CALCULO</b>						
<b>DC = 30.3+20.8cot (0.29 +0.015H)</b>		74.00%	73.00%	74.00%		73.7%
OBSERVACIONES:						

*Fuente: Elaboración propia*

**c) Análisis de la prueba.**

El ensayo de Índice de Durabilidad, cumple con el requerimiento establecido de los requerimientos para agregados gruesos de la Tabla N°423-01 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265, que nos indica que el porcentaje del ensayo debe ser como mínimo debe ser 35.0 %.





### 3.6.5. 2 Índice de durabilidad del agregado fino

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Se determina las lecturas correspondientes del material fino y altura máxima de la arena.

- *Lectura maxima de material Fino<sub>1</sub> = 6.6 mm*
- *Lectura maxima de Arena<sub>1</sub> = 3.8 mm*

$$\text{Equivalente de Arena } \%_1 = \frac{\text{Lectura maxima de material Fino}_1}{\text{Lectura maxima de Arena}_1}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_1 = \frac{6.6}{3.8}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_1 = 57.6$$

- *Lectura maxima de material Fino<sub>2</sub> = 6.8 mm*
- *Lectura maxima de Arena<sub>2</sub> = 3.8 mm*

$$\text{Equivalente de Arena } \%_2 = \frac{\text{Lectura maxima de material Fino}_2}{\text{Lectura maxima de Arena}_2}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_2 = \frac{6.8}{3.8}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_2 = 55.9$$

- *Lectura maxima de material Fino<sub>3</sub> = 6.6 mm*
- *Lectura maxima de Arena<sub>3</sub> = 3.8 mm*

$$\text{Equivalente de Arena } \%_3 = \frac{\text{Lectura maxima de material Fino}_3}{\text{Lectura maxima de Arena}_3}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_3 = \frac{6.6}{3.8}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_3 = 57.6$$

#### b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem



**Tabla 80.** Cálculo del ensayo de Índice de durabilidad del agregado fino

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
<b>INDICE DE DURABILIDAD DE AGREGADOS</b>					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.					
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candía Ponce			
Tesista	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	:	Agregado Fino - Arena			
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador			
Fecha	:	01	/	02	/2020
<b>ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO - GRAVA</b>					
<b>AGREGADO FINO - ARENA</b>					
ENSAYO N°	N°	1	2	3	PROMEDIO
Tamaño máximo (pasa mala n° 04)	mm	4.76	4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación	min	14:20	14:22	14:24	
Hora de salida de saturación ( más 10")	min	14:30	14:32	14:34	
hora de entrada a decantación (más 20")	min	14:32	14:34	14:36	
hora de entrada a decantación	min	14:52	14:54	14:56	
Altura máxima de material fino	mm	6.60	6.80	6.60	
Altura máxima de la arena	mm	3.80	3.80	3.80	
Equivalente de Arena	%	57.6%	55.9%	57.6%	57.0%

*Fuente: Elaboración propia*

### c) Análisis de la prueba

El ensayo de Índice de Durabilidad, cumple con el requerimiento establecido de los requerimientos para agregados finos de la Tabla N°423-02 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265, que nos indica que el porcentaje del ensayo debe ser como mínimo debe ser 35.0 %.

### 3.6.6 Ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

$$\% \text{ Que pasa} = \frac{\text{Peso Inicial}}{\text{Peso Total}} * 100$$

$$\% \text{ Que pasa Partículas Chatas (Pasa 1/2'' y Ret. 3/8'')} = \frac{4795.00}{8556.00} * 100 = 58.08\%$$

$$\% \text{ Part. (Chatas o Alargadas)} = \frac{\text{Peso de partículas Chatas o Alargadas}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$



$$\% \text{ Part. Chatas (Pasa } 1/2'' \text{ y Ret. } 3/8'') = \frac{150.20}{4795.00} * 100 = 3.13\%$$

% Partículas Chatas y Alargadas = % Prom. Part. Chatas + % Prom. Part. Alargadas

% Partículas Chatas y Alargadas = 4.45% + 4.41% = 8.86%

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**

*Tabla 81. Cálculo de ensayo de partículas Chatas y Alargadas en agregado grueso*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO								
<b>DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS</b>								
(NORMA ASTM D-693) - MTC E 221 -								
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.								
Tesistas	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe							
Muestra	: Agregado Grueso - Grava Chancada							
Cantera	: Morroblanco - San Salvador							
Fecha	: 03 / 02 / 2020							
<b>TAMIZ (pulg)</b>	<b>PESO RETENIDO</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>PARTICULAS CHATAS</b>		<b>PARTICULAS ALARGADAS</b>		<b>CHATAS Y ALARGADAS</b>	
PASA	RETIENE		PESO MAT.	% PARCIAL	PESO MAT.	% PARCIAL	(%) PARCIAL	
3"	2 1/2"							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"							
3/4"	1/2"							
1/2"	3/8"	4795.00	58.08	150.20	3.13	200.70	4.19	4.45
3/8"	1/4"	3461.00	41.92	199.50	5.76	160.70	4.64	4.41
TOTAL		8256.00	100.00	Prom	4.45	Prom	4.41	8.86
PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr.)			8256.00					
<b>PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)</b>			<b>8.86</b>					
OBSERVACIONES :								

*Fuente: Elaboración propia*

**c) Análisis de la prueba.**

Luego de los cálculos respectivos del ensayo de partículas Chatas y Alargadas, observamos que cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para agregado grueso establecido en la norma ASTM 4791.



### 3.6.7 Ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

$$\% \text{ Caras Fracturadas} = \frac{\text{Peso material con caras fracturadas}}{\text{Peso de muestra}} * 100$$

$$\% \text{ Caras Fracturadas (con una o más caras fracturadas para } 1/2'') = \frac{1301.20}{1325.00} * 100 = 98.20\%$$

$$\% \text{ Retenido Gradación Original} = \frac{\text{Peso de muestra por tamiz}}{\text{Peso de muestra total}} * 100$$

$$\% \text{ Ret. Gradación Original (con una o más caras fracturadas para } 1/2'') = \frac{1325.00}{1635.00} * 100 = 81.04\%$$

$$\% \text{ Con una Cara o más Caras Fracturadas} = \frac{\Sigma \text{ Peso material con caras fracturadas}}{\Sigma \text{ Peso de muestra total}} * 100$$

$$\% \text{ Con una Cara o más Fracturadas (Para una cara fracturada)} = \frac{1602.00}{1635.00} * 100 = 97.98\%$$

#### b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem



Tabla 82. Cálculos de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
<b>DETERMINACION DE CARAS FRACTURADAS</b>						
NORMA ASTM D-5821 - MTC E 210						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.						
Tesistas :	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Muestra :	Agregado Grueso - Grava Chancada					
Cantera :	Morroblanco - San Salvador					
Fecha :	03 / 02 / 2020					
A.- CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETIENE EN TAMIZ	(gr.)	(gr.)	((B/A)*100)	((A/ΣA)*100)	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1325.00	1301.20	98.20	81.04	7958.41
1/2"	3/8"	310.00	300.80	97.03	18.96	1839.76
TOTAL		1635.0	1602.0	195.2	100.00	9798.2
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA				TOTAL E	97.98 %	
				TOTAL D		
B.- CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETIENE EN TAMIZ	(gr.)	(gr.)	((B/A)*100)	D	(C*D)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1325.0	1010.5	76.3	81.04	6180.4
1/2"	3/8"	310.0	191.5	61.8	18.96	1171.3
TOTAL		1635.0	1202.0	138	100.00	7351.7
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA				TOTAL E	73.52 %	
				TOTAL D		
OBSERVACIONES : _____						

Fuente: Elaboración propia

### c) Análisis de la prueba.

Continuando con la determinación del porcentaje de Partículas Fracturadas para el agregado grueso, al realizar el análisis del ensayo para una o más caras fracturadas cumple con los requerimientos y para el caso de dos o más caras fracturadas también cumple con los requerimientos establecidos en la norma de dicho ensayo el cual está basado en el MTC – E 210.



### 3.6.8 Ensayo de Sales solubles en agregados para Pavimentos Flexibles

#### 3.6.8.1 Ensayo de Sales solubles en el agregado grueso

##### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Peso Tarro (biker 100 ml.) = 57.00 gr

Peso Tarro + agua + Sal = 121.11 gr

Peso Tarro Seco + Sal = 57.05 gr

Peso de Sal:

Peso Tarro Seco + Sal – Peso Tarro (biker 100 ml.) = 51.78 – 51.7 = 0.05

Peso de Agua:

Peso Tarro + agua + Sal – Peso Tarro Seco + Sal = 104.16 – 51.78 = 64.06

Porcentaje de Sal %:

$$\text{Porcentaje de sal \%} = \frac{\text{Peso de Sal}}{\text{Peso de Agua}}$$

$$\text{Porcentaje de sal \%} = \frac{0.05}{64.06}$$

$$\text{Porcentaje de sal \%} = 0.078$$

##### b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem



**Tabla 83.** Cálculo del ensayo de Sales solubles en el agregado grueso

<span style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>				
<b>CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS</b>				
(NORMA MTC E 219)				
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.				
Tesistas	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce			
	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	Agregado Grueso - Grava Chancada			
Cantera	Morroblanco - San Salvador			
Fecha	30 / 01 / 2020			
<b>AGREGADO GRUESO</b>				
N° DE VASO	1	2	3	PROMEDIO
DESCRIPCION				
<b>PESO TARRO (Biker 100 ml)</b>	57.00	56.69		
<b>PESO TARRO + AGUA + SAL</b>	121.11	129.49		
<b>PESO TARRO SECO + SAL</b>	57.05	56.74		
<b>PESO DE SAL</b>	0.05	0.05		
<b>PESO DE AGUA</b>	64.06	72.75		PROMEDIO
<b>PORCENTAJE DE SAL</b>	<b>0.078</b>	<b>0.069</b>		<b>0.07</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### c) Análisis de la prueba.

El ensayo de Sales Solubles, para el caso del porcentaje de sal cumple con el requerimiento establecido de los requerimientos para agregados gruesos de la Tabla N°423-01 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265, que nos indica que el porcentaje de sal máximo debe ser 0.5% de absorción.

#### 3.6.8.2 Ensayo de Sales solubles en el Agregado Fino

##### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Peso Tarro (biker 100 ml.) = 51.7 gr

Peso Tarro + agua + Sal = 104.16 gr

Peso Tarro Seco + Sal = 51.78 gr

Peso de Sal:

Peso Tarro Seco + Sal – Peso Tarro (biker 100 ml.) = 51.78 – 51.7 = 0.08



Peso de Agua:

$$\text{Peso Tarro} + \text{agua} + \text{Sal} - \text{Peso Tarro Seco} + \text{Sal} = 104.16 - 51.78 = 52.4$$

Porcentaje de Sal %:

$$\text{Porcentaje de sal \%} = \frac{\text{Peso de Sal}}{\text{Peso de Agua}}$$

$$\text{Porcentaje de sal \%} = \frac{0.08}{52.4}$$

$$\text{Porcentaje de sal \%} = 0.153$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**

*Tabla 84. Cálculo del ensayo de Sales solubles en el agregado fino*

<span style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>				
<p><b>CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS</b></p> <p>(NORMA MTC E 219)</p> <p>TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.</p>				
Tesis	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce			
	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	Agregado Fino - Arena			
Cantera	Morroblanco - San Salvador			
Fecha	30 / 01 / 2020			
<p><b>AGREGADO FINO</b></p>				
N° DE VASO				
DESCRIPCION	1	2	3	PROMEDIO
PESO TARRO (Biker 100 ml)	51.70			
PESO TARRO + AGUA + SAL	104.16			
PESO TARRO SECO + SAL	51.78			
PESO DE SAL	0.08			
PESO DE AGUA	52.38			PROMEDIO
<b>PORCENTAJE DE SAL</b>	<b>0.153</b>			<b>0.15</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**c) Análisis de la prueba.**

El ensayo de Sales Solubles, para el caso del porcentaje de sal cumple con el requerimiento establecido de los requerimientos para agregados finos de la Tabla N°423-02 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción





(EG-2013) Pág.265, que nos indica que el porcentaje de sal máximo debe ser 0.5% de absorción.

### 3.6.9 Ensayo de Peso Específico y Absorción

#### 3.6.9.1 Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso

##### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Identificamos los valores de los parámetros

A = Peso en el aire del agregado seco al horno

B = Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco

C = Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua

De los cuales:

A = 1904.4 gramos

B = 1918.9 gramos

C = 1196.8 gramos

##### Pe aparente (Base Seca)

$$Pea = \frac{A}{A - C}$$
$$Pea = \frac{1904.4}{1904.4 - 1196.8}$$
$$Pea = 2.691 \frac{gr}{cm^3}$$

##### Pe Bulk (Base Saturada)

$$Gssb = \frac{B}{B - C}$$
$$Gssb = \frac{1918.9}{1918.9 - 1196.8}$$
$$Gssb = 2.657 \frac{gr}{cm^3}$$

##### Pe Bulk (Base Seca)

$$Gsb = \frac{A}{B - C}$$



$$Gsb = \frac{1904.4}{1918.9 - 1196.8}$$

$$Gsb = 2.637 \frac{gr}{cm^3}$$

**% de Absorción**

$$Abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$Abs = \frac{1918.9 - 1904.4}{1904.4} * 100$$

$$Abs = 0.761 \%$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**

**Tabla 85.** Cálculo del ensayo de *Peso Específico y Absorción del agregado grueso*

<span style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</span>																																																													
<p><b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS</b></p> <p>(NORMA MTC E 206, ASTM D-127 - AASHTO T-84, T-85)</p> <p>TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.</p>																																																													
Tesisistas	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe																																																												
Muestra	: Agregado Grueso - Grava Chancada																																																												
Cantera	: Morroblanco - San Salvador																																																												
Fecha	: 29 / 01 / 2020																																																												
<p><b>AGREGADO GRUESO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">SIMBOLO</th> <th style="width: 40%;">ENSAYO N°</th> <th style="width: 10%;">1</th> <th style="width: 10%;">2</th> <th style="width: 10%;">3</th> <th style="width: 10%;">Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)(gr.)</td> <td style="text-align: center;">1918.9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Agua)(gr.)</td> <td style="text-align: center;">1196.8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Vol. De masa = A - B (gr.)</td> <td style="text-align: center;">722.1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Peso material seco en estufa ( 105°C)</td> <td style="text-align: center;">1904.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Vol. De Masa = C - (A - D) (gr.)</td> <td style="text-align: center;">707.6</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><b>Promedio</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pe Bulk (Base Seca) = D/C</td> <td style="text-align: center;">2.637</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2.637</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pe Bulk (Base Saturada) = A/C</td> <td style="text-align: center;">2.657</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2.657</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pe Aparente (Base Seca) = D/E</td> <td style="text-align: center;">2.691</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2.691</td> </tr> <tr> <td></td> <td>% de Absorción = ((A - D)/ D)*100 (%)</td> <td style="text-align: center;">0.761%</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0.76%</td> </tr> </tbody> </table>		SIMBOLO	ENSAYO N°	1	2	3	Promedio	A	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)(gr.)	1918.9				B	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Agua)(gr.)	1196.8				C	Vol. De masa = A - B (gr.)	722.1				D	Peso material seco en estufa ( 105°C)	1904.4				E	Vol. De Masa = C - (A - D) (gr.)	707.6			<b>Promedio</b>		Pe Bulk (Base Seca) = D/C	2.637			2.637		Pe Bulk (Base Saturada) = A/C	2.657			2.657		Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.691			2.691		% de Absorción = ((A - D)/ D)*100 (%)	0.761%			0.76%
SIMBOLO	ENSAYO N°	1	2	3	Promedio																																																								
A	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)(gr.)	1918.9																																																											
B	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Agua)(gr.)	1196.8																																																											
C	Vol. De masa = A - B (gr.)	722.1																																																											
D	Peso material seco en estufa ( 105°C)	1904.4																																																											
E	Vol. De Masa = C - (A - D) (gr.)	707.6			<b>Promedio</b>																																																								
	Pe Bulk (Base Seca) = D/C	2.637			2.637																																																								
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/C	2.657			2.657																																																								
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.691			2.691																																																								
	% de Absorción = ((A - D)/ D)*100 (%)	0.761%			0.76%																																																								
OBSERVACIONES :																																																													

*Fuente: Elaboración propia*

**c) Análisis de la prueba**



El ensayo de Peso Específico y Absorción, para el caso del porcentaje de absorción cumple con el requerimiento establecido de los requerimientos para agregados gruesos de la Tabla N°423-01 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265, que nos indica que la absorción como máximo debe ser 1% de absorción.

### 3.6.9.2 Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Identificamos los valores de los parámetros

A = Peso en el aire del agregado seco al horno.

B = Peso del Picnómetro + agua.

C = Peso del picnómetro + agregado + agua hasta la marca.

D = Peso del material Saturado Superficialmente Seco.

De los cuales:

A = 296.7 gramos

B = 680.2 gramos

C = 868.2 gramos

D = 300.0 gramos

#### Pe aparente (Base Seca)

$$Pea = \frac{A}{B + A - C}$$

$$Pea_1 = \frac{296.7}{680.2 + 296.7 - 868.2}$$

$$Pea_1 = 2.730 \frac{gr}{cm^3}$$

#### Pe Bulk (Base Saturada)

$$Gssb = \frac{D}{B + D - C}$$

$$Gssb_1 = \frac{300.0}{680.2 + 300.0 - 868.2}$$



$$G_{ssb_1} = 2.679 \frac{gr}{cm^3}$$

**Pe Bulk (Base Seca)**

$$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$G_{sb_1} = \frac{296.7}{680.2 + 300.0 - 868.2}$$

$$G_{sb_1} = 2.649 \frac{gr}{cm^3}$$

**% de Absorción**

$$Abs = \frac{D - A}{A} * 100$$

$$Abs = \frac{300.0 - 269.7}{269.7} * 100$$

$$Abs = 1.112 \%$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**



**Tabla 86.** Cálculo del ensayo de *Peso Específico y Absorción del agregado fino*

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>						
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS</b>						
(NORMA MTC E 205, AASHTO T-84, T-85)						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.						
Tesistas	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce					
	: Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Muestra	: Agregado Fino - Arena					
Cantera	: Morroblanco - San Salvador					
Fecha	: 29 / 01 / 2020					
AGREGADO FINO						
	ENSAYO N°	1	2	3	4	Promedio
<b>A</b>	Peso mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)(gr.)	300.00				
<b>B</b>	Peso Frasco + agua	680.20				
<b>C</b>	Peso Frasco + agua + A (gr.)	980.20				
<b>D</b>	Peso de Mat. + Agua en el Frasco (gr.)	868.20				
<b>E</b>	Vol. De Masa + Vol de Vacío = C-D (gr.)	112.00				
<b>F</b>	Pe. De Mat. Seco en Estufa (105°C) (gr.)	296.70				
<b>G</b>	Vol. De Masa= E-(A-F) (gr.)	108.70				Promedio
	Pe Bulk (Base Seca) = F/E	2.649				<b>2.649</b>
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/E	2.679				<b>2.679</b>
	Pe Aparente (Base Seca) = F/G	2.730				<b>2.730</b>
	% de Absorción = ((A-F)/F)*100	1.11%				<b>1.112%</b>
OBSERVACIONES : _____						

*Fuente: Elaboración propia*

### c) Análisis de la prueba.

El ensayo de Peso Específico y Absorción, para el caso del porcentaje de absorción cumple con el requerimiento establecido de los requerimientos para agregados finos de la Tabla N°423-02 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265, que nos indica que la absorción como máximo debe ser 0.5% de absorción.

### 3.6.10 Ensayo de Equivalente de Arena

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Se determina las lecturas correspondientes del material fino y altura máxima de la arena.

- *Lectura maxima de material Fino<sub>1</sub> = 6.6 mm*



- *Lectura maxima de Arena<sub>1</sub> = 3.8 mm*

$$\text{Equivalente de Arena } \%_1 = \frac{\text{Lectura maxima de material Fino}_1}{\text{Lectura maxima de Arena}_1}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_1 = \frac{6.6}{3.8}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_1 = 57.6$$

- *Lectura maxima de material Fino<sub>2</sub> = 6.8 mm*
- *Lectura maxima de Arena<sub>2</sub> = 3.8 mm*

$$\text{Equivalente de Arena } \%_2 = \frac{\text{Lectura maxima de material Fino}_2}{\text{Lectura maxima de Arena}_2}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_2 = \frac{6.8}{3.8}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_2 = 55.9$$

- *Lectura maxima de material Fino<sub>3</sub> = 6.6 mm*
- *Lectura maxima de Arena<sub>3</sub> = 3.8 mm*

$$\text{Equivalente de Arena } \%_3 = \frac{\text{Lectura maxima de material Fino}_3}{\text{Lectura maxima de Arena}_3}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_3 = \frac{6.6}{3.8}$$

$$\text{Equivalente de Arena } \%_3 = 57.6$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**



*Tabla 87. Cálculo del ensayo de Equivalente de Arena*

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>				
<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>					
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.					
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce			
Tesista	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe			
Muestra	:	Agregado Fino - Arena			
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador			
Fecha	:	29 / 01 / 2020			
<b>AGREGADO FINO - ARENA</b>					
ENSAYO N°	N°	1	2	3	PROMEDIO
Tamaño máximo (pasa mala n° 04)	mm	4.76	4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación	min	14:20	14:22	14:24	
Hora de salida de saturación ( más 10")	min	14:30	14:32	14:34	
hora de entrada a decantación (más 20")	min	14:32	14:34	14:36	
hora de entrada a decantación	min	14:52	14:54	14:56	
Altura máxima de material fino	mm	6.60	6.80	6.60	
Altura máxima de la arena	mm	3.80	3.80	3.80	
Equivalente de Arena	%	57.6%	55.9%	57.6%	57.0%

*Fuente: Elaboración propia*

### c) Análisis de la prueba

El ensayo de Equivalente de Arena cumple con el requerimiento establecido de los requerimientos para agregados finos de la Tabla N°423-02 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265, que nos indica que el porcentaje de equivalente de arena máximo es 70 %.

#### 3.6.11 Ensayo de Angularidad del agregado fino.

##### a) Procesamiento o cálculos de prueba

Determinado los valores de:

- $Volumen\ del\ cilindro_1 = 100.22\ cm^3$
- $Masa\ neta\ del\ Agregado_1 = 141.87\ gr$
- $Gravedad\ Especifica\ del\ agregado_1 = 2.649\ gr/cm^2$



$$A\%_1 = \frac{\text{Volumen del Cilindro} - \frac{\text{Masa Neta del Agregado}_1}{\text{Gravedad Especifica del Agregado}}}{\text{Volumen del Cilindro}} \times 100$$

$$A\%_1 = \frac{100.22 - \frac{141.87}{2.649}}{100.22} \times 100$$

$$A\%_1 = 46.56$$

- *Volumen del cilindro<sub>2</sub> = 100.22 cm<sup>3</sup>*
- *Masa neta del Agregado<sub>2</sub> = 140.22 gr*
- *Gravedad Especifica del agregado<sub>2</sub> = 2.649 gr/cm<sup>2</sup>*

$$A\%_2 = \frac{\text{Volumen del Cilindro} - \frac{\text{Masa Neta del Agregado}_2}{\text{Gravedad Especifica del Agregado}}}{\text{Volumen del Cilindro}} \times 100$$

$$A\%_2 = \frac{100.22 - \frac{140.22}{2.649}}{100.22} \times 100$$

$$A\%_2 = 47.18$$

- *Volumen del cilindro<sub>3</sub> = 100.22 cm<sup>3</sup>*
- *Masa neta del Agregado<sub>3</sub> = 141.11 gr*
- *Gravedad Especifica del agregado<sub>3</sub> = 2.649 gr/cm<sup>2</sup>*

$$A\%_3 = \frac{\text{Volumen del Cilindro} - \frac{\text{Masa Neta del Agregado}_3}{\text{Gravedad Especifica del Agregado}}}{\text{Volumen del Cilindro}} \times 100$$

$$A\%_3 = \frac{100.22 - \frac{141.11}{2.649}}{100.22} \times 100$$

$$A\%_3 = 46.85$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**





**Tabla 88. Cálculo del ensayo de Angularidad del agregado fino.**

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>					
<b>ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO</b>							
(NORMA ASTM C - 1252, MTC E 222)							
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.							
Tesistas	:	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce					
Tesista	:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe					
Muestra	:	Agregado Fino - Arena					
Cantera	:	Morroblanco - San Salvador					
Fecha	:	30	01	2020			
<b>AGREGADO FINO</b>							
<b>ENSAYO N°</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Promedio</b>		
<b>METODO DE PRUEBA</b>		<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>			
<b>MATERIAL AGREGADO</b>							
Peso Agregado N° 8 a N° 16	gr.						
Peso Agregado N° 8 a N° 16	gr.						
Peso Agregado N° 8 a N° 16	gr.						
Peso Agregado N° 8 a N° 16	gr.						
Peso Total de la muestra	gr.	190.10	190.00	190.20			
<b>CALIBRACIÓN DEL CILINDRO</b>							
Peso total del Agua en Cilindro	gr.	100.30	100.30	100.30			
Temperatura de Agua	°C	15.00	15.00	15.00			
Densidad del Agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.9992	0.9992	0.9992			
Factor de Corrección por Temp. Del Agua	gr.	100.22	100.22	100.22			
Litros Netos de Agua Usado en el Cilindro	ml.	100.22	100.22	100.22			
<b>CALCULO DE ANGULARIDAD DE AGREGADO</b>							
Volumen del Cilindro	cm <sup>3</sup>	100.22	100.22	100.22			
Masa neta del Agregado en el Cilindro	gr.	141.87	140.22	141.11			
Gravedad Especifica del Agregado	gr/cm <sup>2</sup>	2.649	2.649	2.649			
Porcentaje de Vacios en Agregado	%	46.56%	47.18%	46.85%		46.86%	

*Fuente: Elaboración propia*

### c) Análisis de la prueba.

El ensayo de Angularidad cumple con el requerimiento establecido de los requerimientos para agregados finos de la Tabla N°423-02 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág.265, que nos indica que el porcentaje de vacíos en el agregado es de mínimo 40% y nuestro agregado cumple con ello.

### 3.6.12 Ensayo de Azul de Metileno (AASHTO TP 57).

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

MBV [mg/g] = Valor de Azul de Metileno, con aproximación de 0.1 mg/g.



Csol [mg] = Cantidad de Azul de Metileno necesario para alcanzar el punto final del ensayo.

Cfiller [g] = Cantidad de material contenido en la suspensión.

***Csol=Cantidad solución azul de metileno (ml) \* Concentración Azul de Metileno (mg/ml)***

$$Csol = 7.0 \text{ ml} * 8.0\% \left(\frac{mg}{ml}\right)$$

$$Csol = 56.00\% \text{ mg}$$

$$MVB = \frac{Csol}{Cfiller}$$

$$MBV = \frac{56.00\% \text{ mg}}{10 \text{ gr}} = 5.6 \% \frac{mg}{gr}$$

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**

*Tabla 89. Cálculo del ensayo de Azul de Metileno.*

<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>																																														
<b>AZUL DE METILENO</b>																																														
(NORMA AASHTO TP 057, ASTM C - 837)																																														
MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.																																														
Tesis	: Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce																																													
	: Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe																																													
Muestra	: Agregado Fino - Arena																																													
Cantera	: Morroblanco - San Salvador																																													
Fecha	: 01 / 02 / 2020																																													
<b>AGREGADO FINO</b>																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 45%;">ENSAYO N°</th> <th style="width: 10%;">UND</th> <th style="width: 15%;">DATOS</th> <th style="width: 10%;">Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Peso material preparao pasante malla # 200</td> <td>gr.</td> <td>100.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Peso material seco utilizado en la prueba</td> <td>gr.</td> <td>10.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Agua destilada añadida</td> <td>ml</td> <td>30.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Solucion inicial de Azul de Metileno en el Ensayo</td> <td>ml</td> <td>0.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Solucion final de Azul de Metileno en el Ensayo</td> <td>ml</td> <td>7.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Concentración Azul Metileno gr/ml de solucion</td> <td>%</td> <td>8.0</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td style="text-align: center;"><b>Promedio</b></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td style="background-color: yellow;">VALOR AZUL DE METILENO</td> <td style="background-color: yellow;">mg/g</td> <td style="background-color: yellow;">5.6</td> <td style="background-color: yellow;">5.6</td> </tr> </tbody> </table>			ENSAYO N°	UND	DATOS	Promedio	A	Peso material preparao pasante malla # 200	gr.	100.0		B	Peso material seco utilizado en la prueba	gr.	10.0		C	Agua destilada añadida	ml	30.0		D	Solucion inicial de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	0.5		E	Solucion final de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	7.0		F	Concentración Azul Metileno gr/ml de solucion	%	8.0						<b>Promedio</b>	G	VALOR AZUL DE METILENO	mg/g	5.6	5.6
	ENSAYO N°	UND	DATOS	Promedio																																										
A	Peso material preparao pasante malla # 200	gr.	100.0																																											
B	Peso material seco utilizado en la prueba	gr.	10.0																																											
C	Agua destilada añadida	ml	30.0																																											
D	Solucion inicial de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	0.5																																											
E	Solucion final de Azul de Metileno en el Ensayo	ml	7.0																																											
F	Concentración Azul Metileno gr/ml de solucion	%	8.0																																											
				<b>Promedio</b>																																										
G	VALOR AZUL DE METILENO	mg/g	5.6	5.6																																										

*Fuente: Elaboración propia*



**c) Análisis de la prueba.**

El ensayo de Azul de Metileno del agregado fino, cumple con el requerimiento establecido de los requisitos de calidad para agregado fino establecidos en la norma AASTHO TP 57.

**3.6.13 Ensayo de Límites de Consistencia**

**a) Procesamiento o cálculos de prueba**

$$\text{Peso de la muestra seca}(Pms) = \text{Peso Tara} + \text{muestra seca} - \text{Peso Tara}$$

$$\text{Peso de la muestra } (Pms) = 25.90 - 15.18 = 10.72 \text{ gr}$$

$$\text{Peso del agua}(Pa) = \text{Peso Tara} + \text{muestra hum.} - \text{Peso Tara} + \text{muestra seca}$$

$$\text{Peso del agua } (Pa) = 27.36 - 25.90 = 1.73 \text{ gr}$$

$$\text{Contenido de Humedad } (\%) = \frac{\text{Peso del Agua } (Pa)}{\text{Peso de la muestra seca } (Pms)} * 100$$

$$\text{Contenido de Humedad } (\%) = \frac{1.73 * 100}{10.72} = 16.14\%$$

$$\text{Limite Liquido } (LL) = \text{Contenido de Humedad } (Wn) \left( \frac{\text{Numero de Golpes}}{25} \right)^{0.121}$$

$$\text{Limite Liquido } (LL) = (21.07\%) * \left( \frac{20}{25} \right)^{0.121} = 20.51\%$$

$$\text{Limite Liquido } (LL) = \text{Factor limite Liquido } (k) * \text{Contenido de humedad } (Wn)$$

$$\text{Limite Liquido } (LL) = 0.974 * 21.07\% = 20.52\%$$



**Tabla 90. Tabla A – 1 de Factor “K” factor para Limite Liquido**

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: De la Tabla A-1 del Manual de Ensayo de materiales, 2016. Pág. 71

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**

**Tabla 91. Cálculo del ensayo de Límites de Consistencia**

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b>						
<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>							
(NORMA MTC E 110)							
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC(NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL DISEÑO MARSHALL.							
Tesistas :	Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce						
:	Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe						
Muestra :	Agregado Fino - Arena						
Cantera :	Morroblanco - San Salvador						
Fecha :	31 / 01 / 2020						
	<b>LIMITE LIQUIDO (gr)</b>						<b>LIMITE PLASTICO</b>
<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
Peso tara + Muestra Humeda (A)	27.63	29.89	29.35	29.75	28.13	29.25	-
Peso tara + Muestra Seca (B)	25.90	27.60	27.71	26.41	26.40	26.42	-
Peso tara (C)	15.18	16.20	15.35	16.25	15.64	16.30	-
Peso muestra seca (Pms =B-C)	10.72	11.40	12.36	10.16	10.76	10.12	-
Peso de Agua (Pa=A-B)	1.73	2.29	1.64	3.34	1.73	2.83	-
Contenido de Humedad (Pa/Pms)	16.14%	20.09%	13.27%	32.87%	16.08%	27.96%	-
Numero de Golpes	20	20	20	20	20	20	-
OBSERVACIONES :	El numero de golpes al ser menor a 25 condicionara a que se registre el agregado como No Plastico por ende, el ensayo de límite plástico no se realiza.						
PARA UN PUNTO		$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} = 20.51\%$				$LL = kW^n = 20.52\%$	
N de GOLFES	20	Limites de Consistencia		Límite Líquido		20.52%	
CONT. HUMEDAD Prom.	21.07%	Límite Plástico		NP			
Factor K	0.974						

Fuente: Elaboración propia



**c) Análisis de la prueba.**

Cumple con los requerimientos establecidos en la norma.

**3.6.14 Ensayo de Gravedad Especifica Rice de Mezcla Bituminosa**

**a) Procesamiento o cálculos de prueba**

Determinado el Peso específico Máximo para 5.5% de contenido Óptimo:

- $Peso\ del\ frasco_1 = 1708.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + el\ agua_1 = 7232.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + mezcla + agua_1 = 6731.6\ gr$
- $Peso\ Neto\ de\ la\ muestra_1 = 7979.6\ gr$
- $Diferencia\ del\ peso_1 = 7979.6\ gr - 6731.6\ gr = 1248.0\ gr$
- $Agua\ desplazada_1 = 7232.0\ gr - 6731.6\ gr = 500.4\ gr$
- $Peso\ especifico\ maximo_1 = \frac{Diferencia\ del\ peso_1}{Agua\ desplazada_1} = \frac{1248.0\ gr}{500.4\ gr} = 2.494\ \frac{gr}{cm^3}$

Determinado el Peso específico Máximo para 6.0% de contenido Óptimo:

- $Peso\ del\ frasco_1 = 1708.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + el\ agua_1 = 7232.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + mezcla + agua_1 = 6726.4\ gr$
- $Peso\ Neto\ de\ la\ muestra_1 = 7965.7\ gr$
- $Diferencia\ del\ peso_1 = 7965.7\ gr - 6726.4\ gr = 1239.3\ gr$
- $Agua\ desplazada_1 = 7232.0\ gr - 6726.4\ gr = 505.6\ gr$
- $Peso\ especifico\ maximo_1 = \frac{Diferencia\ del\ peso_1}{Agua\ desplazada_1} = \frac{1239.3\ gr}{505.6\ gr} = 2.451\ \frac{gr}{cm^3}$

Determinado el Peso específico Máximo para 6.3% de contenido Óptimo:

- $Peso\ del\ frasco_1 = 1708.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + el\ agua_1 = 7232.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + mezcla + agua_1 = 6717.2\ gr$
- $Peso\ Neto\ de\ la\ muestra_1 = 7978.4\ gr$
- $Diferencia\ del\ peso_1 = 7978.4\ gr - 6717.2\ gr = 1261.2\ gr$



- $Agua\ desplazada_1 = 7232.0\ gr - 6717.2\ gr = 514.8\ gr$
- $Peso\ especifico\ maximo_1 = \frac{Diferencia\ del\ peso_1}{Agua\ desplazada_1} = \frac{1261.2\ gr}{514.8\ gr} = 2.450\ \frac{gr}{cm^3}$

Determinado el Peso específico Máximo para 6.5% de contenido Óptimo:

- $Peso\ del\ frasco_1 = 1708.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + el\ agua_1 = 7232.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + mezcla + agua_1 = 6720.2\ gr$
- $Peso\ Neto\ de\ la\ muestra_1 = 7967.0\ gr$
- $Diferencia\ del\ peso_1 = 7967.0\ gr - 6720.2\ gr = 1246.8\ gr$
- $Agua\ desplazada_1 = 7232.0\ gr - 6720.2\ gr = 511.8\ gr$
- $Peso\ especifico\ maximo_1 = \frac{Diferencia\ del\ peso_1}{Agua\ desplazada_1} = \frac{1246.8\ gr}{511.8\ gr} = 2.436\ \frac{gr}{cm^3}$

Determinado el Peso específico Máximo para 7.0% de contenido Óptimo:

- $Peso\ del\ frasco_1 = 1709.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + el\ agua_1 = 7232.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + mezcla + agua_1 = 6716.0\ gr$
- $Peso\ Neto\ de\ la\ muestra_1 = 7965.8\ gr$
- $Diferencia\ del\ peso_1 = 7965.8\ gr - 6716.0\ gr = 1249.8\ gr$
- $Agua\ desplazada_1 = 7232.0\ gr - 6716.0\ gr = 516.0\ gr$
- $Peso\ especifico\ maximo_1 = \frac{Diferencia\ del\ peso_1}{Agua\ desplazada_1} = \frac{1249.8\ gr}{516.0\ gr} = 2.422\ \frac{gr}{cm^3}$

Determinado el Peso específico Máximo para 7.5 % de contenido Óptimo:

- $Peso\ del\ frasco_1 = 1710.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + el\ agua_1 = 7232.0\ gr$
- $Peso\ del\ fresco + mezcla + agua_1 = 6709.0\ gr$
- $Peso\ Neto\ de\ la\ muestra_1 = 7958.8\ gr$
- $Diferencia\ del\ peso_1 = 7958.8\ gr - 6709.0\ gr = 1249.8\ gr$
- $Agua\ desplazada_1 = 7232.0\ gr - 6709.0\ gr = 523.0\ gr$
- $Peso\ especifico\ maximo_1 = \frac{Diferencia\ del\ peso_1}{Agua\ desplazada_1} = \frac{1249.8\ gr}{523.0\ gr} = 2.390\ \frac{gr}{cm^3}$



b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 92. Cálculo del ensayo de Gravedad Especifica Rice de mezcla asfáltica con contenidos de Asfalto desde 5.5% -7.5%.

MUESTRA N°		1	2	3	4	5
DESCRIPCION						
1	Peso del frasco	1708.0	1708.0	1708.0	1709.0	1710.0
2	Peso del frasco + el agua	7232.0	7232.0	7232.0	7232.0	7232.0
3	Peso del frasco + mezcla + agua	6731.6	6726.4	6720.2	6716.0	6709.0
4	Peso neto de la muestra	7979.6	7965.7	7967.0	7965.8	7958.8
5	Diferencia del peso (04-03)	1248.0	1239.3	1246.8	1249.8	1249.8
6	Agua desplazada (02-03)	500.4	505.6	511.8	516.0	523.0
7	Peso Especifico Maximo (05/06)	2.494	2.451	2.436	2.422	2.390
8	Contenido de cemento Asfáltico (%)	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%	7.50%

Cemento Asfáltico (%)	Gravedad Especifica (Rice Gr/Cm <sup>3</sup> )
5.50%	2.494
6.00%	2.451
6.50%	2.436
7.00%	2.422
7.50%	2.390

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 93.** Cálculo del ensayo de Gravedad Especifica Rice de mezcla asfáltica del contenido óptimo de Asfalto 6.3%.

MUESTRA N°		1	2	3	4	5
DESCRIPCION						
1	Peso del frasco	1708.0				
2	Peso del frasco + el agua	7232.0				
3	Peso del frasco + mezcla + agua	6717.2				
4	Peso neto de la muestra	7978.4				
5	Diferencia del peso (04-03)	1261.2				
6	Agua desplazada (02-03)	514.8				
7	Peso Especifico Maximo (05/06)	2.450				
8	Contenido de cemento Asfáltico (%)	6.30%				

**Gravedad Especifica V.S. Cemento Asfáltico (%)**

El gráfico muestra una relación entre el contenido de cemento asfáltico y la gravedad específica. El punto de máxima gravedad específica se encuentra a 6.30% de cemento asfáltico, con un valor de 2.485 Gr/Cm<sup>3</sup>.

Fuente: Elaboración propia





**c) Análisis de la prueba.**

Los valores obtenidos del ensayo RICE se utilizarán para el diseño de Mezclas Marshall.

**3.6.15 Ensayo de Resistencia de mezclas bituminosas empleando Equipo Marshall**

**3.6.15.1 Combinación de Agregados**

**a) Procesamiento o cálculos de prueba**

- Dosificación propuesta:

*Tabla 94. Diseño de dosificación propuesto:*

MATERIAL	DOSIFICACION	PROCEDENCIA
A. Grava Chancada 1/2"	35.0%	Cantera Morroblanco San Salvador
B. Arena Chancada	35.0%	Cantera Morroblanco San Salvador
C. Arena Natural	30.0%	Cantera Cunyac
<b>TOTAL</b>	<b>100.0%</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

$$\% \text{ Retenido Combinación de AG} = \Sigma(\% \text{ retenido Muestra N} * \% \text{ Incidencia Muestra N})$$

$$\% \text{ Retenido Combinación de AG.} = A\% * 35\% + B\% * 35\% + C\% * 30\%$$

$$\% \text{ Retenido Combinación de AG. N}^\circ 4 = 0.3 * 35\% + 96.7 * 35\% + 94.7 * 30\%$$

$$\% \text{ Retenido Combinación de AG. N}^\circ 4 = 62.36 \%$$

- *Composición de agregados:*

% Grava

$$\% \text{ Grava} = 100 - \% \text{ Que Pasa en el tamiz N}^\circ 4$$

$$\% \text{ Grava} = 100 - 62.4$$

$$\% \text{ Grava} = 37.6 \%$$

% Arena

$$\% \text{ Arena} = 100 - \% \text{ Grava} - \% \text{ Finos}$$

$$\% \text{ Arena} = 100 - 37.6 - 5.1$$

$$\% \text{ Arena} = 57.3 \%$$

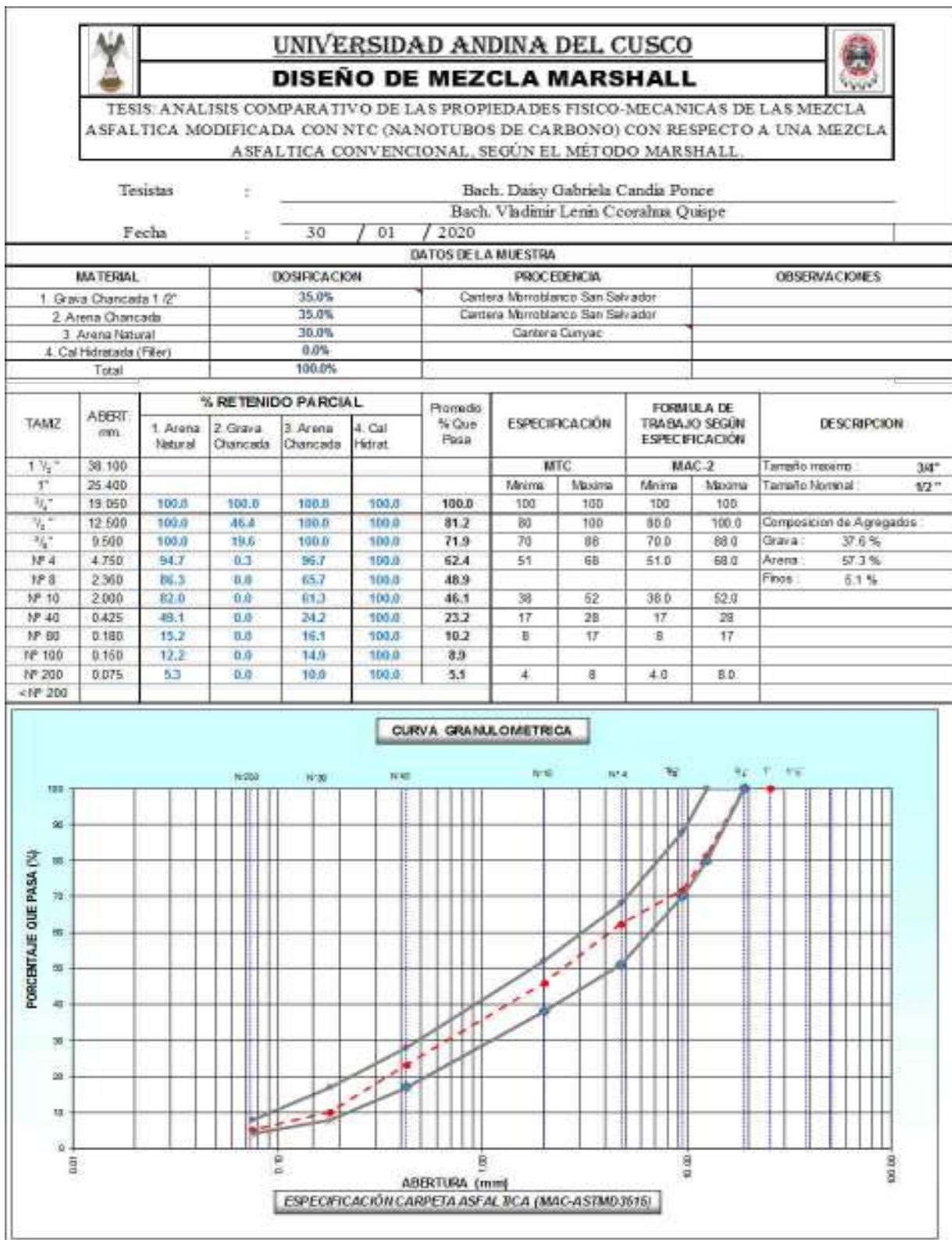
% Finos

$$\% \text{ Finos} = 5.1\%$$



b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

Tabla 95. Combinación de Granulometría de los agregados para diseño



Fuente: Elaboración propia.



### c) Análisis de la prueba.

Los valores obtenidos de la combinación de los agregados MAC-02 son los siguientes:

A. Grava Chancada 1 /2" al 35.00%

B. Arena Chancada al 35.00%

C. Arena Natural al 30.00%

Dicha gradación cumple con las especificaciones de distribución granulométrica, obteniendo una curva granulométrica la cual se encuentra dentro de los límites inferior y superior.

### 3.6.15.2 Diseño y ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras convencionales para determinar % C.A. óptimo

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

##### 1. Concreto Asfáltico en peso de la mezcla

Se evalúa el porcentaje de contenido óptimo de Asfalto para diseño. Para el ejemplo usaremos cemento asfáltico PEN 85/100 al 6.0%

##### 2. % De Grava Triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)

$$\% \text{ De Grava Triturada en peso de la mezcla} = \frac{((100 - \%C. A) * \%Grava)}{100}$$

$$\% \text{ De Grava Triturada en peso de la mezcla} = \frac{((100 - 6.0) * 37.64)}{100}$$

$$\% \text{ De Grava Triturada en peso de la mezcla} = 35.38 \%$$

##### 3. % De Arenas combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)

$$\% \text{ De Arenas en peso de la mezcla} = \frac{((100 - \%C. A) * \%Arena)}{100}$$

$$\% \text{ De Grava Triturada en peso de la mezcla} = \frac{((100 - 6.6) * 62.36)}{100}$$

$$\% \text{ De Grava Triturada en peso de la mezcla} = 58.62 \%$$



**4. % Filler en peso de la mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)**

$$\% \text{ Filler} = 0.00\%$$

**5. Peso Específico Aparente del C.A.**

Ductilidad a 25 °C, 5 mm/min, cm	D 153 / AASHTO T 81	> 100
VOLATILIDAD		
Densidad Específica a 15.6 °C	D 70 / AASHTO T 208	1.0143
Punto de Inflexión, °C	D 90 / AASHTO T 48	298.0
Densidad API	D 70 / AASHTO T 228	8.0

*Figura 126. Especificaciones técnicas del concreto asfáltico.*

*Fuente: Reporte de análisis de Cemento Asfáltico – REPSOL*

$$\text{Peso Específico Aparente del Cemento Asfáltico} = 1.0143$$

**6. Peso Específico Bulk de la grava triturada (Mayor N° 4)**

$$Gsbgrava = 2.657 \frac{gr}{cm^3}$$

**7. Peso Específico Aparente de la grava triturada (Mayor N° 4)**

$$GsaGrava = 2.691 \frac{gr}{cm^3}$$

**8. Peso Específico Bulk de la arena (Menor N° 4)**

$$GsbArena = 2.679 \frac{gr}{cm^3}$$

**9. Peso Específico Aparente de la arena (Menor N° 4)**

$$GsaArena = 2.730 \frac{gr}{cm^3}$$

**10. Peso Específico Aparente del Filler**

Peso Específico Aparente del Filler = 0.00 gr/cc

**11. Altura Promedio de la briqueta**

**12. Peso de la briqueta al aire**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall convencionales y modificados.



**13. Peso de la Probeta Saturada**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall convencionales y modificados.

**14. Peso de la Probeta en el agua**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall convencionales y modificados.

**15. Volumen de la probeta**

Volumen de la Probeta = Peso de la probeta Saturada – Peso de la probeta en el Agua

$$\text{Volumen de la Probeta (C. A 6\% - P1)} = \text{Peso de la probeta Saturada (C. A 6\% - P1)} \\ - \text{Peso de la probeta en el Agua (C. A 6\% - P1)}$$

$$\text{Volumen de la Probeta (C. A 6\% - P1)} = 1230.8 - 699.6)$$

$$\text{Volumen de la Probeta (C. A 6\% - P1)} = 531.2 \text{ cm}^3$$

**16. Peso Específico Bulk de la briqueta**

$$G_{\text{sbriqueta}} = \frac{\text{Peso de la Briqueta al Aire}}{\text{Volumen de la Probeta}}$$

$$G_{\text{sbriqueta (C. A 6.5\% - P1)}} = \frac{\text{Peso de la Briqueta al Aire (C. A 6.0\% - P1)}}{\text{Volumen de la Probeta (C. A 6.0\% - P1)}}$$

$$G_{\text{sbriqueta (C. A 6.0\% - P1)}} = \frac{1230.0}{531.2}$$

$$G_{\text{sbriqueta (C. A 6.0\% - P1)}} = 2.316 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

**17. Peso Específico Máximo ASTM D - 2041 Rice**

Dato obtenido del ensayo de Ensayo de gravedad específica RICE de mezcla bituminosa.

$$\text{Peso especifico maximo}_1 = \frac{\text{Diferencia del peso}_1}{\text{Agua desplazada}_1} = \frac{1239.3 \text{ gr}}{505.6 \text{ gr}} = 2.451 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$



### 18. Máxima Densidad Teórica

$$\text{Máxima Densidad Teórica} = \frac{100}{\frac{\%C.A.}{G_{sa}C.A.} + \frac{\%grava}{A} + \frac{\%fino}{B}}$$

Siendo:

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

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

Donde:

- $G_{sb}$  = Gravedad Especifica Bulk
- $G_{sa}$  = Gravedad Especifica Aparente

$$\text{Máxima densidad Teórica (Gmm)} = \frac{100}{\frac{6.00}{1.014} + \frac{35.38}{2.674} + \frac{58.62}{2.705}} = 2.450$$

### 19. Porcentaje de Vacíos

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

$$V_a = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \quad ; \quad VCA_{mezcla} = 100 - \left(\frac{G_{mb} \cdot P_{CA}}{G_{ca}}\right) \quad \gamma \quad VMA = 100 - \left(\frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}\right)$$

Donde:

$P_s$	porcentaje de agregado en mezcla
$P_{CA}$	porcentaje en peso de agregado grueso en mezcla
$G_{mm}$	gravedad específica teórica máxima de la mezcla
$G_{mb}$	gravedad específica bulk de la mezcla
$G_{sb}$	gravedad específica bulk de la combinación de agregados
$G_{ca}$	gravedad específica bulk del agregado grueso.

$$V_a = 100 * \left(1 - \frac{2.316}{2.450}\right) = 5.5$$

### 20. Peso Específico Bulk del agregado total

$$G_{sbAt.} = \frac{100 - \%C.A.}{\frac{\%Fino}{G_{sbFino}} + \frac{\%Grava}{G_{sbGrava}}}$$



$$GsbAt. (C. A. 6.0\%) = \frac{100 - 6.0.}{\frac{58.62}{2.679} + \frac{35.38}{2.657}}$$

$$GsbAt. (C. A. 6.0\%) = = \frac{100 - 6.0.}{\frac{58.62}{2.679} + \frac{35.38}{2.657}}$$

$$GsbAt. (C. A. 6.0\%) = 2.671 \text{ gr/cm}^3$$

### 21. Peso Específico Aparente del agregado total

$$GsaAt. = \frac{100 - \%C. A.}{\frac{\%Fino}{GsaFino} + \frac{\%Grava}{GsaGrava}}$$

$$GsaAt. (C. A. 6.0\%) = \frac{100 - 6.0.}{\frac{58.62}{2.730} + \frac{35.38}{2.691}}$$

$$GsaAt. (C. A. 6.0\%) = 2.715 \text{ gr/cm}^3$$

### 22. Peso Específico Efectivo del agregado total

$$GsefectivoAt. = \frac{\%Fino + \%Grava}{\frac{\%Fino}{\frac{GsaFino + GsbFino}{2}} + \frac{\%Grava}{\frac{GsaGrava + GsbGrava}{2}}}$$

$$GsefectivoAt. (C. A. 6.0\%) = \frac{57.62 + 35.38}{\frac{\frac{57.62}{2.730 + 2.679}}{2} + \frac{\frac{35.38}{2.691 + 2.657}}{2}}$$

$$GsefectivoAt. (C. A. 6.0\%) = \frac{57.62 + 35.38}{\frac{\frac{57.62}{2.730 + 2.679}}{2} + \frac{\frac{35.38}{2.691 + 2.657}}{2}}$$

$$GsefectivoAt. (C. A. 6.0\%) = 2.693 \text{ gr/cm}^3$$

### 23. C.A Absorbido por el Peso agregado seco

$$C. A. Absorbido = \frac{100 * GsaAsfalto * (GsefectivoAt. - GsbAt.)}{(GsefectivoAt. * GsbAt.)}$$



$$C.A. Absorbido = \frac{100 * 1.014 * (2.693. -2.671)}{(2.693 * 2.671)}$$

$$C.A. Absorbido = 0.314\%$$

**24. % del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la probeta**

$$\% \text{ del Vol. del agregado /Vol. Bruto de la Probeta} = \frac{(\%Grava+\%Finos)*Gsbriqueta}{GsbAt.}$$

$$\% \text{ del Vol. del agregado /Vol. Bruto de la Probeta (C.A. 6.0\% -P1)}$$

$$= \frac{(35.38 + 58.62) * 2.316}{2.671}$$

$$\% \text{ del Vol. del agregado / Vol. Bruto de la Probeta (C. A. 6.0\% - P1) = 81.50\%}$$

**25. % del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la probeta**

$$\% \text{ del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta} = 100 - (\% \text{ Vol. del agregado / Vol. Bruto de la Probeta} + \% \text{ Vacios})$$

$$\% \text{ del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta (C.A. 6.0\% - P1)= 100 - (\% \text{ Vol. del agregado/Vol. Bruto de la Probeta(C. A. 6.0\% - P1) + \% \text{ Vacios (C. A. 6.0\% - P1))}$$

$$\% \text{ del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta (C.A. 6.0\% - P1)= 100 - 81.99 + 3.86}$$

$$\% \text{ del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta (C.A. 6.0\% - P1)= 12.97\%}$$

**26. % de vacíos del agregado mineral**

$$\% \text{ de vacios del Agregado Mineral} = 100 - (\% \text{ del Vol. agregado/ Vol. Bruto de la Probeta}$$

$$\% \text{ de vacíos del Agregado Mineral (C.A.6.0\%-P1) =100-\% \text{ del Vol. del agregado/ Vol. Bruto de la Probeta (C. A. 6.0\% - P1)}$$

$$\% \text{ de vacios del Agregado Mineral(C. A. 6.0\% - P1) = 100 - 81.50}$$





% de vacíos del Agregado Mineral (C.A.6.0%-P1) = 18.50%

### 27. C.A Efectivo / Peso de la Mezcla

$$C. A \text{ Efectivo / Peso de la Mezcla} = \%C. A. - \left( \frac{C. A. \text{ Absorbido}}{100} \right) * (\%Gravas + \%Finos)$$

$$C. A \text{ Efectivo / Peso de la Mezcla (C. A. 6.0\%)} = \%C. A. - \frac{C.A.Absorbido(C.A.6.0\%)}{100} * (\%Gravas + \%Fino)$$

$$C. A \text{ Efectivo / Peso de la Mezcla (C. A. 6.0\%)} = 6.0 - \left( \frac{0.31}{100} \right) * (35.38 + 58.62)$$

$$C. A \text{ Efectivo / Peso de la Mezcla (C. A. 6.0\%)} = 5.70\%$$

### 28. Relación Bitumen /Vacíos

$$\text{Relacion Betun Vacios} = \frac{\% \text{ del Volumen de C.A.Efectivo / Volumen de la Probeta}}{\% \text{ VMA}} * 100$$

$$\text{Relación Betún Vacíos (C.A.6.0\%-P1)} = \frac{\% \text{ del Vol.de C.A.Efectivo / Vol. Probeta (C.A.6.0\%-P1)}}{\% \text{ VMA}} * 100$$

$$\text{Relación Betún Vacíos (C.A.6.0\%-P1)} = \frac{12.97}{18.50} * 100$$

$$\text{Relacion Betun Vacios(C. A. 6.0\% - P1)} = 70.12\%$$

### 29. Lectura del Anillo

Tabla 96. Lectura del anillo registrado de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%

% Cemento Asfáltico	Lectura del Anillo	% Cemento Asfáltico	Lectura del Anillo	% Cemento Asfáltico	Lectura del Anillo	% Cemento Asfáltico	Lectura del Anillo	% Cemento Asfáltico	Lectura del Anillo
5.5	303	6	294	6.5	309	7	323	7.5	266
	311		284		302		309		299
	295		305		284		310		275
	314		352		331		289		306
	318		348		318		333		276

Fuente: Elaboración propia



### 30. Estabilidad Marshall sin corregir

$$\text{Estabilidad sin Corregir} = A * x^2 + B * x + C$$

Donde:

X= Lectura del Anillo

A= -0.00008

B= 4.35310

C= -4.28940

$$\text{Estabilidad sin Corregir (C.A. 6.0\% - P1)} = -0.00008 * 294^2 + 4.35310 * 294 - 4.28940$$

$$\text{Estabilidad sin Corregir (C.A. 6.00\% - P1)} = 1269 \text{ kg}$$

**Tabla 97.** Estabilidad Marshall sin corregir de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%

% Cemento Asfáltico	Estabilidad sin corregir (Kg)	% Cemento Asfáltico	Estabilidad sin corregir (Kg)	% Cemento Asfáltico	Estabilidad sin corregir (Kg)	% Cemento Asfáltico	Estabilidad sin corregir (Kg)	% Cemento Asfáltico	Estabilidad sin corregir (Kg)
5.5	1307	6	1269	6.5	1333	7	1393	7.5	1148
	1342		1226		1303		1333		1290
	1273		1316		1226		1337		1187
	1355		1518		1428		1247		1320
	1372		1501		1372		1436		1191

*Fuente: Elaboración propia*

### 31. Factor de Estabilidad



**Tabla 98.** Factores de corrección de la Estabilidad

TABLA 2. FACTORES DE CORRECCION DE LA ESTABILIDAD

Valores de la probeta mm	Altura aproximada de la Probeta		Factor de corrección
	mm	pulgadas	
200 x 213	25.4	1	5.56
214 x 225	27.0	1 1/16	5.07
226 x 237	28.6	1 1/8	4.55
238 x 250	30.2	1 3/16	4.17
251 x 264	31.8	1 1/4	3.85
265 x 276	33.3	1 5/16	3.57
277 x 289	34.9	1 3/8	3.33
280 x 301	36.5	1 7/16	3.03
302 x 316	38.1	1 1/2	2.78
317 x 328	39.7	1 9/16	2.58
329 x 340	41.3	1 5/8	2.27
341 x 352	42.9	1 11/16	2.05
354 x 367	44.4	1 3/4	1.82
368 x 379	46.0	1 13/16	1.79
380 x 392	47.6	1 7/8	1.67
393 x 405	49.2	1 15/16	1.56
406 x 420	50.8	2	1.47
421 x 431	52.4	2 1/16	1.39
432 x 443	54.0	2 1/8	1.32
444 x 456	55.6	2 3/16	1.25
457 x 470	57.2	2 1/4	1.19
471 x 482	58.7	2 5/16	1.14
483 x 495	60.3	2 3/8	1.09
496 x 508	61.9	2 7/16	1.04
509 x 522	63.5	2 1/2	1.00
523 x 535	64.0	2 9/16	0.96
536 x 546	65.3	2 5/8	0.93
547 x 559	66.7	2 11/16	0.89
560 x 573	68.3	2 3/4	0.86
574 x 585	71.4	2 13/16	0.83
586 x 598	73.0	2 7/8	0.81
599 x 610	74.6	2 15/16	0.78

Fuente: De la Tabla N° 2 libro “Tecnología del asfalto y técnicas de construcción”, pág. D.41

**Tabla 99.** Factores de Estabilidad Marshall de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%

% Cemento Asfáltico	Factor Estabilidad	% Cemento Asfáltico	Factor Estabilidad	% Cemento Asfáltico	Factor Estabilidad	% Cemento Asfáltico	Factor Estabilidad	% Cemento Asfáltico	Factor Estabilidad
5.5	0.96	6	0.96	6.5	0.96	7	0.96	7.5	0.96
	0.93		0.93		0.96		0.96		
	0.96		0.96		0.96		0.96		
	0.96		0.96		0.96		0.96		
	0.96		0.96		0.96		1.00		

Fuente: Elaboración propia

**32. Estabilidad Marshall corregida**

Estabilidad Corregida = Estabilidad sin corregir \* Factor de Estabilidad

Estabilidad Corregida (C.A.6.0-P1)= Estabilidad sin corregir(C. A. 6.0 – P1)



\* Factor de Estabilidad(C.A. 6.0 – P1)

Estabilidad Corregida (C.A.6.0 -P1)= 1269 \* 0.96)

Estabilidad Corregida (C. A. 6.0 – P1) = 1218 kg

**Tabla 100.** Estabilidad Marshall corregida de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%

% Cement o Asfáltico	Estabilidad Corregida Carga (kg)	% Cement o Asfáltico	Estabilidad Corregida Carga (kg)	% Cement o Asfáltico	Estabilidad Corregida Carga (kg)	% Cement o Asfáltico	Estabilidad Corregida Carga (kg)	% Cement o Asfáltico	Estabilidad Corregida Carga (kg)
5.5	1255	6	1218	6.5	1280	7	1338	7.5	1102
	1248		1140		1251		1280		1239
	1222		1263		1177		1284		1139
	1301		1457		1371		1197		1267
	1317		1441		1317		1436		1143

Fuente: Elaboración propia

### **33. Lectura del Flexímetro (0.001")**

**Tabla 101 .** Lectura registrado del Fleximetro de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%

% Cement o Asfáltico	Lectura del Fleximetro	% Cement o Asfáltico	Lectura del Fleximetro	% Cement o Asfáltico	Lectura del Fleximetro	% Cement o Asfáltico	Lectura del Fleximetro	% Cement o Asfáltico	Lectura del Fleximetro
5.5	11	6	13	6.5	13	7	13	7.5	15
	12		12		13		17		16
	12		12		12		16		16
	11		14		16		15		17
	11		13		14		17		17

Fuente: Elaboración propia

### **34. Fluencia**

$$Fluencia (mm) = \frac{Lectura\ del\ Fleximetro\ (0.001")}{10} * 2.54$$

$$Fluencia = \frac{Lectura\ del\ Fleximetro\ (0.001")\ (C.A.\ 6.0\% - P1)}{10} * 2.54$$



$$\text{Fluencia (C.A. 6.0\% - P1)} = \frac{13}{10} * 2.54$$

$$\text{Fluencia (C.A. 6.0\% - P1)} = 3.30 \text{ mm}$$

**Tabla 102.** . Fluencia en mm de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%

% Cemento Asfáltico	Flujo (mm)	% Cemento Asfáltico	Flujo (mm)	% Cemento Asfáltico	Flujo (mm)	% Cemento Asfáltico	Flujo (mm)	% Cemento Asfáltico	Flujo (mm)
5.5	2.79	6	3.30	6.5	3.30	7	3.30	7.5	3.81
	3.05		3.05		3.30		4.32		
	3.05		3.05		3.05		4.06		
	2.79		3.56		4.06		3.81		
	2.79		3.30		3.56		4.32		

Fuente: Elaboración propia

### 35. Factor de Rigidez

$$\text{Factor Rigidez} = \frac{\text{Estabilidad Corregida}}{\left(\frac{\text{Fluencia}}{10}\right)}$$

$$\text{Factor Rigidez (C.A. 6.0\% - P1)} = \frac{\text{Estabilidad Corregida (C.A. 6.0\% - P1)}}{\left(\frac{\text{Fluencia (C.A. 6.0\% - P1)}}{10}\right)}$$

$$\text{Factor Rigidez (C.A. 6.0\% - P1)} = \frac{1218}{\left(\frac{3.30}{10}\right)}$$

$$\text{Factor Rigidez (C.A. 6.0\% - P1)} = 3688.3 \text{ kg/cm}$$

**Tabla 103.** Factor de Rigidez de cada probeta con contenido de Asfalto entre 5.5% y 7.5%

% Cemento Asfáltico	Índice Rigidez (Kg/cm)	% Cemento Asfáltico	Índice Rigidez (Kg/cm)	% Cemento Asfáltico	Índice Rigidez (Kg/cm)	% Cemento Asfáltico	Índice Rigidez (Kg/cm)	% Cemento Asfáltico	Índice Rigidez (Kg/cm)
5.5	4492.0	6	3688.3	6.5	3876.0	7	4051.1	7.5	2892.5
	4094.0		3739.3		3788.4		2964.0		
	4009.2		4144.8		3860.0		3159.4		
	4654.6		4098.3		3372.8		3142.2		
	4713.8		4363.6		3703.7		3326.6		

Fuente: Elaboración propia



c) Diagramas o tablas para interpretar el ítem

*Tabla 104. Ejemplo de Análisis de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall para determinar el Contenido Óptimo de Asfalto*

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
		<b>RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN EQUIPO MARSHALL</b>						
		(NORMA ASTM D -2041, AASHTO T -209)						
TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.								
Tesisistas :		Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce						
		Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe						
Material :		MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 6.0% DE CONCRETO ASFALTICO						
Fecha :		11 / 02 / 2020						
	DESCRIPCION	UND	PROBETAS					Prom.
			1	2	3	4	5	
1	C.A. En peso de la mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%	35.38	35.38	35.38	35.38	35.38	
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%	58.62	58.62	58.62	58.62	58.62	
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	Peso Específico Aparente del C.A.	gr/cc	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	
6	Peso Específico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	
7	Peso Específico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.674
8	Peso Específico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	
9	Peso Específico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.705
10	Peso Específico Aparente del Filler	gr/cc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm						
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1230.0	1243.3	1236.0	1247.2	1233.2	
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1230.8	1244.0	1236.9	1247.8	1233.6	
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	699.6	708.1	706.7	713.0	704.4	
15	Volumen de la Probeta	cc	531.2	535.9	530.2	534.8	529.2	PROMEDIO
16	Peso Específico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.316	2.320	2.331	2.332	2.330	2.326
17	Peso Específico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.451	2.451	2.451	2.451	2.451	
18	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	
19	% Vacios	%	5.5	5.3	4.9	4.9	4.9	5.1
20	Peso Específico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	
22	Peso Específico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	
23	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	81.50	81.66	82.05	82.08	82.02	
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	12.97	13.00	13.06	13.07	13.06	
26	% de vacios del Agregado Mineral	%	18.50	18.34	17.95	17.92	17.98	18.1
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70	
28	Relacion Betun Vacios	%	70.12	70.87	72.77	72.92	72.61	71.9
29	Lectura del Anillo	kg.	294	284	305	352	348	
30	Estabilidad Sin Corregir	kg.	1273	1230	1320	1522	1505	
31	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	
32	Estabilidad Corregida	kg.	1222	1181	1267	1461	1445	1315
33	Lectura del Flexímetro ( 0.001" )	pul	13.0	12.0	12.0	14.0	13.0	
34	Fluencia	mm.	3.30	3.05	3.05	3.56	3.30	3.3
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	3701	3873	4158	4110	4376	4044

<b>OBSERVACIONES:</b>	1. Grava Chancada 1 /2"	35.0%	Cantera Morroblanco San Salvador
	2. Arena Chancada	35.0%	Cantera Morroblanco San Salvador
	3. Arena Natural	30.0%	Cantera Cunyac
	4. Cemento Asfáltico Pen 85-100		Refinería La Pampilla REPSOL-Peru

Fuente: Elaboración propia



### c) Análisis de la prueba.

Se elaboraron 5 probetas de mezcla asfáltica compactado para cada porcentaje de cemento asfáltico de entre 5.5 % al 7.5% (25 en total), 05 con un contenido de asfalto de 5.5%, 05 con un contenido de asfalto de 6.0%, con un contenido de asfalto de 6.5%, con un contenido de asfalto de 7.0% y con un contenido de asfalto de 7.5%, para cada probeta se analizan los 35 datos siguiendo los procedimientos y ecuaciones mencionadas en este ítem. Estos procesos se repiten para cada una de las probetas y haciendo un análisis y comparación se determina el porcentaje óptimo de Asfalto.

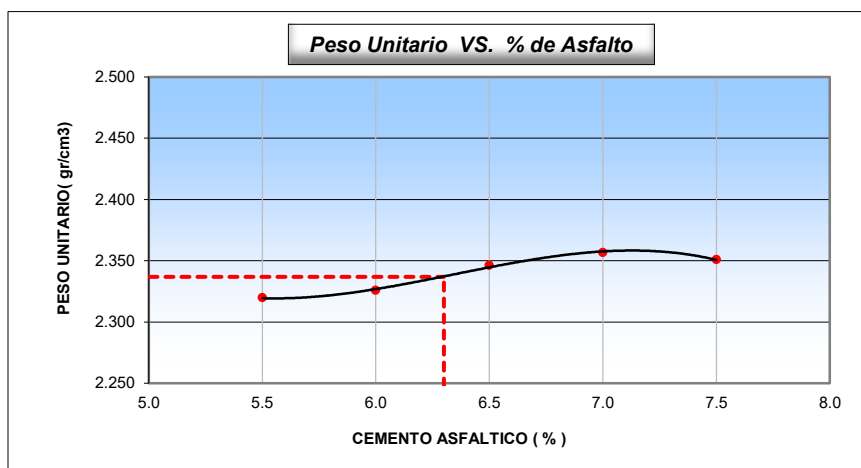
### 3.6.15.3 Determinación del Contenido Óptimo de cemento Asfáltico

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

El contenido óptimo de ligante asfáltico es finalmente encontrado basado en resultados combinados de Estabilidad Marshall, Flujo, Densidad y Volumen de Vacíos.

#### b) Diagrama o tablas a interpretar

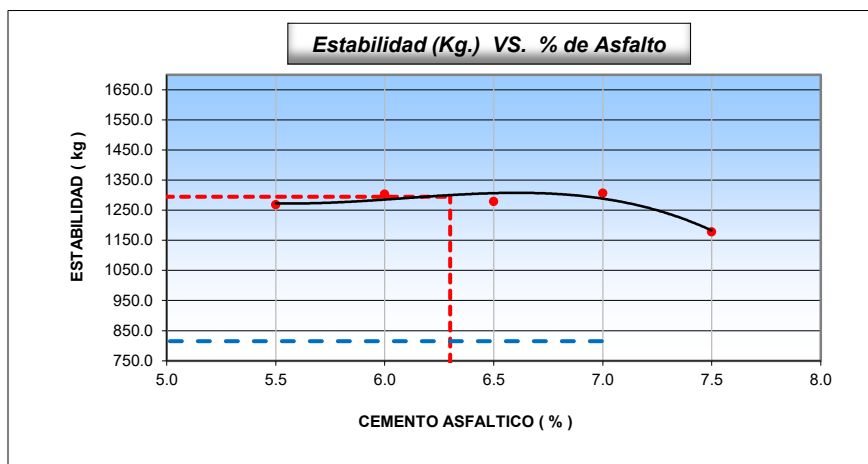
*Tabla 105. Contenido de ligante asfáltico vs. Densidad*



*Fuente: Elaboración propia*

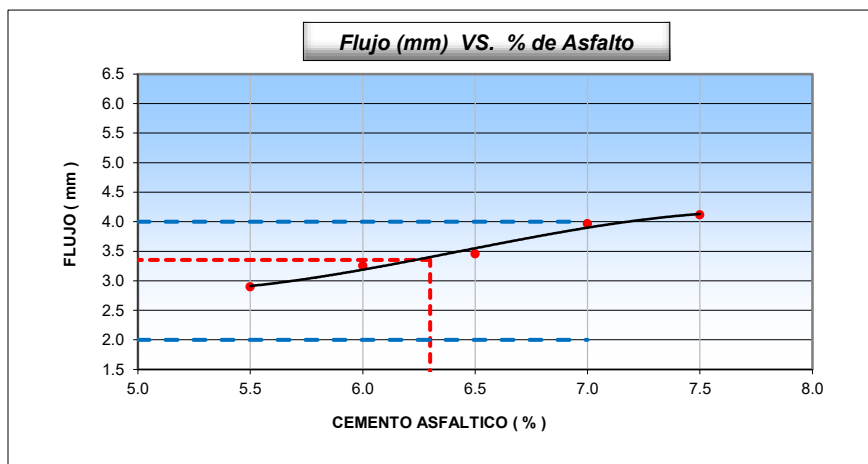


**Tabla 106.** Contenido de ligante asfáltico vs. Estabilidad Marshall



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 107.** Contenido de ligante asfáltico vs. Flujo

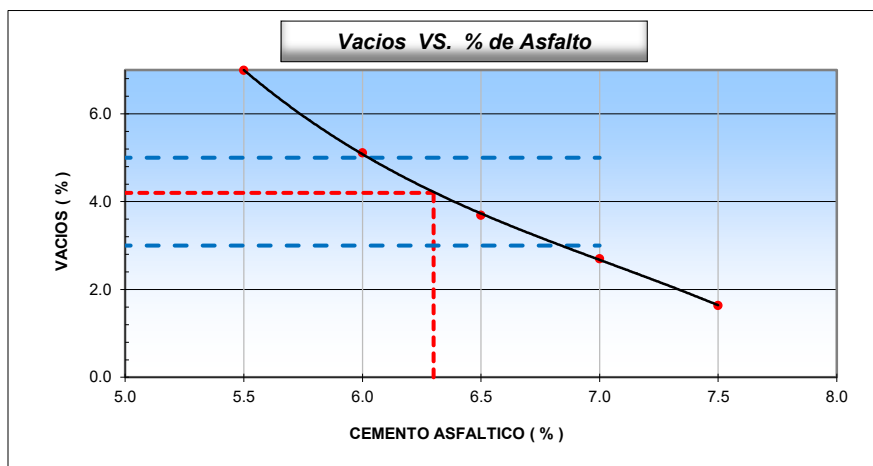


*Fuente: Elaboración propia*



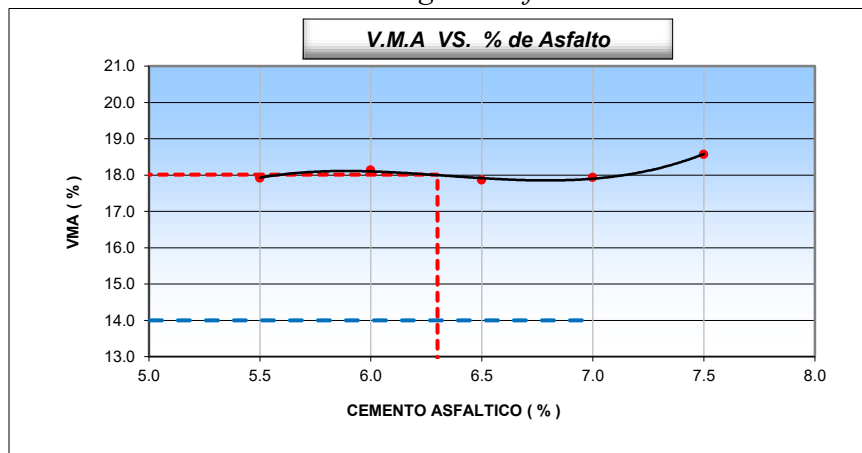


**Tabla 108.** Contenido de ligante asfáltico vs. % Vacíos



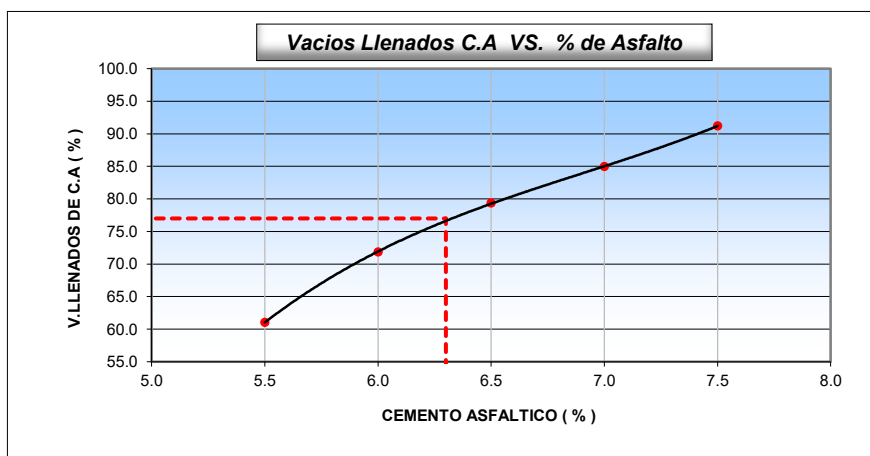
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 109.** Contenido de ligante asfáltico vs. %VMA



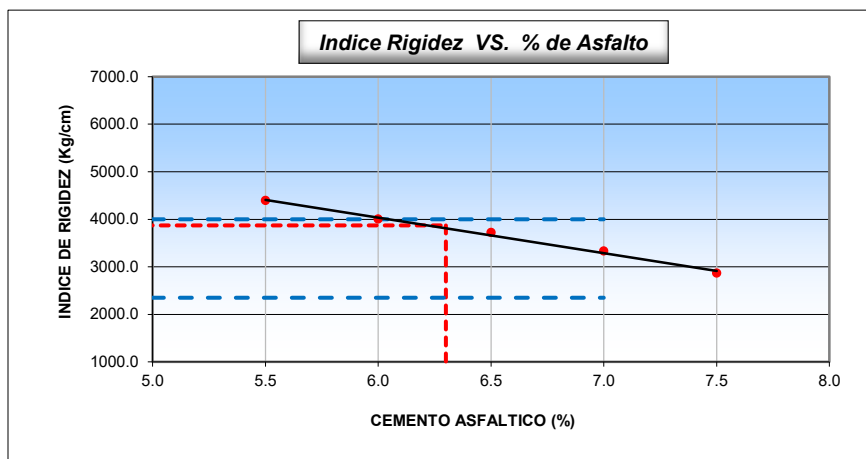
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 110.** Contenido de ligante asfáltico vs. %VFA



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 111.** Contenido de ligante asfáltico vs. Índice de Rigidez



Fuente: Elaboración propia

### c) Análisis de ensayo

Al comparar y analizar los datos obtenidos de la combinación de los agregados MAC-02 con cemento asfáltico en porcentajes de 5.5% al 7.5% luego de ser sometidos al ensayo Marshall, observamos que cumple con las especificaciones, por lo tanto el porcentaje óptimo es de 6.3%

**Tabla 112.** Especificaciones de parámetros físico-mecánicas de la mezcla con Contenido Óptimo de Asfalto de 6.3%.

Especificaciones	MAC-2	Resultado	Unidades	Condición
Óptimo Contenido C.A	+/- 0.3	6.3	(%)	Cumple
Peso Unitario	-	2.337	(gr/cm <sup>3</sup> )	Cumple
Vacios al Aire	3 - 5	4.2	(%)	Cumple
V.M.A	Min. 14	18.0	(%)	Cumple
Vacios Llenados C.A	-	77.0	(%)	Cumple
Flujo	2 - 4	3.4	(mm)	Cumple
Estabilidad	Min. 815	1294.7	(Kg)	Cumple
Índice de Rigidez	1700 - 4000	3,871.1	(kg/cm)	Cumple

Fuente: Elaboración propia



### 3.6.15.4 Diseño y ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras convencionales con Contenido Óptimo de Asfalto

#### a) Procesamiento o cálculos de prueba

##### 1. Concreto asfáltico en peso de la mezcla

El porcentaje de contenido óptimo de asfalto para diseño MAC-02 convencional es de 6.3% de Cemento asfáltico.

La composición de agregados es la siguiente:

% Grava

$$\% Grava = 100 - \% Que Pasa en el tamiz N^{\circ} 4$$

$$\% Grava = 100 - 62.4$$

$$\% Grava = 37.64 \%$$

% Arena

$$\% Arena = 100 - \% Grava$$

$$\% Arena = 100 - 37.6$$

$$\% Arena = 62.36 \%$$

##### 2. % De grava triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)

$$\% De Grava Triturada en peso de la mezcla = \frac{((100 - \%C. A) * \%Grava)}{100}$$

$$\% De Grava Triturada en peso de la mezcla = \frac{((100 - 6.3) * 37.64)}{100}$$

$$\% De Grava Triturada en peso de la mezcla = 35.27 \%$$

##### 3. % De arenas combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)

$$\% De Arenas en peso de la mezcla = \frac{((100 - \%C. A) * \%Arena)}{100}$$

$$\% De Grava Triturada en peso de la mezcla = \frac{((100 - 6.3) * 62.36)}{100}$$

$$\% De Grava Triturada en peso de la mezcla = 58.43 \%$$

##### 4. % Filler en peso de la mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)

$$\% Filler = 0.00\%$$



**5. Peso Específico Aparente del C.A.**

$$\text{Peso Especifico Aparente del Cemento Asfaltico} = 1.0143$$

**6. Peso Específico Bulk de la grava triturada (Mayor N° 4)**

$$Gsbgrava = 2.657 \frac{gr}{cm^3}$$

**7. Peso Específico Aparente de la grava triturada (Mayor N° 4)**

$$GsaGrava = 2.691 \frac{gr}{cm^3}$$

**8. Peso Específico Bulk de la arena (Menor N° 4)**

$$GsbArena = 2.679 \frac{gr}{cm^3}$$

**9. Peso Específico Aparente de la arena (Menor N° 4)**

$$GsaArena = 2.730 \frac{gr}{cm^3}$$

**10. Peso Específico Aparente del Filler**

$$\text{Peso Específico Aparente del Filler} = 0.00 \text{ gr/cc}$$

**11. Altura Promedio de la briqueta**

**12. Peso de la briqueta al aire**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall Convencionales y Modificados.

**13. Peso de la probeta saturada**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall Convencionales y Modificados.

**14. Peso de la probeta en el agua**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall Convencionales y Modificados.

**15. Volumen de la probeta**

$$\text{Volumen de la Probeta} = \text{Peso de la probeta Saturada} - \text{Peso de la probeta en el Agua}$$

$$\text{Volumen de la Probeta (C.A 6.3\% - P1)} = \text{Peso de la probeta Saturada(C.A 6.3\% - P1)}$$



–Peso de la probeta en el Agua (C. A 6.3% – P1)

$$\text{Volumen de la Probeta (C. A 6\% – P1)} = (1238.3 - 707.9)$$

$$\text{Volumen de la Probeta (C. A 6.3\% – P1)} = 530.4 \text{ cm}^3$$

### **16. Peso Específico Bulk de la briqueta**

$$G_{sbriqueta} = \frac{\text{Peso de la Briqueta al Aire}}{\text{Volumen de la Probeta}}$$

$$G_{sbriqueta} (\text{C. A 6.3\% – P1}) = \frac{\text{Peso de la Briqueta al Aire (C. A 6.3\% – P1)}}{\text{Volumen de la Probeta (C. A 6.3\% – P1)}}$$

$$G_{sbriqueta} (\text{C. A 6.3\% – P1}) = \frac{1237.4}{530.4}$$

$$G_{sbriqueta} (\text{C. A 6.3\% – P1}) = 2.333 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

### **17. Peso Específico Máximo ASTM D - 2041 Rice**

Dato obtenido del ensayo de Ensayo de Gravedad Especifica RICE de mezcla bituminosa.

$$\text{Peso especifico maximo}_1 = \frac{\text{Diferencia del peso}_1}{\text{Agua desplazada}_1} = \frac{1261. \text{ gr}}{505.6 \text{ gr}} = 2.451 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

### **18. Máxima Densidad Teórica**

$$\text{Máxima Densidad Teorica} = \frac{100}{\frac{\%C.A.}{G_{sa} C.A.} + \frac{\%grava}{A} + \frac{\%fino}{B}}$$

Siendo:

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

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

Donde:

- $G_{sb}$  = Gravedad Especifica Bulk
- $G_{sa}$  = Gravedad Especifica Aparente

$$\text{Máxima densidad Teórica (Gmm)} = \frac{100}{\frac{6.30}{1.014} + \frac{35.27}{2.674} + \frac{58.43}{2.705}} = 2.439$$



**19. Porcentaje de Vacíos**

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

$$V_a = 100 * \left(1 - \frac{2.333}{2.450}\right) = 4.8$$

**20. Peso Específico Bulk del agregado total**

$$G_{sbAt.} = \frac{100 - \%C.A.}{\frac{\%Fino}{G_{sbFino}} + \frac{\%Grava}{G_{sbGrava}}}$$

$$G_{sbAt.} (C.A. 6.3\%) = \frac{100 - 6.3}{\frac{58.43}{2.679} + \frac{35.27}{2.657}}$$

$$G_{sbAt.} (C.A. 6.3\%) = 2.671 \text{ gr/cm}^3$$

**21. Peso Específico Aparente del agregado total**

$$G_{saAt.} = \frac{100 - \%C.A.}{\frac{\%Fino}{G_{saFino}} + \frac{\%Grava}{G_{saGrava}}}$$

$$G_{saAt.} (C.A. 6.3\%) = \frac{100 - 6.3}{\frac{58.43}{2.730} + \frac{35.27}{2.691}}$$

$$G_{saAt.} (C.A. 6.0\%) = 2.715 \text{ gr/cm}^3$$

**22. Peso Específico Efectivo del Agregado Total**

$$G_{sefectivoAt.} = \frac{\%Fino + \%Grava}{\frac{\%Fino}{\frac{G_{saFino} + G_{sbFino}}{2}} + \frac{\%Grava}{\frac{G_{saGrava} + G_{sbGrava}}{2}}}$$

$$G_{sefectivoAt.} (C.A. 6.0\%) = \frac{58.43 + 35.27}{\frac{\frac{58.43}{2.730} + \frac{2.679}{2}}{2} + \frac{\frac{35.27}{2.691} + \frac{2.657}{2}}{2}}$$

$$G_{sefectivoAt.} (C.A. 6.0\%) = 2.693 \text{ gr/cm}^3$$



**23. C.A Absorbido por el Peso agregado seco**

$$C.A. Absorbido = \frac{100 * GsaAsfalto * (GsefectivoAt. - GsbAt.)}{(GsefectivoAt.* GsbAt.)}$$

$$C.A. Absorbido = \frac{100 * 1.014 * (2.693. - 2.671)}{(2.693 * 2.671)}$$

$$C.A. Absorbido = 0.314 \%$$

**24. % del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la probeta**

$$\% \text{ del Vol. del agregado /Vol. Bruto de la Probeta} = \frac{(\%Grava+\%Finos)*Gsbriqueta}{GsbAt.}$$

% del Vol. del agregado /Vol. Bruto de la Probeta (C.A. 6.3% -P1)

$$= \frac{(35.27 + 58.43) * 2.333}{2.671}$$

% del Vol. del agregado / Vol. Bruto de la Probeta (C. A. 6.3% – P1) = 81.85%

**25. % del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la probeta**

% del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta = 100 – (% Vol. del agregado / Vol. Bruto de la Probeta + %Vacios)

% del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta (C.A. 6.3% - P1)= 100 – (% Vol. del agregado/Vol. Bruto de la Probeta(C. A. 6.3% – P1) + %Vacios (C. A. 6.3% – P1))

% del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta (C.A. 6.3% - P1)= 100 – 81.85 + 4.8)

% del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta (C.A. 6.3% - P1)= 13.37%

**26. % de vacíos del Agregado Mineral**

% de vacios del Agregado Mineral = 100 –(% del Vol. agregado/ Vol. Bruto de la Probeta

% de vacíos del Agregado Mineral (C.A.6.0%-P1) =100-% del Vol. del agregado/ Vol. Bruto de la Probeta (C. A. 6.3% – P1)



$$\% \text{ de vacíos del Agregado Mineral (C. A. 6.3\% - P1)} = 100 - 81.85$$

$$\% \text{ de vacíos del Agregado Mineral (C.A.6.3\%-P1)} = 18.15\%$$

### 27. C.A Efectivo / Peso de la mezcla

$$\text{C. A Efectivo / Peso de la Mezcla} = \% \text{C. A.} - \left( \frac{\text{C. A. Absorbido}}{100} \right) * (\% \text{Gravas} + \% \text{Finos})$$

$$\text{C. A Efectivo / Peso de la Mezcla (C. A. 6.3\%)} = \% \text{C. A.} - \frac{\text{C.A.Absorbido(C.A.6.3\%)}}{100} * (\% \text{Gravas} + \% \text{Fino})$$

$$\text{C. A Efectivo / Peso de la Mezcla (C. A. 6.3\%)} = 6.3 - \left( \frac{0.31}{100} \right) * (35.27 + 58.43)$$

$$\text{C. A Efectivo / Peso de la Mezcla (C. A. 6.0\%)} = 6.01\%$$

### 28. Relación Bitumen /Vacíos

$$\text{Relacion Betun Vacios} = \frac{\% \text{ del Volumen de C.A.Efectivo / Volumen de la Probeta}}{\% \text{ VMA}} * 100$$

$$\text{Relación Betún Vacíos (C.A.6.3\%-P1)} = \frac{\% \text{ del Vol.de C.A.Efectivo /Vol. Probeta (C.A.6.3\%-P1)}}{\% \text{ VMA}} * 100$$

$$\text{Relación Betún Vacíos (C.A.6.3\%-P1)} = \frac{13.37}{18.15} * 100$$

$$\text{Relacion Betun Vacios(C. A. 6.3\% - P1)} = 73.68\%$$

### 29. Lectura del Anillo

**Tabla 113.** Lectura del anillo registrado de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%

Cemento Asfáltico:	6.30%				
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Lectura Anillo (kg)	<b>334</b>	<b>300</b>	<b>286</b>	<b>342</b>	<b>301</b>

*Fuente: Elaboración propia*





### 30. Estabilidad Marshall sin corregir

$$\text{Estabilidad sin Corregir} = A * x^2 + B * x + C$$

Donde:

X= Lectura del Anillo

A= -0.00008

B= 4.35310

C= -4.28940

$$\text{Estabilidad sin Corregir (C.A. 6.3\% - P1)} = -0.00008 * 334^2 + 4.35310 * 334 - 4.28940$$

$$\text{Estabilidad sin Corregir (C.A. 6.0\% - P1)} = 1441\text{kg}$$

**Tabla 114.** Estabilidad Marshall sin corregir de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%

Cemento Asfáltico:	6.30%				
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Estabilidad sin corregir (Kg)	<b>1441</b>	<b>1294</b>	<b>1234</b>	<b>1475</b>	<b>1299</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 31. Factor de Estabilidad

**Tabla 115.** Factores de Estabilidad Marshall de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%

Cemento Asfáltico:	6.30%				
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Factor Estabilidad	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96

*Fuente: Elaboración propia*

### 32. Estabilidad Marshall corregida

$$\text{Estabilidad Corregida} = \text{Estabilidad sin corregir} * \text{Factor de Estabilidad}$$

$$\text{Estabilidad Corregida (C.A.6.3-P1)} = \text{Estabilidad sin corregir (C.A. 6.3 - P1)}$$



\* *Factor de Estabilidad*(C. A. 6.3 – P1)

Estabilidad Corregida (C.A.6.3 -P1)= 1441 \* 0.96)

Estabilidad Corregida (C. A. 6.3 – P1) = 1383 Kg

*Tabla 116. Estabilidad Marshall corregida de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%*

Cemento Asfáltico:	6.30%				
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Estabilidad Corregida Carga (kg)	1383	1243	1185	1416	1247

*Fuente: Elaboración propia*

### **33. Lectura del Flexímetro (0.001")**

*Tabla 117. Lectura registrado del Fleximetro de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%*

Cemento Asfáltico:	6.30%				
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Lectura del Fleximetro (pulg)	<b>13.0</b>	<b>12.0</b>	<b>14.0</b>	<b>14.0</b>	<b>13.0</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### **34. Fluencia**

$$Fluencia (mm) = \frac{Lectura\ del\ Fleximetro\ (0.001")}{10} * 2.54$$

$$Fluencia = \frac{Lectura\ del\ Fleximetro\ (0.001")\ (C.A.\ 6.3\% - P1)}{10} * 2.54$$

$$Fluencia\ (C.A.\ 6.3\% - P1) = \frac{13}{10} * 2.54$$

$$Fluencia\ (C.A.\ 6.3\% - P1) = 3.30\ mm$$



**Tabla 118.** Fluencia en mm de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%

Cemento Asfáltico:	6.30%				
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Flujo (mm)	3.3	3.0	3.6	3.6	3.3

Fuente: Elaboración propia

### **35. Factor de Rigidez**

$$\text{Factor Rigidez} = \frac{\text{Estabilidad Corregida}}{\left(\frac{\text{Fluencia}}{10}\right)}$$

$$\text{Factor Rigidez (C.A. 6.0\% - P1)} = \frac{\text{Estabilidad Corregida (C.A. 6.3\% - P1)}}{\left(\frac{\text{Fluencia (C.A. 6.3\% - P1)}}{10}\right)}$$

$$\text{Factor Rigidez (C.A. 6.3\% - P1)} = \frac{1383}{\left(\frac{3.30}{10}\right)}$$

$$\text{Factor Rigidez (C.A. 6.0\% - P1)} = 4189 \text{ kg/cm}$$

**Tabla 119.** Factor de Rigidez de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3%

Cemento Asfáltico:	6.30%				
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Índice Rigidez (Kg/cm)	4189	4077	3332	3982	3776

Fuente: Elaboración propia

### **b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**



**Tabla 120. Análisis de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas convencionales en Equipo Marshall de probetas con Contenido Optimo de Asfalto**

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO							
		<b>RESISTENCIA DE MESCLAS BITUMINOSAS EN EQUIPO MARSHALL</b>							
		(NORMA ASTM D -2041, AASHTO T -209)							
		TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.							
Tesis		Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce							
		Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe							
Material		MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL de CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO 6.3%							
Fecha		13 / 02 / 2020							
	DESCRIPCION	UND	PROBETAS					Prom.	
			1	2	3	4	5		
1	C.A. En peso de la mezcla	%	6.3	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27		
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43		
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%	0	0.00	0	0	0		
5	Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014		
6	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657		
7	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.674	
8	Peso Especifico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679		
9	Peso Especifico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.705	
10	Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm							
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1237.4	1240.8	1237.4	1235.6	1240.4		
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1238.3	1241.6	1238.3	1236.4	1241.0		
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	707.9	710.7	707.1	708.6	711.7		
15	Volumen de la Probeta	cc	530.4	530.9	531.2	527.8	529.3	PROMEDIO	
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.333	2.337	2.329	2.341	2.343	2.337	
17	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45		
18	Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439		
19	% Vacios	%	4.8	4.6	4.9	4.4	4.3	4.6	
20	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671		
21	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715		
22	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693		
23	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31		
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	81.85	82.00	81.73	82.13	82.22		
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	13.37	13.40	13.35	13.42	13.43		
26	% de vacios del Agregado Mineral	%	18.15	18.00	18.27	17.87	17.78	18.0	
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01		
28	Relacion Betun Vacios	%	73.68	74.42	73.07	75.11	75.55	74.4	
29	Lectura del Anillo	kg.	334	300	286	342	301		
30	Estabilidad Sin Corregir	kg.	1441	1294	1234	1475	1299		
31	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96		
32	Estabilidad Corregida	kg.	1383	1243	1185	1416	1247	1295	
33	Lectura del Flexímetro ( 0.001" )	pul	13.0	12.0	14.0	14.0	13.0		
34	Fluencia	mm.	3.30	3.05	3.56	3.56	3.30	3.35	
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	4189	4077	3332	3982	3776	3871	
<b>OBSERVACIONES :</b>		1. Grava Chancada 1 /2"	35.0%	Cantera Morroblanco San Salvador					
		2. Arena Chancada	35.0%	Cantera Morroblanco San Salvador					
		3. Arena Natural	30.0%	Cantera Cunyac					
		4. Cemento Asfaltico Pen 85-100		Refineria La Pampilla REPSOL-Peru					

Fuente: Elaboración propia



### c) Análisis de la prueba.

Se elaboraron 5 probetas de mezcla asfáltica compactado con el Contenido Óptimo de Asfalto (6.3%), para cada probeta se analizan los 35 datos siguiendo los procedimientos y ecuaciones mencionadas en este ítem. Estos procesos se repiten para cada una de las probetas.

#### 3.6.15.5 Diseño y ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para muestras modificadas con Nanotubos de Carbono

##### a) Procesamiento o cálculos de prueba

###### 1. Concreto asfáltico en peso de la mezcla

Se evalúa el porcentaje de contenido de Nanotubos de Carbono que ira como aditivo al contenido óptimo de asfalto. Para el ejemplo usaremos el Contenido Optimo de Asfalto con adición de Nanotubos al 2%.

La composición de agregados es la siguiente:

% Grava

$$\% Grava = 100 - \% Que Pasa en el tamiz N^{\circ} 4$$

$$\% Grava = 100 - 62.4$$

$$\% Grava = 37.64 \%$$

% Arena

$$\% Arena = 100 - \% Grava$$

$$\% Arena = 100 - 37.6$$

$$\% Arena = 62.36 \%$$

###### 2. % De grava triturada en peso de la mezcla (Mayor N° 4)

$$\% De Grava Triturada en peso de la mezcla = \frac{((100 - \%C.A) * \%Grava)}{100}$$

$$\% De Grava Triturada en peso de la mezcla = \frac{((100 - 6.3) * 37.64)}{100}$$

$$\% De Grava Triturada en peso de la mezcla = 35.27 \%$$

###### 3. % De arenas combinadas en peso de la mezcla (Menor N° 4)

$$\% De Arenas en peso de la mezcla = \frac{((100 - \%C.A) * \%Arena)}{100}$$



$$\% \text{ De Grava Triturada en peso de la mezcla} = \frac{((100 - 6.3) * 62.36}{100}$$

$$\% \text{ De Grava Triturada en peso de la mezcla} = 58.43 \%$$

**4. % Filler en peso de la mezcla (mínimo 65 % pasa malla N° 200)**

$$\% \text{ Filler} = 0.00\%$$

**5. Peso Específico Aparente del C.A.**

$$\text{Peso Especifico Aparente del Cemento Asfaltico} = 1.0143$$

**6. Peso Específico Bulk de la grava triturada (Mayor N° 4)**

$$Gsbgrava = 2.657 \frac{gr}{cm^3}$$

**7. Peso Específico Aparente de la grava triturada (Mayor N° 4)**

$$GsaGrava = 2.691 \frac{gr}{cm^3}$$

**8. Peso Específico Bulk de la arena (Menor N° 4)**

$$GsbArena = 2.679 \frac{gr}{cm^3}$$

**9. Peso Específico Aparente de la arena (Menor N° 4)**

$$GsaArena = 2.730 \frac{gr}{cm^3}$$

**10. Peso Específico Aparente del filler**

$$\text{Peso Especifico Aparente del Filler} = 0.00 \text{ gr/cc}$$

**11. Altura promedio de la briqueta**

**12. Peso de la briqueta al aire**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall convencionales y modificados.

**13. Peso de la probeta saturada**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall Convencionales y Modificados.



#### **14. Peso de la probeta en el agua**

Dato obtenido del ensayo de Parámetros Volumétricos de Especímenes Marshall Convencionales y Modificados.

#### **15. Volumen de la probeta**

Volumen de la Probeta = Peso de la probeta Saturada – Peso de la probeta en el Agua

Volumen de la Probeta (C. A 6.3NTC2% – P1) = Peso de la probeta Saturada(C. A 6.3NTC2% – P1)  
–Peso de la probeta en el Agua (C. A 6.3NTC2% – P1)

Volumen de la Probeta (C. A 6.3NTC2% – P1) = (1239.2 – 714.7)

Volumen de la Probeta (C. A 6.3NTC3% – P1) = 524.5 cm<sup>3</sup>

#### **16. Peso Específico Bulk de la briqueta**

$$G_{sbriqueta} = \frac{\text{Peso de la Briqueta al Aire}}{\text{Volumen de la Probeta}}$$

$$G_{sbriqueta} (C. A 6.3\%NTC2\% - P1) = \frac{\text{Peso de la Briqueta al Aire (C. A 6.3\%NTC2\% - P1)}}{\text{Volumen de la Probeta(C. A 6.3\%NTC2\% - P1)}}$$

$$G_{sbriqueta} (C. A 6.3\%NTC2\% - P1) = \frac{1238.7}{524.5}$$

$$G_{sbriqueta} (C. A 6.3\%NTC2\% - P1) = 2.362 \text{ gr/cm}^3$$

#### **17. Peso Específico Máximo ASTM D - 2041 Rice**

Dato obtenido del ensayo de Ensayo de Gravedad específica RICE de mezcla bituminosa.

$$\text{Peso especifico maximo}_1 = \frac{\text{Diferencia del peso}_1}{\text{Agua desplazada}_1} = \frac{1261. \text{ gr}}{505.6 \text{ gr}} = 2.451 \frac{\text{ gr}}{\text{ cm}^3}$$

#### **18. Máxima Densidad Teórica**

$$\text{Máxima Densidad Teorica} = \frac{100}{\frac{\%C.A.}{G_{sa} C.A.} + \frac{\%grava}{A} + \frac{\%fino}{B}}$$

Siendo:

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



$$B = \frac{Gsb+Gsa}{2} \quad , \text{ para agregado Fino}$$

Donde:

- $Gsb = \text{Gravedad Especifica Bulk}$
- $Gsa = \text{Gravedad Especifica Aparente}$

$$\text{Máxima densidad Teórica (Gmm)} = \frac{100}{\frac{6.30}{1.014} + \frac{35.27}{2.674} + \frac{58.43}{2.705}} = 2.439$$

### 19. Porcentaje de Vacíos

$$Va = 100 * \left(1 - \frac{Gmb}{Gmm}\right)$$

$$Va = 100 * \left(1 - \frac{2.362}{2.451}\right) = 3.6$$

### 20. Peso Específico Bulk del agregado total

$$GsbAt. = \frac{100 - \%C.A.}{\frac{\%Fino}{GsbFino} + \frac{\%Grava}{GsbGrava}}$$

$$GsbAt. (C.A. 6.3\%NTC2\%) = \frac{100 - 6.3.}{\frac{58.43}{2.679} + \frac{35.27}{2.657}}$$

$$GsbAt. (C.A. 6.3\%NTC2\%) = 2.671 \text{ gr/cm}^3$$

### 21. Peso Específico Aparente del agregado total

$$GsaAt. = \frac{100 - \%C.A.}{\frac{\%Fino}{GsaFino} + \frac{\%Grava}{GsaGrava}}$$

$$GsaAt. (C.A. 6.3\%NTC2\%) = \frac{100 - 6.3}{\frac{58.43}{2.730} + \frac{35.27}{2.691}}$$

$$GsaAt. (C.A. 6.3\%NTC2\%) = 2.715 \text{ gr/cm}^3$$





**22. Peso Específico Efectivo del agregado total**

$$G_{sefectivoAt.} = \frac{\%Fino + \%Grava}{\frac{\%Fino}{\frac{G_{saFino} + G_{sbFino}}{2}} + \frac{\%Grava}{\frac{G_{saGrava} + G_{sbGrava}}{2}}}$$

$$G_{sefectivoAt.} (C.A. 6.3\%NTC2\%) = \frac{58.43 + 35.27}{\frac{58.43}{\frac{2.730 + 2.679}{2}} + \frac{35.27}{\frac{2.691 + 2.657}{2}}}$$

$$G_{sefectivoAt.} (C.A. 6.3\%NTC2\%) = 2.693 \text{ gr/cm}^3$$

**23. C.A. Absorbido por el Peso agregado seco**

$$C.A. \text{ Absorbido} = \frac{100 * G_{saAsfalto} * (G_{sefectivoAt.} - G_{sbAt.})}{(G_{sefectivoAt.} * G_{sbAt.})}$$

$$C.A. \text{ Absorbido} = \frac{100 * 1.014 * (2.693 - 2.671)}{(2.693 * 2.671)}$$

$$C.A. \text{ Absorbido} = 0.314 \%$$

**24. % del Volumen del agregado /Volumen bruto de la probeta**

$$\% \text{ del Vol. del agregado /Vol. Bruto de la Probeta} = \frac{(\%Grava + \%Finos) * G_{sbbriqueta}}{G_{sbAt.}}$$

$$\% \text{ del Vol. del agregado /Vol. Bruto de la Probeta (C.A. 6.3\%NTC2\% -P1)}$$

$$= \frac{(35.27 + 58.43) * 2.362}{2.671}$$

$$\% \text{ del Vol. del agregado / Vol. Bruto de la Probeta (C.A. 6.3\%NTC2\% - P1)} = 82.86\%$$

**25. % del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la probeta**

$$\% \text{ del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta} = 100 - (\% \text{ Vol. del agregado / Vol. Bruto de la Probeta} + \% \text{ Vacios})$$

$$\% \text{ del Vol. de C.A. Efectivo/ Vol. de la Probeta (C.A. 6.3\%NTC2\% - P1)} = 100 -$$



$$(\% \text{ Vol. del agregado} / \text{Vol. Bruto de la Probeta} (C. A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1) + \% \text{Vacíos} (C. A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1))$$

$$\% \text{ del Vol. de C.A. Efectivo} / \text{Vol. de la Probeta} (C.A. 6.3\% \text{NT}2\% - P1) = 100 - 82.86 + 3.6)$$

$$\% \text{ del Vol. de C.A. Efectivo} / \text{Vol. de la Probeta} (C.A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1) = 13.58\%$$

### **26. % de vacíos del Agregado Mineral**

$$\% \text{ de vacíos del Agregado Mineral} = 100 - (\% \text{ del Vol. agregado} / \text{Vol. Bruto de la Probeta})$$

$$\% \text{ de vacíos del Agregado Mineral} (C.A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1) = 100 - (\% \text{ del Vol. del agregado} / \text{Vol. Bruto de la Probeta} (C. A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1))$$

$$\% \text{ de vacíos del Agregado Mineral} (C. A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1) = 100 - 82.86$$

$$\% \text{ de vacíos del Agregado Mineral} (C.A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1) = 17.14\%$$

### **27. C.A Efectivo / Peso de la mezcla**

$$C. A \text{ Efectivo} / \text{Peso de la Mezcla} = \% C. A. - \left( \frac{C. A. \text{ Absorbido}}{100} \right) * (\% \text{Gravas} + \% \text{Finos})$$

$$C. A \text{ Efectivo} / \text{Peso de la Mezcla} (C. A. 6.3\% \text{NTC}2\%) =$$

$$\% C. A. - \frac{C.A. \text{ Absorbido} (C.A. 6.3\% \text{NTC}2\%)}{100} * (\% \text{Gravas} + \% \text{Fino})$$

$$C. A \text{ Efectivo} / \text{Peso de la Mezcla} (C. A. 6.3\% \text{NTC}2\%) = 6.3 - \left( \frac{0.31}{100} \right) * (35.27 + 58.43)$$

$$C. A \text{ Efectivo} / \text{Peso de la Mezcla} (C. A. 6.0\% \text{NTC}2\%) = 6.01\%$$

### **28. Relación Bitumen /Vacíos**

$$\text{Relacion Betun Vacíos} = \frac{\% \text{ del Volumen de C.A.Efectivo} / \text{Volumen de la Probeta}}{\% \text{ VMA}} * 100$$

$$\text{Relación Betún Vacíos} (C.A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1) = \frac{\% \text{ del Vol. de C.A.Efectivo} / \text{Vol. Probeta} (C.A. 6.3\% \text{NTC}2\% - P1)}{\% \text{ VMA}} * 100$$



$$\text{Relación Betún Vacíos (C.A.6.3\%NTC2\%-P1)} = \frac{13.50}{17.14} * 100$$

$$\text{Relacion Betun Vacios(C. A. 6.3\%NTC2\% - P1)} = 79.20\%$$

### 29. Lectura del Anillo

**Tabla 121.** Lectura del anillo registrado de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%

Cemento Asfáltico:	6.30%					Nanotubos de Carbono			3.00%	
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Lectura Anillo (kg)	358	359	301	302	340	315	356	302	302	354

*Fuente: Elaboración propia*

### 30. Estabilidad Marshall sin corregir

$$\text{Estabilidad sin Corregir} = A * x^2 + B * x + C$$

Donde:

X= Lectura del Anillo

A= -0.00008

B= 4.35310

C= -4.28940

$$\text{Estabilidad sin Corregir (C. A. 6.3\%NTC2\% - P1)} = -0.00008 * 358^2 + 4.35310 * 358 - 4.28940$$

$$\text{Estabilidad sin Corregir (C. A. 6.3\%NTC2\% - P1)} = 1544\text{kg}$$

**Tabla 122.** Estabilidad Marshall sin corregir de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 3%

Cemento Asfáltico:	6.30%					Nanotubos de Carbono			3.00%	
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Estabilidad sin corregir (Kg)	1544	1548	1299	1303	1467	1359	1535	1303	1303	1527

*Fuente: Elaboración propia*



### 31. Factor de Estabilidad

**Tabla 123.** Factores de Estabilidad Marshall de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 3%

Cemento Asfáltico:	6.30%					Nanotubos de Carbono			3.00%	
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Factor de Estabilidad	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96

Fuente: Elaboración propia

### 32. Estabilidad Marshall corregida

Estabilidad Corregida = Estabilidad sin corregir \* Factor de Estabilidad

Estabilidad Corregida (C.A.6.3%NTC2% - P1)=

Estabilidad sin corregir(C. A. 6.3%NTC2% – P1) \*

Factor de Estabilidad(C. A. 6.3%NTC2% – P1)

Estabilidad Corregida (C.A.6.3%NTC2% -P1)= 1544 \* 0.96)

Estabilidad Corregida (C. A. 6.3%NTC2% – P1) = 1482 Kg

**Tabla 124.** Estabilidad Marshall corregida de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%

Cemento Asfáltico:	6.30%					Nanotubos de Carbono			3.00%	
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Estabilidad Corregida Carga (kg)	1482	1486	1247	1251	1408	1305	1474	1251	1251	1466

Fuente: Elaboración propia



### 33. Lectura del Flexímetro (0.001")

**Tabla 125.** Lectura registrada del Flexímetro de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%

Cemento Asfáltico:	6.30%					Nanotubos de Carbono			3.00%	
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Lectura del Flexímetro (pulg)	13.0	12.0	12.0	14.0	14.0	13.0	12.0	12.0	14.0	12.0

Fuente: Elaboración propia

### 34. Fluencia

$$Fluencia (mm) = \frac{Lectura\ del\ Flexímetro\ (0.001")}{10} * 2.54$$

$$Fluencia = \frac{Lectura\ del\ Flexímetro\ (0.001")\ (C.A.\ 6.3\%NTC2\% - P1)}{10} * 2.54$$

$$Fluencia\ (C.A.\ 6.3\%NTC2\% - P1) = \frac{13}{10} * 2.54$$

$$Fluencia\ (C.A.\ 6.3\% - P1) = 3.30mm$$

**Tabla 126.** Fluencia en mm de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%

Cemento Asfáltico:	6.30%					Nanotubos de Carbono			3.00%	
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Flujo (mm)	3.30	3.05	3.05	3.56	3.56	3.30	3.05	3.05	3.56	3.05

Fuente: Elaboración propia

### 35. Factor de Rigidez

$$Factor\ Rigidez = \frac{Estabilidad\ Corregida}{\left(\frac{Fluencia}{10}\right)}$$



$$\text{Factor Rigidez (C.A.6.0\%NTC2\%-P1)} = \frac{\text{Estabilidad Corregida (C.A.6.3\%NTC2\%-P1)}}{\left(\frac{\text{Fluencia (C.A.6.3\%NTC2\%-P1)}}{10}\right)}$$

$$\text{Factor Rigidez (C.A. 6.3\%NTC2\% - P1)} = \frac{1482}{\left(\frac{3.30}{10}\right)}$$

$$\text{Factor Rigidez (C.A. 6.0\%NTC2\% - P1)} = 4489 \text{ kg/cm}$$

**Tabla 127.** Factor de Rigidez de cada probeta con Contenido de Asfalto Óptimo de 6.3% y modificada con Nanotubos de Carbono al 2%

Cemento Asfáltico:	6.30%					Nanotubos de Carbono			3.00%	
N° de probeta	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
Índice Rigidez (Kg/cm)	4489	4876	4091	3518	3959	3951	4836	4104	3518	4808

*Fuente: Elaboración propia*

**b) Diagramas o tablas para interpretar el ítem**



**Tabla 128. Ejemplo de Análisis de datos del ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas modificadas con nanotubos de Carbono en Equipo Marshall (ejemplo NTC-2%)**

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN EQUIPO MARSHALL													
		(NORMA ASTM D -2041, AASHTO T -209)													
		TESIS: ANALISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LAS MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON NTC (NANOTUBOS DE CARBONO) CON RESPECTO A UNA MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL, SEGUN EL MÉTODO MARSHALL.													
Tesistas :		Bach. Daisy Gabriela Candia Ponce Bach. Vladimir Lenin Ccorahua Quispe													
Material :		MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL de CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO 6.3% MODIFICADA CON NANOTUBOS DE CARBONO AL 2%													
Fecha :		15 / 02 / 2020													
DESCRIPCION	UND	PROBETAS										Prom.			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1 C.A. En peso de la mezcla	%	6.3	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30
2 % De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27
3 % De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43	58.43
4 % Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200)	%	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 Peso Especifico Aparente del C.A.	gr/cc	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014	1.014
6 Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657	2.657
7 Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	gr/cc	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691	2.691
8 Peso Especifico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679	2.679
9 Peso Especifico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	gr/cc	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730	2.730
10 Peso Especifico Aparente del Filler	gr/cc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11 Altura Promedio de la Briqueta	cm														
12 Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1238.7	1238.2	1241.3	1235.2	1236.4	1236.0	1245.3	1230.2	1244.4	1245.9				
13 Peso de la Probeta Saturada	gr.	1239.2	1238.9	1241.3	1235.6	1236.7	1236.7	1245.6	1231.5	1244.6	1247.1				
14 Peso de la Probeta en el Agua	gr.	714.7	711.3	715.7	709.9	712.1	708.5	716.3	706.0	719.6	715.4				
15 Volumen de la Probeta	cc	524.5	527.6	525.6	525.7	524.6	528.2	529.3	525.5	525.0	531.7	PROMEDIO			
16 Peso Especifico Bulk de la Briqueta	gr/cc	2.362	2.347	2.362	2.350	2.357	2.340	2.353	2.341	2.370	2.343	<b>2.352</b>			
17 Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	gr/cc	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45			
18 Máxima Densidad Teórica	gr/cc	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439	2.439			
19 % Vacios	%	3.6	4.2	3.6	4.1	3.8	4.4	3.9	4.4	3.2	4.3	<b>3.9</b>			
20 Peso Especifico Bulk del Agregado Total	gr/cc	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671			
21 Peso Especifico Aparente del Agregado Total	gr/cc	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715	2.715			
22 Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	gr/cc	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693	2.693			
23 C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31			
24 % del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	82.86	82.34	82.86	82.44	82.69	82.10	82.54	82.13	83.16	82.21				
25 % del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	13.58	13.49	13.58	13.51	13.55	13.45	13.52	13.46	13.62	13.47				
26 % de vacios del Agregado Mineral	%	17.14	17.66	17.14	17.56	17.31	17.90	17.46	17.87	16.84	17.79	<b>17.5</b>			
27 C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01			
28 Relacion Betun Vacios	%	79.20	76.38	79.20	76.90	78.26	75.14	77.48	75.32	80.91	75.72	<b>77.5</b>			
29 Lectura del Anillo	kg.	358	359	301	302	340	315	356	302	302	354				
30 Estabilidad Sin Corregir	kg.	1544	1548	1299	1303	1467	1359	1535	1303	1303	1527				
31 Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96				
32 Estabilidad Corregida	kg.	1482	1486	1247	1251	1408	1305	1474	1251	1251	1466	<b>1362</b>			
33 Lectura del Flexímetro ( 0.001" )	pul	13.0	12.0	12.0	14.0	14.0	13.0	12.0	12.0	14.0	12.0				
34 Fluencia	mm.	3.30	3.05	3.05	3.56	3.56	3.30	3.05	3.05	3.56	3.05	<b>3.25</b>			
35 Factor de Rigidez	Kg/cm	4489	4876	4091	3518	3959	3951	4836	4104	3518	4808	<b>4215</b>			
<b>OBSERVACIONES</b>		1. Grava Chancada 1 /2" 35.0% Cantera Morroblanco San Salvador 2. Arena Chancada 35.0% Cantera Morroblanco San Salvador 3. Arena Natural 30.0% Cantera Cunyac 4. Cemento Asfáltico Pen 85-100 Refinería La Pampilla REPSOL-Peru													

Fuente: Elaboración propia



**c) Análisis de la prueba.**

Se elaboraron 30 probetas de mezcla asfáltica compactado con Contenido Óptimo de Asfalto modificadas con adición de Nanotubos de Carbono en porcentajes de entre 2.0 % al 4.0%, 10 con un contenido de Nanotubos al 2.0%, 10 con un contenido de Nanotubos al 3.0% y con un contenido de Nanotubos al 4.0%, para cada probeta se analizan los 35 datos siguiendo los procedimientos y ecuaciones mencionadas en este ítem. Estos procesos se repiten para cada una de las probetas.





## Capítulo IV. Resultados

### 4.1. Control de calidad de los componentes de la mezcla

#### 4.1.1. Control de calidad del agregado grueso

##### a) Tabla de resultados

*Tabla 129. Resultados del control de calidad del agregado grueso*

REQUERIMIENTO DE MATERIALES DE AGREGADO GRUESO			
Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (m.s.n.m) >	Resultados Obtenidos
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	15% máx	10.58%
Abrasión de Los Ángeles	MTC E 207	35% máx	22.1%
Adherencia	MTC E 517	95% min	100%
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min	73.70%
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM 4791	10% máx	8.86%
Caras Fracturadas	MTC E 210	90 min/ 70min	98/74
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx	0.07%
Absorción	MTC E 206	1.0% máx	0.76%

*Fuente: Elaboración propia*

##### b) Análisis de resultados de la tabla

Los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar el control de calidad de los agregados gruesos de la cantera de Morro Blanco - San Salvador, cumplen satisfactoriamente con los requisitos de calidad para el agregado grueso establecidos en la tabla N°423 - 01 “Requerimientos para los agregados gruesos” del (Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013).

##### c) Resultados y análisis de cada ensayo para control de calidad de agregados gruesos



### c.1) Ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio

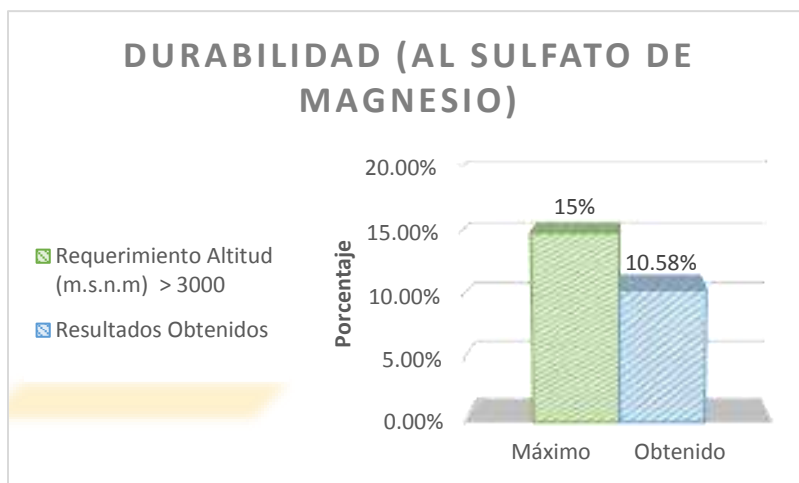


Figura 127. Resultado del ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio

Fuente: Elaboración propia

#### Análisis

El resultado del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado grueso es de 10.58%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E-209 el cual establece que el porcentaje máximo es del 20%.

### c.2) Ensayo de Abrasión de los Ángeles

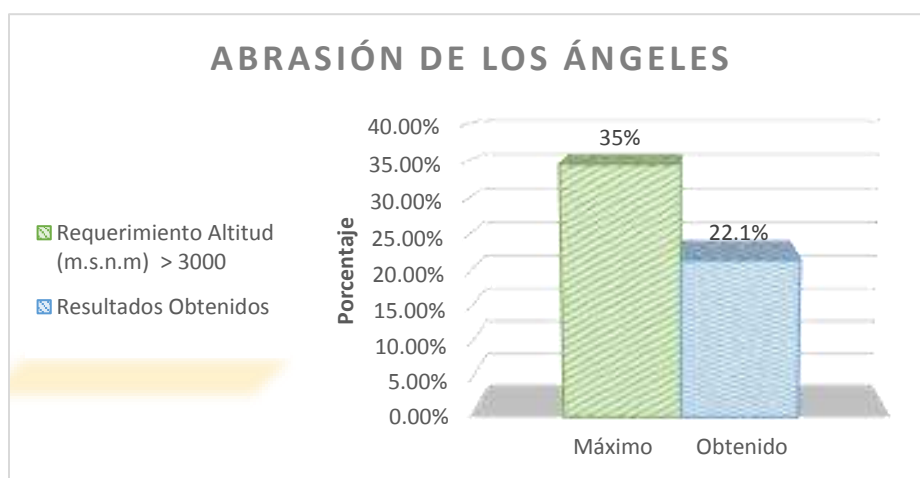


Figura 128. Resultado del Ensayo de Abrasión de los Ángeles

Fuente: Elaboración propia



### Análisis

El resultado del ensayo de Abrasión los Ángeles del agregado grueso es de 22.10%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E – 207 que es de 35% máximo.

### c.3) Ensayo de Adherencia - Bitumen

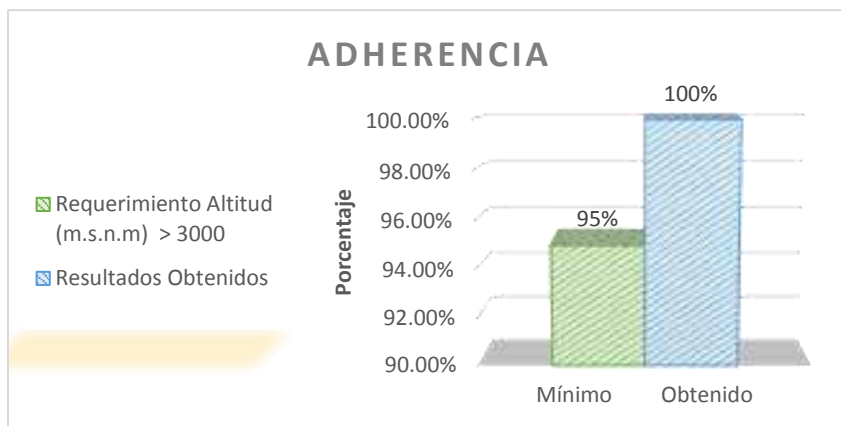


Figura 129. Resultado del Ensayo de Adherencia -Bitumen

Fuente: Elaboración propia

### Análisis

El resultado del ensayo de Adherencia - Bitumen del agregado grueso es del 100.00%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E – 517 que establece que el mínimo de porcentaje establecido es el 95.00%

### c.4) Ensayo de Revestimiento Índice de Durabilidad

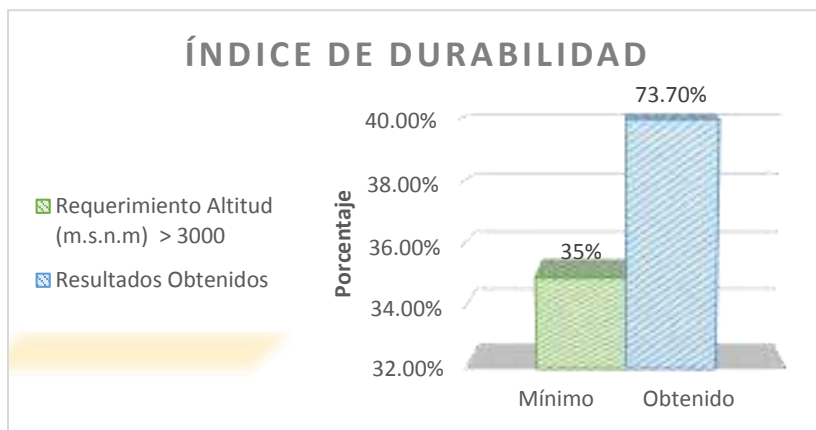


Figura 130. Resultado del Ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad

Fuente: Elaboración propia



### Análisis

El resultado del ensayo de Revestimiento Índice de durabilidad del agregado grueso es del 73.70%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E – 214 que establece que el mínimo de porcentaje establecido es de 35.00%.

### C.5) Ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas

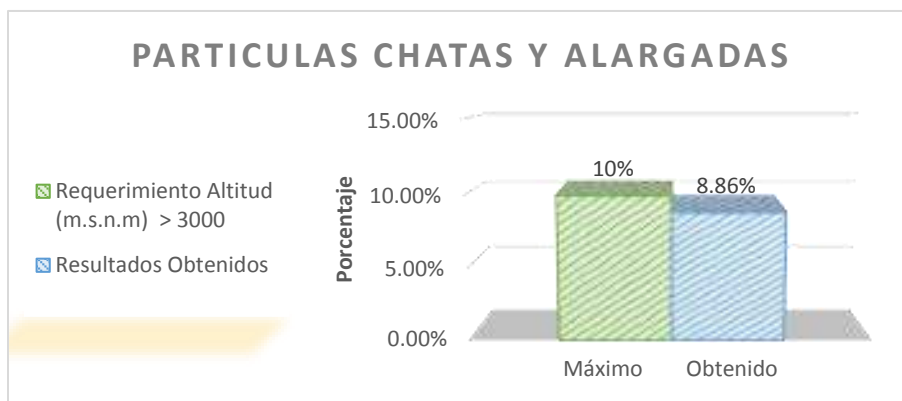


Figura 131. Resultado del Ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas

Fuente: Elaboración propia

### Análisis

El resultado del ensayo de Determinación de Partículas Chatas Y Alargadas del agregado grueso es de 8.86%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma ASTM -4791 que da como porcentaje máximo al 10%.

### C.6) Ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas

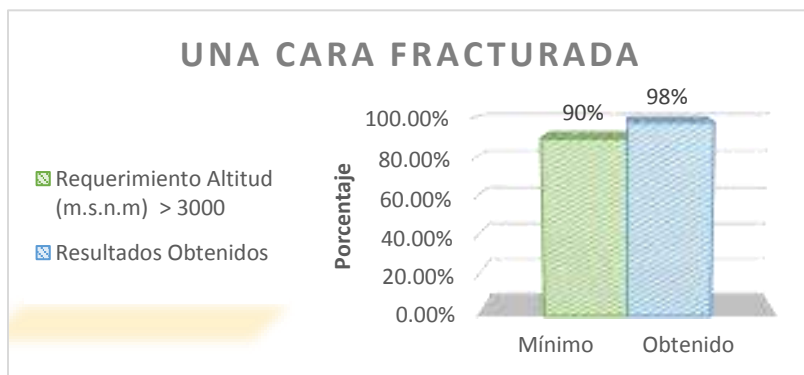
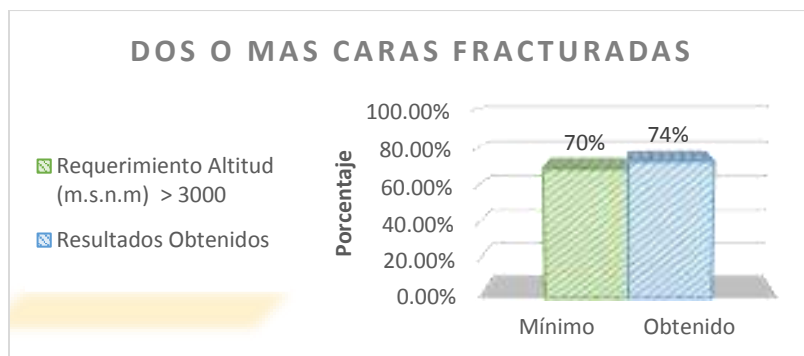


Figura 132. Resultado del Ensayo de Determinación del porcentaje de una cara fracturada

Fuente: Elaboración propia

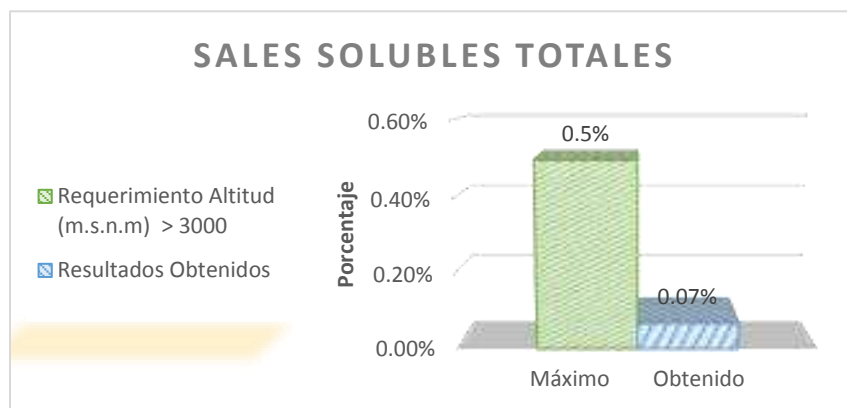


*Figura 133. Resultado del Ensayo de Determinación del porcentaje de dos caras a más fracturadas. Fuente: Elaboración propia*

### Análisis

El resultado del ensayo de Determinación del porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso para una cara fracturada es del 98%, y el resultado para dos a más caras fracturadas es de 74%; dichos resultados cumplen con los requerimientos del ensayo de la norma ASTM – 4790 que establece que los porcentajes mínimos son de 90/70 respectivamente.

### c.7) Ensayo de Sales Solubles en Agregados para pavimentos flexibles



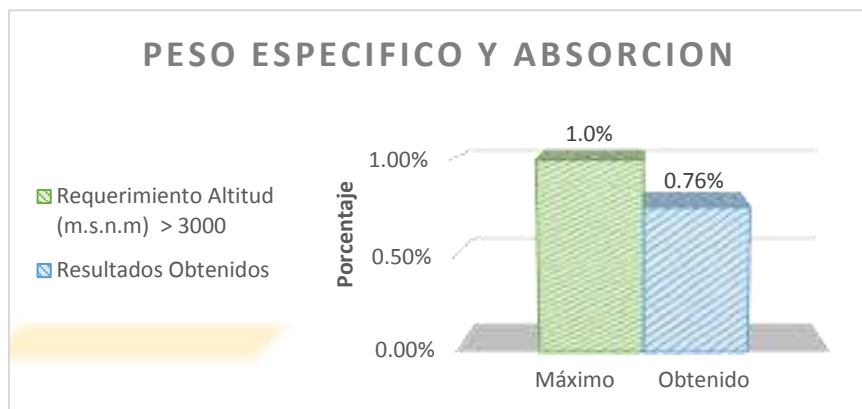
*Figura 134. Resultado del Ensayo de Sales solubles en agregados gruesos*

*Fuente: Elaboración propia*

### Análisis

El resultado del ensayo de Ensayo de Sales solubles del agregado grueso es de 0.07%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E – 219 que da como porcentaje máximo al 0.5%.

**c.7) Ensayo de Peso Específico y Absorción**



*Figura 135. Resultado ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados gruesos*

*Fuente: Elaboración propia*

**Análisis**

El resultado del ensayo de Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso es de 0.76%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E – 206 que da como porcentaje máximo al 1.0%.

**4.1.2. Control de calidad del Agregado Fino**

**a) Tabla de resultados**

*Tabla 130. Resultados del control de calidad del agregado fino*

REQUERIMIENTO DE MATERIALES DE AGREGADO FINO			
Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (m.s.n.m) >	Resultados Obtenidos
Equivalente de Arena	MTC E 114	70%	57%
Angularidad del Agregado Fino	MTC E 222	40%	46.86%
Azul de Metileno	AASTHO TP 57	8% máx	6%
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx	15.4%
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín	57%
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	NP	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx	0.15%
Absorción	MTC E 205	0.5% máx	1.11%

*Fuente: Elaboración propia*

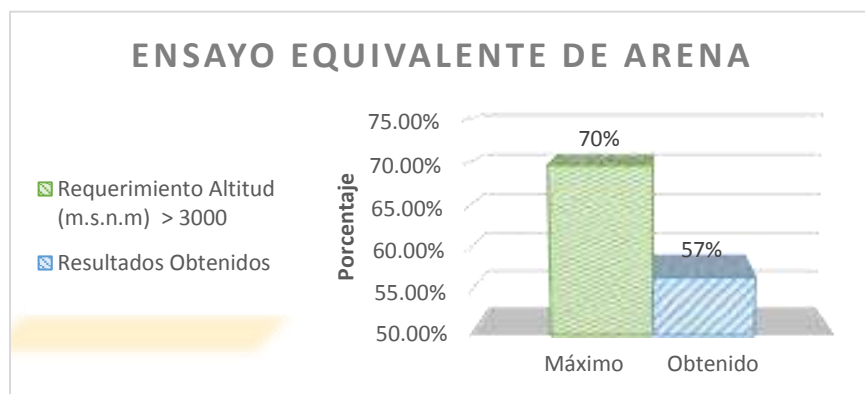


## b) Análisis de resultados de la tabla

Los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar el control de calidad de los agregados finos de la cantera de Morro Blanco - San Salvador y de Cunyac- Puente Cunyac, cumplen satisfactoriamente con los requisitos de calidad para el agregado fino establecidos en la tabla N°423 - 02 “Requerimientos para los agregados finos” del (Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013).

## C) Resultados y análisis de cada ensayo para control de calidad de agregados finos

### C.1) Ensayo de Equivalente de Arena



*Figura 136. Resultado del ensayo de equivalente de arena*

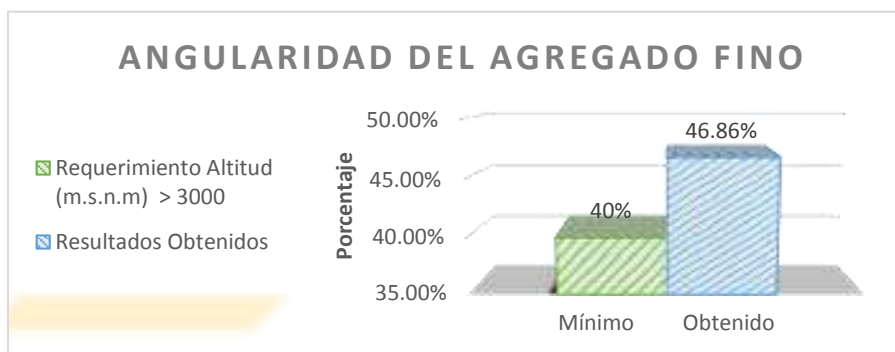
*Fuente: Elaboración propia*

### Análisis

El resultado del ensayo de ensayo de Equivalente de Arena del agregado fino es de 57%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E-114 el cual establece que el porcentaje máximo es del 70%.



### C.2) Ensayo de Angularidad del agregado fino



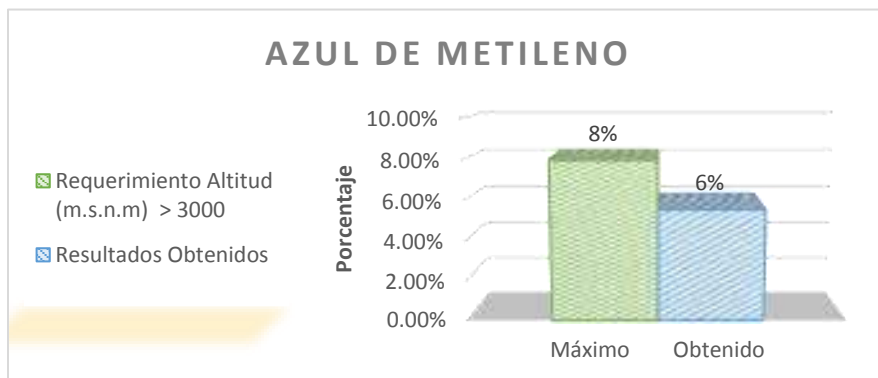
**Figura 137.** Resultado del ensayo de Angularidad del agregado fino

*Fuente: Elaboración propia*

#### Análisis

El resultado del ensayo de ensayo de Angularidad del agregado fino es de 46.86%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E-222 el cual establece que el porcentaje mínimo es del 40%.

### C.3) Ensayo de Azul de Metileno



**Figura 138.** Resultado del ensayo de Azul de Metileno

*Fuente: Elaboración propia*

#### Análisis

El resultado del ensayo de ensayo Azul de Metileno del agregado fino es de 6%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma AASTHO TP - 57 el cual indica que el porcentaje máximo es del 8%.



#### c.4) Ensayos de Límites de Consistencia

REQUERIMIENTO DE MATERIALES DE AGREGADO FINO	
Requerimiento Altitud (m.s.n.m) > 3000	NP
Resultados Obtenidos	NP

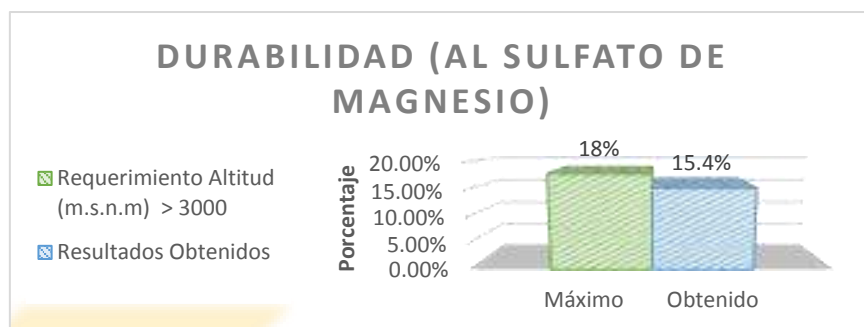
**Figura 139.** Resultado de los ensayos de límites de consistencia

*Fuente: Elaboración propia*

#### Análisis

El resultado de los ensayos de límites de consistencia del agregado fino es de NO PLASTICO, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E -111 el cual indica que el Agregado fino debe ser No Plástico.

#### c.5) Ensayos de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino



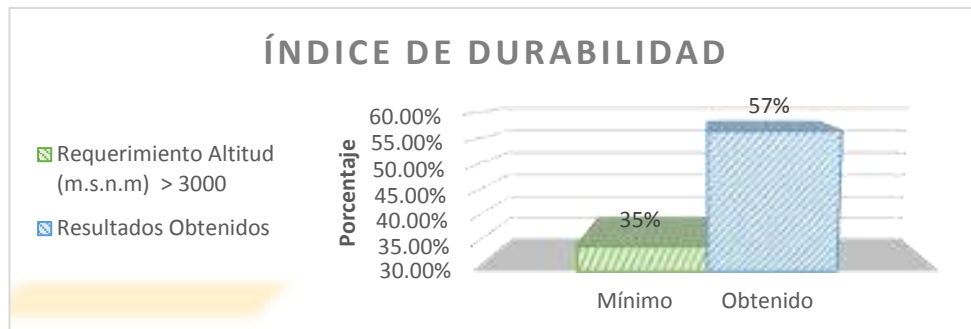
**Figura 140.** Resultado de los ensayos de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino

*Fuente: Elaboración propia*

#### Análisis

El resultado del ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio del agregado fino es de 15.4%, el cual cumple con lo establecido en la norma MTC E-209 el cual establece que el porcentaje máximo es del 18%.

### c.6) Ensayos de Índice de Durabilidad del agregado fino



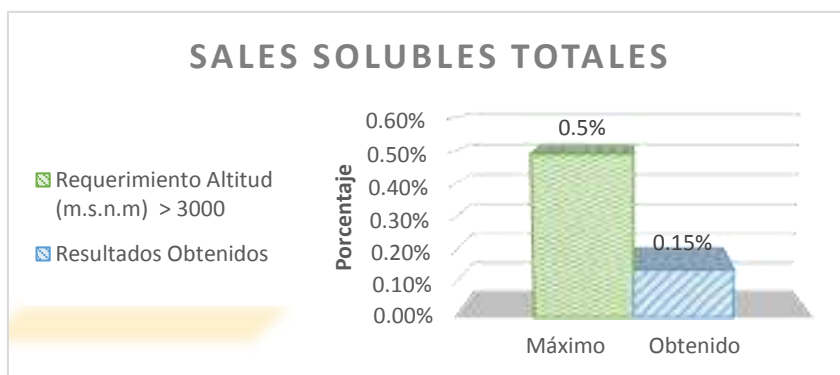
*Figura 141. Resultado de los ensayos de Índice de durabilidad del agregado fino*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **Análisis**

El resultado del ensayo de Índice de durabilidad del agregado fino es del 57%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E – 214 que establece que el mínimo de porcentaje establecido es de 35%.

### c.7) Ensayo de Sales Solubles en Agregados para pavimentos flexibles



*Figura 142. Resultado del Ensayo de Sales solubles en agregados finos*

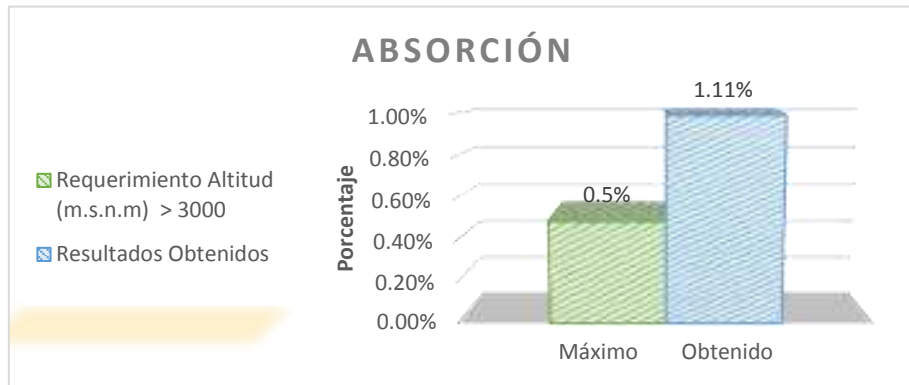
*Fuente: Elaboración propia*

#### **Análisis**

El resultado del ensayo de Ensayo de Sales solubles del agregado fino es de 0.15%, el cual cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E – 219 que da como porcentaje máximo al 0.5%.



### c.8) Ensayo de Peso Específico y Absorción



*Figura 143. Resultado ensayo de Peso Específico y Absorción en agregados finos*

*Fuente: Elaboración propia*

#### **Análisis**

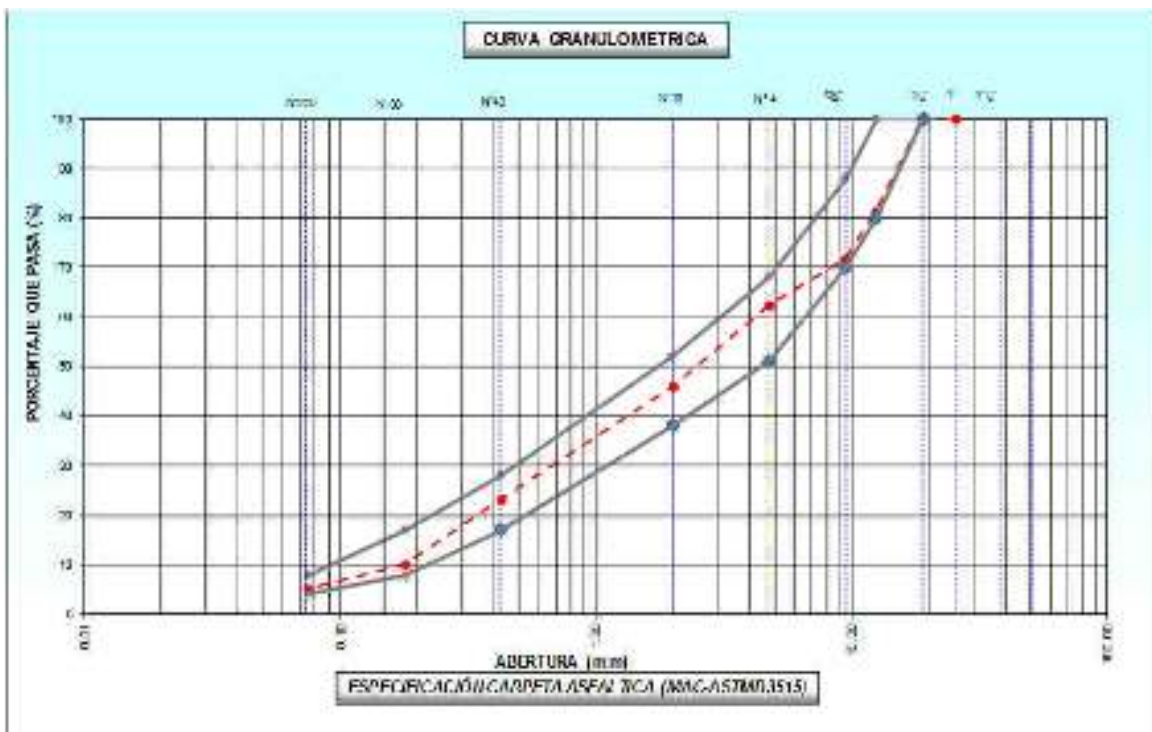
El resultado del ensayo de Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino es de 1.11%, el cual no cumple con el requerimiento de ensayo de la norma MTC E – 206 que da como porcentaje máximo al 0.5%.

## **4.2. Control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente con Nanotubos**

### **4.2.1. Diseño Mezclas asfálticas en caliente**

#### **4.2.1.1. Combinación de Agregados**

### a) Resultado de la combinación de agregados



*Figura 144. Curva granulométrica de la combinación de agregados para diseño*

*Fuente: Elaboración propia*

### b) Análisis del Resultado

Esta es la propuesta de la Gradación de la combinación de agregados, en la cual la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites de diseño para una mezcla asfáltica en caliente Tipo MAC-02.

#### 4.2.1.2 CONTENIDO DE ASFALTO OPTIMO

### a) Resultados del Contenido de Asfalto Óptimo

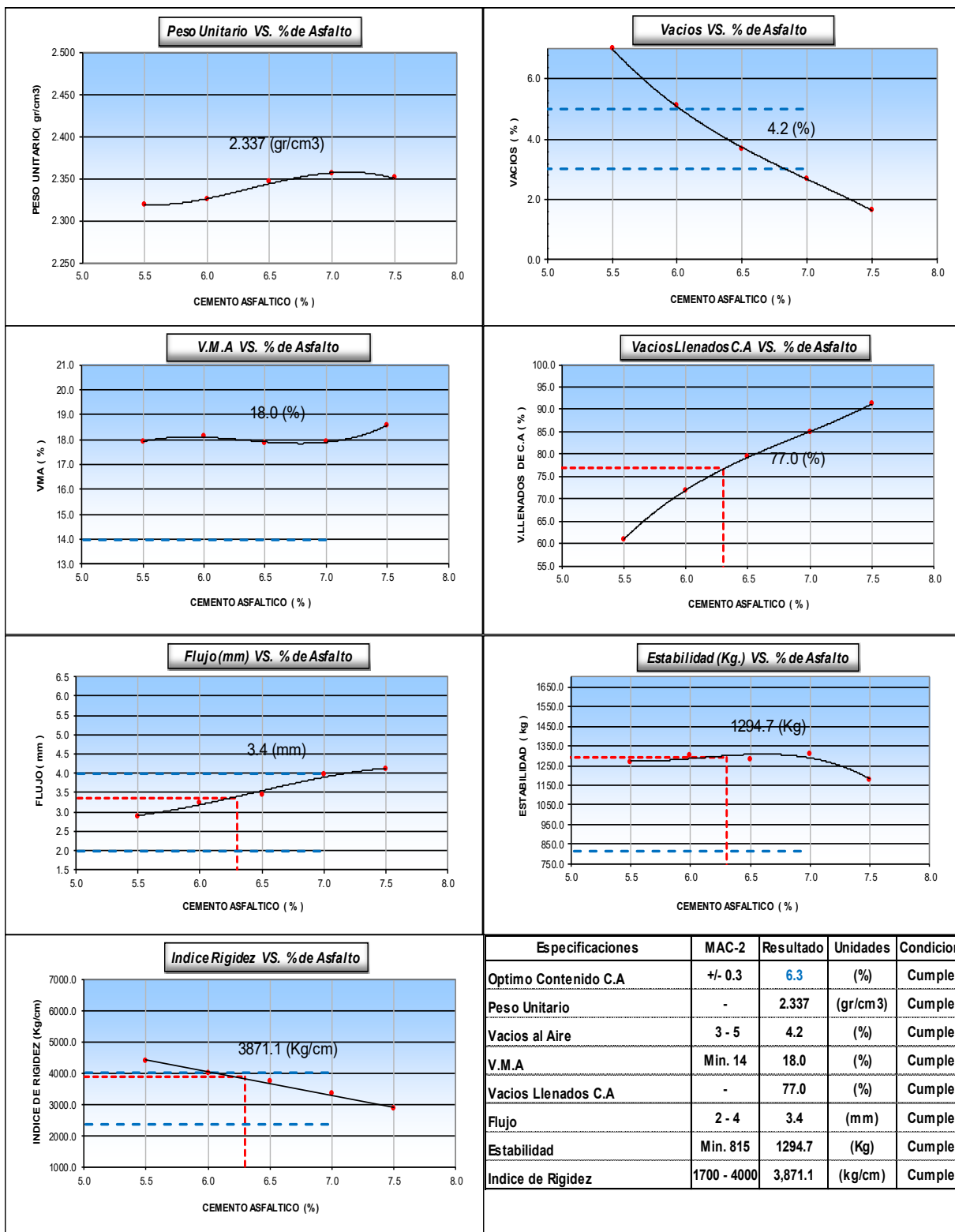


Figura 145. Resultados combinados de Estabilidad Marshall, Flujo, Densidad y volumen de Vacíos para determinar el Contenido Óptimo de Asfalto. Fuente: Elaboración propia



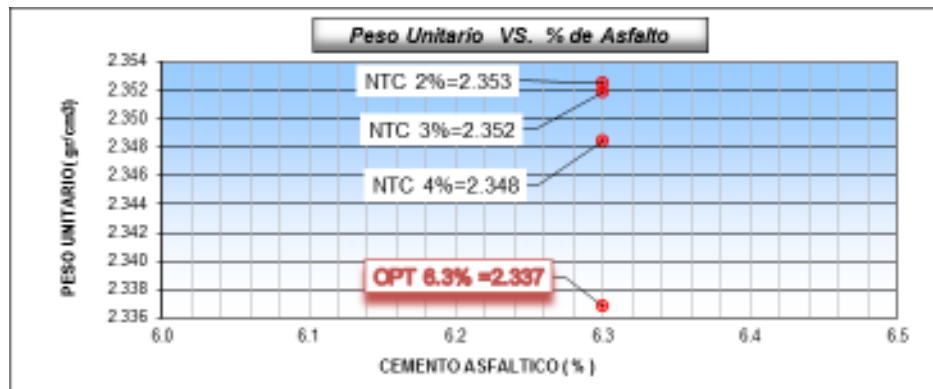
## Análisis del resultado

Para la selección del Contenido de Asfalto Óptimo se analizó los parámetros volumétricos de las probetas con contenidos de asfalto a 5.5%, 6.0%, 6.5%, 7.0% y 7.5% además de que se buscó que cumpla con los parámetros volumétricos establecidos para una mezcla asfáltica MAC-02 siendo el porcentaje de 6.3% como valor de contenido óptimo de asfalto.

### 4.2.2. Propiedades Físico - Mecánicas

#### 4.2.2.1 Propiedades físicas

##### a) Resultados de Propiedades físicas



*Figura 146. Peso unitario de mezclas asfálticas con Optimo de C.A. vs modificadas*

*Fuente: Elaboración propia*

## Análisis del resultado

Los valores de Peso unitario (gr/cm<sup>3</sup>) de mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de carbono en porcentajes de 2%, 3% y 4% estos valores se encuentran próximos uno al otro y quedan con valores de 2.353, 2.352 y 2.348 respectivamente, estos valores son superiores al de la mezcla asfáltica convencional de 2.337.

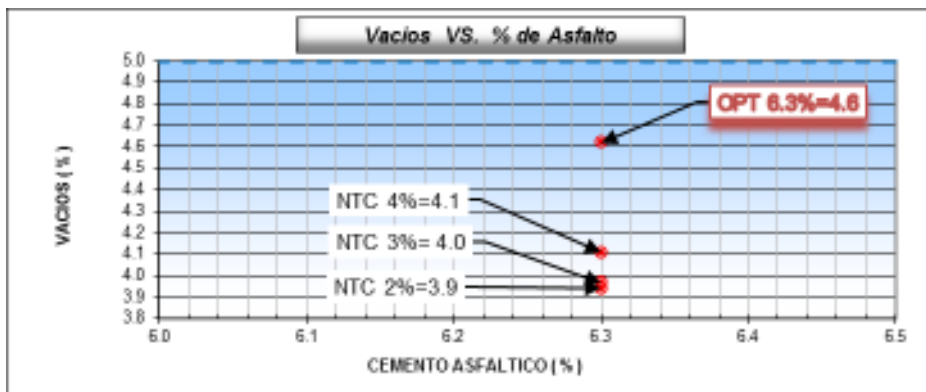


Figura 147. % de Vacíos de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas

Fuente: Elaboración propia

### Análisis del resultado

El valor del porcentaje de Vacíos de las mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de carbono en porcentajes de 2% es de 3.9%, así mismo para el porcentaje de NTC al 3% es de 4.0% y para el porcentaje de NTC al 4% es de 4.1%, dichos valores se encuentran próximos uno al otro y quedan cerca al % de Vacíos Óptimo de 4% establecido para una mezcla asfáltica en caliente MAC-02, caso diferente con el porcentaje de Vacíos de la mezcla con optimo C. A. que es de 4.6%.

El peso unitario y el contenido de vacíos están directamente relacionados porque entre mayor sea el valor del peso unitario menor es el porcentaje de vacíos, lo cual favorece la durabilidad de la mezcla asfáltica.

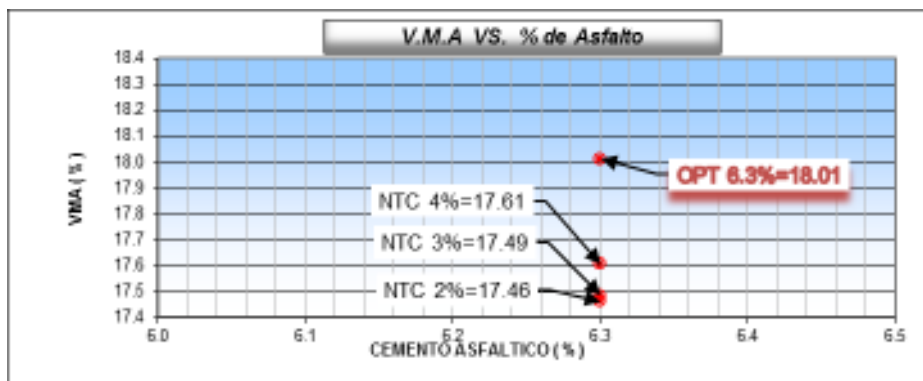


Figura 148. Porcentaje de V.M.A. de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas

Fuente: Elaboración propia



### Análisis del resultado

Los valores de los Porcentajes de Vacíos del agregado Mineral (VMA) de mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de carbono en porcentajes de 2%, 3% y 4% valores de 17.46%, 17.49% y 17.61%; estos valores cumplen el % min de VMA de 14% al igual que con las mezclas convencionales con contenido óptimo de C. A.

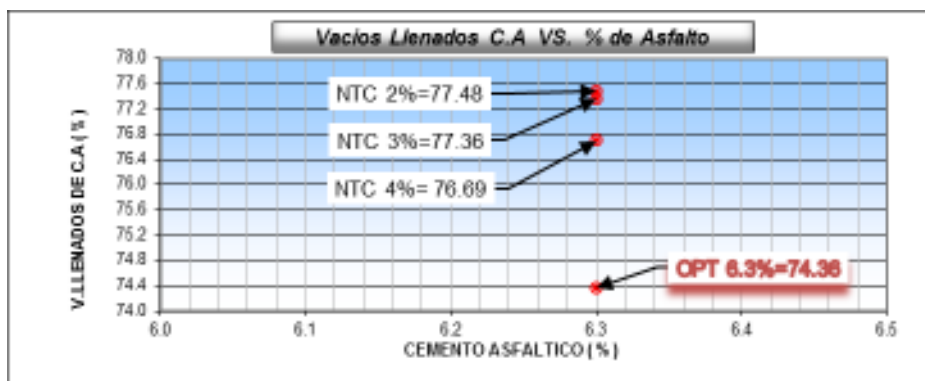


Figura 149. Vacíos llenados de C.A. de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas

Fuente: Elaboración propia

### Análisis del resultado

Los valores de Vacíos llenados de Cemento Asfáltico de mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de carbono en porcentajes de 2%, 3% y 4% son valores de 77.48%, 77.36% y 76.69 % respectivamente valores superiores al del valor de las mezclas convencionales que es de 74.36%.

#### 4.2.2.1 Estabilidad y Flujo Marshall

##### a) Resultados de Estabilidad y Flujo Marshall

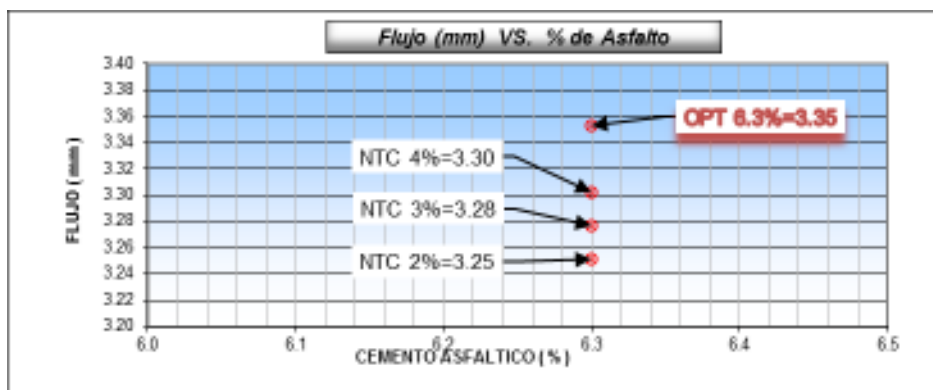


Figura 150. Flujo de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas

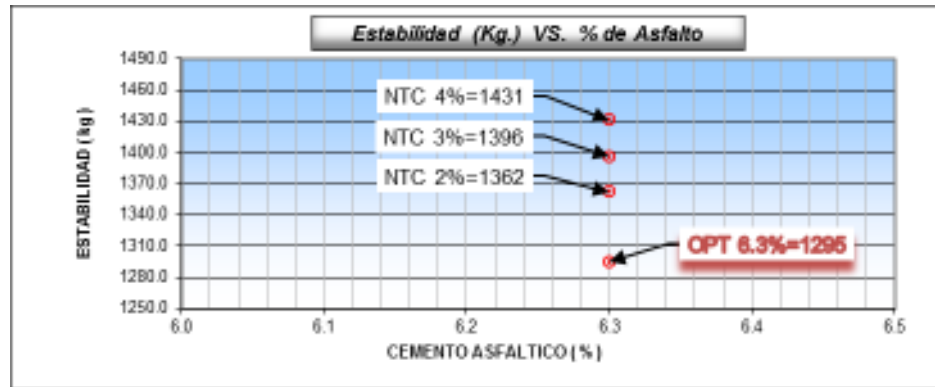
Fuente: Elaboración propia





### Análisis del resultado

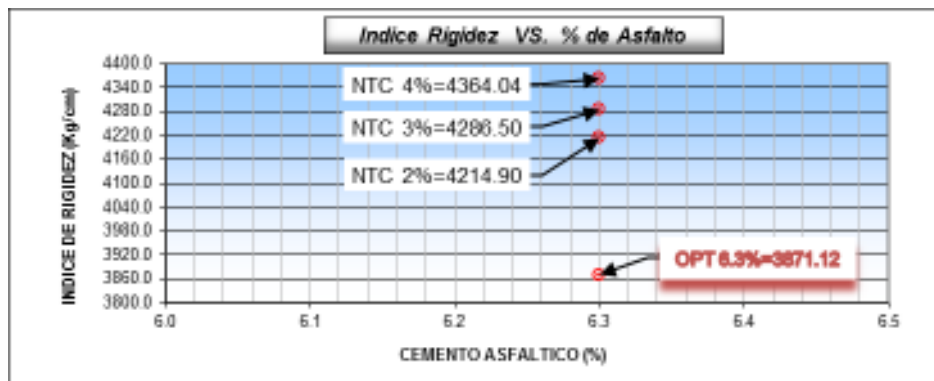
El valor del Flujo de las Mezclas Asfálticas modificadas con Nanotubos de carbono en porcentajes de 2% es de 3.25%, así mismo para el porcentaje de NTC al 3% es de 3.28% y para el porcentaje de NTC al 4% es de 3.30%, dichos valores se encuentran próximos uno al otro y se encuentran dentro del rango de fluencia de 2-4% establecido para una mezcla asfáltica en caliente MAC-02, este varía un poco con el flujo de la mezcla con optimo C. A. que es de 3.35%.



*Figura 151. Estabilidad Marshall de mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas  
Fuente: Elaboración propia*

### Análisis del resultado

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.



*Figura 152. Índice de Rigidez de las mezclas asfálticas con Optimo C.A. vs modificadas  
Fuente: Elaboración propia*



### Análisis del resultado

El valor del Índice de Rigidez de las mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de carbono en porcentajes de 2% es de 4214.90 Kg/cm<sup>2</sup>, así mismo para el porcentaje de NTC al 3% es de 4286.50 Kg/cm<sup>2</sup> y para el porcentaje de NTC al 4% es de 4364.04 Kg/cm<sup>2</sup>, dichos valores superan los valores establecidos para una mezcla asfáltica en caliente MAC-02, así mismo el Índice de Rigidez de la mezcla con Contenido Óptimo de Asfalto que es de 3871.12Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 131.** Comparación de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC y las propiedades de diseño según norma.

PARAMEROS DE DISEÑO	CLASE DE MEZCLA	Unidades	PORCENTAJE DE NANOTUBOS					
			2%		3%		4%	
			Resultado	Condicion	Resultado	Condicion	Resultado	Condicion
Optimo Contenido C.A	+/- 0.3	(%)	6.3	Cumple	6.3	Cumple	6.3	Cumple
Peso Unitario	-	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.353	Cumple	2.352	Cumple	2.348	Cumple
Vacios al Aire	3 - 5	(%)	3.9	Cumple	4.0	Cumple	4.1	Cumple
V.M.A	Min. 14	(%)	17.5	Cumple	17.5	Cumple	17.6	Cumple
Vacios Llenados C.A	-	(%)	77.5	Cumple	77.4	Cumple	76.7	Cumple
Flujo	2 - 4	(mm)	3.3	Cumple	3.3	Cumple	3.3	Cumple
Estabilidad	Min. 815	(Kg)	1362.0	Cumple	1396.1	Cumple	1431.3	Cumple
Indice de Rigidez	1700 - 4000	(kg/cm)	4214.89801	No Cumple	4286.50408	No Cumple	4364.03572	No Cumple

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 132.** Requisitos para mezcla de concreto bituminoso según el MTC

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.		

Fuente: De la Tabla N°423-06 del Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Pág. 271



Como observamos los resultados de los parámetros físicos – mecánicos de las mezclas asfálticas modificadas con nanotubos de carbono cumplen con los parámetros de diseño que caracterizan a una mezcla asfáltica CLASE A, es decir, una mezcla asfáltica para tráfico pesado. Dichos parámetros de diseño se encuentran en la normativa descrita en el “Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Por ende los procedimientos realizados para la modificación de la mezcla asfáltica convencional con nanotubos de carbono se justifican y se validan por esta normativa Peruana.



## Capítulo V. Discusión

### **Discusión 01.- ¿Cuál son los contrastes encontrados entre los antecedentes mencionados en la presente tesis y la misma?**

El contraste entre la presente investigación y la tesis “Mejoramiento de propiedades mecánicas del concreto con adición de Nanotubos de Carbono”, es que, al igual que la adición de Nanotubos de Carbono mejora las propiedades mecánicas en el concreto, este aditivo también mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica de acuerdo a los resultados obtenidos.

El contraste entre la presente investigación y la tesis “Determinación del desempeño de mezclas asfálticas en caliente de tamaño de nominal 9,5 mm 12,5 mm modificado con Nano-sílica”, es que, al igual que la adición de Nano-silica mejora las propiedades mecánicas en mezcla asfáltica, la adición de Nanotubos de Carbono también mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

El contraste entre la presente investigación y la tesis “Mejoramiento del asfalto 60/70 y la mezcla asfáltica MDC-2 con Nanotubos de Carbono obtenidos a partir de Metano vía Catalítica”, es que, la Estabilidad Marshall mejora debido a que la adición de NTC al 2% en peso de Asfalto genera un aumento en las magnitudes de los módulos dinámicos, los cuales se obtiene mediante ensayos dinámicos y nosotros lo corroboramos mediante los ensayos Marshall.

### **Discusión 02.- ¿Por qué se seleccionó el agregado grueso de la cantera de Morroblanco (San Salvador) y agregado Fino de las canteras de Morroblanco (San Salvador) y de Cunyac (puente Cunyac)?**

Se seleccionaron dichas canteras porque estas cumplen con los requisitos exigidos por las normas del Manual de carreteras - Especificaciones Técnicas generales para Construcción (EG-2013), además dichas canteras proveen los agregados a la entidad PER PLAN COPESCO, específicamente a la planta de asfaltos de dicha institución; los cuales diseñan y elaboran mezclas asfálticas para diferentes vías de la región del Cusco.



**Discusión 03.- ¿Que se hizo respecto al porcentaje de absorción del agregado fino que no entra en los valores sugeridos por el Manual de Ensayo de Materiales?**

Se tomó en cuenta que se cumpliera con obligatoriedad los parámetros de los Ensayo de Resistencia al desgaste, Durabilidad al Sulfato de Magnesio y Peso Específico; asegurando así la durabilidad de la mezcla asfáltica en caliente tal como el Manual de Ensayo de Materiales dicta hacer, si es que algún valor de los parámetros saliese de los rangos establecidos.

**Discusión 04.- ¿A qué se debe que la Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono (NTC) se incremente en comparación a la mezcla asfáltica convencional?**

Esto es debido a que según las investigaciones los Nanotubos de Carbono son 10 veces más resistentes que el acero, y 6 veces más ligeros según diversos estudios, específicamente los citados por Alex Pérez Corimayta en la Revista de Información Tecnología y Sociedad donde se demuestra que los nanotubos son altamente resistentes a cargas y tensiones extremas.

**Discusión 05.- ¿Por qué se utiliza Nanotubos de Carbono (NTC) con respecto al peso del Asfalto y no respecto al peso de la muestra?**

Al calcular los pesos respecto al peso del Asfalto se utilizó 1.58 gr, 2.36 gr y 3.15 gr de nanotubos de carbono que equivalen al 2%, 3% y 4% respectivamente; además al calcular los pesos respecto al peso de la muestra se utilizaría 25 gr, 37.5 gr y 50gr de Nanotubos de Carbono que equivalen al 2%, 3% y 4% respectivamente. Debido a este análisis no convendría utilizar el % de Nanotubos de Carbono respecto al peso de la muestra porque generaría mayor uso de la cantidad del mismo y aumentaría los costos de la elaboración de la mezcla asfáltica. Análogamente, la producción con este diseño de mezcla modificada con Nanotubos de Carbono a escalas mayores demandaría un mayor costo de producción.

**Discusión 06.- ¿Cuáles son los valores de Estabilidad Marshall y Flujo que se obtiene de la mezcla asfáltica convencional óptima y de la mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono al 2%,3% y 4%?**

Para la mezcla asfáltica convencional se tiene un valor promedio de Estabilidad Marshall de 1295 kg, para la mezcla asfáltica modificada con NTC al 2%, 3% y 4% de Nanotubos de Carbono se



tiene valores de Estabilidad Marshall promedio de 1362 kg, 1396 kg. , 1431 kg respectivamente. Para la mezcla asfáltica convencional se tiene un valor promedio de Flujo de 3.35 mm, para la mezcla asfáltica modificada con NTC al 2%,3 y4% de Nanotubos de Carbono se tiene valores de Flujo promedio de 3.25 mm, 3.28 mm, 3.30 mm. Viendo que las mezclas modificadas con Nanotubos de Carbono aumentan el valor de la Estabilidad Marshall y disminuyen el valor del Flujo.

**Discusión 07.- ¿Por qué en la mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono (NTC) la Estabilidad Marshall aumenta y el Flujo disminuye?**

La Estabilidad Marshall aumenta porque se cumplen los requerimientos de los agregados pétreos en lo que se refiere a forma y textura superficial; y el Flujo disminuye porque se evitan los Vacíos en los Agregados Minerales puesto que se utiliza agregado fino de moléculas de carbono, así mismo los Vacíos generados por el agregado grueso son llenados con moléculas de Carbono y así obtenemos una mejor adherencia entre los componentes del diseño de mezcla.

**Discusión 08.- ¿Cómo demostramos que el valor del porcentaje de Vacíos disminuye en las mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de Carbono (NTC) en comparación a las mezclas convencionales?**

Los valores de los porcentajes de Vacíos de aire disminuyen cuando estos se llenan de Asfalto, así posterior al análisis, determinamos que los porcentaje de Vacíos llenos de Asfalto de una mezcla asfáltica convencional se incrementaron de un valor inicial de 74.40% a valores de 77.48%, 77.36% y 76.69% al ser modificadas con Nanotubos de Carbono en porcentajes de 2%, 3% y 4% respectivamente.

**Discusión 09.- ¿Por qué se escogió como contenido óptimo de Nanotubos de Carbono (NTC) al 2% del peso del Asfalto?**

Porque la mezcla asfáltica modificada con NTC al 2% cumple con los parámetros de diseño que caracterizan a una mezcla asfáltica CLASE A, es decir, una mezcla asfáltica para tráfico pesado; sin embargo, la adición de este material rigidiza la mezcla en menor proporción que los porcentajes de 3% y 4% de Nanotubos de Carbono. Es por ello que para mantener el valor del Índice de Rigidez más bajo, se opta por el 2% de aditivo con respecto al peso del cemento asfáltico.



### **Discusión 10.- ¿Cuáles son los aportes de la Investigación de la presente tesis?**

Debido a que los caminos son fundamentales para el desarrollo de nuestra sociedad y que el Asfalto es el material más usado para obras de pavimentación, nuestro aporte con la presente tesis es el de usar nuevas tecnologías para mejorar el diseño de las mezclas asfálticas como son los Nanotubos de Carbono, los cuales viendo siendo aplicados a diferentes ramas de la ingeniería por sus propiedades electrónicas, térmicas y mecánicas; como ya lo mencionamos, adicionado a la mezcla asfáltica hace que sea altamente resistente a cargas y tensiones extremas.

### **Discusión 11.- Al momento de incorporar el aditivo, a la mezcla homogeneizada, ¿Es fácil su trabajabilidad?**

La incorporación de aditivo Nanotubos de Carbono debe realizarse al momento de hacer la mezcla entre el agregado grueso y fino con las proporciones establecidas en el diseño de mezcla asfáltica, debido a que permite distribuir el material adicionante y cubrir toda la muestra de manera uniforme y posteriormente se añade el contenido de Asfalto, lo cual lo hace trabajable, sin variaciones sustanciales en sus propiedades.

### **Discusión 12.- ¿Cuáles son los costos de producción de la mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono con respecto a la mezcla asfáltica convencional, según el diseño realizado?**

El costo de producción de la mezcla asfáltica convencional con el diseño propuesto en la presente investigación tiene un costo de s/.357.66 por m<sup>3</sup>, así mismo, el costo de producción de la mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono al 2%, 3% y 4% es de s/.651.89, s/. 799.00 y s/.946.02 por m<sup>3</sup> respectivamente. (Revisar Anexo N° 11).

- Con la adición de NTC a 2%, es costo se incrementa en un 82%.
- Con la adición de NTC a 3%, es costo se incrementa en un 123%.
- Con la adición de NTC a 4%, es costo se incrementa en un 165%.

De acuerdo al Costo Unitario analizado, la mezcla asfáltica modificada con NTC al 2% es la más asequible, además que este porcentaje si cumplimos con parámetros de diseño.



## GLOSARIO

**AASHTO:** Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (American Association of State Highway and Transportation Officials).

**ABRASIÓN:** Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

**ABSORCIÓN:** Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

**ADHERENCIA:** Capacidad de dos materiales para unirse formando una capa sólida.

**ALOTROPÍA:** Es la propiedad que poseen determinados elementos químicos de presentarse bajo estructuras moleculares diferentes, en el mismo estado físico.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:** Procedimiento para determinar la granulometría de un material o la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

**ASTM:** Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing Materials).

**CANTERA:** Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

**COLOIDE:** Tipo de mezcla compuesto por una fase fluida y otra dispersa en partículas muy pequeñas y muy finas que no se ven a simple vista.

**COMPACTACIÓN:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos.

**CONTENIDO DE HUMEDAD:** Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente.

**DENSIDAD BULK:** Relación masa del material por metro cúbico (o pie cúbico) del material a 25°C (77°F) para mezclas asfálticas.





**ESTABILIDAD MARSHALL:** Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La Estabilidad Marshall es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

**FULLERENOS:** Son un tipo de molécula de carbono con una forma física como una esfera, un tubo, así como formas hexagonales y pentagonales. Son útiles en la construcción de nanotecnologías.

**LIMITE LIQUIDO:** Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

**LIMITE PLÁSTICO:** Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido.

**MALLA:** Abertura cuadrada de un tamiz.

**MICELA:** Conjunto de moléculas que constituye una de las fases de los coloides.

**MÓDULOS DINÁMICOS:** Relación entre el valor del esfuerzo máximo y el de la deformación unitaria máxima, obtenido en un ensayo a compresión.

**MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

**PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS:** Relaciones volumétricas entre el ligante asfáltico y los agregados.

**SONICACIÓN:** Es la aplicación de energía del sonido para agitar partículas en una muestra, con varios fines.

**TAMAÑO MÁXIMO:** Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL:** Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

**TRABAJABILIDAD:** La facilidad con que las mezclas de pavimentación y de otras obras de infraestructura vial pueden ser colocadas y compactadas.

**VMA:** Vacíos en el Agregado Mineral.

**VOLUMEN DE VACÍOS:** Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla compactada.



## CONCLUSIONES

**Conclusión 01:** Se demuestra que la Hipótesis General: “Las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (nanotubos de carbono) generaran un incremento del valor de Estabilidad y disminuyen los valores de Flujo y Porcentaje de Vacíos, con respecto a una mezcla óptima asfáltica convencional utilizando el diseño Marshall”, es verídica, debido a que las propiedades físico -mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas varían con respecto a la mezcla óptima convencional cumpliendo con los parámetros de diseño, dichas variaciones son el incremento de la Estabilidad Marshall, disminución del Flujo y del Porcentaje de Vacíos. (Ver Figuras 150, 149 y 146).

**Conclusión 02:** Se demuestra la Subhipotesis 01: “El porcentaje óptimo de NTC (Nanotubos de Carbono), es al 2% del peso del contenido óptimo de cemento asfáltico”, el cual es verídico porque cumple con los requerimientos y parámetros de diseño establecidos para una mezcla clase A, es decir, para tráficos pesados. (Ver Figuras 145, 146, 147, 148, 149 y 150).

**Conclusión 03:** Se demuestra que la Subhipotesis 02: “Los valores de Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) serán como mínimo de 1350 Kg, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.” es verídica ya que la Estabilidad Marshall aumenta a medida que se añade más cantidad de Nanotubos de Carbono, lo cual le brinda valores de Estabilidad Marshall superiores a 1350 Kg, planteados inicialmente. Para una adición de NTC al 2% se obtiene una Estabilidad Marshall de 1362 Kg, así mismo para una adición de NTC al 3% se obtiene una Estabilidad Marshall de 1396 Kg y para una adición de NTC al 4% se obtiene una Estabilidad Marshall de 1431 Kg valores superiores a la Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica óptima convencional el cual es 1295 Kg. (Ver Figura 150).

**Conclusión 04:** Se demuestra que la Subhipotesis 03: “Los valores de Flujo de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) variarán al disminuir su valor, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.” es verídica ya que el Flujo disminuye, lo que significaría una menor deformación al aplicarse la carga Marshall. Para una adición de NTC al 2% se obtiene el valor de Flujo 3.25 mm, así mismo para una adición de NTC al 3% se obtiene el valor de Flujo de 3.28 mm y para una adición de NTC al 4% se obtiene el valor de Flujo de 3.30



mm valores inferiores al valor de Flujo de la mezcla asfáltica óptima convencional el cual es 3.35mm. (Ver Figura 149).

**Conclusión 05: se demuestra que la Subhipotesis 04:** “Los Porcentajes de Vacíos de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) variarán al disminuir su valor, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional” es verídica, debido a que al agregar Nanotubos de Carbono a la mezcla asfáltica óptima convencional, esta disminuye los porcentajes de vacíos de un valor de 4.6% a 3.9%, 4.0%, 4.1%, obtenidos al adicionar Nanotubos de carbono a la mezcla asfáltica convencional en porcentajes de 2%, 3% y 4% respectivamente. (Ver figura 146) Adicionalmente dichos valores se asemejan más al valor óptimo de Porcentaje de Vacíos que es del 4%. (Ver Tabla 5)



## RECOMENDACIONES

### RECOMENDACIÓN N° 01:

Todos los ensayos aplicados a estas mezclas asfálticas convencionales y modificadas con Nanotubos de Carbono se analizaron con la Metodología Marshall; se recomienda complementar la investigación con la aplicación de equipos más sofisticados para realizar ensayos que nos permitan analizar la deformación permanente, susceptibilidad térmica, resistencia a la fatiga; entre otros, estas aplicadas al diseño de mezcla establecido en la presente investigación.

### RECOMENDACIÓN N° 02:

Se realizó el análisis de las propiedades físico – mecánicas de mezclas asfálticas convencionales con respecto a mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de Carbono del tipo de pared múltiple (MWNT). Para promover mayor investigación al uso de materiales nanotecnológicos, se recomienda el uso de nanotubos de diferentes tipos, características y propiedades, las cuales se encuentran en el mercado, como agentes aditivos aplicadas al diseño de mezcla establecido en la presente investigación.

### RECOMENDACIÓN N° 03:

En la presente tesis se analizó las propiedades físico – mecánicas de mezclas asfálticas convencionales con respecto a mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de Carbono diseñadas con la metodología Marshall, se recomienda la utilización de otras metodologías de diseños de mezclas asfálticas con la adición de Nanotubos de Carbono, tales como los diseños tipo SUPERPAVE, SMA, entre otras.

### RECOMENDACIÓN N° 04:

La presente tesis modifica la mezcla asfáltica convencional al usarse como aditivo al material de Nanotubos de Carbono, se recomienda hacer un diseño de mezcla asfáltica sustituyendo un porcentaje de agregado fino por Nanotubos de Carbono, aportando así nuevos temas de investigación a la sociedad.

### RECOMENDACIÓN N° 05:



Se realizó el análisis de las propiedades físico – mecánicas de mezclas asfálticas convencionales con respecto a mezclas asfálticas modificadas con Nanotubos de Carbono utilizando la gradación MAC – 02, por lo que se recomienda hacer un diseño de mezcla asfáltica con modificación de nanotubos de carbono para la gradación MAC-01 y MAC-03, con el objetivo de hacer una comparativa con la presente investigación.

**RECOMENDACIÓN N° 06:**

En la presente tesis, para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente a modificar con Nanotubos de Carbono se utilizó el grado de penetración 85/100, el cual es recomendado para nuestro tipo de clima, por lo tanto se recomienda hacer un diseño de mezcla asfáltica con modificación de Nanotubos de Carbono con otro grado de penetración de Asfalto, los cuales pueden ser aplicados a otras regiones con climas diferentes al nuestro.

**RECOMENDACIÓN N° 07:**

En la presente tesis se modificó la mezcla asfáltica convencional al adicionarse el material de Nanotubos de Carbono por vía seca, se recomienda hacer un diseño de mezcla asfáltica modificada con Nanotubos de Carbono por vía húmeda, que consiste en mezclar inicialmente el cemento asfáltico con los Nanotubos de Carbono para posteriormente incorporar los agregados dosificados; sugiriendo así nuevos temas de indagación para próximos temas de investigación.



## REFERENCIAS

- Alex, P. C. (s.f.). Nanotubos de Carbono. *Revista de Información Tecnología y Sociedad*, 5.
- Asphalt Intitute. (1992). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente*. Caracas: INSTITUTO VENEZOLANO DEL ASFALTO .
- Balaji Sitharaman., L. G.-X. (2015). *Porous three-dimensional carbon nanotube scaffolds for tissue engineering*.
- Behar Rivero, D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. Editorial Shalom 2008.
- Bertozzi, C. (s.f.). Carbon Nano hoops. *Materials Sciences Division & Molecular Foundry*.
- CH, L. (12 de Septiembre de 2019). *NANOVA.ORG*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2019, de <https://nanova.org/noticias/2019/02/fullereno/>
- Chamorro Molina, M. D., & Chancusi Ortega, P. J. (2017). “*Estudio de las Propiedades Mecánicas del Asfalto modificado con polvo de caucho reciclado incorporado por vía húmeda y por vía seca frente al Asfalto flexible sin modificación*”. Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Chiliquinga, T. J. (2015). *PROPUESTA DE MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS EN CALIENTE COMO CAPA DE ALIVIO*. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Corimayta, A. P. (2010). Nanotubos de Carbono. *Revista de Información Tecnología y Sociedad*, 10-14.
- Corrales Chiliquinga, T. J. (2015). *Prpuesta de Método de diseño de mezclas*. Quito.
- Cortez, J. M., & Guzmán , H. W. (2007). *Guía Básica de Diseño, control de producción y colocación de muestras*. San Salvador: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
- DURVIZ. (27 de Junio de 2016). Recuperado el 13 de Diciembre de 2019, de <https://durviz.com/eligiendo-mejor-dispositivo-sonicacion/>



Fernando., A. Q. (2016). *Estructura y Síntesis de Nanotubos de Carbono*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos .

Gómez, A. (s.f.). *Alótropos del carbono*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2019, de <https://sites.google.com/a/uji.es/alotropos-del-carbono/nanotubos-de-carbono>

Hernandez, S., Fernandez, C., & Baptista, L. (2010). *Metodología de la investigación*. (J. Mares Chacón, Ed.) Mexico D.F.: Camara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm 736.

Instituto Mexicano del Transporte. (2019). *MANUAL DE ENSAYOS PARA LABORATORIO AGREGADOS (AG) PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS*. Queretaro.

Kraemer al, e. (2004). *Mezclas Asfálticas*. Madrid: Mc Graw Hill.

Liu, L., Guo, G., Jayanthi, C., & Wu, S. (2002). *Colossal Paramagnetic Moments in Metallic Carbon Nanotube*. Phys. Rev. Lett. 88 (21).

Lizcado, F. A. (2004). *Diseño Racional de Pavimentos*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.

M.S. Dresselhaus, G. D. (2001). *Carbon nanotubes: synthesis, structure, properties and application*. Suiza: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Maldonado, A. O. (2015). [www.construaprende.com](http://www.construaprende.com). Obtenido de <http://www.construaprende.com/docs/lab/321-practica-equivalente-arena>

*Manual de Ensayo de Materiales*. (2016). Lima.

*Manual de Ensayo de Materiales*. (2016). Lima.

Mejía Umbarila , C. A., & Sierra Hernández, C. A. (2017). *ESTADO DEL ARTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS: CASO DE ESTUDIO UNIVERSIDADES DE BOGOTÁ D.C*. Bogotá: UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.

Minaya Gonzales, S., & Ordoñez Huaman, A. (2006). *DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS*. Lima: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*. LIMA.
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guía*. Neiva: UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS PROGRAMA DE COMUNICACIÓN SOCIAL Y PERIODISMO.
- Orellana, S. E. (2016). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO Y BENEFICIOS DE LAS*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Padilla, A. R. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- PETROPERÚ S.A. (2019). *ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL ASFALTO SOLIDO 85/100 PEN*. Lima: Petroleos del Peru -PETROPERÚ S.A.
- Pretil, Tafur, Cruz Osco, Hurtado, Espinoza. (2015). *NANOTUBOS DE CARBONO*. HUANCAYO: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ”.
- Qingfeng Liu, W. R.-G. (2008). Semiconducting properties of cup-stacked carbon nanotubes. *ELSEVIER*, 6.
- Rodriguez Gomez, D., & Vallderiola Roquet, J. (2014). *Metodología de la Investigación*. Univeritat Oberta de Catalunya.
- Rosales Lecca, J. G. (2019). *Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral*. Chimbote: UNIVERSIDAD SAN PABLO.
- Shin, W. H., Jeong, H. M., Kim, B. G., Kang, J. K., & Choi, J. W. (2012). Nitrogen-Doped Multiwall Carbon Nanotubes for Lithium Storage with Extremely High Capacity.
- Smith, B. W., Monthieux, M., & Luzzi, D. E. (1998). Encapsulated C-60 in carbon nanotubes. *Encapsulated C-60 in carbon nanotubes*.





Vicente Pérez, J., Pérez Infante, J. I., García, A., Baselga Llidó, J., Agzenai Ben Salem, Y., Pozuelo de Diego, J., & Sanz Feito, J. (2016). MEZCLAS ASFÁLTICAS CON BETUNES MODIFICADOS CON NANOTUBOS DE CARBONO. DISEÑO Y PROPIEDADES. *Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, 20-30.



ANEXOS

Tabla 133. Matriz de consistencia

TESIS: "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".					
Matriz de Consistencia					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE		
¿Cómo variarían las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional, utilizando el diseño de mezclas Marshall?	Determinar la variación de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional, utilizando específicamente el diseño de mezclas Marshall.	Las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (nanotubos de carbono) generarán un incremento del valor de Estabilidad y disminuyen los valores de Flujo y Porcentaje de Vacíos, con respecto a una mezcla óptima asfáltica convencional utilizando el diseño Marshall.	Mezcla asfáltica convencional	Mezcla asfáltica convencional con Contenido Óptimo de Asfalto	
			Mezcla asfáltica modificada con NTC (Nanotubos de Carbono)	Mezcla asfáltica convencional con Contenido Óptimo de Asfalto y modificada con NTC	
ESPECIFICOS	ESPECIFICOS	ESPECIFICOS	DEPENDIENTE		
Problema Especifico 01: ¿Cuál será el porcentaje óptimo de contenido de NTC (Nanotubos de Carbono) respecto al peso del contenido óptimo de cemento asfáltico?	Objetivo Especifico 01: Determinar el porcentaje óptimo de NTC (Nanotubos de Carbono) respecto al peso del contenido óptimo de cemento asfáltico.	Sub hipótesis 01: El porcentaje óptimo de NTC (Nanotubos de Carbono), es al 2% del peso del contenido óptimo de cemento asfáltico.	Propiedades Físico - Mecánicas	Estabilidad Marshall	
Problema Especifico 02: ¿Cuáles serán los valores de Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a la mezcla asfáltica óptima convencional?	Objetivo Especifico 02: Determinar los valores de Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.	Sub hipótesis 02: Los valores de Estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) serán como mínimo de 1350 Kg, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.			
Problema Especifico 03: ¿Cómo variarían los valores del flujo de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a la mezcla asfáltica óptima convencional?	Objetivo Especifico 03: Determinar la variación de los valores del flujo de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.	Sub hipótesis 03: Los valores de flujo de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) variarían al disminuir su valor, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.			Flujo Marshall
Problema Especifico 04: ¿Cómo variarían los porcentajes de Vacíos de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a la mezcla asfáltica óptima convencional?	Objetivo Especifico 04: Determinar la variación de los porcentajes de Vacíos de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono), con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.	Sub hipótesis 04: Los porcentajes de vacíos de las mezclas asfálticas modificadas con NTC (Nanotubos de Carbono) variarían al disminuir su valor, con respecto a una mezcla asfáltica óptima convencional.			Porcentajes de Vacíos