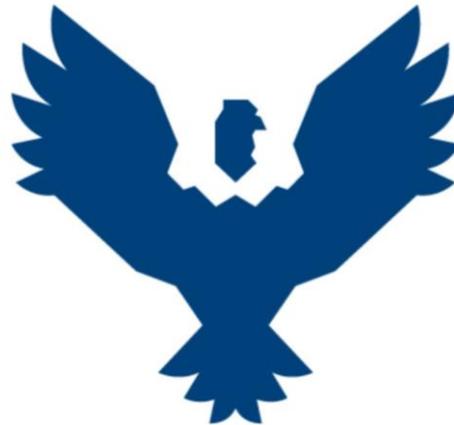




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS
DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE
RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN EL USO DE
MATERIALES

Presentado por:

Danitza Karolayn Santos Vizarreta

Carlos Eduardo Estrada Gutierrez

Para optar el Título Profesional de Ingeniero
Civil

Asesor: Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez

CUSCO – PERÚ

2021



Dedicatoria

A mis padres por ser mis cimientos y por el apoyo incondicional que me brindaron durante el desarrollo de mi carrera y mi tesis, a Dios por ser el mediador de todo lo que tengo hasta el día de hoy.

Danitza Karolayn Santos Vizarreta

A mi familia y en especial a mis padres quienes con paciencia y amor me enseñaron el valor del esfuerzo y el trabajo duro, permitiendo que cumpla una meta más en mi vida.

Carlos Eduardo Estrada Gutierrez

Agradecimiento

A mis padres por ser mi razón y porque gracias a ellos estoy aquí, a mi hermanita por su apoyo emocional y a mí misma por la fuerza y perseverancia que tengo para lograr las cosas.

También agradezco a la empresa ULMEN por facilitarnos el aditivo Nanosílce para la presente tesis.

Danitza Karolayn Santos Vizarreta.

A mis hermanas, en especial a mis padres por brindarme su apoyo incondicional en todo momento y por motivarme a alcanzar todos mis sueños, gracias por sus palabras de aliento y sabios consejos.

A mi novia por apoyarme incondicionalmente no solo en el desarrollo de mi tesis, sino también en mi vida.

También agradezco a la empresa ULMEN por facilitarnos el aditivo Nanosílce para la presente tesis.

Carlos Eduardo Estrada Gutierrez



Resumen

La finalidad de la presente investigación fue analizar comparativamente las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28, mediante la adición de nanosílice al ligante asfáltico. Como componentes de las mezclas asfálticas, se utilizaron agregados finos (arena triturada y arena natural) provenientes de la cantera de Cunyac, agregado grueso (TMN 1/2") proveniente de la cantera de Morroblanco y asfalto BETUTEC PG 70-28; todo esto, proporcionado por la planta de asfalto del Gobierno Regional del Cusco; así como también, el aditivo GAIA Nanosílice proporcionado por la empresa ULMEN. Los ensayos de calidad de los agregados (finos y gruesos), se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad Andina del Cusco y los ensayos correspondientes a la mezcla asfáltica, fueron realizados en el laboratorio INGEOMAT. El método utilizado para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente, fue el Método Marshall. Como primer paso, se elaboraron briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28, con contenidos de asfalto de 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%; siendo el contenido óptimo de asfalto calculado de 5.4%, con el cual se elaboraron las briquetas de mezcla asfáltica modificadas con nanosílice respecto al peso del contenido óptimo del ligante con los siguientes porcentajes: 0.5%, 1.5%, 3.0%, 4.5%, 6.0% y 7.5%; siendo el contenido óptimo de nanosílice calculado de 6.36%. Como paso final se elaboraron briquetas de mezcla asfáltica con contenidos óptimos de asfalto y nanosílice respectivamente, para analizar los parámetros volumétricos (VTM, VAM, VFA, Pba y Pbe), la Estabilidad y Flujo Marshall, y la Tracción Indirecta o Resistencia a la Compresión Diametral, con el fin de comparar las propiedades Físico-Mecánicas de las mezclas asfálticas. Finalmente se concluye que la Mezcla Asfáltica Modificada con Nanosílice respecto a a la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28, presenta respecto a los parámetros volumétricos, un menor porcentaje de vacíos del tipo VTM, un menor porcentaje de vacíos de tipo VMA, un mayor porcentaje de vacíos del tipo VFA, un mayor porcentaje de absorción de asfalto Pba y un mayor porcentaje de asfalto efectivo Pbe, respecto a la Estabilidad incrementa su valor, lo mismo sucede con el de Flujo y disminuye el valor del esfuerzo en el ensayo de Tracción Indirecta, siendo estos resultados beneficiosos para las Mezclas Asfálticas.

Palabras Clave: Mezcla Asfáltica en Caliente, Nanosílice, BETUTEC PG 70-28, Parámetros Volumétricos, Estabilidad, Flujo, Tracción Indirecta, asfalto, Contenido óptimo.



Abstract

The purpose of present investigation was to comparatively analyze the physical-mechanical properties of an asphalt mixture modified with nanosilica, with respect to an asphalt mixture BETUTEC PG 70-28, by adding nanosilica to the asphalt binder. As components of the asphalt mixtures, fine aggregates (crushed sand and natural sand) from the Cunyac quarry, coarse aggregate (TMN ½”) from the Morroblanco quarry and BETUTEC PG 70-28 asphalt were used; all this, provided by the asphalt plant of the Regional Government of Cusco; as well as the GAIA Nanosilica additive provided by the company ULMEN. The quality tests of the aggregates (fine and coarse) were carried out in the Laboratory of Soils and Pavements of the Universidad Andina del Cusco and the tests corresponding to the asphalt mixture were carried out in the INGEOMAT laboratory. The method used for the design of hot asphalt mixtures was the Marshall Method. To begin with, BETUTEC PG 70-28 asphalt mix briquettes were made with asphalt contents of 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% and 6.5%; being the optimum calculated asphalt content of 5.4%, with which the nanosilica-modified asphalt mixture briquettes was made with respect to the weight of the optimum content of the binder with the following percentages: 0.5%, 1.5%, 3.0%, 4.5% , 6.0% and 7.5%; being the optimum calculated nanosilica content of 6.36%. As a final point, asphalt mixture briquettes with optimal asphalt and nanosilica contents, respectively, were made to analyze the volumetric parameters (VTM, VAM, VFA, Pba and Pbe), Marshall Stability and Flow, and Indirect Traction or Compression Resistance Diametral, in order to compare the Physical-Mechanical properties of asphalt mixtures. Finally, it is concluded that the Modified Asphalt Mix with Nanosilica, compared to the BETUTEC PG 70-28 asphalt mixture, presents, with respect to the volumetric parameters, a lower percentage of air voids - VTM, a lower percentage of air voids - VMA, a higher percentage of air voids VFA, a higher percentage of asphalt absorption Pba and a higher percentage of effective asphalt Pbe, with respect to Stability increases its value,

Keywords: Asphalt Hot Mix, Nanosilica, BETUTEC PG 70-28, Volumetric Parameters, Stability, Flow, Indirect Traction, asphalt, Optimum content.



Introducción

Actualmente, según (La República, 2020) en la ciudad del Cusco se observan algunas deficiencias en la carpeta asfáltica de ciertos tramos de la Av. La Cultura, viéndose reflejadas en la calidad y mal estado de algunas vías de nuestra ciudad, una posible causa es la falta de nuevas tecnologías en este proceso, en virtud de lo cual se investiga una alternativa de solución mediante la implementación de nanosílice en la producción de una mezcla asfáltica.

En esta investigación se realiza la identificación del problema observando los diversos conflictos que existen en nuestro contexto, consecuentemente se plantean objetivos e hipótesis. Posteriormente se realizarán ensayos de laboratorio a partir de los cuales se procederá a la toma de datos que son procesados para la obtención de resultados, los cuales se analizan para discutir la demostración de las hipótesis y el cumplimiento de los objetivos con los que finalmente se concluye esta investigación.

En el desarrollo de la tesis, se presentarán cinco capítulos, en el capítulo I se realiza el planteamiento del problema, en el capítulo II se desarrolla el marco teórico, en el capítulo III se desarrolla la metodología de la investigación, el capítulo IV contará con los resultados, el capítulo V contará con la discusión y finalmente se formularán las conclusiones y recomendaciones.



Índice General

Dedicatoria	i
Agradecimiento	i
Resumen.....	i
Abstract	ii
Introducción	iii
Índice General	iv
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	xii
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	2
1.2. Justificación e Importancia de la investigación	3
1.2.1. Justificación técnica	3
1.2.2. Justificación social	3
1.2.3. Justificación por viabilidad.....	4
1.2.4. Justificación por relevancia	4
1.3. Limitaciones de la Investigación.....	4
1.4. Objetivo de la investigación.....	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
Capítulo II: Marco Teórico	6
2.1. Antecedentes de la tesis o Investigación Actual	6
2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional.....	6
2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional.....	8
2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes	11



2.2.1.	Pavimentos.....	11
2.2.2.	Agregado.....	13
2.2.3.	Asfalto	15
2.2.4.	Asfaltos modificados	20
2.2.5.	Nanomateriales.....	20
2.2.6.	Nanosílice	22
2.2.7.	Mezcla Asfáltica.....	25
2.2.8.	Diseño de la Mezcla Asfáltica en Caliente (Método MARSHALL)	26
2.2.9.	Ensayos para los agregados finos.....	27
2.2.10.	Ensayos para los agregados gruesos.....	29
2.2.11.	Ensayos para el Cemento Asfáltico.....	30
2.2.12.	Ensayos para Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente	31
2.3.	Hipótesis	38
2.3.1.	Hipótesis General	38
2.3.2.	Sub Hipótesis	38
2.4.	Definición de Variables	39
2.4.1.	Variables Independientes.....	39
2.4.2.	Variables Dependientes	39
2.4.3.	Cuadro de operacionalización de variables	39
Capítulo III:	Metodología	40
3.1.	Metodología de la Investigación	40
3.1.1.	Enfoque de la investigación.....	40
3.1.2.	Nivel o alcance de la investigación	40
3.1.3.	Método de investigación.....	40
3.2.	Diseño de la Investigación.....	41
3.2.1.	Diseño metodológico.....	41
3.2.2.	Diseño de ingeniería.....	42



3.3.	Población y muestra	43
3.3.1.	Población	43
3.3.2.	Muestra	46
3.3.3.	Criterios de Inclusión	48
3.4.	Instrumentos.....	49
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos	49
3.4.2.	Instrumentos de ingeniería.....	73
3.5.	Procedimientos de Recolección de Datos.....	46
3.5.1.	Ensayos a los componentes de la mezcla asfáltica.....	46
3.5.2.	Ensayo para el diseño de mezclas	104
3.5.3.	Ensayos a los especímenes de mezcla asfáltica.	115
3.6.	Procedimientos de análisis de datos	130
3.6.1.	Análisis de datos de los componentes de la mezcla asfáltica	130
3.6.2.	Análisis de datos de las mezclas asfálticas.	160
CAPITULO IV: RESULTADOS		183
4.1.	Resultados para la densidad de los especímenes Marshall	183
4.2.	Resultados para flujo y estabilidad Marshall	184
4.3.	Resultados para Resistencia a la Compresión Diametral (Tracción Indirecta).....	185
4.4.	Resultados para parámetros volumétricos para probetas compactadas.....	186
4.5.	Resultados de la correlación de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con Nanosílice.	188
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....		192
GLOSARIO		195
CONCLUSIONES.....		197
RECOMENDACIONES.....		199
REFERENCIAS		201
ANEXOS		204



Índice de Tablas

Tabla 1: Rangos de temperatura de aplicación de asfalto.	16
Tabla 2: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG.	19
Tabla 3: Definiciones de nanomateriales.	21
Tabla 4: Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).	28
Tabla 5: Cuadro de operacionalización de variables.	39
Tabla 6: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28.	44
Tabla 7: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 0.5% de Nanosílice.	44
Tabla 8: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 1.5% de Nanosílice.	45
Tabla 9: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 3.0% de Nanosílice.	45
Tabla 10: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 4.5% de Nanosílice.	45
Tabla 11: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 6.0% de Nanosílice.	45
Tabla 12: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 6.0% de Nanosílice.	45
Tabla 13: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con el óptimo de asfalto del 5.4%	46
Tabla 14: Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con el óptimo de nanosílice del 6.36%	46
Tabla 15: Cuantificación total de la población.	46
Tabla 16: Guía de observación de Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.	49
Tabla 17: Guía de observación de Combinación teórica de agregados.	50
Tabla 18: Guía de observación de gravedad específica y absorción de agregados finos.	51
Tabla 19: Guía de observación de peso específico y absorción de agregados gruesos.	52
Tabla 20: Guía de observación de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados.	53
Tabla 21: Guía de observación de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas AG.	54
Tabla 22: Guía de observación de ensayo de abrasión de los Ángeles.	55
Tabla 23: Guía de observación de elaboración de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.	56
Tabla 24: Guía de observación de la elaboración de briquetas de mezcla asfáltica modificada.	57



Tabla 25: Guía de observación de gravedad específica Bulk de briquetas de mezcla asfáltica compactadas.	58
Tabla 26: Guía de observación de gravedad específica de briquetas de mezcla asfáltica modificada. ...	59
Tabla 27: Guía de observación de Medidas Geométricas de briquetas MAC BETUTEC PG 70-28. ...	60
Tabla 28: Guía de observación de Medidas Geométricas de briquetas MAC modificadas con Nanosílice.	61
Tabla 29: Guía de observación de Ensayo de Parámetros volumétricos de MAC BETUTEC PG 70-28.	62
Tabla 30: Guía de observación de Ensayo de Parámetros volumétricos de MAC modificada con Nanosílice.	63
Tabla 31: Guía de observación de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para MAC BETUTEC PG 70-28.	64
Tabla 32: Guía de observación de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para MAC modificadas con Nanosílice.	65
Tabla 33: Guía de observación de Parámetros Volumétricos con contenido óptimo de asfalto.	66
Tabla 34: Guía de observación de Parámetros Volumétricos Contenido óptimo de Nanosílice.	67
Tabla 35: Guía de observación Estabilidad y Flujo Marshall – Contenido óptimo de asfalto.	68
Tabla 36: Guía de observación Estabilidad y Flujo Marshall – Contenido óptimo de nanosílice.	69
Tabla 37: Guía de observación para Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio.	70
Tabla 38: Guía de observación para Ensayo Estándar para índice de durabilidad del Agregado.	71
Tabla 39: Guía de observación de Ensayo Estándar para el valor de equivalente de arena de suelos y agregado fino.	72
Tabla 40: Toma de datos para el Análisis granulométrico de agregado grueso	49
Tabla 41: Pesos mínimos de muestra de ensayo para peso específico y absorción.	50
Tabla 42: Toma de datos de peso específico y absorción de agregados gruesos.	54
Tabla 43: Pesos mínimos de muestra de ensayo para índice de partículas alargadas y achatadas.	55
Tabla 44: Toma de datos de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados gruesos.	59
Tabla 45: Pesos mínimos de muestra de ensayo para porcentaje de partículas fracturadas.	60
Tabla 46: Toma de datos de ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas.	63
Tabla 47: Gradación de muestras de ensayo para seleccionar el método a utilizar	64
Tabla 48: Toma de datos del ensayo de Abrasión de los Ángeles.	67
Tabla 49: Pesos mínimos de muestra de ensayo para Durabilidad al Sulfato de Sodio y de Magnesio.	68
Tabla 50: Toma de datos del ensayo de Durabilidad al sulfato de Magnesio.	71
Tabla 51: Toma de datos del ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados Finos (Arena Natural).	74
Tabla 52: Toma de datos del ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados Finos (Arena Triturada).	75



Tabla 53: Toma de datos del ensayo de Gravedad específica y Absorción de Agregados Finos (Arena Natural).	81
Tabla 54: Toma de datos del ensayo de Gravedad específica y Absorción de Agregados Finos (Arena Triturada).....	82
Tabla 55: Toma de datos del ensayo de Límite Líquido pasante de la malla N° 40.	86
Tabla 56: Toma de datos del ensayo de Límite Líquido pasante de la malla N° 200.	87
Tabla 57: Toma de datos del ensayo de Límite Plástico pasante de la malla N° 40 (arena triturada). ..	90
Tabla 58: Toma de datos del ensayo de Límite Plástico pasante de la malla N° 200 (arena triturada). ..	91
Tabla 59: Toma de datos del ensayo de Límite Plástico pasante de la malla N° 40 (arena natural).....	92
Tabla 60: Toma de datos del ensayo de Límite Plástico pasante de la malla N° 200 (arena natural). ...	93
Tabla 61: Tamices nominales para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio en agregado fino.	94
Tabla 62: Toma de datos del ensayo de Durabilidad al sulfato de Magnesio.	97
Tabla 63: Toma de datos del ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino	103
Tabla 64: Criterios de diseño de Mezcla asfáltica para el Método Marshall.....	106
Tabla 65: Requisitos para mezcla de concreto bituminoso.	107
Tabla 66: Toma de datos del ensayo Peso Específico Aparente de Briquetas PG 70-28. Muestra B1-B12.....	117
Tabla 67: Toma de datos del ensayo Peso Específico Aparente de Briquetas PG 70-28. Muestra B13-B24.....	118
Tabla 68: Toma de datos del ensayo Peso Específico Aparente de Briquetas Modificadas con Nanosílice.....	118
Tabla 69: Toma de datos del ensayo Peso Específico Aparente de Briquetas Modificadas con Nanosílice. Muestra BN13- BN24.....	119
Tabla 70: Toma de datos del ensayo Peso Específico Aparente de Briquetas con % óptimo de Asfalto y Nanosílice.....	119
Tabla 71: Toma de datos de medidas de las briquetas BETUTEC PG 70-28.	123
Tabla 72: Toma de datos de medidas de las briquetas modificadas con Nanosílice.....	124
Tabla 73: Lecturas de dial del anillo de carga Marshall y el dial de flujo de briquetas BETUTEC PG 10-28.	125
Tabla 74: Lecturas de dial del anillo de carga Marshall y el dial de flujo de briquetas modificadas con Nanosílice.....	126
Tabla 75: Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas BETUTEC PG 70-28. Muestra B1-B12.....	127
Tabla 76: Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas BETUTEC PG 70-28. Muestra B13-B24.....	127



Tabla 77: Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas con Nanosílice. Muestra B1-B12.	128
Tabla 78: Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas con Nanosílice. Muestra B13- B24.....	128
Tabla 79: Toma de datos de diales de estabilidad y flujo de briquetas con % óptimo de Asfalto y Nanosílice.....	129
Tabla 80: Procesamiento de datos del ensayo de granulometría al agregado grueso.....	130
Tabla 81: Procesamiento de datos del Ensayo Análisis Granulométrico de agregados finos – Arena Triturada.....	132
Tabla 82: Procesamiento de datos del Ensayo Análisis Granulométrico de agregados finos – Arena Natural.....	133
Tabla 83: Procesamiento de datos del ensayo de Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos.	135
Tabla 84: Procesamiento de datos del Ensayo Gravedad Específica y Absorción de agregados finos – Arena Triturada.....	137
Tabla 85: Procesamiento de datos del Ensayo Gravedad Específica y Absorción de agregados finos – Arena Natural.	138
Tabla 86: Procesamiento de datos del ensayo de Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados gruesos.....	140
Tabla 87: Procesamiento de datos del ensayo de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso.....	142
Tabla 88: Procesamiento de datos del ensayo de Abrasión de los Ángeles.	145
Tabla 89: Procesamiento de datos del ensayo de Durabilidad al sulfato de Magnesio.	146
Tabla 90: Procesamiento de datos del Ensayo Gravedad Específica y Absorción de agregados finos – Arena Natural.	148
Tabla 91: Procesamiento de datos del Ensayo de Límite Líquido de Arena Triturada malla #40.....	150
Tabla 92: Procesamiento de datos del Ensayo de Límite Líquido de Arena Triturada malla #200.....	151
Tabla 93: Procesamiento de datos del Ensayo de Límite Líquido de Arena Natural malla #40.....	152
Tabla 94: Procesamiento de datos del Ensayo de Límite Líquido de Arena Natural malla #200.....	153
Tabla 95: Procesamiento de datos del Ensayo de Índice de Plasticidad de Arena Triturada malla #40.	154
Tabla 96: Procesamiento de datos del Ensayo de Índice de Plasticidad de Arena Triturada malla #200.	155
Tabla 97: Procesamiento de datos del Ensayo de Índice de Plasticidad de Arena Natural malla #40.	156
Tabla 98: Procesamiento de datos del Ensayo de Índice de Plasticidad de Arena Natural malla #200.	157
Tabla 99: Procesamiento de datos del Ensayo de Equivalente de Arena para Arena Triturada y Arena Natural.....	158



Tabla 100: Dosificación de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.....	160
Tabla 101: Dosificación de briquetas de mezcla asfáltica modificada con Nanosílice.....	161
Tabla 102: Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 de B1 a B12.	162
Tabla 103: Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 de B13 a B24.	163
Tabla 104: Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas de mezcla asfáltica modificadas con Nanosílice de BN1 a BN12.	163
Tabla 105: Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas de mezcla asfáltica modificadas con Nanosílice de BN13 a BN24.	164
Tabla 106: Procesamiento de datos del ensayo de Peso específico de briquetas con óptimo porcentaje de Asfalto y Nanosílice.	164
Tabla 107: Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas BETUTEC PG 70-28 de B1 a B12.	166
Tabla 108: Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas BETUTEC PG 70-28 de B13 a B24.	166
Tabla 109: Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas modificadas con Nanosílice de BN1 a BN12.	167
Tabla 110: Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas modificadas con Nanosílice de BN13 a BN24.	167
Tabla 111: Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia Marshall de briquetas con óptimo porcentaje de Asfalto y Nanosílice.	168
Tabla 112: Procesamiento de datos del ensayo de Parámetros Volumétricos de briquetas BETUTEC PG 70-28 de B1 a B12.	170
Tabla 113: Procesamiento de datos del ensayo de Parámetros Volumétricos de briquetas BETUTEC PG 70-28 de B13 a B24.	170
Tabla 114: Procesamiento de datos del ensayo de Parámetros Volumétricos de briquetas modificadas con Nanosílice de BN1 a BN12.....	171
Tabla 115: Procesamiento de datos del ensayo de Parámetros Volumétricos de briquetas modificadas con Nanosílice de BN13 a BN24.....	171
Tabla 116: Procesamiento de datos de Parámetros Volumétricos de briquetas con óptimo porcentaje de Asfalto y Nanosílice.....	172
Tabla 117: Procesamiento de datos del ensayo de Resistencia a la Compresión Diametral.	182
Tabla 118: Análisis comparativo de las densidades al 5.4% de asfalto y al 6.36% de Nanosílice	183
Tabla 119: Comparación de valores de flujo y estabilidad para probetas al 5.4% de asfalto y al 6.36% de Nanosílice.	184



Tabla 120: Comparación de valores de Resistencia a Compresión Diametral para probetas al 5.4% de asfalto y al 6.36% de Nanosílice.....	185
Tabla 121: Comparación de los valores de parámetros volumétricos para probetas MAC BETUTEC PG 70-28 y modificadas con Nanosílice.....	186
Tabla 122: Coeficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de estabilidad.	188
Tabla 123: Coeficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de flujo.....	189
Tabla 124: Coeficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de densidad.	189
Tabla 125: Coeficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de VTM.....	190
Tabla 126: Coeficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de VMA.	190
Tabla 127: Coeficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de VFA.	191
Tabla 128: Coeficiente de correlación entre % de Nanosílice y los valores de Pbe.	191
Tabla 129: Matriz de Consistencia	204

Índice de Figuras

Figura 1: Fallas en los pavimentos.....	1
Figura 2: Estado del pavimento flexible en la Av. La Cultura	1
Figura 3: Ubicación Geográfica.....	2
Figura 4: Pavimento Flexible.	12
Figura 5: Sección donde se aprecian las capas del pavimento flexible.....	13
Figura 6: Agregados - Cantera Caicay.....	14
Figura 7: Asfalto BETUTEC PG 70-28.....	18
Figura 8: Nanosílice.....	23
Figura 9: Aspecto de la Nanosílice Líquida	24
Figura 10: Tamiz para ensayo granulométrico.	27
Figura 11: Máquina de los Ángeles.	29
Figura 12: (a) Configuración de la carga y (b) rotura del ensayo de tracción indirecta.....	33
Figura 13: Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica compactada.....	33
Figura 14: Parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.	34
Figura 15: Flujograma del diseño de ingeniería	42
Figura 16: Extracción de agregados minerales de la planta de asfalto.....	46
Figura 17: Cuarteo previo al ensayo de granulometría de agregado grueso.....	47
Figura 18: Granulometría de agregado grueso	47
Figura 19: Pesos de la cantidad retenida en cada tamiz.	48
Figura 20: Cuarteo de material y obtención de peso mínimo para peso específico.....	51
Figura 21: Lavado del material y remojo por 24 hrs.....	51
Figura 22: Secado y peso superficialmente seco de agregado grueso.....	52



Figura 23: Colocado del material en la canastilla y peso sumergido del agregado grueso.	53
Figura 24: Colocado del material en el horno y peso seco del material luego de 24 horas.	53
Figura 25: Cuarteo de la muestra para el ensayo de partículas aplanadas y achatadas.	55
Figura 26: Preparación del material previo al ensayo.	56
Figura 27: Tamizado y peso de cada malla.	56
Figura 28: Determinación de partículas aplanadas.	57
Figura 29: Determinación de partículas aplanadas.	57
Figura 30: Determinación de partículas alargadas.	58
Figura 31: Determinación de partículas alargadas.	58
Figura 32: Lavado del material por malla #4.	60
Figura 33: Tamizado de la muestra de material por las mallas correspondientes.	61
Figura 34: Inspección de partículas con caras fracturadas.	61
Figura 35: Partículas con caras fracturadas y sin caras fracturadas por tamiz.	62
Figura 36: Pesos de partículas con caras fracturadas y sin caras fracturadas por tamiz.	62
Figura 37: Lavado y secado en horno del material.	64
Figura 38: Tamizado y peso del material por tamiz.	65
Figura 39: Colocado de material y esferas en la Máquina de los Ángeles y rotación de la misma.	66
Figura 40: Lavado del material obtenido luego de la someterlo a la Máquina de los Ángeles.	66
Figura 41: Se seca el material en el horno y se obtiene el nuevo peso.	67
Figura 42: Preparación y tamizado de la muestra.	69
Figura 43: Preparación de la solución.	69
Figura 44: Inmersión del material en la solución.	70
Figura 45: Escurrido y colocado del material en el horno.	70
Figura 46: Pesaje final del material.	70
Figura 47: Extracción de agregados minerales de la planta de asfalto.	72
Figura 48: Cuarteo y pesaje de agregado fino.	73
Figura 49: Colocado y tamizado de agregado fino.	73
Figura 50: Pesaje por tamiz de agregado fino.	73
Figura 51: Cuarteo de material para el ensayo de gravedad específica y absorción.	76
Figura 52: Preparado de la muestra para el ensayo de gravedad específica y absorción.	77
Figura 53: Material sumergido en agua.	77
Figura 54: Secado de material hasta alcanzar el estado saturado superficialmente seco.	78
Figura 55: Secado de material hasta alcanzar el estado saturado superficialmente seco.	79
Figura 56: Pesos requeridos de la muestra para el ensayo.	79
Figura 57: Eliminación de burbujas con la bomba de vacíos.	80
Figura 58: Peso total del frasco, muestra y agua.	80
Figura 59: Colocado del material en el horno.	80



Figura 60: Peso del material seco.	81
Figura 61: Equipos utilizados en el ensayo de Límite Líquido.	83
Figura 62: Pesaje del material pasante de la malla N°40 y N°200.	83
Figura 63: Vertido de agua y preparado de muestra de material pasante de la malla N°200.....	84
Figura 64: Muestra colocada en la copa de Casagrande.	84
Figura 65: Muestra ranurada previa al ensayo.....	85
Figura 66: Muestra después del ensayo.....	85
Figura 67: Toma de datos de la masa del material en sus diferentes estados.	85
Figura 68: Elaboración de esfera y cilindros con material humedecido.	88
Figura 69: Cilindro desmoronado.....	89
Figura 70: Cilindro desmoronado en el segundo intento.....	89
Figura 71: Preparación y tamizado de la muestra.....	94
Figura 72: Preparación de la solución.....	95
Figura 73: Inmersión del material en la solución.....	95
Figura 74: Ecurrido y colocado del material en el horno.....	96
Figura 75: Retirado del material del horno.....	96
Figura 76: Muestreo manual del material mediante el tamiz N°4.	98
Figura 77: Humedecimiento del material.....	99
Figura 78: Obtención de muestra con la lata de medición.	99
Figura 79: Stock de solución y sifoneo del mismo en el cilindro graduado.....	100
Figura 80: Vertido del material con embudo en el cilindro de plástico.	100
Figura 81: Agitado manual del cilindro.	101
Figura 82: Acción de punzonamiento y relleno con tubo irrigador.....	101
Figura 83: Retirado del material del horno.....	102
Figura 84: Separado de material por tamices requeridos.	104
Figura 85: Colocación de agregados y moldes de compactación al horno.....	105
Figura 86: Calentado y pesaje del bitumen.	105
Figura 87: Mezclado de agregados y ligante asfáltico en caliente.....	105
Figura 88: Vertido y chuseado de la mezcla asfáltica en caliente.	106
Figura 89: Compactación de la mezcla asfáltica en caliente.	108
Figura 90: Extracción de espécimen asfáltico del molde con el eyector.....	108
Figura 91: Especímenes de mezcla asfáltica patrón BETUTEC PG 70-28.....	109
Figura 92: Colocación de agregados y moldes al horno.	111
Figura 93: Pesaje del ligante asfáltico BETUTEC PG 70-28.....	111
Figura 94: Incorporación de Nanosílice en el ligante asfáltico.	112
Figura 95: Incorporación de agregados.....	112
Figura 96: Mezclado de agregados y ligante asfáltico modificado.....	112



Figura 97: Chuseado de la mezcla asfáltica modificada en caliente.	113
Figura 98: Compactación de la mezcla asfáltica modificada en caliente.	113
Figura 99: Extracción de espécimen asfáltico modificado del molde con el eyector.	114
Figura 100: Especímenes de mezcla asfáltica modificada con nanosílice.	114
Figura 101: Peso seco de los especímenes.	115
Figura 102: Introducción de especímenes al baño María a 25°C.....	116
Figura 103: Peso del espécimen en agua.....	116
Figura 104: Peso de espécimen saturado superficialmente seco.	117
Figura 105: Toma de medidas de los especímenes.	120
Figura 106: Colocado de especímenes en el baño María a 60°C durante 30 a 40 minutos.	121
Figura 107: Lubricado y toma de temperatura del cabezal de rotura Marshall.	121
Figura 108: Ejecución de ensayo en la Máquina de carga a compresión Marshall.	122
Figura 109: % Asfalto vs Estabilidad Media Corregida.....	174
Figura 110: % Asfalto vs Fluidez (mm).....	175
Figura 111: % Asfalto vs Densidad Promedio (gr/cm ³).	175
Figura 112: % Asfalto vs VTM (Vacíos Totales de la Mezcla).	176
Figura 113: % Asfalto vs VAM (Vacíos en el Agregado Mineral).	176
Figura 114: % Asfalto vs VFA (Vacíos Llenos de Asfalto).....	177
Figura 115: % Asfalto vs Relación Estabilidad/Flujo.....	177
Figura 116: % Nanosílice vs Estabilidad Media Corregida.	178
Figura 117: % Nanosílice vs Fluidez (0.25 mm).	178
Figura 118: % Nanosílice vs Densidad Promedio (gr/cm ³).	179
Figura 119: % Nanosílice vs VTM (Vacíos Totales de la Mezcla).	179
Figura 120: % Nanosílice vs VAM (Vacíos en el Agregado Mineral).	180
Figura 121: % Nanosílice vs VFA (Vacíos Llenos de Asfalto).....	180
Figura 122: % Nanosílice vs Relación Estabilidad/Flujo.....	181
Figura 123: Densidad de especímenes MAC BETUTEC PG 70-28 VS especímenes MAC modificados con Nanosílice	183
Figura 124: Estabilidad Marshall de probetas MAC BETUTEC PG 70-28 vs probetas modificadas con Nanosílice.	184
Figura 125: Flujo Marshall de probetas BETUTEC PG 70-28 vs probetas modificadas con Nanosílice.	185
Figura 126: Resistencia a Compresión Diametral de probetas BETUTEC PG 70-28 vs probetas modificadas con Nanosílice.....	186
Figura 127: Parámetros Volumétricos de probetas al 5.4% de asfalto y de probetas al 6.36% de Nanosílice.....	187



Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

Actualmente en la ciudad del Cusco se observa un notable deterioro y fallas en los pavimentos flexibles causando incomodidad en los habitantes, daños en los vehículos e incluso accidentes de tránsito.



Figura 1: Fallas en los pavimentos.

Según (La República, 2020) en el informe realizado por la comisión de Infraestructura Vial del Colegio de Ingenieros del Cusco, las deficiencias encontradas en el pavimento flexible en la Avenida La Cultura, serían por un proceso de deformación de la estructura del pavimento debido al uso de asfalto de baja calidad, dosificación inadecuada y mala compactación. Es por éste motivo que se requiere el correcto diseño y un control adecuado respecto a la calidad de materiales utilizados para elaborar pavimentos flexibles.



Figura 2: Estado del pavimento flexible en la Av. La Cultura

Fuente: La República, 2020



Por lo expuesto anteriormente, se ve la necesidad de investigar e implementar nuevas tecnologías en la elaboración de mezclas asfálticas para analizar los comportamientos físico-mecánicos de las mismas.

Ubicación Geográfica

La presente investigación será realizada en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina del Cusco ubicada en la urbanización Larapa, distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco y departamento de Cusco.



Figura 3: Ubicación Geográfica.

Fuente: Google Maps, 2019.

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál es el análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

PE1: ¿Cuál es el análisis comparativo de los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28?



PE2: ¿Cuál es el análisis comparativo de la estabilidad de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28?

PE3: ¿Cuál es el análisis comparativo del flujo de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28?

PE4: ¿Cuál es el análisis comparativo de la tracción indirecta de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice, respecto a una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28?

1.2. Justificación e Importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

La presente investigación pertenece a la línea de ciencia y tecnología en el uso de materiales en relación a pavimentos. Se sabe que en la actualidad las mezclas asfálticas son diseñadas por profesionales y de acuerdo a las características que requiere un pavimento. Ya que la carpeta de rodadura de éste, está conformada por dicha mezcla asfáltica, es necesario que cumpla con propiedades de resistencia adecuadas a cargas de tráfico elevadas.

Es por esta razón que en esta investigación se busca determinar la mejor opción entre una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 y una mezcla asfáltica modificada con nanosílice.

Los ensayos de laboratorio se realizan siguiendo los parámetros de la norma CE.010 Pavimentos Urbanos del RNE, el Manual de Carreteras- Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG-2013, el Manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. La investigación se basa en el método Marshall para el diseño de pavimentos.

1.2.2. Justificación social

Gracias a ésta investigación se mejora la calidad de los pavimentos logrando así un mayor confort en los usuarios de las vías.

Con la implementación de la mezcla asfáltica modificada con nanosílice se pretende alargar la vida útil de la carpeta asfáltica y como consecuencia reducir los costos de mantenimiento en la carpeta de rodadura de un pavimento.



De la misma manera la investigación sirve como antecedente para ingenieros titulados, estudiantes de ingeniería y demás profesionales que tengan el interés de incursionar en nuevas tecnologías en el uso de mezclas asfálticas modificadas para su aplicación en las obras viales.

El impacto del nanosílice con el medio ambiente es nulo, gracias al tamaño de sus partículas.

1.2.3. Justificación por viabilidad

El desarrollo de ésta investigación es factible, ya que se cuenta con facilidad de acceso a información (antecedentes), recursos económicos, materiales (agregados, nanosílice y asfalto BETUTEC PG 70-28) e instrumentos y equipos necesarios proporcionados por el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad Andina del Cusco.

1.2.4. Justificación por relevancia

La importancia de la aplicación de la mezcla asfáltica modificada con nanosílice frente a una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28, recae en la necesidad de obtener un pavimento de mejor calidad, más resistente, con costos menores de mantenimiento, brindando mayor comodidad y seguridad a los usuarios.

1.3. Limitaciones de la Investigación

- La presente investigación, se limita a evaluar los parámetros volumétricos, la estabilidad, el flujo y la tracción indirecta de la mezcla asfáltica.
- Respecto a los materiales utilizados la investigación se limita al uso de nanosílice.
- La presente tesis se limita al uso del ligante asfáltico BETUTEC PG 70-28 proveniente de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco, el agregado grueso de la cantera de Morro Blanco San Salvador y el agregado fino de la cantera Cunyac.
- La investigación se limita al uso de cemento Portland IP como filler.
- La presente tesis se limita al estudio de mezclas asfálticas en caliente.
- La investigación se limita a realizar el diseño Marshall de la mezcla asfáltica (desarrollado por la AASHTO) para evaluar la resistencia tanto de la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 como de la mezcla asfáltica modificada con nanosílice.



- La presente investigación se limita al uso de los siguientes equipos: Tamizador mecánico, Máquina de los Ángeles, bomba de vacíos, Horno, estufa que son necesarios para evaluar los agregados que componen las mezclas asfálticas. Estos ensayos son realizados en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Andina del Cusco.
- La presente investigación se limita al uso de los siguientes equipos: Horno, Baño maría, cocina, Tamizador mecánico, Equipo de compactación manual Marshall, Máquina de Estabilidad y flujo Marshall, balanza que son necesarios para evaluar el desempeño de ambas mezclas asfálticas. Estos ensayos serán realizados en el laboratorio de Suelos, Materiales y Asfalto INGEOMAT.

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Analizar comparativamente las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice frente a las de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

1.4.2. Objetivos Específicos

OE1: Analizar comparativamente los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice frente a las de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

OE2: Analizar comparativamente la estabilidad de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice frente a las de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

OE3: Analizar comparativamente el flujo de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice frente a la de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

OE4: Analizar comparativamente la tracción indirecta de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice frente a la de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.



Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la tesis o Investigación Actual

2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

(Chileno Yachi, 2017) En la tesis titulada: "Relación del Aditivo Nanosilice en la resistencia del concreto en la Urbanización Chorrillos - Ciudad de Huancayo, 2016". Presentada en la Universidad Peruana de los Andes en Huancayo el 2017 cuyo Objetivo General es: "Evaluar la relación del aditivo Nanosilice en la resistencia del concreto, en la Urbanización Chorrillos - ciudad de Huancayo, en el año 2016", se planteó la siguiente metodología; diseño del tipo "aplicado", estudio del tipo "cuantitativo" y una investigación de nivel "correlacional" llegando a las siguientes conclusiones: Se determinó que al usar el aditivo Nanosilice en el concreto, este se relaciona con su resistencia, provocando que esta tenga un incremento de $f'c = 388 \text{ kg/cm}^2$ en el concreto convencional a $f'c = 409 \text{ kg/cm}^2$ en el concreto modificado con 1% del Aditivo Nanosilice a $f'c = 432 \text{ kg/cm}^2$ en el concreto modificado con 3% del Aditivo Nanosilice a $f'c = 461 \text{ kg/cm}^2$ en el concreto modificado con 5% del Aditivo Nanosilice. Se determinó que la adición de Nanosilice mejora las características de la mezcla de tanto en estado fresco como endurecido. Se determinó que la adición de Nanosilice en distintas dosificaciones genera un incremento proporcional en la Resistencia a la Compresión de la mezcla de concreto con una Relación de agua/cemento de 0.50, Se determinó que una mezcla de Concreto con modificada con Nanosilice tiene un costo más elevado por metro cúbico que una mezcla de Concreto Convencional. Se hallaron los resultados respecto a la resistencia a la compresión de las briquetas de concreto con dimensiones de 4 pulg. x 8 pulg y 6 pulg x 12 pulg modificadas con 5% de Nanosilice y se determinó que son similares.

Cabe mencionar que las mezclas asfálticas modificadas consideraron adicionar nanosilice al 1%, 3% y 5%. La tesis descrita se relaciona con nuestra investigación ya que se utilizó como aditivo del concreto el nanosilice, el cual será utilizado como modificador de asfalto en éste caso.

(Estrada Escalante, 2017) en la tesis : "Estudio y analisis de desempeño de Mezcla Asfáltica Convencional PEN 85/100 Plus Y Mezcla Asfáltica Modificada Con Polimero Tipo SBS PG 70 - 28", presentada en la Universidad Andina del Cusco el 2017 cuyo



Objetivo General es: “Estudiar y evaluar el desempeño de mezclas asfálticas convencional PEN 85/100 Plus y modificada con polímero de tipo SBS PG 70 -28 y determinar cuál de las mezclas asfálticas presenta mejor desempeño” se utilizó la siguiente metodología; como tipo de estudio “cuantitativo”, nivel de investigación “explicativo - correlacional” y con un método de investigación “hipotético – deductivo”, llegando a las siguientes conclusiones: Se demostró la segunda sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un mayor nivel de estabilidad”, debido a que se obtuvo una estabilidad de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 con un valor de 2047 kgf, el cual es muy superior a la de la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus que tiene un valor de estabilidad de 1382 kgf, demostrando así mayor adhesividad y cohesión de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, influyendo así en la posterioridad al desempeño de la mezcla, b) Se demostró la tercera sub hipótesis, “La mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28 nos ofrecerá un menor nivel de flujo”, donde la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 presento un valor de flujo de 14.10mm, similarmente el resultado obtenido de flujo para la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 presento un valor de 14.00 mm, con estos valores podríamos concluir que las dos mezclas asfálticas tienen un valor de flujo similar, sin embargo, es de gran importancia indicar que se debe tomar en cuenta que dichos valores son obtenidos con niveles de carga aplicada o estabilidad distintas, por lo cual la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS PG 70 -28 se comporta mecánicamente de mejor manera respecto a la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus.

Éste antecedente, tiene relación a la investigación que se realizará ya que se utiliza el asfalto BETUTEC PG 70-28 como ligante en la mezcla asfáltica.

(Noreña Valverde, 2008) en la tesis :“Determinación de la pérdida de adhesividad por tracción indirecta en mezclas asfálticas compactadas”, presentada en la Universidad Nacional de Ingeniería el 2008 cuyo Objetivo General es: Estudiar cómo se comportan las mezclas asfálticas bajo cargas críticas y climas adversos presentes en ciertas regiones de nuestro país, en base a experiencias de ciertos países que cuentan con problemas similares” se utilizó la siguiente metodología; como tipo de estudio “cuantitativo”, nivel de investigación “descriptivo” y diseño metodológico aplicado”, llegando a las siguientes conclusiones: a) Se concluye que el ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la



mezcla asfáltica, evalúa de mejor manera la pérdida en la adhesividad entre los agregados y el asfalto, que los ensayos realizados visualmente, que son empleados de forma tradicional, b) Los valores que indican la razón de resistencia a la tracción (RRT) de las muestras de mezcla asfáltica que se elaboran con agregados que provienen de la cantera la Gloria, mostraron una mejor respuesta de adhesión con el asfalto, a pesar de realizar un incremento en el porcentaje de contenido asfáltico en la mezcla, c) Los valores de RRT en muestras de mezcla asfáltica elaboradas con agregados que provienen de la cantera Río Huaura, mostraron una mala respuesta de adhesión con el asfalto, esto se evidencia en los valores inferiores al límite permitido; siendo más riguroso en circunstancias de intemperismo severo.

Éste antecedente, tiene relación a la investigación que se realizará ya estudia la calidad de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Tracción Indirecta.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

(Haddadi & Hasaninia, 2017) en el artículo denominado “The characteristics of hotmixed asphalt modified by nanosilica”, presentado en la Universidad de Ciencia y Tecnología de Irán el 2017, siendo su objetivo investigar las características de la mezcla asfáltica en caliente modificada con 2%, 4%, 6% y 8% de Nanosílice en peso de ligante. Cuya metodología es la siguiente: diseño metodológico “aplicado”, tipo de estudio “cuantitativo” y nivel de investigación “descriptivo”. Se llegó a las siguientes conclusiones: En las pruebas ITS, RM y Marshall, se pudo observar que la adición de nanosílice en una cantidad del 6 % conduce a un aumento en la prueba de resistencia a la tracción indirecta en un 29 %, el módulo resiliente en un 31 % y un ligero aumento en Marshall parámetro del cociente en comparación con las muestras de control. Según los resultados de la prueba de sensibilidad a la humedad, se puede concluir que la adición de nanosílice reduce la resistencia a la tracción indirecta de las muestras saturadas y, por lo tanto, disminuye el valor de TSR. Una cantidad del 6% de uso de nanosílice en el aglutinante base reduce la estabilidad de la mezcla asfáltica en condiciones saturadas en un 22%. Los resultados mostraron que la adición de nanosílice al ligante asfáltico tiene un efecto adverso sobre la resistencia de las mezclas asfálticas modificadas frente al daño inducido por la humedad. Los resultados obtenidos de la prueba de fluencia dinámica mostraron que la adición de nanosílice aumenta significativamente el valor del número



de flujo. Por lo que se puede deducir que el ligante modificado por nanosílice podría contribuir a la reducción de las deformaciones permanentes de las mezclas asfálticas. Los resultados de las pruebas de fatiga del haz de flexión indicaron que la adición de nanosílice aumenta significativamente la vida de fatiga de las mezclas asfálticas.

Cabe mencionar que para esta investigación, fue considerado el uso de nanosílice en dosificaciones de 2.0%, 4.0%, 6.0% y 8.0% respecto a la masa total del ligante asfáltico.

Este artículo está relacionado a la tesis que se realizará, ya que utiliza nanosílice como modificante del asfalto y se utiliza el método Marshall.

(Leiva Villacorta, Aguiar Moya, Villegas Villegas, Salazar Delgado, & Loría Salazar, 2014) en el artículo denominado “Nano-materiales en el desempeño del Asfalto”, presentado en la Universidad de Costa Rica – Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales el 2014, siendo su objetivo dar a conocer las ventajas relacionadas con el uso de los nanomateriales en el desempeño del asfalto, aplicando técnicas de una avanzada caracterización de los materiales, mediante la siguiente metodología de investigación: diseño metodológico “aplicado”, tipo de estudio “cuantitativo” y nivel de investigación “correlacional”. Se llegó a las siguientes conclusiones: Se evidencia de forma clara a nivel químico y mecánico que los materiales al ser modificados con nanomateriales, sufren cambios su comportamiento. Al realizar los análisis térmicos (TGA y DSC) se observó que sirven para comparar que modificantes podrán comportarse de mejor manera al incorporarlos al asfalto, así como los cambios en las cualidades térmicas del material y brindan información del futuro desempeño al ponerlos a servicio. Se observó que, al realizar las pruebas de reología, se puede analizar el desempeño de los materiales modificados y selección posible del óptimo contenido de asfalto para condiciones de campo dadas. Con los aditivos evaluados, al incrementar la concentración del material nanométrico en el bitumen, se produce un incremento en la resistencia a la deformación permanente; a pesar de ello, en ciertos casos esto puede disminuir la resistencia del material respecto a la fatiga, al igual que ocurre con el asfalto modificado con nanotubos de carbono. Respecto a la elección del ligante con mejor desempeño, se estableció que la adición en dosis de 3.0% de nanosílice genera una mejora la resistencia a fatiga y también en la resistencia a la deformación permanente.



Cabe mencionar que, para esta investigación, fueron consideradas las dosis de 0,5%, 3.0% y 6.0% para el uso de nanosílice respecto a la masa total de asfalto.

Este artículo está relacionado a la tesis que se realizará, ya que uno de los modificantes que utiliza para el asfalto es el nanosílice, pudiendo tomar en cuenta los porcentajes utilizados.

(Ramírez Arrieta, 2017) en su tesis denominada “Caracterización hidráulica de mezclas asfálticas abiertas mediante la técnica de Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS)” presentada en la Universidad Nacional de Colombia el 2017, siendo su objetivo principal en la profundización del trabajo, la caracterización hidráulica de mezclas asfálticas abiertas, dado que no se tiene abundante información sobre su desempeño al drenar agua y en la escasa información que existe, se llevan a cabo consideraciones pobres para analizar su capacidad permeable y elaborar su diseño. Se pretende analizar métodos que posibiliten realizar una adecuada valoración de aquellos parámetros que influyen en la permeabilidad, adquirir más información acerca de la estructura de la mezcla, que en al desarrollar la investigación es presentada como un medio poroso, y establecer los factores que intervienen al momento de que el agua fluya por su estructura. Cuya metodología es la siguiente: el diseño metodológico es “aplicado”, tipo de estudio es “cuantitativo” y Nivel de investigación “correlacional”. Se llegó a las siguientes conclusiones: Se necesita controlar a los factores que alteran a las mezclas asfálticas en su comportamiento hidráulico, a partir del mismo proceso de su fabricación; entre estos tenemos al tipo de compactación aplicado y la energía de compactación, los cuales se encuentran relacionados de forma estrecha en la obtención de un deseado contenido de vacíos llenos de aire.

La marcada diferencia en los contenidos de vacíos encontrados puede deberse a como esté constituida internamente la muestra de ensayo, a la comunicación o no de los vacíos con aire en las muestras, que se traduce en la formación o no de caminos por los cuales pueda circular con mayor facilidad el agua.

En cuanto a la respuesta a tracción indirecta, comparando los resultados del ensayo para las muestras por contenido de asfalto, dejo ver que el contenido de asfalto incide en la respuesta a la tracción, en virtud de que muestras con contenidos de asfalto de 4% alcanzaron mayor resistencia a la tracción que las muestras con contenido de asfalto de



4.5%, en orden del 20%; 802Kpa y 1014Kpa respectivamente. Para las dos condiciones de ensayo y de asfalto, el grupo de muestras ensayadas bajo condición húmeda presentan menor resistencia comparándolas con muestras con similares contenidos de vacíos del grupo seco de la prueba, para el caso muestras con contenidos de vacíos de aproximadamente del 15%, sufrieron pérdidas en relación al estado seco de 60%.

Éste antecedente, tiene relación a la investigación que se realizará ya estudia la calidad de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Tracción Indirecta.

2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1. Pavimentos

Al analizar los resultados y según la opinión de (Montejo Fonseca, 2002) un pavimento se conforma por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, diseñadas y construidas con materiales apropiados y compactados de manera adecuada y técnica. Sobre la subrasante que se obtiene mediante el movimiento de tierras durante la exploración, se apoyan las estructuras definidas por estratos, estas deben resistir adecuadamente los esfuerzos producidos por la repetición de cargas de tránsito, transmitidas a lo largo del periodo diseñado para la estructura del pavimento.

Según lo expresado por (MTC, 2018) es una estructura constituida sobre la subrasante, que resiste y distribuye las cargas producidas por los vehículos y favorece las condiciones del tránsito brindando comodidad y seguridad a los usuarios. Ésta estructura, suele conformarse por las siguientes capas: subbase, base y capa de rodadura.

2.2.1.1. Clasificación de los Pavimentos

- **Pavimento Rígido**

Al analizar la información previa, se encuentra que: “Se define como aquel que está constituido fundamentalmente por una losa de concreto hidráulico, que se apoya sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado, siendo ésta la subbase del pavimento rígido.” (Montejo Fonseca, 2002)

- **Pavimento Semi-rígido**

Se constituye por una estructura muy similar a la de un pavimento flexible, a diferencia de este, el pavimento semirrígido consta de una capa que es rigidizada de forma artificial con un aditivo pudiendo ser este: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. (Montejo Fonseca, 2002)



- **Pavimentos Articulados**

Se componen por una capa de rodadura elaborada con bloques de concreto prefabricados o adoquines, éstos son iguales entre sí y tienen un espesor uniforme. (Montejo Fonseca, 2002)

- **Pavimento Flexible:**

Se conforma por agregados, materiales bituminosos, aglomerantes y en algunos casos, aditivos. (MTC, 2018)

El pavimento flexible consta de una carpeta bituminosa que es generalmente apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. Depende del carácter y necesidades particulares de la obra, se puede prescindir de cualquiera de estas capas. (Montejo Fonseca, 2002)

Según (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000) dice que los Pavimentos Flexibles se conforman por un ligante asfáltico, de color negro o café oscuro, de propiedades cementantes y consistencia sólida o semisólida. Están constituidos principalmente por mezclas de hidrocarburos o betunes que se encuentran en la naturaleza como tales u obtenidos por la refinación de petróleo. El asfalto contiene bitumen, un hidrocarburo soluble en disulfuro de carbono, por lo que se le considera como un material bituminoso.



Figura 4: Pavimento Flexible.

Fuente: IngeCivil Información relacionada a Ingeniería civil y Construcción, 2018

2.2.1.2. Clasificación de capas de un Pavimento Flexible.

(Burgos Vásquez, 2014) en su trabajo de investigación afirma lo siguiente, el Pavimento flexible o asfáltico se conforma por distintas capas, entre las que están la sub-rasante, la sub-base y la base, considerando estructurales a las dos últimas, ya que están enlazadas a la superficie, siendo su finalidad la distribución en la sub-rasante de las cargas de tránsito, y finalmente se encuentra la carpeta asfáltica o carpeta de rodadura, donde son empleadas las

mezclas asfálticas que componen los pavimentos, que están constituidos por agregados gruesos, finos y ligante, pueden encontrarse emulsiones, cementos asfálticos o asfaltos cortados.

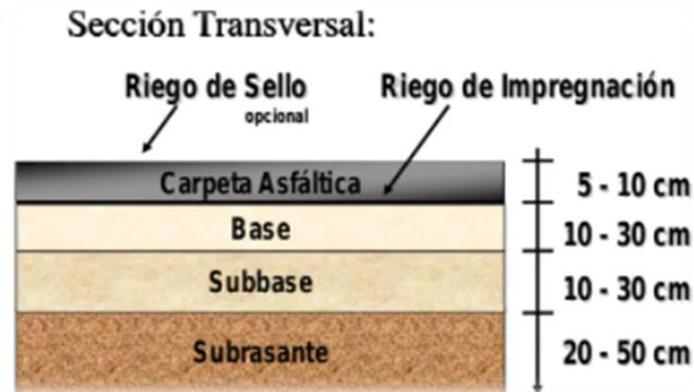


Figura 5: Sección donde se aprecian las capas del pavimento flexible.
Fuente: Cámara Nacional del Cemento. México, 2008.

2.2.1.2.1. Superficie de rodadura de un Pavimento Flexible

Al analizar los resultados de los estudios previos encontramos que: “la superficie de rodadura se ubica por encima de la base siendo su finalidad proteger la estructura del pavimento, por lo cual, para prevenir filtraciones de agua que saturan las capas inferiores, impermeabiliza la superficie para evitar que las otras capas del pavimento sean afectadas. Esta capa absorbe cargas para contribuir con el soporte del pavimento, para esto debe tener un espesor mínimo de 4 centímetros.” (Burgos Vásquez, 2014)

2.2.2. Agregado

Material granular que se compone de minerales como grava, arena, roca triturada y escoria, son utilizados para realizar las mezclas en diferentes gradaciones. (MTC, 2018)

(Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015) en su libro *Pavimentos: Materiales, Construcción y Diseño* afirma lo siguiente:

Los agregados pétreos son un conjunto de partículas naturales o trituradas tales como arenas, gravas, finos y/o fillers considerados inertes, los cuales son empleados en la elaboración de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados, así mismo se usan para la conformación de terraplenes, afirmado y capas de subbase y/o base granular. Éstos agregados se clasifican según el tamaño de las partículas y de acuerdo a un ensayo de granulometría y serán gravas, arenas, filler o llenante mineral.



Figura 6: Agregados - Cantera Caicay.

2.2.2.1. Clasificación

2.2.2.1.1. Agregado Grueso

Se define como el material obtenido mediante la desintegración ya sea de forma artificial o natural de partículas, su granulometría es determinada por especificaciones técnicas establecidas en las normas. Generalmente se considera como agregado grueso al material que se retiene en la malla N°4 (4,75 mm). (MTC, 2018)

2.2.2.1.2. Agregado Fino

Se define como el material obtenido mediante la desintegración ya sea de forma artificial o natural de partículas, su granulometría es determinada por especificaciones técnicas establecidas en las normas. Generalmente se considera como agregado fino aquel que pasa por la malla N°4 (4,75 mm). (MTC, 2018)

2.2.2.1.3. Filler

Según lo expresado por (Álvarez Loya & Sandoval Navarro, 2011) es un material triturado o pulverizado finamente, cuyas partículas pasan por la malla número 200 (0.075 mm).

El término “filler” tiene raíces inglesas, siendo su significado “rellenador o llenante”, esto se debe a que al inicio se le consideró solo para rellenar vacíos.

Según (MTC, 2018) éste material por lo general se obtiene de los polvos de roca, la caliza pulverizada, cemento Portland, cal hidratada y algunos depósitos de material fino naturales. Es utilizado como relleno de vacíos para fabricar mezclas asfálticas en caliente, mejorador de adherencia o espesante de la mezcla.



2.2.3. Asfalto

Es considerado como un material de color marrón oscuro a negro de propiedades cementantes, su componente principal son betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se halla en distintas proporciones en la mayor parte del crudo de petróleo. (MTC, 2018)

(Quispe Castro & Torres Meza, 2020) en su tesis dicen que ASTM define al asfalto como un material con propiedades cementantes, cuya rigidez varía de acuerdo a su temperatura. A temperatura ambiente el cemento asfáltico es de consistencia sólida a semisólida y líquida al encontrarse a temperaturas mayores, esta circunstancia permite revestir a todos los componentes de la mezcla asfáltica como son los agregados gruesos, finos y filler.

2.2.3.1. Propiedades físicas del asfalto

Según lo expresado por (Silvestre Velasquez, 2017)

- **Consistencia:** Se refiere a la dureza del material la cual depende de la temperatura en la que se encuentra, a mayor sea la temperatura se observa una consistencia apta para moldear o definir el asfalto.
- **Durabilidad:** Es la capacidad de un asfalto para conservar atributos únicos al ser sometido a procesos típicos tales como degradación y envejecimiento.
Esta propiedad está basada en que la conducción del asfalto está condicionada por la conformación de la mezcla, el total de sus atributos, el desarrollo del trabajo y otros factores múltiples que agregan una similar solidez a la parte superior del asfalto.
- **Viscosidad:** Es una propiedad que hace que un fluido sea pegajoso y oponga resistencia a fluir al ser afectado por una fuerza.
- **Susceptibilidad térmica:** Es la variación en la consistencia, la cual se mide generalmente por la viscosidad a diferentes temperaturas. En el caso del asfalto es la alteración de sus propiedades al ser sometido a distintas temperaturas. (Huamán Guerrero, 2011).

Según (Silvestre Velasquez, 2017)

- **Elasticidad:** Es aquella propiedad de algunos materiales la cual les permite regresar a su estado inicial al retirar las cargas a las cuales son sometidos.
- **Adhesión y cohesión:** La adhesión es la propiedad que le permite al asfalto unirse al total de la mezcla asfáltica. La cohesión, es la propiedad que le permite al asfalto,



mantener firmes e inamovibles a las partículas que conforman la mezcla asfáltica en el pavimento terminado.

- **Endurecimiento y envejecimiento:** Los asfaltos tienen la tendencia de solidificarse en el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica, y además en el asfalto terminado. Esta solidificación es debida mayormente al proceso de oxidación (negro-top consolidado con oxígeno), que ocurre generalmente al ser expuesto a temperaturas elevadas (por ejemplo, temperaturas de desarrollo) y películas finas negras.

2.2.3.2. Temperatura de aplicación del Ligante Asfáltico

Dicho material bituminoso deberá ser aplicado en rangos de temperatura que se encuentran establecidos en la carta de Viscosidad-Temperatura de la norma D 341 del ASTM. Los rangos de temperatura del asfalto para ser aplicado están indicados en la Tabla 1:

Tabla 1
Rangos de temperatura de aplicación de asfalto.

Rangos de temperatura de aplicación (°C)

Tipo y Grado del Asfalto	Temperaturas de Esparcido ⁽²⁾		Temperaturas de Mezclado en Planta ⁽³⁾	
	Mezclas in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
Asfaltos Diluidos				
MC-30	--	30	--	--
RC-70 o MC-70	20	50	--	--
RC-250 o MC-250	40	75	55-80	--
RC-800 o NC-800	55	95	75-100	--
Emulsiones Asfálticas				
CRS-1	--	50-85	--	--
CRS-2	--	50-85	--	--
CMS-2	20-70	--	10-70	
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	--	10-70	
Cemento Asfáltico	140 máx (4)		140 máx (4)	
Todos los grados	140 máx (4)		140 máx (4)	

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.

(2) La Máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma

(3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por tanto se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones.

(4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad-temperatura

Fuente: Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013



2.2.3.3. Tipo de Cemento Asfáltico

Según lo expresado por (TDM Asfaltos, 2016) producen y comercializan cemento asfáltico de las siguientes clases:

- Cemento Asfáltico BETUTEC
- Cemento Asfáltico BETUTEC – HIMA
- Cemento Asfáltico APLUS

En ésta investigación se utiliza el Cemento Asfáltico BETUTEC PG 70-28.

Según (TDM Asfaltos, 2016) El BETUTEC es un ligante asfáltico modificado con polímeros elastoméricos, tales como el SBS u otros... Estos ligantes asfálticos modificados, se comportan de forma más óptima que los asfaltos tradicionales, mostrando esta mejora en altas y bajas temperaturas, alargando así la vida útil del pavimento.

Características del Cemento Asfáltico BETUTEC PG 70-28, según (TDM Asfaltos, 2019).

- Cemento Asfáltico modificado con un polímero elastómero del tipo estireno-butadieno-estireno (SBS).
- Grado de desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas inferiores o iguales a 70 grados Celsius y mínimas o iguales a -28 grados Celsius.
- Color negro.
- Peso específico 1.02 g/cm³.
- Rangos de temperatura de mezclado de 165 °C a 175 °C y puede ser dañado si se llega a temperaturas por encima de 190 °C.

(Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2005) en su libro *CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES* afirma que PG 70-28 se refiere a:

- PG: Grado de Desempeño (Performance Grade).
- 70: Temperatura Máxima de diseño del pavimento.
- -28: Temperatura mínima de diseño del pavimento.

La clasificación de los cementos asfálticos según el grado de desempeño se encuentra detallado en la Tabla 2 (Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG), donde la temperatura máxima y mínima de diseño se refieren a la máxima y mínima temperatura en la que el cemento asfáltico puede desempeñarse satisfactoriamente al momento de ser sometido a cargas de tráfico.



Figura 7: Asfalto BETUTEC PG 70-28

Fuente: Martínez y Estrada, 2019



Tabla 2
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG.

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 1 de AASHTO M320

	PG 70						PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<70						<76					<82				
Temperatura de diseño mínima del pavimento. °C ^a	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34
Asfalto original																
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo							230									
Viscosidad, T 316: ^b máximo 3 Pa·s, temp de prueba, °C							135									
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G*/senS, ^d mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
Película delgada en horno rotativo (T 240)																
Cambio de masa, ^e máximo, %							1.00									
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, ^d mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
Residuo en cámara de presión (R 28)																
Temperatura de curado PAV, °C ^f	100 (110)						100(110)					100 (110)				
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, ^d máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Resistencia al deslizamiento, T 313 : ^g S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Tensión Directa, T 314: ^h Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

Fuente: Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013), 2013



2.2.4. Asfaltos modificados

Al analizar los resultados y según la opinión de (Forigua Orjuela & Pedraza Díaz, 2014): “Los ligantes asfálticos modificados resultan de la disolución o incorporación de un agente modificante (polímero o no polímero), los cuales son componentes que se mantienen a través del tiempo y a variaciones de temperatura, éstas son incorporadas al asfalto con el fin de modificar sus propiedades tales como: intervalo de plasticidad, susceptibilidad térmica, respuesta elástica, cohesión, resistencia al agua y al envejecimiento.”

La modificación de las propiedades del asfalto es una técnica innovadora que se usa para aprovechar efectivamente los asfaltos en la construcción de pavimentos. Ésta técnica consta de la incorporación de polímeros o no polímeros, a los asfaltos convencionales para repotenciar sus propiedades mecánicas, como lo es la resistencia a las deformaciones producida por factores del tipo climatológicos y el tránsito vehicular (Maila Paucar, 2013).

Los modificadores incrementan la resistencia a la deformación de las mezclas asfálticas y a los repetidos esfuerzos de tensión tales como la fatiga; reducen la susceptibilidad térmica así como el agrietamiento de las capas asfálticas. Estos modificadores se incorporan al ligante previo a ser mezclado con los agregados minerales (Forigua Orjuela & Pedraza Díaz, 2014).

Según lo expresado por (Salazar Delgado, 2008) dice que en el diseño y construcción de pavimentos asfálticos se encuentra implicado el uso de sustancias químicas llamadas modificadores, sustancias inertes que al combinarse químicamente con el asfalto dan como resultado un “asfalto modificado” el cual posee propiedades mejoradas de acuerdo a las necesidades del servicio, la gran ventaja generalmente es la relación de vida útil contra el costo de inversión del producto final.

Según los resultados de los estudios previos encontramos que: “Las modificaciones al asfalto se caracterizan por el uso de aditivos de consistencia líquida, los cuales se mezclan con el asfalto poco antes de ingresar al tambor mezclador de una planta continua de mezcla asfáltica en caliente.” (Elizondo Arrieta, Salazar Delgado, & Villegas Villegas, 2010)

2.2.5. Nanomateriales

Según (INSHT, 2015) son materiales con dimensiones en un rango de 1-100 en la nanoescala. Un nanómetro (nm) es equivalente a la milmillonésima parte de un metro lineal ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).



Singularmente los nanomateriales tienen una superficie muy elevada respecto al volumen de sus partículas, lo cual significa que tienen una reactividad mayor en su aplicación en campos de catálisis. Además de esta tiene otra ventaja y reside en las propiedades fundamentales tales como la temperatura de fusión, propiedades ópticas, magnetización, etc. todas estas respecto a materiales de escala macro, microscópica o micro materiales (EcuRed, s.f.)

Aún no existe un acuerdo en común acerca de la definición de los nanomateriales, aunque si se encontró un consenso en la literatura respecto a diferentes conceptos dados por distintas organizaciones de diferentes países.

Tabla 3
Definiciones de nanomateriales.

Organización / País	Definición propuesta
International Standardization Organization (ISO)	Material con cualquier dimensión externa en escala nano o que tiene una estructura interna o superficial en la escala nano.
Comité Científico de la Unión Europea sobre Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados (SCENIHR)	Cualquier forma de un material que se compone de partes funcionales diferenciadas, muchas de las cuales tienen una o más dimensiones del orden de 100 nm o menos.
Food and Drug Administration (FDA)	El término de nanomaterial se utiliza comúnmente en relación a la ingeniería (manipulación deliberada, fabricación o selección) de materiales que tienen al menos una dimensión en el intervalo de tamaño de 1 a 100 nm.
Australia: The National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme (NICNAS)	Los nanomateriales industriales son aquellos materiales producidos intencionalmente, fabricados o diseñados para tener propiedades específicas o composición específica, y una o más dimensiones típicamente entre 1 nm y 100 nm. Este rango de tamaño se refiere al tamaño de las partículas individuales y no tiene en cuenta la aglomeración de partículas.
Canadá: Health Canada	Cualquier producto manufacturado, material, sustancia, ingrediente, dispositivo, sistema o estructura es nanomaterial, si: a) Es en o dentro de la escala nanométrica en al menos una dimensión espacial; b) Es más pequeño o más grande que la nanoescala en todas las dimensiones espaciales y exhibe uno o más fenómenos a nanoescala.
Colombia: Guía Técnica Colombiana ISO/TC229/GTC1	Material con cualquier dimensión exterior en la nanoescala o que tiene una estructura interna o estructura de la superficie en la nanoescala. Este término genérico incluye nano-objetos y material nano estructurado. Se incluyen tres categorías principales, los de origen natural como productos de condensación, los inducidos por el hombre, y los artificiales o manufacturados.
Reino Unido: The Royal Society & The Royal Academy of Engineering	Materiales estructurados con al menos una dimensión menor que 100 nm o que tienen una dimensión en la nanoescala (y se extienden en las otras dos dimensiones) o capas, como una fina película o recubrimiento superficial. Los materiales a nanoescala en dos dimensiones (y ampliados en una dimensión) incluyen nanocables y nanotubos. Los materiales a escala nanométrica en tres dimensiones son nanopartículas, al igual que los materiales nanocristalinos formados por granos de tamaño nanométrico.

Fuente: Medicina y Seguridad del Trabajo, 2018



2.2.5.1. Clasificación de los Nanomateriales

Según lo expresado por (INSHT, 2015)

Existe una clasificación propuesta en el Documento del Trabajo de la Comisión Europea SWD.

- **Nanomateriales Inorgánicos y no metálicos:** Son óxidos de elementos no metálicos (...) uno de los materiales de tamaño nanométrico de este tipo más producidos es la sílice sin forma y sintética que presenta antideslizamiento y también cuenta con una elevada resistencia a la abrasión y al rayado.
- **Metales y aleaciones:** Cuentan con propiedades ópticas, fotoeléctricas, fototérmicas, antimicrobianas y una actividad catalítica elevada.
- **Nanomateriales con base de carbono:** Se tiene como nanomateriales a los fullerenos, el grafeno, nanotubos de carbono, nanofibras de carbono y el negro de humo.
- **Nanopolímeros:** Partículas poliméricas que presentan diferentes dimensiones en el rango de la nanoescala. Estos tienen una alta superficie específica y sus propiedades pueden cambiar en función a las condiciones ambientales en ciertos tipos de Nanopolímeros.
- **Puntos Cuánticos:** Son conocidos como nanocristales con dimensiones de 2-10 nm. Estos nanomateriales son semiconductores y cuentan con propiedades catalíticas, ópticas, magnéticas, electrónicas.
- **Nanoarcillas:** Estos materiales se encuentran naturalmente o son sintetizados con el fin de que puedan adquirir propiedades específicas. Cuentan con propiedades de resistencia mecánica a la vez que dan un efecto de barrera frente al oxígeno y la humedad.

2.2.5.2. Características físico-químicas de los nanomateriales

Al analizar los resultados y según la opinión de (Lizarazo Salcedo, González Jiménez, Arias Portela, & Guarguati Ariza, 2018): “Son de fase cristalina, potencial redox, fotocatalisis, potencial para la formación de radicales, solubilidad en agua, coeficiente de partición octanol/agua.”

2.2.6. Nanosílice

(Leiva Villacorta, Aguiar Moya, Villegas Villegas, Salazar Delgado, & Loría Salazar, 2014) en su investigación *Nano-materiales en el desempeño del Asfalto* afirma lo siguiente: Es una nanopartícula con una dimensión de 12 nm por cada partícula, con un punto de fusión mayor a 1600 °C.



Según lo expresado por (Dávila, Da Costa, & Duarte, 2013) son partículas nanométricas de SiO₂ amorfas e insolubles en el agua que se comercializa en forma líquida y se mezcla con otros compuestos para que su transporte sea más sencillo y se pueda mejorar su trabajabilidad; al diluirla en agua se denomina sílice coloidal.

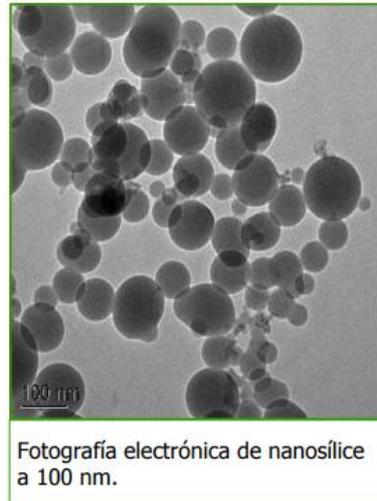


Figura 8: Nanosílice

Fuente: Cognoscible Technologies.

Al analizar los resultados y según la opinión de (Jal, Sudarshan, Saha, Patel, & Mishra, 2004) La sílice es uno de los compuestos del ácido silícico, conformado de tetraedros SiO₄ interconectados y con fórmula general SiO₂. En la naturaleza existe como cuarzo. La nanosílice naturalmente es cristalina, mientras que la obtenida sintéticamente es amorfa. La sílice utilizada para aplicaciones químicas se sintetiza partir de soluciones de silicato o a partir de silanos reactivos.

2.2.6.1. Producción de Nanosílice

Según lo expresado por (Galeote Moreno, 2012) La síntesis de nanosílice para comercializarla implica un complejo proceso que, aunque da un producto de gran pureza como resultado de la sintetización, siempre a un elevado coste económico.

El método principal para la producción de nanosílice es el proceso conocido como “sol-gel”. Este proceso implica formar una suspensión de estado coloidal (sol) a través de la cual se llega a producir una red en una fase líquida. Las materias primas (silicato de sodio y organometálicos) son utilizadas generalmente en un disolvente, modificando su pH y causando su precipitación.



El gel obtenido puede ser secado y tratado o también mezclado con distintos agentes estabilizantes con los que se puedan obtener un óptimo concentrado para el uso industrial.

Al analizar los resultados y según la opinión de (Jal, Sudarshan, Saha, Patel, & Mishra, 2004) Mientras se da la síntesis de sílice mediante el proceso de sol-gel condicionado ciertos factores como la restricción del incremento del gel, la sílice precipita. En dicho caso deben incluirse una solución coagulada y precipitada de la sílice.

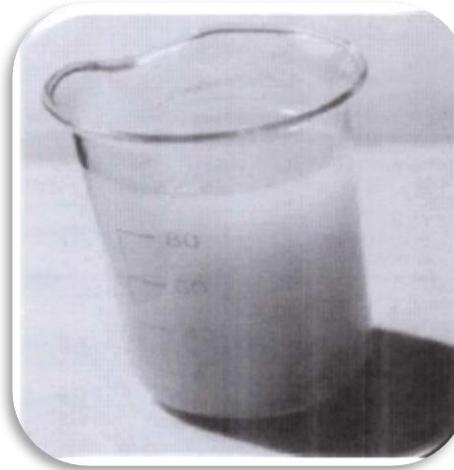


Figura 9: Aspecto de la Nanosílice Líquida

Fuente: Galeote Moreno, Eduardo.

2.2.6.2. Propiedades de la Nanosílice

Según (Ulmen S.A., 2016)

➤ **Propiedades Físicas (Ficha Técnica GAIA Nanosílice)**

Aspecto	: Líquido Levemente viscoso.
Color	: Blanco
Densidad	: $1,032 \pm 0,004$ g/mL
Ph	: 5 ± 1
Viscosidad	: 14 ± 1 (s) (C. Ford N°4)

(Rodríguez Cheda, 2012) en su investigación *Nuevos Materiales y Sistemas para la Ejecución* afirma lo siguiente:

➤ **Otras propiedades de la Nanosílice.**

- Gran poder plastificante y reductor de agua.
- Incrementa la resistencia inicial y final.



- Al adicionarlo al hormigón, la permeabilidad es nula.
- Evita los retrasos en el proceso de fraguado.
- Es ideal para la producción de hormigón Fast Track.
- Disminuye la excesiva exudación y la segregación.
- Evita la formación de cangrejas.
- Produce un acabado y textura de mejor calidad en el hormigón.

2.2.6.3. Aplicaciones de la Nanosílice

Según (Molina Villar & Chara Surco, 2017)

- Hormigón prefabricado, pretensado, armado y pos tensado.
- Hormigón Fast Track.
- Hormigón de Altas Prestaciones (AHR).
- Hormigón ligero de baja densidad.

2.2.7. Mezcla Asfáltica

Se define como una combinación de agregados minerales y un ligante asfáltico. Usualmente son elaboradas en plantas mezcladoras, y en algunos casos se podrán fabricar in situ. (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

2.2.7.1. Tipos de Mezclas Asfálticas

- **Mezclas asfálticas en frío:**

Al analizar los resultados de los estudios previos encontramos que: “Presentan agregados pétreos con granulometría mal gradada, de tamaño de partículas sólidas predominantemente gruesas, mezclados con una emulsión asfáltica del tipo CRM, éstas pueden ser extendidas y compactadas a temperatura ambiente. Presentan un alto contenido de vacíos, lo cual las caracteriza.” (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

- **Mezclas asfálticas en caliente**

Según (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015) en su libro dice que es una mezcla similar a las MAF; la diferencia radica en que este tipo de mezcla emplea como ligante cemento asfáltico (generalmente del tipo CA 60-70 o CA 40-50). Adicionalmente estas mezclas se fabrican, extienden y compactan a temperaturas elevadas.



Según lo expresado por (Padilla Rodríguez, 2004) señala que estas mezclas son el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y dice que una mezcla asfáltica en caliente es la combinación de materiales pétreos incluyendo el polvo mineral o filler, un ligante hidrocarbonado y eventualmente aditivos, con el fin de que todas las partículas del agregado mineral queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Para su fabricación se calienta el ligante y los agregados a excepción del polvo mineral o filler y su puesta en obra se realiza superando la temperatura ambiente.

Estas mezclas se aplican en la construcción de carreteras, vías aeroportuarias y urbanas, y también son usadas tanto para carpetas de rodadura de carreteras como para las capas inferiores de las mismas. Existen otros subtipos en esta familia de mezclas que son poseedoras de características distintas. Se elaboran con asfaltos, pero en ocasiones se opta por utilizar los asfaltos modificados, las proporciones del ligante varían entre el 3% a 6% de asfalto respecto al volumen de los áridos.

2.2.8. Diseño de la Mezcla Asfáltica en Caliente (Método MARSHALL)

Al analizar los resultados y según la opinión de (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004) el método original de Marshall únicamente puede ser aplicado en mezclas asfálticas en caliente las cuales cuenten con agregados minerales de tamaño máximo de 25 mm (1") o menos. El método modificado fue desarrollado para tamaños máximos por encima de los 38 mm (1.5"). Es utilizado para los diseños en laboratorio y control de las mezclas asfálticas en caliente de gradaciones densas en campo.

Se emplean muestras de prueba estándar con una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro para el método Marshall. Su elaboración consta de un procedimiento específico de calentamiento, mezclado y compactación de las mezclas de asfalto-agregado (ASTM D1559). El procedimiento para el diseño de mezclas asfálticas, consta de dos aspectos principales, que son el análisis de la densidad y vacíos así como la prueba de estabilidad y flujo de las muestras compactadas.



2.2.9. Ensayos para los agregados finos

2.2.9.1. Método de Ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino (MTC E 114)

Según lo expresado por (MTC, 2016) éste ensayo tiene como objetivo mostrar, en condiciones normales, la proporción relativa de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en material granular y fino pasantes por el tamiz N°4 (4,75mm). El término “equivalente de arena”, indica que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son el producto de la mezcla de partículas deseables de grano grueso, arenas y habitualmente arcillas o finos plásticos y filler (polvo mineral), los cuales son indeseables.

Este método de prueba da un valor experimental a la finura, carácter y cantidad relativa del material arcilloso que está presente en la muestra de ensayo.

Puede ser especificado un valor mínimo correspondiente al equivalente de arena para dar un límite a la cantidad permitida para los finos arcillosos encontrados en los agregados.

2.2.9.2. Análisis Granulométrico de agregados Finos y Gruesos (MTC E 204)

Según (MTC, 2016) la finalidad de este ensayo es determinar la distribución de los agregados gruesos y finos, en base al tamaño de sus partículas, a través del uso de una serie de tamices ordenados por el tamaño de sus aberturas cuadradas en una muestra seca de peso conocido.

Este ensayo es aplicado en la determinación de la gradación de materiales propuestos como son los agregados... Los resultados obtenidos, posteriormente son utilizados para determinar si se cumple o no la distribución de las partículas según su tamaño con los requisitos exigidos por las especificaciones técnicas propias de obra y también para proporcionar la información necesaria para realizar los controles en la producción de los agregados.



Figura 10: Tamiz para ensayo granulométrico.

Fuente: Phoenix Recycling.



Para la gradación de este ensayo se utiliza la tabla 423-03 del Manual de Carreteras (EG - 2013).

Tabla 4

Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).

Tabla 423-03

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

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013.

2.2.9.3. Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos (MTC E 205)

Según (MTC, 2016) la finalidad de este ensayo es la determinación de los pesos específicos secos, pesos específicos aparentes, pesos específicos saturados superficialmente secos y la absorción del agregado fino posterior a las 24 horas de inmersión en agua.

No aplica para agregados ligeros debido a que, al sumergir dichos agregados en agua por un periodo de 24 horas, no se garantiza la saturación completa de los poros, que es el principal requisito para que la aplicación del ensayo sea eficiente.

2.2.9.4. Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio (MTC E 209)

Según lo expresado por (MTC, 2016) el objetivo de este ensayo es la determinación de la resistencia a la disgregación de los agregados, a través de la acción de una solución saturada de sulfato de magnesio o sodio.

Este método, es una medida a la disgregación de los agregados finos a través de la acción de una solución saturada de sulfato de magnesio o sodio, por un periodo no menor a las 16 horas ni mayor a las 18 horas, procurando que la muestra sea totalmente cubierta por las soluciones.



2.2.10. Ensayos para los agregados gruesos

2.2.10.1. Peso específico y Absorción de Agregados Gruesos (MTC E 206)

Según (MTC, 2016) la finalidad de este ensayo es la determinación de los pesos específicos secos, pesos específicos aparentes, pesos específicos saturados superficialmente secos y la absorción del agregado grueso posterior a las 24 horas de inmersión en agua... Este método no aplica para los agregados ligeros.

2.2.10.2. Abrasión de los Ángeles (LA.) al Desgaste de los agregados de Tamaños Menores de 37.5 mm (1 ½") (MTC E 207)

Al analizar los resultados de los estudios previos encontramos que según (MTC, 2016) la finalidad de este ensayo es la determinación de la resistencia al desgaste de los agregados de tamaños inferiores a 37.5 mm (1 ½") usando la Máquina de Abrasión de los Ángeles.

Este método es una medida del desgaste de los agregados gruesos con gradaciones normalizadas que son el resultado de una serie de acciones, incluidas la abrasión o desgaste, el impacto y la trituración del agregado pétreo, todo ello al interior de un tambor de acero que se encuentra en rotación conteniendo un específico número de esferas o billas de acero. La cantidad de las esferas depende de la gradación correspondiente a la muestra a ensayar.



Figura 11: Máquina de los Ángeles.

Fuente: UTEST Equipo para ensayos en materiales, 2018.

2.2.10.3. Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio (MTC E 209)

Según lo expresado por (MTC, 2016) el objetivo de este ensayo es la determinación de la resistencia a la disgregación de los agregados, a través de la acción de una solución saturada de sulfato de magnesio o sodio.

Este método, es una medida a la disgregación de los agregados finos a través de la acción de una solución saturada de sulfato de magnesio o sodio, por un periodo no menor a las 16 horas ni mayor a las 18 horas, procurando que la muestra sea totalmente cubierta por las soluciones.



2.2.10.4. Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en el Agregado Grueso (MTC E 210)

Según (MTC, 2016) la finalidad este ensayo es la determinar el porcentaje, en masa, de una muestra de agregado grueso contenida de partículas fracturadas, las cuales reúnen requerimientos establecidos en el reglamento.

Según la norma, es considerada “una cara fracturada” únicamente si tiene un proyectada un área por los menos igual de larga al cuarto de la máxima área proyectada (área transversal- sección máxima) de la partícula y si esta cara tiene el borde claramente definido, excluyendo quiebres o picaduras pequeñas.

Partícula fracturada, n.- se la considera así cuando una partícula de agregado al menos tiene una mínimo cantidad de caras fracturadas específicas (usualmente una o dos).

2.2.10.5. Índice de Aplanamiento y Alargamiento de los Agregados para Carreteras (MTC E 221)

Según (MTC, 2016) la finalidad de este ensayo es determinar el índice de aplanamiento y de alargamiento de los agregados minerales a emplear en la construcción de carreteras.

Este método es aplicable a los agregados cuyo origen sea natural o artificial, esto incluye a los agregados ligeros y no se aplica a las partículas cuyo tamaño sea inferior a los 6.3mm (1/4”) o superior de 63mm (2 1/2”).

Al porcentaje en peso de una fracción de agregado grueso, cuyas partículas que la forman, tienen un espesor de una magnitud menor a los 3/5 del promedio de sus dimensiones, es definido como índice de aplanamiento.

Al porcentaje en peso de una fracción de agregado grueso, cuyas partículas que la forman, tienen una longitud de una magnitud mayor a los 9/5 del promedio de sus dimensiones, es definido como índice de alargamiento.

2.2.11. Ensayos para el Cemento Asfáltico

2.2.11.1. Penetración de los Materiales Bituminosos

La finalidad de este ensayo la determinación de la penetración permitida por los bitúmenes sólidos y semisólidos.

El ensayo de penetración se emplea como una medida de consistencia. Valores altos de penetración indican una consistencia más suave. (MTC, 2016)



2.2.12. Ensayos para Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

2.2.12.1. Ensayo para estabilidad y flujo Marshall

Al analizar los resultados y según la opinión de (Cáceres Morales, 2007): “La estabilidad del bitumen, es la capacidad que tiene este para poder resistir los efectos de desplazamiento y la deformación producidas por las cargas del tránsito.”

Para acomodar de forma correcta las cargas esperadas del tránsito, se necesita que la estabilidad sea lo suficientemente alta, mas no superar la exigencia de las condiciones de tránsito. Un pavimento muy rígido es consecuencia de obtener valores elevados de estabilidad en la mezcla asfáltica; por ende, la durabilidad es inferior a la deseada.

Tanto la cohesión como la fricción interna, son condicionantes en la estabilidad de una mezcla asfáltica. Dado que las características de los agregados como son la textura superficial y forma, están relacionadas con la fricción interna de sus partículas y que la cohesión es el resultado de que el bitumen sea capaz de ligar, un grado adecuado de estas propiedades de la mezcla, evitan el desplazamiento entre las partículas de los agregados, esto producido por las cargas que ejerce el tráfico sobre el pavimento.

Con base en la misma forma, la estabilidad de la mezcla será más alta mientras que las partículas del agregado tengan una forma más angular y su textura superficial sea más áspera.

El flujo representa la deformación del espécimen de mezcla asfáltica al disminuir su diámetro vertical producido por la carga aplicada al mismo. Esta deformación se mide en centésimas de pulgada.

Un pavimento en servicio, se considera demasiado rígido y frágil cuando los valores de estabilidad son muy elevados y los de flujo muy bajos y demasiado plástico cuando los valores de flujo son muy elevados, esto produce que los pavimentos tiendan a deformarse con facilidad al ser afectados por las cargas del tránsito.

Para poder realizar la medición de los valores tanto de la estabilidad como el flujo de una mezcla asfáltica, es necesario someter a las briquetas a la prueba Marshall, dado que nos servirá para medir la resistencia que tienen estos especímenes a la deformación producida por las cargas de tránsito

A continuación, se presenta una reseña breve, explicando de forma corta el proceso que se sigue en la prueba Marshall.

Según lo expresado por (Garnicia, Delgado, & Gomez, 2004)



1. El ensayo para determinar los valores de estabilidad y flujo; trata de someter a baño María a las briquetas de mezcla asfáltica a una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) por un periodo de 30 a 40 minutos previos a la prueba.
2. El espécimen de mezcla asfáltica será removido del baño María secando cuidadosamente su superficie. Después de colocando y centrando el espécimen en la mordaza inferior, se aplicará la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga.
3. Luego la carga de prueba es aplicada a cada espécimen a una constante deformación de 51mm (5”) por minuto, hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen, deberá ser registrada como el valor de estabilidad Marshall.
4. Al realizar la prueba de estabilidad, si se usa un equipo que no sea de registro de datos automático, se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía; y cuando la carga empiece a disminuir, se tendrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial, expresado en unidades de 0.25 mm (1/100”), será el valor del flujo Marshall.

2.2.12.2. Ensayo de tracción indirecta (NLT-346/90)

Al analizar los resultados de los estudios previos y según la opinión de (Garrote Villar, 2006): El ensayo de tracción indirecta, destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper.

En la actualidad es una prueba utilizada ampliamente para realizar la medición de la capacidad que tienen las mezclas bituminosas de resistir a los esfuerzos de tracción. El proceso de cómo se realiza este ensayo se encuentra especificado en la norma NLT-346/90 “Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas”.

Esta prueba trata de someter el espécimen cilíndrico de mezcla asfáltica a compresión diametral, similar a la que se encuentra definida en la prueba Marshall, con la diferencia de que la carga aplicada uniformemente es únicamente a lo largo de sus dos generatrices opuestas logrando alcanzar la rotura diametral vertical de la briquea.

Los esfuerzos de tracción que son relativamente distribuidos de manera uniforme en el diámetro del plano vertical de carga, son provocados por la configuración de carga previamente indicada.

Este tipo de esfuerzo agota al espécimen desencadenando una rotura en su plano diametral.
(Moreno Rubio, 2005)

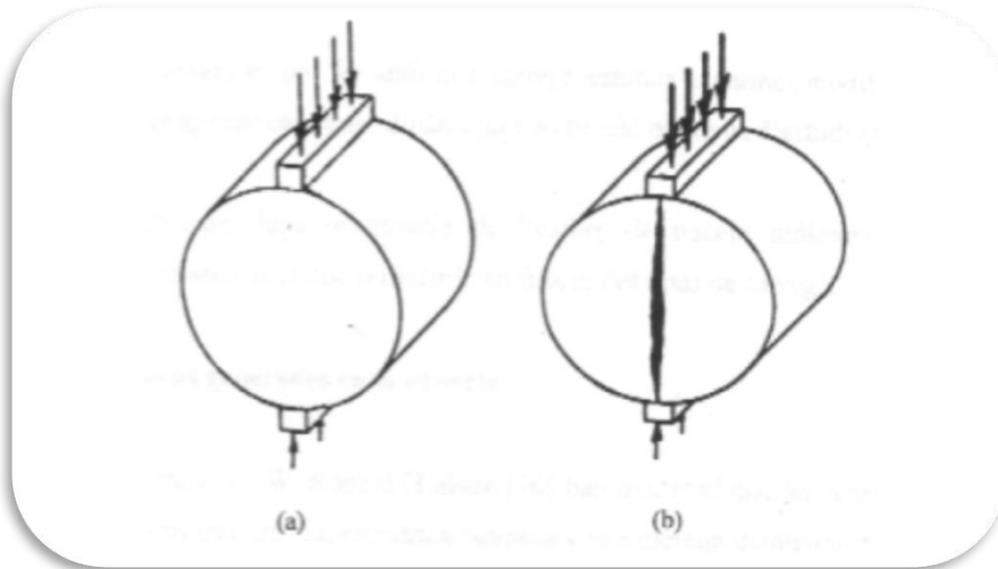


Figura 12: (a) Configuración de la carga y (b) rotura del ensayo de tracción indirecta

Fuente: Garrote, 2006.

2.2.12.3. Parámetros Volumétricos de mezclas asfálticas

Según (Delgado, Gómez, & Garnica, 2019) Para la selección del óptimo contenido de asfalto en una mezcla bituminosa compactada, es fundamental tomar en consideración sus propiedades volumétricas. Entre estas, sus parámetros de mayor importancia son; vacíos llenados con asfalto (VFA), vacíos en el agregado mineral (VMA), los vacíos de aire (V_a) y contenido de asfalto efectivo (P_{be}), dichos parámetros indican el funcionamiento probable de la mezcla asfáltica.

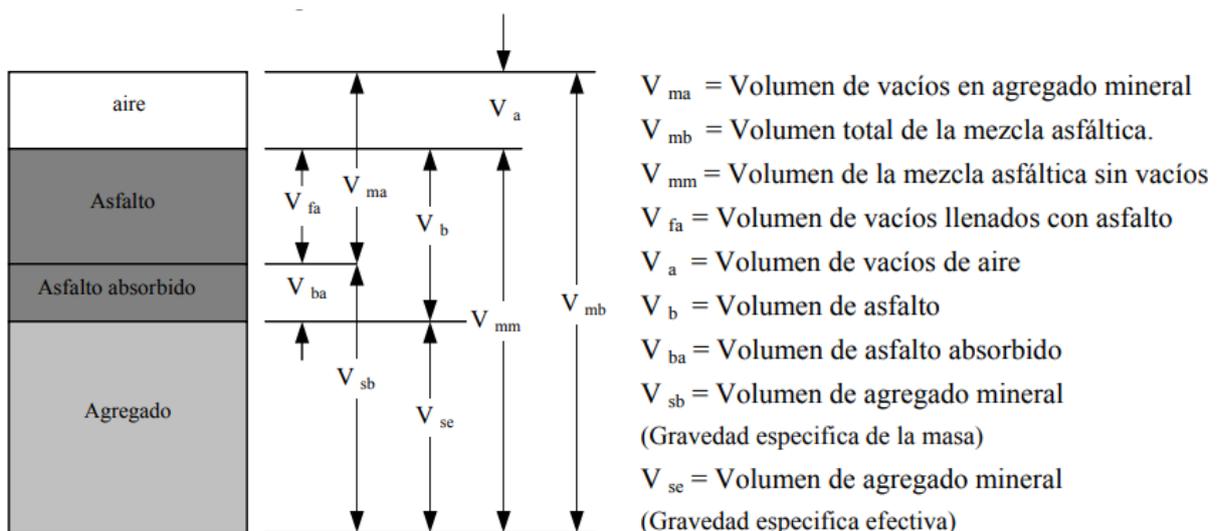


Figura 13: Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica compactada.

Fuente: Diseño de mezclas asfálticas con la metodología Superpave, 2019



Según lo expresado por (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004) Gracias a la porosidad de los agregados, es posible que estos absorban asfalto y agua a distintos grados. Debido a esto hay una variación entre cada agregado en el cociente que indica la absorción entre el asfalto y el agua.

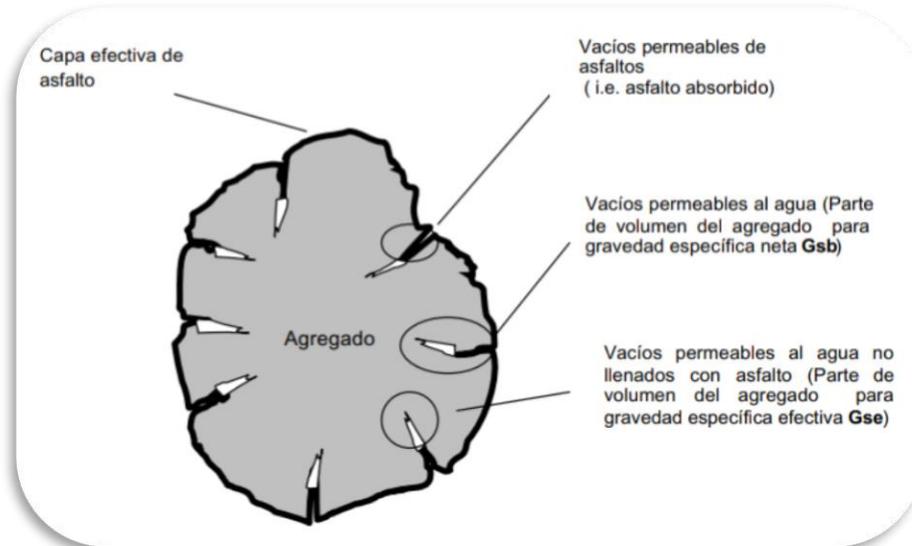


Figura 14: Parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.

Fuente: Diseño de mezclas asfálticas con la metodología Superpave, 2019

Para hallar los parámetros volumétricos de una mezcla asfáltica, se necesita lo siguiente:

✚ Gravedad específica Bulk del agregado

Según (Instituto Nacional de Vías, 2007) La relación entre la masa en estado seco (o el peso seco en el aire) de una unidad de volumen de agregado, incluyendo los vacíos permeables e impermeables, y la masa de un igual volumen de agua, ambos a la misma temperatura establecida. Su valor es adimensional.

Según (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}}$$

Donde:

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

P_1, P_2, P_N = Porcentajes individuales por masa de agregado.

G_1, G_2, G_N = Gravedad específica neta individual del agregado.



✚ Gravedad específica efectiva del agregado

Cuando se basa en la gravedad específica máxima de una mezcla de pavimento, G_{mm} , la gravedad específica efectiva del agregado, G_{se} , incluye todos los espacios de vacíos en las partículas del agregado, excepto aquellos que absorben el asfalto. G_{se} se determina usando:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se} = gravedad específica efectiva del agregado.

G_{mm} = gravedad específica máxima (ASTM D 2041/AASHTO T 209) de mezcla de pavimento (sin vacíos de aire).

P_{mm} = porcentaje de masa del total de la mezcla suelta = 100

P_b = contenido de asfalto con el cual ASTM D 2041/AASHTO T 209 desarrolló el ensayo; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla

G_b = gravedad específica del asfalto

✚ Gravedad específica teórica máxima

Hallar la gravedad teórica máxima de la mezcla asfáltica, posiblemente sea el paso más importante para determinar los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica, debido a que el cálculo del volumen de vacíos es la proporción que existe entre el G_{mb} y el G_{mm} .

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

Donde:

G_{mm} = gravedad específica teórica máxima de las muestras

$G_{sa\text{asfalto}}$ = Gravedad específica aparente del asfalto.

A = promedio entre la Gravedad específica Bulk y la Gravedad específica aparente de agregados gruesos.

B = promedio entre la Gravedad específica Bulk y la Gravedad específica aparente de agregados finos.

C = gravedad específica del filler.



Para determinar el comportamiento de una mezcla asfáltica, se debe tomar en cuenta las proporciones volumétricas de todos los componentes de la mezcla asfáltica, tales como el asfalto y los agregados, teniendo finalmente los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.

Vacíos en el Agregado Mineral

Son los vacíos que existen entre las partículas que conforman los agregados dentro de una mezcla bituminosa compactada, estos incluyen a los vacíos de aire y el contenido efectivo del asfalto, todo ello se expresa finalmente en un porcentaje respecto al volumen total de la mezcla asfáltica.

$$VMA = \left(1 - \frac{G_{mb}(1-P_b)}{G_{sb}} \right) \times 100$$

Donde:

VMA = vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto)

Gsb = gravedad específica neta de la combinación de agregados

Gmb = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D 1188 O D 2726/AASHTO T 166)

Pb = contenido de asfalto, expresado en porcentaje respecto al total de la masa de la mezcla asfáltica

Vacíos de totales de aire en la Mezcla Asfáltica

Se refiere a los espacios de aire de una mezcla asfáltica que existen entre las partículas de los agregados. (Garnica, Delgado, & Sandoval, 2005)

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

Donde:

VTM = vacíos totales de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

Gmm = gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica

Gmb = gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica compactada



✚ Vacíos llenos de asfalto en la Mezcla Asfáltica

Se refiere a los vacíos de los agregados minerales, que son llenados u ocupados por el asfalto, sin incluir al asfalto absorbido. (Garnica, Delgado, & Sandoval, 2005)

$$VFA = \left(\frac{VMA - VTM}{VMA} \right) \times 100$$

Donde:

VFA = vacíos llenos de asfalto.

VMA = vacíos en el agregado mineral.

VTM = vacíos totales de aire en mezclas asfálticas compactadas.

✚ Porcentaje de Absorción del Asfalto

Al analizar los estudios previos y según la opinión de (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004) Éste es expresado como un porcentaje respecto a la masa total del agregado mineral, más que respecto de la masa total de la mezcla asfáltica.

$$P_{ba} = \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} \times G_b \times 100$$

Donde:

Pba = porcentaje de asfalto absorbido respecto a la masa del agregado

Gse = gravedad específica efectiva del agregado

Gsb = gravedad específica Bulk del agregado

Gb = gravedad específica del asfalto

✚ Porcentaje de Asfalto Efectivo

Según lo expresado por (Instituto Nacional de Vias, 2007) El resultado del cálculo del contenido de asfalto efectivo se expresa en un porcentaje respecto a la masa total de la mezcla asfáltica compactada de la siguiente manera:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} P_s}{100}$$



Donde:

P_{be} = contenido de asfalto efectivo, porcentaje respecto a la masa total de la mezcla asfáltica.

P_b = contenido de asfalto, porcentaje respecto a la masa total de la mezcla asfáltica

P_{ba} = asfalto absorbido, porcentaje respecto a la masa total del agregado

P_s = contenido de agregado, porcentaje respecto a la masa total de la mezcla asfáltica

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

Los valores de las propiedades físico-mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con nanosílice difieren de manera positiva, respecto a las de una mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

2.3.2. Sub Hipótesis

Sub Hipótesis 1: La mezcla asfáltica modificada con nanosílice presenta menores parámetros volumétricos que la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

Sub Hipótesis 2: La mezcla asfáltica modificada con nanosílice presenta un mayor valor de esfuerzo en el ensayo de estabilidad Marshall respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

Sub Hipótesis 3: La mezcla asfáltica modificada con nanosílice presenta un mayor nivel de deformación en el ensayo de flujo Marshall, respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

Sub Hipótesis 4: La mezcla asfáltica modificada con nanosílice presenta un valor inferior de esfuerzo en el ensayo de Tracción Indirecta respecto a la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.



2.4. Definición de Variables

2.4.1. Variables Independientes

Variable Independiente 1: Mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.- Combinación de ligante asfáltico y agregados minerales pétreos. Su indicador es peso en gr

Variable Independiente 2: Mezcla asfáltica modificada con nanosílice.- Combinación de ligante asfáltico y agregados minerales pétreos, modificado con nanosílice. Su indicador es peso en gr.

2.4.2. Variables Dependientes

Variable Dependiente: Propiedades Físico-Mecánicas.- Propiedades inherentes a la mezcla asfáltica. Sus indicadores son: % de vacíos, esfuerzo y deformación.

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 5
Cuadro de operacionalización de variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES				
VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
VARIABLE INDEPENDIENTE				
X1: Mezcla Asfáltica	Combinación de ligante asfáltico y agregados minerales pétreos	Mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28	Asfalto BETUTEC PG 70-28	Guías de observación de laboratorio
			Agregados minerales	
			Filler	
		Mezcla asfáltica modificada con nanosílice	Asfalto BETUTEC PG 70-28	Guías de observación de laboratorio
			Agregados minerales	
			Filler	
			Nanosílice	
		VARIABLE DEPENDIENTE		
Y1: Propiedades Físico-Mecánicas	Propiedades inherentes a la mezcla asfáltica.	Parámetros volumétricos	<ul style="list-style-type: none"> • Vacíos totales de la mezcla • Absorción del Asfalto • Vacíos en el agregado mineral • Vacíos llenos de asfalto • Porcentaje de asfalto efectivo 	Guías de observación de laboratorio
		Estabilidad	Esfuerzo	
		Flujo	Deformación	
		Tracción indirecta	Esfuerzo	



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la Investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo. Se consideró así, ya que se sigue una serie de etapas con un orden determinado que se realizan consecuentemente y debido a que los datos son producto de mediciones que se representan mediante números (cantidades) y estos deben ser analizados para llegar a un resultado.

Según lo expresado por (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa es consecuente una de otra y no podemos eludir o saltar pasos... De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); las variables con medidas en un contexto determinado; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo con alcance correlacional; es decir que con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

También se considera descriptiva, ya que sus hipótesis realizan un pronóstico.

Se dice que es de alcance correlacional porque su finalidad es conocer la relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un concepto específico. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

3.1.3. Método de investigación

La investigación se basa en el método hipotético deductivo, ya que la hipótesis misma no se prueba, no se confirma, sino las consecuencias deducibles de ella.

(Behar Rivero, 2008) en su libro *Metodología de la Investigación* afirma lo siguiente:

“El método hipotético-deductivo (o de contrastación de hipótesis) 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

El diseño correspondiente a la investigación es de tipo experimental, debido a que se manipulan variables independientes respecto a otras dependientes; es un cuasi experimento, ya que implican grupos intactos, en éste caso se trabajará con todos los especímenes.

En la investigación se analizarán dos tipos de mezclas asfálticas en caliente, la mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28 y la mezcla asfáltica modificada con nanosílice, las variaciones también se reflejan en las variables dependientes, variando así sus propiedades físico mecánicas.

Al analizar los estudios previos y según la opinión de (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) los diseños cuasiexperimentales también manipulan deliberadamente, al menos una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, sólo que difieren de los experimentos “puros” en el grado de seguridad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. En los diseños cuasiexperimentales, los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están conformados antes del experimento: son grupos intactos.



3.2.2. Diseño de ingeniería

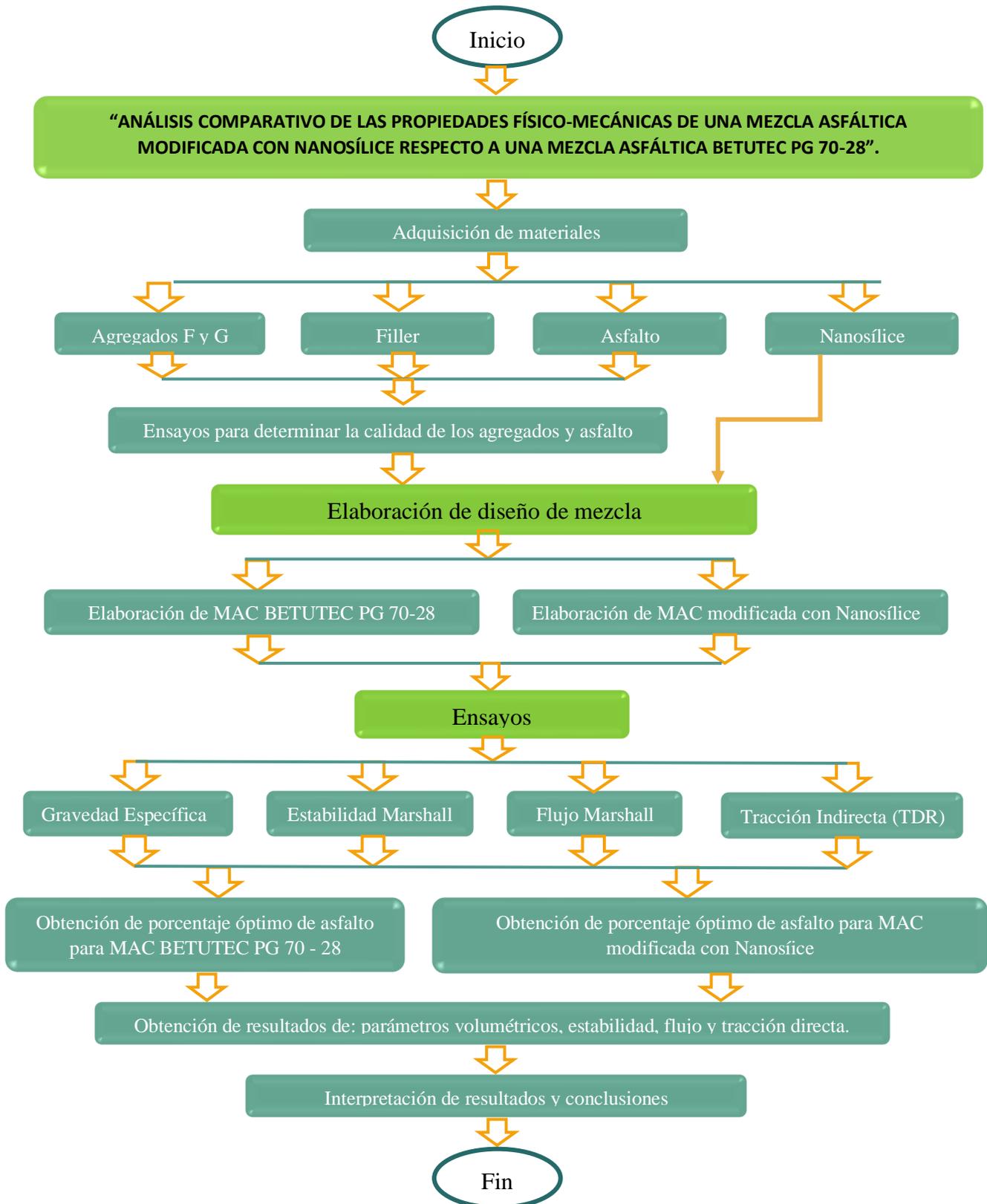


Figura 15: Flujograma del diseño de ingeniería



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población está constituida por especímenes de mezclas asfálticas en caliente que varían su composición, adicionando diferentes porcentajes de nanosílice respecto al peso total del ligante asfáltico.

En consecuencia, la población está compuesta por 6 variantes que tienen las siguientes características:

- Especímenes de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28.

Los especímenes están elaborados con los siguientes porcentajes de asfalto (4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5%) y agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.

- Especímenes de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 0.5% de Nanosílice respecto al peso del asfalto.

Los especímenes están elaborados con 0.5% de Nanosílice respecto al peso del asfalto, con el contenido óptimo de asfalto BETUTEC PG 70-28 y agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.

- Especímenes de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 1.5% de Nanosílice respecto al peso del asfalto.

Los especímenes están elaborados con 1.5% de Nanosílice respecto al peso del asfalto, con el contenido óptimo de asfalto BETUTEC PG 70-28 y agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.

- Especímenes de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 3.0% de Nanosílice respecto al peso del asfalto.

Los especímenes están elaborados con 3.0% de Nanosílice respecto al peso del asfalto, con el contenido óptimo de asfalto BETUTEC PG 70-28 y agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.

- Especímenes de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 4.5% de Nanosílice respecto al peso del asfalto.

Los especímenes están elaborados con 4.5% de Nanosílice respecto al peso del asfalto, con el contenido óptimo de asfalto BETUTEC PG 70-28 y agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.



- Especímenes de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 6.0% de Nanosílice respecto al peso del asfalto.

Los especímenes están elaborados con 6.0% de Nanosílice respecto al peso del asfalto, con el contenido óptimo de asfalto BETUTEC PG 70-28 y agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.

- Especímenes de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 7.5% de Nanosílice respecto al peso del asfalto.

Los especímenes están elaborados con 7.5% de Nanosílice respecto al peso del asfalto, con el contenido óptimo de asfalto BETUTEC PG 70-28 y agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

Para la cuantificación de la población utilizamos el requerimiento de diseño de mezclas asfálticas en caliente Marshall el cual exige como mínimo tres especímenes por porcentaje de asfalto, en nuestro caso para mayor seguridad fabricamos cuatro.

La población está dividida en seis variantes, los cuales están agrupados en función de los materiales que los componen, ensayos realizados y su dosificación porcentual:

Tabla 6
Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28

MAC BETUTEC PG 70-28							TOTAL ESPECÍMENES
% DE ASFALTO	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	
# DE ESPECÍMENES	4	4	4	4	4	4	24

Tabla 7
Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 0.5% de Nanosílice.

MAC BETUTEC PG 70-28 CON 0.5% DE NANOSÍLICE		TOTAL ESPECÍMENES
ENSAYOS	# DE ESPECÍMENES	
ESTABILIDAD MARSHALL	4	12
FLUJO MARSHALL	4	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE BRIQUETAS MAC	4	



Tabla 8

Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 1.5% de Nanosílíce.

MAC BETUTEC PG 70-28 CON 1.5% DE NANOSÍLICE		TOTAL ESPECÍMENES
ENSAYOS	# DE ESPECÍMENES	
ESTABILIDAD MARSHALL	4	12
FLUJO MARSHALL	4	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE BRIQUETAS MAC	4	

Tabla 9

Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 3.0% de Nanosílíce.

MAC BETUTEC PG 70-28 CON 3% DE NANOSÍLICE		TOTAL ESPECÍMENES
ENSAYOS	# DE ESPECÍMENES	
ESTABILIDAD MARSHALL	4	12
FLUJO MARSHALL	4	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE BRIQUETAS MAC	4	

Tabla 10

Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 4.5% de Nanosílíce.

MAC BETUTEC PG 70-28 CON 4.5% DE NANOSÍLICE		TOTAL ESPECÍMENES
ENSAYOS	# DE ESPECÍMENES	
ESTABILIDAD MARSHALL	4	12
FLUJO MARSHALL	4	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE BRIQUETAS MAC	4	

Tabla 11

Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 6.0% de Nanosílíce.

MAC BETUTEC PG 70-28 CON 6% DE NANOSÍLICE		TOTAL ESPECÍMENES
ENSAYOS	# DE ESPECÍMENES	
ESTABILIDAD MARSHALL	4	12
FLUJO MARSHALL	4	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE BRIQUETAS MAC	4	

Tabla 12

Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con 7.5% de Nanosílíce.

MAC BETUTEC PG 70-28 CON 7.5% DE NANOSÍLICE		TOTAL ESPECÍMENES
ENSAYOS	# DE ESPECÍMENES	
ESTABILIDAD MARSHALL	4	12
FLUJO MARSHALL	4	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE BRIQUETAS MAC	4	



Tabla 13
Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con el óptimo de asfalto del 5.4%

MAC BETUTEC PG 70-28 (% ÓPTIMO DE ASFALTO)		TOTAL ESPECÍMENES
ENSAYOS	% OPTIMO DE ASFALTO	
ESTABILIDAD MARSHALL	4	16
FLUJO MARSHALL	4	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE BRIQUETAS MAC	4	
TRACCIÓN INDIRECTA	4	

Tabla 14
Cuantificación de la población del tipo MAC BETUTEC PG 70-28 con el óptimo de nanosílíce del 6.36%

MAC BETUTEC PG 70-28 (% ÓPTIMO DE NANOSÍLICE)		TOTAL ESPECÍMENES
ENSAYOS	% OPTIMO DE NANOSÍLICE	
ESTABILIDAD MARSHALL	4	16
FLUJO MARSHALL	4	
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE BRIQUETAS MAC	4	
TRACCIÓN INDIRECTA	4	

Tabla 15
Cuantificación total de la población

TIPO DE POBLACIÓN	TOTAL ESPECÍMENES
MAC BETUTEC PG 70-28	24
MAC BETUTEC PG 70-28 CON 0.5% DE NANOSÍLICE	12
MAC BETUTEC PG 70-28 CON 1.5% DE NANOSÍLICE	12
MAC BETUTEC PG 70-28 CON 3.0% DE NANOSÍLICE	12
MAC BETUTEC PG 70-28 CON 4.5% DE NANOSÍLICE	12
MAC BETUTEC PG 70-28 CON 6.0% DE NANOSÍLICE	12
MAC BETUTEC PG 70-28 CON 7.5% DE NANOSÍLICE	12
MAC BETUTEC PG 70-28 (% ÓPTIMO DE ASFALTO)	16
MAC BETUTEC PG 70-28 (% ÓPTIMO DE NANOSÍLICE)	16
CUANTIFICACIÓN TOTAL DE LA POBLACIÓN	128

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra coincide con la población tanto en descripción como en cantidad, éstos serán los especímenes de mezclas asfálticas en caliente elaborados con agregados de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco con cementos asfálticos BETUTEC PG 70-28 y asfalto modificado con Nanosílíce, éstas muestras al igual que la población, se clasifican en 7 variantes.



- MAC fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28.
- MAC fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 0.5% de Nanoslice respecto al peso del ligante asfáltico.
- MAC fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 1.5% de Nanoslice respecto al peso del ligante asfáltico.
- MAC fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 3.0% de Nanoslice respecto al peso del ligante asfáltico.
- MAC fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 4.5% de Nanoslice respecto al peso del ligante asfáltico.
- MAC fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 6.0% de Nanoslice respecto al peso del ligante asfáltico.
- MAC fabricada con asfalto BETUTEC PG 70-28 modificado con 7.5% de Nanoslice respecto al peso del ligante asfáltico.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra se cuantifica de la misma manera que la población, ya que como se mencionó anteriormente coinciden no solo en descripción sino también en cantidad, es así que el total de 128 especímenes de la población serán evaluados y analizados.

3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo de esta investigación es de tipo no probabilístico.

Se aplica éste método, pues la selección de las muestras no se realiza bajo normas o fórmulas probabilísticas sino de forma empírica y de acuerdo al criterio de los investigadores y las características de la investigación.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

El criterio de evaluación de muestras de la investigación está basada en el diseño de mezclas asfálticas Marshall, la cual exige un número mínimo de muestras por cada porcentaje de asfalto, regidas por las normas del MTC Y ASTM.

Se evaluarán especímenes de 64mm (2.5 pulgadas) de espesor por 102mm (4 pulgadas) de diámetro, elaborados según el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para construcción de carreteras EG- 2013, de las cuales se estudiará los parámetros volumétricos, la estabilidad y flujo Marshall y la tracción indirecta.



Las muestras evaluadas, no deberán presentar imperfecciones tales como cangrejas, irregularidad de dimensiones y deberán tener un aspecto homogéneo de todos sus componentes.

3.3.3. Criterios de Inclusión

- Los elementos muestrales son elaborados en caliente.
- Elementos muestrales fabricados con agregados provienen de la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.
- Elementos muestrales fabricados con cemento asfáltico del tipo BETUTEC PG 70-28 adquirido en la planta de asfalto del Gobierno Regional Cusco.
- Elementos muestrales fabricados con Nanosílice proveniente de la empresa GAIA Nanosílice.
- Método de diseño Marshall para la elaboración de los elementos muestrales.
- Variación de los porcentajes 0.5, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 y 7.5% de peso de Nanosílice respecto al peso del ligante asfáltico en la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico del tipo BETUTEC PG 70-28.



3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos

Tabla 16

Guía de observación de Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

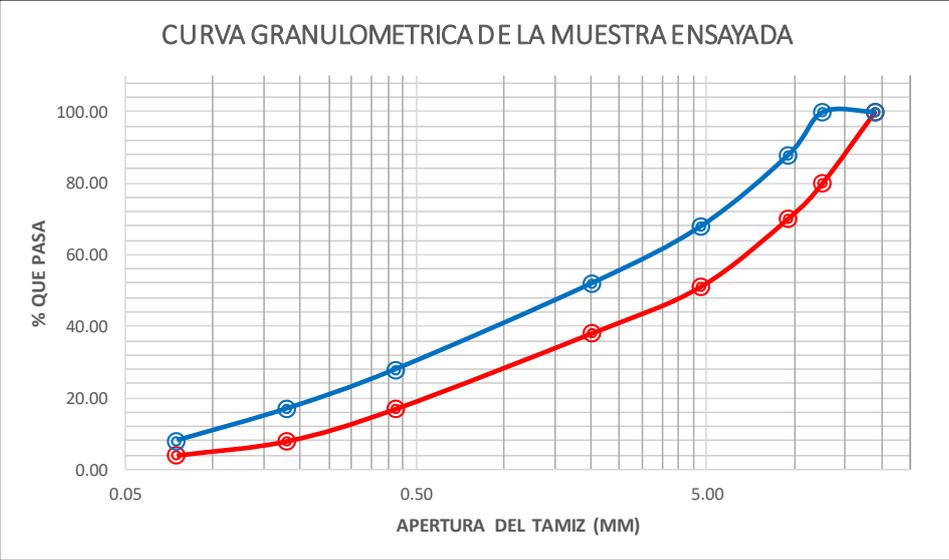
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)						
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 										
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEK PG 70-28”.									
TESISTAS:								FECHA:		
Laboratorio:										
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA										
Cantera:										
Ubicación:										
Material:										
Muestra:										
Gradación:	MAC 2									
DATOS DE LA MUESTRA										
TAMIZ	APERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO (CORREGIDO)	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA (%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	
3/4"	19.00							100 %	100 %	
1/2"	12.50							80 %	100 %	
3/8"	9.50							70 %	88 %	
#4	4.75							51 %	68 %	
#10	2.00							38 %	52 %	
#40	0.43							17 %	28 %	
#80	0.18							8 %	17 %	
#200	0.075							4 %	8 %	
Fondo	0.000									
TOTAL										
CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA ENSAYADA										
										



Tabla 17
Guía de observación de Combinación teórica de agregados.

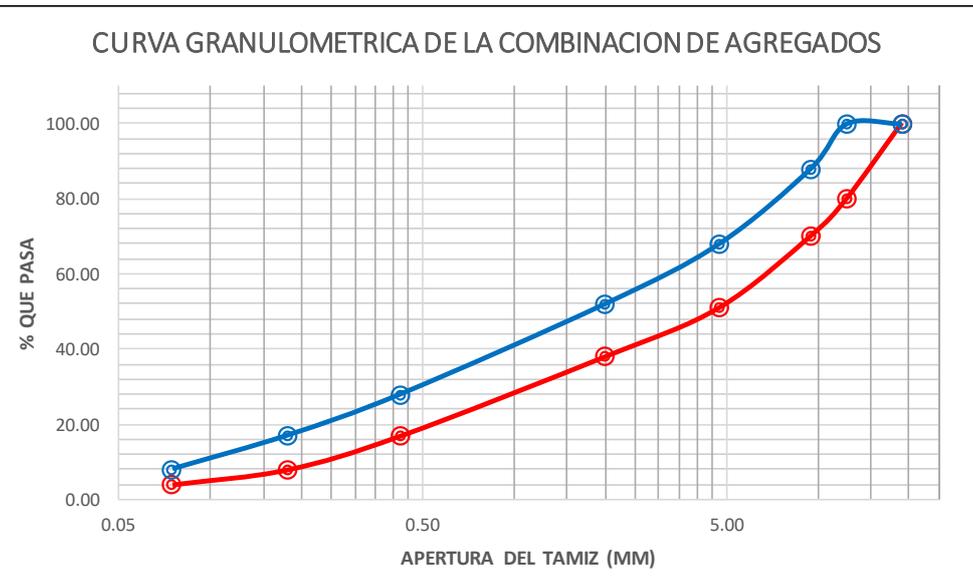
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 02		COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 							
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".						
TESISTAS:						FECHA:	
Laboratorio:							
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA							
Cantera:							
Ubicación:							
Material:							
Gradación:	MAC 2						
DATOS DE LA MUESTRA							
AGREGADOS		PORCENTAJES QUE PASAN			% RETENIDO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
		PIEDRA 1/2"	ARENA LAVADA	ARENA TRITURADA			
TAMIZ	APERTURA						
1"	25.00						
3/4"	19.00					100	100
1/2"	12.50					80	100
3/8"	9.50					70	88
#4	4.75					51	68
#10	2.00					38	52
#40	0.43					17	28
#80	0.18					8	17
#200	0.075					4	8
Fondo	0.000						
TOTAL							
CURVA GRANULOMETRICA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS							
							



Tabla 18

Guía de observación de gravedad específica y absorción de agregados finos.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 03		GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MTC E 205)			
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.				
TESISTAS:			FECHA:		
Laboratorio:					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:					
Ubicación:					
Material:					
Muestra:					
DATOS DE LA MUESTRA					
Descripción	Nom	1	2	3	PROMEDIO
Peso de muestra seca (gr)	A				
Peso del picnómetro mas agua (gr)	B				
Peso del picnómetro con muestra y lleno de agua (gr)	C				
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	D				
Peso de picnómetro (gr)					
Peso de picnómetro mas muestra gr)					
Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)	G_{sa}				
Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)	G_{sb}				
Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)	G_{SSsb}				
Absorción (%)	Abs				
RESULTADOS					
Resultados de Absorción (%)					
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%)	0.5% max				



Tabla 19

Guía de observación de peso específico y absorción de agregados gruesos

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 04		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E206)			
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.				
TESISTAS:			FECHA:		
Laboratorio:					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:					
Ubicación:					
Material:					
Muestra:					
DATOS DE LA MUESTRA					
Descripción	Nom	1	2	3	PROMEDIO
Peso en el aire de la muestra seca (gr)	P _{seco}				
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	P _{sss}				
Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergida (gr)					
Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)	G _{sa}				
Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)	G _{sb}				
Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)	G _{sss_b}				
Absorción (%)	Abs				
RESULTADOS					
Resultados de Absorción (%)					
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).		1% max			



Tabla 20

Guía de observación de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 05		ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS (MTC E 221)							
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.								
TESISTAS:						FECHA:			
Laboratorio:									
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									
Cantera:									
Ubicación:									
Material:									
Muestra:									
DATOS DE LA MUESTRA									
TAMIZ		TOTALES		PARTÍCULAS CHATAS			PARTÍCULAS ALARGADAS		
Pasa	Retiene	N° de piezas	Peso (gr)	N° de piezas	Peso (gr)	IAP fi(%)	N° de piezas	Peso (gr)	IAL fi(%)
1"	3/4"								
3/4"	1/2"								
1/2"	3/8"								
3/8"	1/4"								
Totales									
Contenido %									
Índice de aplanamiento de la fracción ensayada =									
Índice de alargamiento de la fracción ensayada =									
TOTAL =									



Tabla 21

Guía de observación de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas AG

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 06		MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO (MTC E 210)				
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 						
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.					
TESISTAS:					FECHA:	
Laboratorio:						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:						
Ubicación:						
Material:						
Muestra:						
DATOS DE LA MUESTRA						
MUESTRA CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	(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"					
3/8"	1/4"					
Fondo						
Totales						
Porcentaje con dos o mas caras fracturadas =						
MUESTRA CON DOS O MAS CARAS FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	(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"					
3/8"	1/4"					
Fondo						
Totales						
Porcentaje con dos o mas caras fracturadas =						



Tabla 22
Guía de observación de ensayo de abrasión de los Ángeles.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 07		ENSAYO DE ABRASION DE LOS ANGELES (MTC E 207)			
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.				
TESISTAS:			FECHA:		
Laboratorio:					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:					
Ubicación:					
Material:					
Muestra:					
DATOS DE LA MUESTRA					
		MASA EN gr			
MÉTODO		GRADACIONES			
		A	B	C	D
RETENIDO EN TAMIZ					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
N° 4					
N° 8					
Número de Esferas					
Peso Total					
Peso retenido en Tamiz N°10					
% de Desgaste					



Tabla 23

Guía de observación de elaboración de briquetas de mezcla asfáltica BETUTEC PG 70-28.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 08		BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28					
 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 							
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".						
TESISTAS:						FECHA:	
Laboratorio:							
DATOS DE LAS BRIQUETAS							
PESO APROX. POR BRIQUETA							
% DE ASFALTO							
CANTIDAD DE BRIQUETAS							
PESO TOTAL DE AGREGADO							
TAMIZ	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)
1/2"							
3/8"							
#4							
#10							
#40							
#80							
#200							
% FILLER (CEMENTO PORTLAND)							
PESO DE CEMENTO ASFÁLTICO							
PESO TOTAL DE BRIQUETA							



Tabla 24

Guía de observación de la elaboración de briquetas de mezcla asfáltica modificada.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 09		BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28 MODIFICADAS CON NANOSÍLICE					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 							
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.						
TESISTAS:						FECHA:	
Laboratorio:							
DATOS DE LAS BRIQUETAS							
PESO APROX. POR BRIQUETA							
% OPTIMO DE ASFALTO							
% DE NANOSÍLICE		0.50%	1.50%	3.00%	4.50%	6.00%	7.50%
CANTIDAD DE BRIQUETAS							
PESO TOTAL DE AGREGADO							
TAMIZ	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO (gr)
1/2"							
3/8"							
#4							
#10							
#40							
#80							
#200							
% FILLER (CEMENTO PORTLAND)							
PESO DE CEMENTO ASFÁLTICO							
PESO DE NANOSÍLICE							
PESO TOTAL DE BRIQUETA							



Tabla 25

Guía de observación de gravedad específica Bulk de briquetas de mezcla asfáltica compactadas.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 10			GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (ASTMD1188)						
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.								
TESISTAS:							FECHA:		
Laboratorio:									
% ASFALTO	ESPECIMEN	P _{SECO}	PESO SATURADO	PESO SSS	Gmb	PROMEDIO Gmb	DENSIDAD (gr/cm ³)	PROMEDIO DENSIDAD	
4.0%	B1								
	B2								
	B3								
	B4								
4.5%	B1								
	B2								
	B3								
	B4								
5.0%	B1								
	B2								
	B3								
	B4								
5.5%	B1								
	B2								
	B3								
	B4								
6.0%	B1								
	B2								
	B3								
	B4								
6.5%	B1								
	B2								
	B3								
	B4								



Tabla 26
Guía de observación de gravedad específica de briquetas de mezcla asfáltica modificada.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 11				GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS MODIFICADAS (ASTM D1188)					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.								
TESISTAS:							FECHA:		
Laboratorio:									
% ASFALTO ÓPTIMO	% NANOSÍLICE	ESPECIMEN	P _{SECO}	PESO SATURADO	PESO SSS	G _{mb}	PROMEDIO G _{mb}	DENSIDAD (gr/cm ³)	PROMEDIO DENSIDAD
	0.5%	BN1							
		BN2							
		BN3							
		BN4							
	1.5%	BN1							
		BN2							
		BN3							
		BN4							
	3.0%	BN1							
		BN2							
		BN3							
		BN4							
	4.5%	BN1							
		BN2							
		BN3							
		BN4							
	6.0%	BN1							
		BN2							
		BN3							
		BN4							
	7.5%	BN1							
		BN2							
		BN3							
		BN4							



Tabla 27

Guía de observación de Medidas Geométricas de briquetas MAC BETUTEC PG 70-28.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 12		MEDIDAS GEOMÉTRICAS DE BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70 - 28					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 							
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".						
TESISTAS:				FECHA:			
Laboratorio:							
% ASFALTO	ESPECIMEN	DIAMETROS (mm)				PROMEDIO	
		D1	D2	D3	D4		
4.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
4.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
5.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
5.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
6.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
6.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
% ASFALTO	ESPECIMEN	ALTURAS (mm)				PROMEDIO	VOLUMEN
		h1	h2	h3	h4		
4.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
4.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
5.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
5.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
6.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
6.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						



Tabla 28

Guía de observación de Medidas Geométricas de briquetas MAC modificadas con Nanosílice.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 13			MEDIDAS GEOMÉTRICAS DE BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADAS CON NANOSÍLICE					
		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".							
TESISTAS:						FECHA:		
Laboratorio:								
% ASFALTO ÓPTIMO	% NANOSÍLICE	ESPECIMEN	DIÁMETROS (mm)				PROMEDIO	
			D1	D2	D3	D4		
0.5%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
1.5%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
3.0%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
4.5%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
6.0%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
7.5%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
% ASFALTO ÓPTIMO	% NANOSÍLICE	ESPECIMEN	ALTURAS (mm)				PROMEDIO	VOLUMEN
			h1	h2	h3	h4		
0.5%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
1.5%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
3.0%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
4.5%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
6.0%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
7.5%		BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						



Tabla 29

Guía de observación de Ensayo de Parámetros volumétricos de MAC BETUTEC PG 70-28.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 14					PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70 - 28						
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 											
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA A ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA A ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".										
TESISTAS:								FECHA:			
Laboratorio:											
G _a (combinación Agregados) =											
G _b (combinación Agregados) =											
Promedio de G _a y G _b combinación =											
Pe filler - cemento) =											
G _a (asfalto) =											
% ASFALTO	ESPECIMEN	% FILLER	% COMBINADO	G _{mm}	PROMEDIO DENSIDAD	VTM	PROMEDIO VTM	VMA	PROM. VMA	VFA	PROM. VFA
4.0%	B1										
	B2										
	B3										
	B4										
4.5%	B1										
	B2										
	B3										
	B4										
5.0%	B1										
	B2										
	B3										
	B4										
5.5%	B1										
	B2										
	B3										
	B4										
6.0%	B1										
	B2										
	B3										
	B4										
6.5%	B1										
	B2										
	B3										
	B4										



Tabla 30

Guía de observación de Ensayo de Parámetros volumétricos de MAC modificada con Nanosílice.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 15						PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE						
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 												
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".											
TESTISTAS:											FECHA:	
Laboratorio:												
Gsa (combinacion Agregados) =												
Gsb (combinacion Agregados) =												
Promedio de Gsa y Gsb combinación =												
Pe filler - cemento) =												
Gsa(asfalto) =												
% ASFALTO ÓPTIMO	% NANOSÍLICE	% FILLER	% COMBINADO	ESPECIMEN	Gmm	PROMEDIO DENSIDAD	VTM	PROMEDIO VTM	VMA	PROM. VMA	VFA	PROM. VFA
0.5%												
1.5%												
3.0%												
4.5%												
6.0%												
7.5%												



Tabla 31

Guía de observación de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para MAC BETUTEC PG 70-28.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 16		ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS BETUTEC PG 70-28					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 							
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.						
TESISTAS:					FECHA:		
Laboratorio:							
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA							
% ASFALTO	ESPECIMEN	FLUJO (mm)	PROMEDIO	ESTABILIDAD (KN)	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD COREGIDA	PROMEDIO
4.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
4.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
5.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
5.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
6.0%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						
6.5%	B1						
	B2						
	B3						
	B4						



Tabla 32

Guía de observación de Ensayo de Estabilidad y Flujo Marshall para MAC modificadas con Nanosílice.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 17		ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON NANOSÍLICE						
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 								
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.							
TESISTAS:						FECHA:		
Laboratorio:								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA								
% ASFALTO ÓPTIMO	% NANOSÍLICE	ESPECIMEN	FLUJO (mm)	PROMEDIO	ESTABILIDAD (KN)	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD COREGIDA	PROMEDIO
	0.5%	BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
	1.5%	BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
	3.0%	BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
	4.5%	BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
	6.0%	BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						
	7.5%	BN1						
		BN2						
		BN3						
		BN4						



Tabla 33

Guía de observación de Parámetros Volumétricos - Contenido óptimo de asfalto.

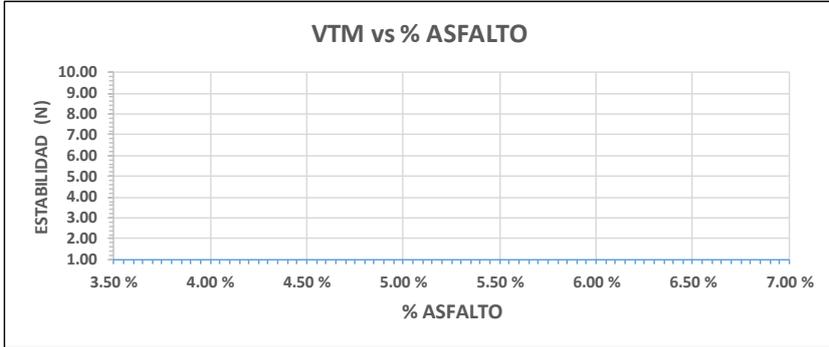
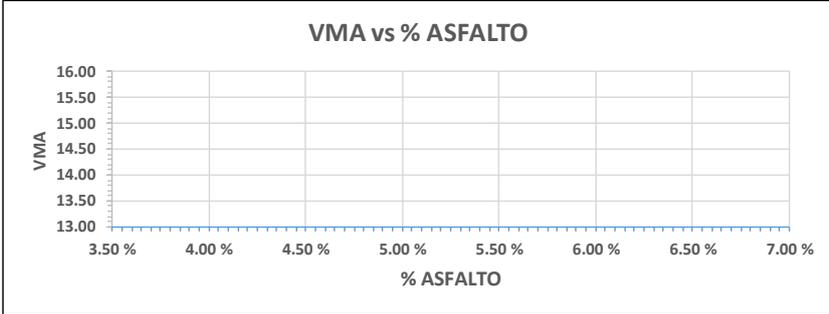
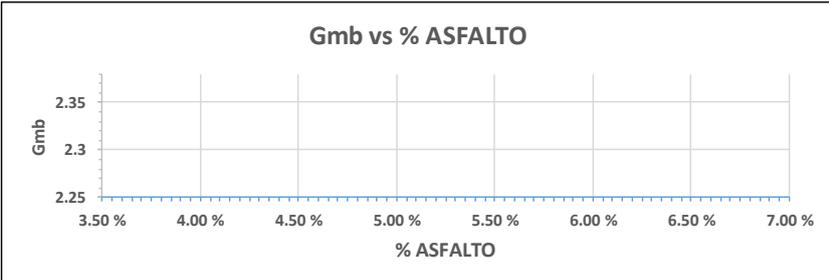
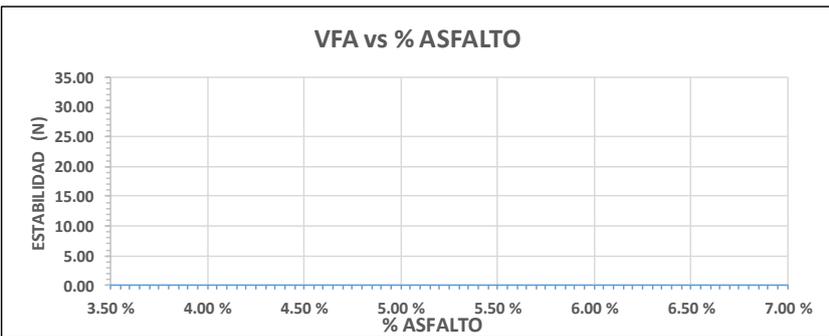
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 18		ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO - PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS	
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".		
TESISTAS:			FECHA:
Laboratorio:			
GRAFICOS PARA HALLAR EL % ÓPTIMO DE ASFALTO			
VTM vs % ASFALTO 			
VMA vs % ASFALTO 			
Gmb vs % ASFALTO 			
VFA vs % ASFALTO 			



Tabla 34

Guía de observación de Parámetros Volumétricos - Contenido óptimo de Nanosilice.

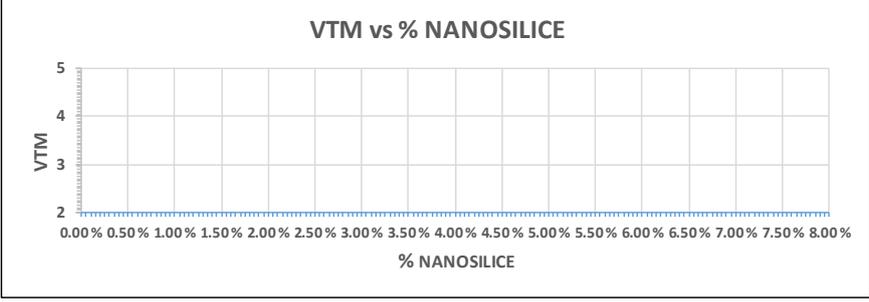
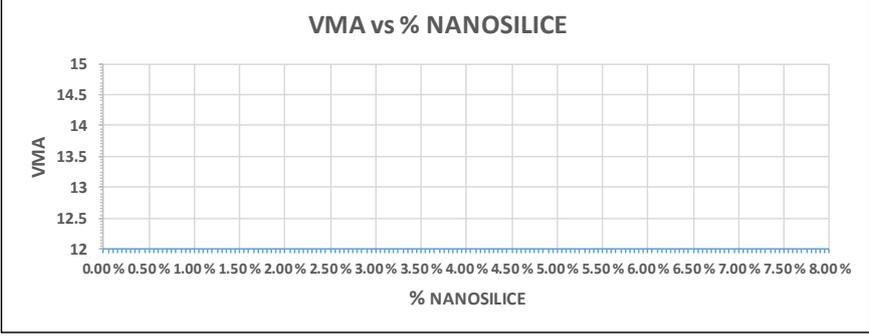
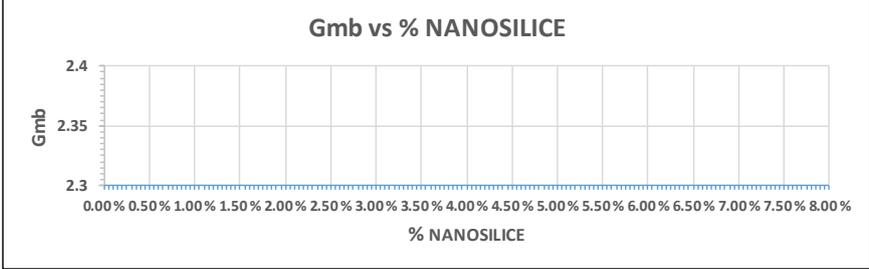
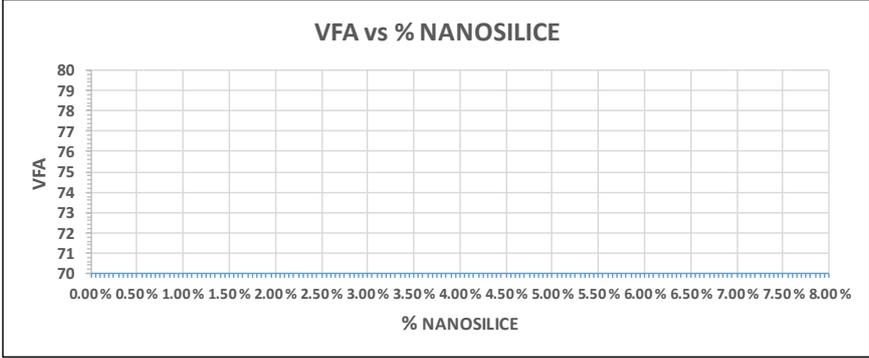
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 19		ÓPTIMO CONTENIDO DE NANOSILICE - PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS	
 <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".		
TESISTAS:		FECHA:	
Laboratorio:			
GRAFICOS PARA HALLAR EL % ÓPTIMO DE NANOSÍLICE			
<p>VTM vs % NANOSILICE</p> 			
<p>VMA vs % NANOSILICE</p> 			
<p>Gmb vs % NANOSILICE</p> 			
<p>VFA vs % NANOSILICE</p> 			



Tabla 35

Guía de observación Estabilidad y Flujo Marshall – Contenido óptimo de asfalto.

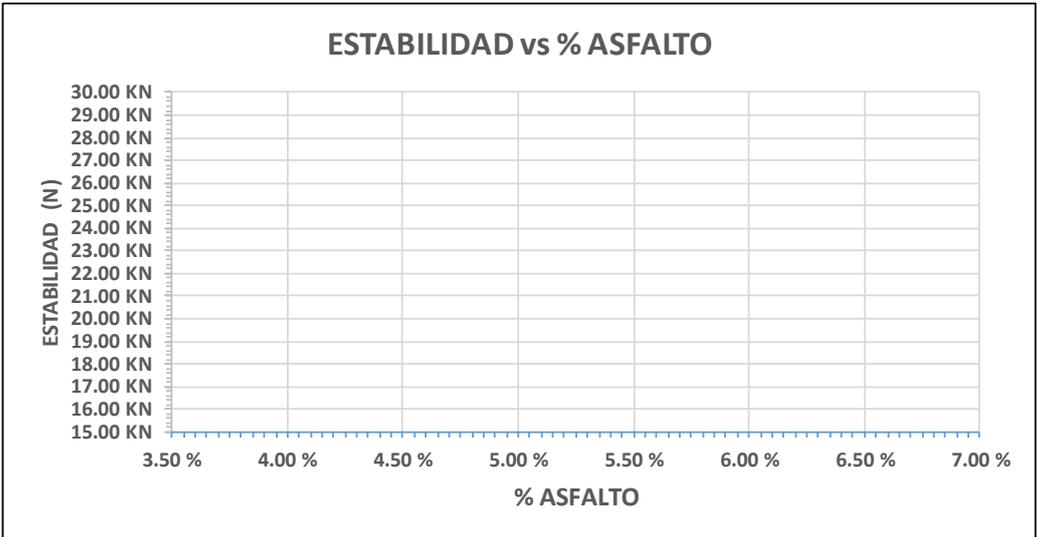
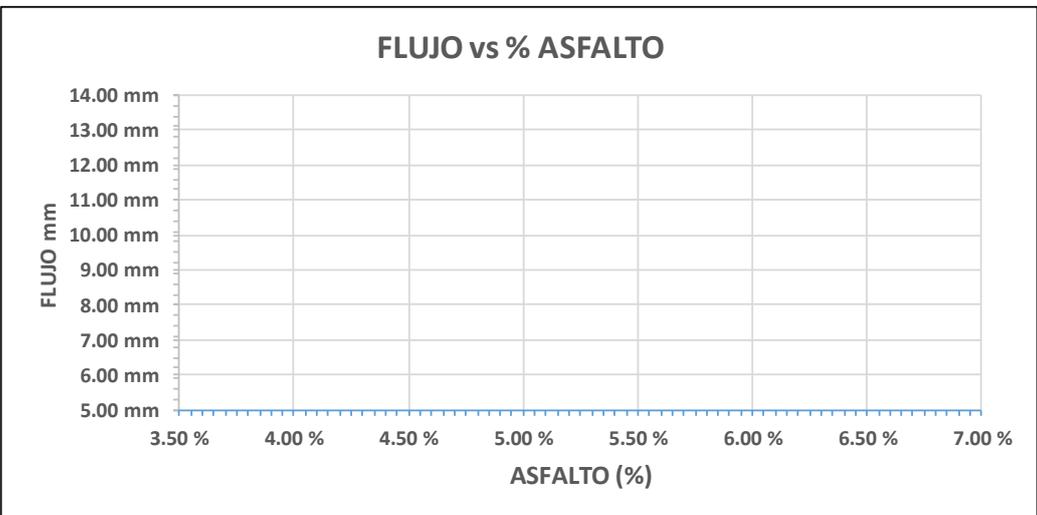
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 20		ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO - ESTABILIDAD Y FLUJO	
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.		
TESISTAS:		FECHA:	
Laboratorio:			
GRAFICOS PARA HALLAR EL % ÓPTIMO DE ASFALTO			
ESTABILIDAD vs % ASFALTO			
			
FLUJO vs % ASFALTO			
			



Tabla 36
Guía de observación Estabilidad y Flujo Marshall – Contenido óptimo de nanosílice.

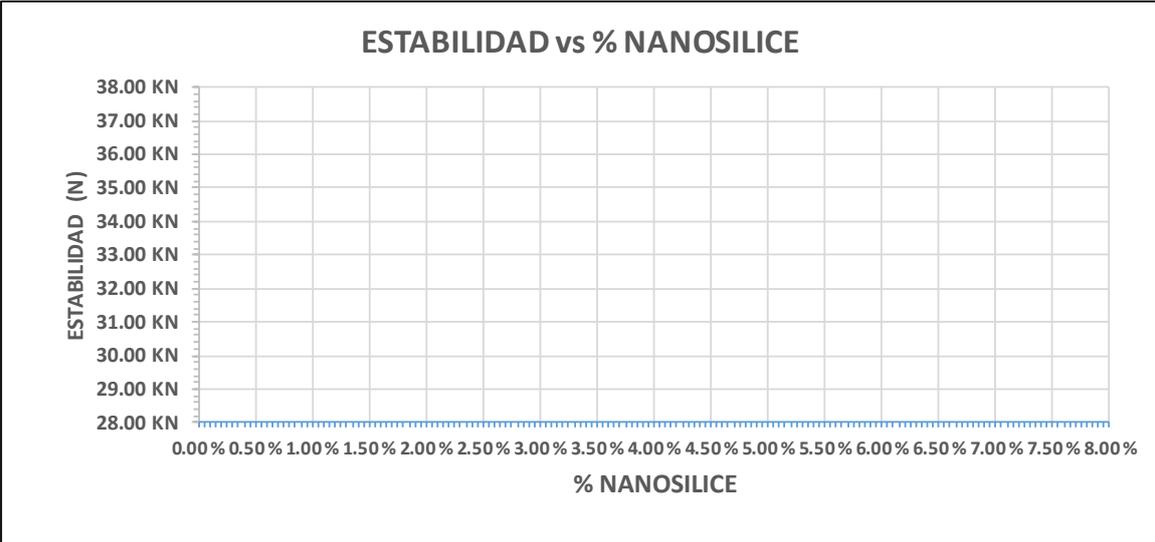
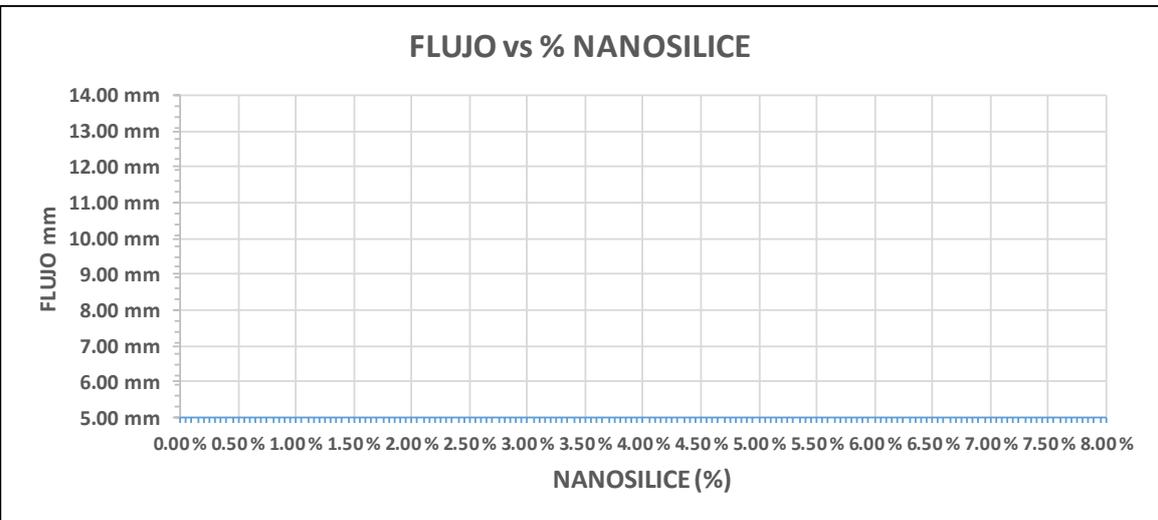
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 21		ÓPTIMO CONTENIDO DE NANOSILICE - ESTABILIDAD Y FLUJO	
 <h2 style="margin: 0;">UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</h2> <p style="margin: 0;">FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.		
TESISTAS:		FECHA:	
Laboratorio:			
GRAFICOS PARA HALLAR EL % ÓPTIMO DE NANOSILICE			
<h3 style="margin: 0;">ESTABILIDAD vs % NANOSILICE</h3> 			
<h3 style="margin: 0;">FLUJO vs % NANOSILICE</h3> 			



Tabla 37

Guía de observación para Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio.



INGENIERIA GEOTECNIA Y MATERIALES E.I.R.L.

- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: _____

Ubicación: _____

Muestra: _____

Fecha: _____

Solicitante: _____

Propietario: _____

	CANTERAS	
	ALTITUD	

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209

INSUMO QUIMICO USADO: _____

AGREGADO GRUESO

TAMAÑO	%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
						PESO (g)	%		
2 1/2 pulg a 3 pulg		7000+-1000							
2 pulg a 2 1/2 pulg		3000+-300							
1 1/2 pulg a 2 pulg		2000+-200							
1 pulg a 1 1/2 pulg		1000+-50							
3/4 pulg a 1 pulg		800+-30							
1/2 pulg a 3/4 pulg		670+-10							
3/8 pulg a 1/2 pulg		300+-5							
Nº 4 a 3/8"		300+-5							
								PERDIDAS TOTALES	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA
CUMPLE????

AGREGADO FINO

TAMAÑO	%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
						PESO (g)	%		
Nº4 a 3/8"		100							
Nº8 a Nº4		100							
Nº16 a Nº8		100							
Nº 30 a Nº16		100							
Nº 50 a Nº30		100							
								PERDIDAS TOTALES	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA
CUMPLE????

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Materiales INGEOMAT, 2021



Tabla 38

Guía de observación para Ensayo Estándar para índice de durabilidad del Agregado.



INGEOMAT
INGENIERIA GEOTECNIA Y MATERIALES E.I.R.L.

- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: _____

Ubicación: _____

Muestra:

CANTERAS	
----------	--

Fecha:

ALTITUD	
---------	--

Solicitante: _____

Propietario: _____

PRUEBA DE ENSAYO ESTANDAR PARA INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO MTC E 214

	TAMIZ	3/4 pulg	1/2 pulg	3/8 pulg	N° 4	N° 8	N° 16	Bandeja
GRADACION ORIGINAL	RETENIDO							
	PASA							
GRADACION PONDERADA	RETENIDO							
	PASA							

EL PROCEDIMIENTO A USAR SERA EL =

Peso de muestra =

	Tiempo de agitacion		Contenido de agua destilada	
--	---------------------	--	-----------------------------	--

TAMAÑO			GRADACION ORIGINAL	GRADACION PONDERA	CUMPLE???	NECESITA CORRECCION? ?	RANGO DE PESOS ORIGINALES	RANGO DE PESOS CORREGIDOS	PESO POR TAMICES	Cumple?
Retenido		Pasa								
1/2 pulg	a	3/4 pulg								
3/8 pulg	a	1/2 pulg								
N° 4	a	3/8"								
					CUANTOS SI???					

DESCRIPCION	INDENTIFICACION			PROMEDIO		
N DE ENSAYO	1	2	3			
Hora de entrada a decantacion						
Hora de salidad de decantacion (+20 min)						Minimo normado
Altura maxima de fino 0.1"						CUMPLE??
Indice de Durabilidad (Dc)						

Peso de muestra : 500 +-25gr Pasante N4 Tiempo de agitacion 10 min Contenido de agua destilada 1000 ml

DESCRIPCION	INDENTIFICACION			PROMEDIO		
N DE ENSAYO	1	2	3			
Hora de entrada a saturacion						
Hora de salidad de saturacion (+10 min)						
Hora de entrada a decantacion						
Hora de salidad de decantacion (+20 min)						
Altura maxima de la arcilla 0.1"						Minimo normado
Altura maxima de la arena 0.1"						CUMPLE??
Indice de Durabilidad (Df)						

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Materiales INGEOMAT, 2021



Tabla 39

Guía de observación de Ensayo Estándar para el valor de equivalente de arena de suelos y agregado fino



INGEOMAT
INGENIERIA GEOTECNIA Y MATERIALES E.I.R.L.

CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE
- OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. El Eden Lote C-3 , San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: # 99

Proyecto: _____

Ubicación: _____

Muestra:

CANTERA	
---------	--

Fecha:

ALTITUD	
---------	--

Solicitante: _____

Propietario: _____

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO MTC E-114

Identificación Equipos Utilizados:	
Tamiz 5 mm	
Agitador Mecánico	
Sifón	
Probeta Graduada	
Pisón	

MUESTRAS GEMELAS

ENSAYO 1		ENSAYO 2	
TIEMPO SEDIMENTACION	min	TIEMPO SEDIMENTACION	min
NIVEL ARCILLA	mm	NIVEL ARCILLA	mm
NIVEL ARENA	mm	NIVEL ARENA	mm

% de arena con respecto a la arcilla % de arena con respecto a la arcilla

% PROMEDIO DE ARENA CON RESPECTO A LA ARCILLA	
% TOLERANCIA	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA
CUMPLE????

Fuente: Laboratorio de Geotecnia y Materiales INGEOMAT, 2021



3.4.2. Instrumentos de ingeniería

- Juego de Tamices
- Tamizadora Mecánica
- Balanza de Precisión
- Bowl Metálico
- Cucharón
- Fiola de 500ml
- Bomba de Vacíos
- Cono de Absorción
- Varilla metálica para apisonado
- Carga abrasiva (billas de acero)
- Vernier
- Papel filtro
- Baño María
- Espátula
- Canastilla de Flotación
- Horno Eléctrico
- Máquina de los Ángeles
- Calibrador de Espesor
- Termómetro
- Estufa y cocina a gas
- Cuchara de Casagrande y ranurador
- Piseta de plástico
- Taras de humedad
- Calibrador de Alargamiento
- Compactador Manual MARSHALL
- Moldes de Compactación
- Balanza de Flotación
- Computadora
- Máquina MARSHALL
- Cabezal de Estabilidad Marshall
- Cabezal de Compresión diametral.



3.5. Procedimientos de Recolección de Datos

3.5.1. Ensayos a los componentes de la mezcla asfáltica

3.5.1.1. Agregado grueso

3.5.1.1.1. Análisis granulométrico de agregados gruesos

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Tamizador mecánico.
- Balanza de precisión.
- Una brocha
- Recipiente
- Serie de tamices.

b) Procedimiento

- Para realizar el ensayo, se obtuvo material de la planta de asfalto del gobierno regional Cusco ubicado en la localidad de Caycay.



Figura 16: Extracción de agregados minerales de la planta de asfalto.

- Se empieza haciendo el cuarteo: para lo cual se coloca el material en una superficie limpia y plana, se hace una ruma con el material mezclándolo con la pala, luego se aplana procediendo a hacer la separación del cuarteo y se escogen las dos partes opuestas más homogéneas; se repite el proceso hasta obtener el peso mínimo adecuado, que en este caso para piedra chancada de 1/2" es 2 kilos.



Figura 17: Cuarteo previo al ensayo de granulometría de agregado grueso

- Para este ensayo se utilizará la gradación MAC 2 indicada en el Manual de Carreteras EG-2013 (Tabla 4), esto debido al tamaño máximo es de $\frac{3}{4}$ " y el tamaño máximo nominal es de $\frac{1}{2}$ ", pasando el 100% de la muestra por el tamiz de $\frac{3}{4}$ ".
- Como paso siguiente, se colocó la muestra obtenida de agregado grueso en los tamices indicados en la tabla 16 (gradación MAC 2), evitando que éstos se saturen, para colocarlos en la tamizadora por 3 minutos.



Figura 18: Granulometría de agregado grueso



- Luego se procede a pesar el material que queda retenido en cada tamiz, poniéndolo en un recipiente adecuado.



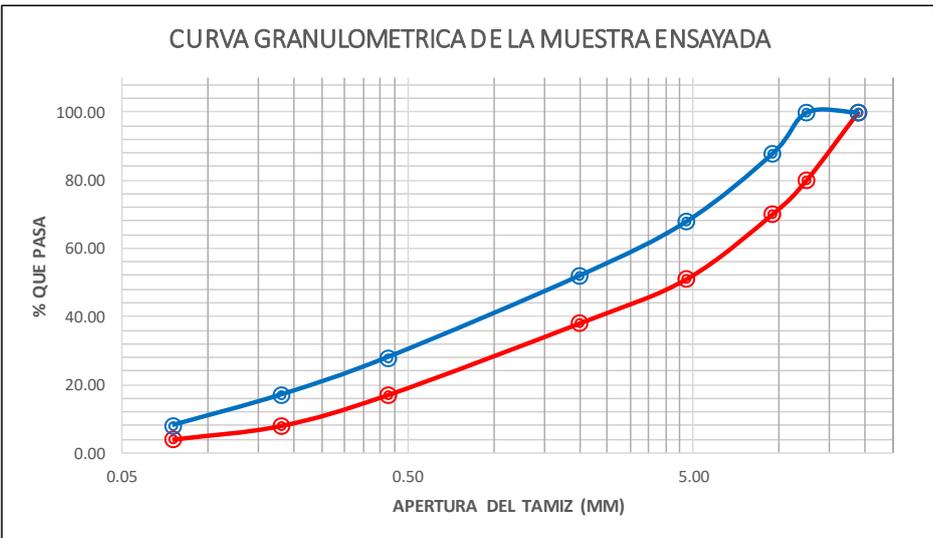
Figura 19: Pesos de la cantidad retenida en cada tamiz.



c) Toma de datos

Tabla 40

Toma de datos para el Análisis granulométrico de agregado grueso

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E 204)							
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".								
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo						FECHA:	09/11/2019	
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									
Cantera:	Morroblanco								
Ubicación:	Pisac								
Material:	Piedra chancada de 1/2"								
Muestra:	2389.00 gr								
Gradación:	MAC 2								
DATOS DE LA MUESTRA									
TAMIZ	APERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO (CORREGIDO)	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA (%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/4"	19.00	0.00						100 %	100 %
1/2"	12.50	458.40						80 %	100 %
3/8"	9.50	1255.00						70 %	88 %
#4	4.75	640.30						51 %	68 %
#10	2.00	13.70						38 %	52 %
#40	0.43	0.80						17 %	28 %
#80	0.18	1.30						8 %	17 %
#200	0.075	4.20						4 %	8 %
Fondo	0.000	14.10							
TOTAL		2387.80							
CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA ENSAYADA 									



3.5.1.1.2. Peso específico y absorción de agregados gruesos

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Balanza.
- Canastilla Metálica.
- Tanque de almacenamiento de agua: Para suspender la muestra en la canasta, y colocarla debajo de la balanza.
- Serie de tamices.
- Horno

b) Procedimiento

- Previo al ensayo, se selecciona la muestra de acuerdo a la siguiente tabla basada en el tamaño máximo nominal con el método del cuarteo.

Tabla 41

Pesos mínimos de muestra de ensayo para peso específico y absorción.

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 MTC 2016

Para éste caso se tiene:

- Para la piedra chancada de 1/2= 2kg



Figura 20: Cuarteo de material y obtención de peso mínimo para peso específico.

- Se lavó el material por la malla #4 y se remojó en agua por un periodo de 24 hrs antes de realizar el ensayo.



Figura 21: Lavado del material y remojo por 24 hrs.

- Luego de 24 hrs del periodo de inmersión de la muestra, se retiró el agregado grueso del agua y se utilizó una franela de gran tamaño para proceder a secar las partículas, hasta que el agua superficialmente visible fuera eliminada, mientras se realiza el secado superficial se debe evitar la evaporación del agua contenida en los poros de las partículas del agregado grueso. Una vez realizado dicho procedimiento, se pesa el material en estado saturado superficialmente seco.



Figura 22: Secado y peso superficialmente seco de agregado grueso.

- Como siguiente paso, se colocó el material en la canastilla metálica, para obtener el peso sumergido.



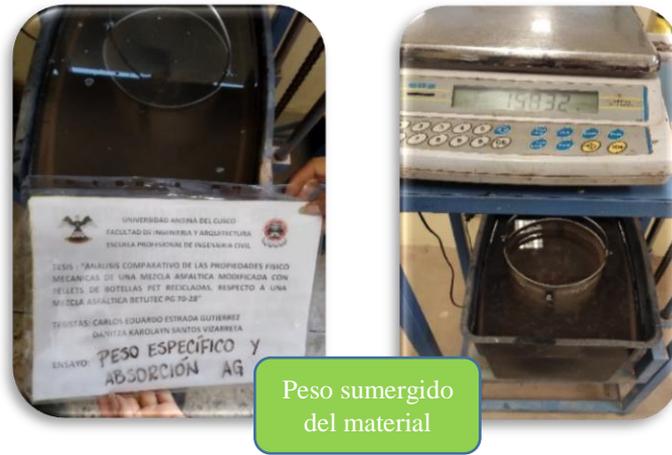


Figura 23: Colocado del material en la canastilla y peso sumergido del agregado grueso.

- Finalmente, se introduce el material en el horno y se recoge 24 h después para obtener el peso seco.



Figura 24: Colocado del material en el horno y peso seco del material luego de 24 horas.



c) Toma de datos

Tabla 42

Toma de datos de peso específico y absorción de agregados gruesos.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 04		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (MTC E206)	
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".		
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	16/12/2019
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo		
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
Cantera:	Morroblanco		
Ubicación:	Pisac		
Material:	Piedra de 1/2"		
Muestra:	5000.00 gr		
DATOS DE LA MUESTRA			
Descripción	Nom	1	
Peso en el aire de la muestra seca (gr)	Pseco	2517.40	
Peso en el aire de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	Psss	2552.60	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergida (gr)	Psumergido	1583.20	
Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)	G _{sa}		
Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)	G _{sb}		
Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)	G _{sssb}		
Absorción (%)	Abs		
RESULTADOS			
Resultados de Absorción (%)			
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).		1% max	

3.5.1.1.3. Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Calibradores Metálicos que son Calibradores de Espesores y de Longitudes.
- Serie de tamices, de ¼”, 3/8”, ½”.
- Balanza.

b) Procedimiento

- La muestra al igual que para los demás ensayos debe ser representativa producto del respectivo cuarteo.



Figura 25: Cuarteo de la muestra para el ensayo de partículas aplanadas y achatadas.

- La cantidad de muestra requerida, se obtiene de acuerdo a la tabla 41.

Tabla 43

Pesos mínimos de muestra de ensayo para índice de partículas alargadas y achatadas.

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO mm (pulg)		PESO MÍNIMO DEL MATERIAL PARA ENSAYO, TAMAÑO DEL AGREGADO ENTRE 63,0 mm (2 ½”) Y 6,3 mm (¼”) kg
mm	(Pulg)	kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 ½)	15
25,0	(1)	5
20,0	(¾)	2
12,5	(½)	1
10,0	(¾)	0,5

Fuente: Manual de Ensayo de materiales MTC 2016

- La cantidad mínima de material a ensayar fue de 1kg. para TMN de ½”; el material fue lavado y posteriormente colocado al horno 24 horas antes del ensayo.

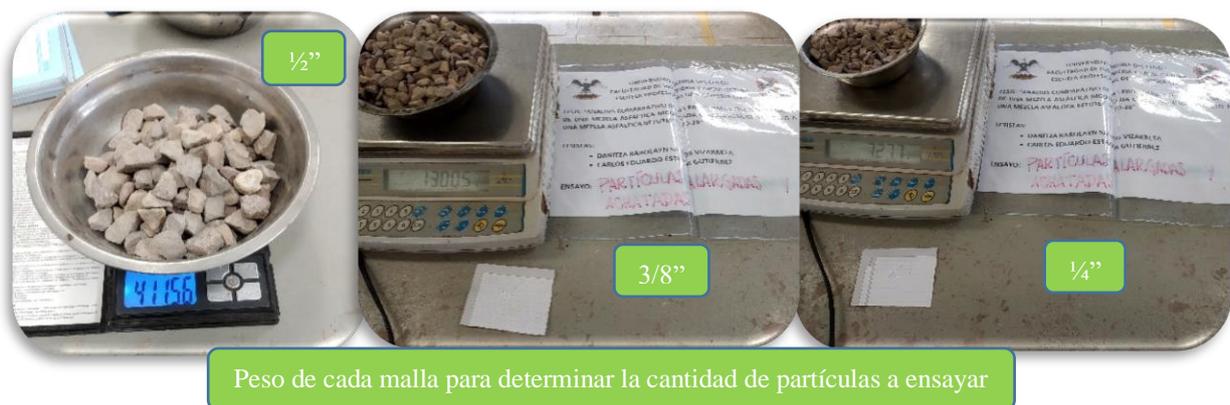


Figura 26: Preparación del material previo al ensayo.

- Tamizamos el material por las mallas 1/2", 3/8" y 1/4", se deshecha el material que pase la malla 1/4". Los pesos de las mallas cuyo porcentaje sea menor al 10% de la muestra no se ensaya como indica en la norma MTC E 221.



Tamizado del material
por las respectivas mallas



Peso de cada malla para determinar la cantidad de partículas a ensayar

Figura 27: Tamizado y peso de cada malla.

- Posteriormente para determinar el aplanamiento de las partículas se utilizó el calibrador de aplanamiento y se hizo pasar cada partícula por la ranura que corresponde al material



ensayado. La cantidad que pasa por la ranura se pesa y consecuentemente se mide las dimensiones de cada piedra y se compara si el espesor es menor a $\frac{3}{5}$ de la dimensión promedio de la partícula.



Uso del calibrador de aplanamiento de partículas



Medición de partículas para asegurar que cumplen los requisitos

Figura 28: Determinación de partículas aplanadas.

- Finalmente se pesaron las partículas que cumplieron los requisitos antes mencionados siendo nuestro dato P_i (Peso de partículas aplanadas).



Figura 29: Determinación de partículas aplanadas.



- De igual manera con la misma cantidad de agregado que realizamos la prueba de aplanamiento, pasamos a determinar el alargamiento, para ello pasamos nuestro material por el calibrador de alargamiento como primera prueba y como segunda, medimos de igual forma las dimensiones y esta vez comparamos si el largo es mayor a $9/5$ de la dimensión promedio de la partícula.



Uso del calibrador de alargamiento de partículas



Medición de partículas para asegurar que cumplen los requisitos



Visto bueno del asesor en la realización del ensayo

Figura 30: Determinación de partículas alargadas.

- Finalmente se pesaron las partículas que cumplieron los requisitos antes mencionados siendo nuestro dato P_i (Peso de partículas alargadas).



Figura 31: Determinación de partículas alargadas.



c) Toma de datos

Tabla 44

Toma de datos de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados gruesos.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 05		ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS (MTC E 221)							
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA 									
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".								
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo					FECHA:	25/02/2020		
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									
Cantera:	Morroblanco								
Ubicación:	Pisac								
Material:	Piedra de 1/2"								
Muestra:	2439.66 gr								
DATOS DE LA MUESTRA									
TAMIZ		Peso Retenido (gr)	% Retenido	PESOS (gr)		I _{ai} (%)	I _{ii} (%)	I _a (%)	I _i (%)
Pasa	Retiene			Partículas chatas	Partículas Alargadas				
3/4"	1/2"	411.56	17%	43.80	1.64				
1/2"	3/8"	1300.4	53%	86.08	5.83				
3/8"	1/4"	727.7	30%	88.05	10.33				
Totales		2439.66	100%						
RESULTADOS									
Índice de aplanamiento de la fracción ensayada =									
Índice de alargamiento de la fracción ensayada =									
TOTAL =									
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).						10% máximo			
CUMPLE??									

3.5.1.1.4. Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Balanza, que permita la determinación del peso con al menos 0.1% de aproximación a la masa de la muestra de ensayo.
- Espátula.
- Serie de tamices de $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ "

b) Procedimiento

- Se lavó el material en el tamiz #4 con el fin de retirar cualquier material fino y secar en una estufa u horno eléctrico.



Figura 32: Lavado del material por malla #4.

- Cuartear el material y determinar la masa de la muestra de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 45

Pesos mínimos de muestra de ensayo para porcentaje de partículas fracturadas.

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

Fuente: Manual de Ensayo de materiales MTC 2016



- En nuestro caso, al tener un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ ", tomamos un peso mínimo de 500 gr.
- Se ordenan los tamices en forma ascendente poniendo primero el fondo. Se vierte en la columna de tamices ya ordenada el agregado a ser sometido a ensayo. Se zarandea o agita el juego de tamices con el agregado incorporado por un tiempo promedio de 2-3 min. Terminado el tiempo, se retira el material retenido en cada tamiz y se obtiene el peso de cada uno.



Figura 33: Tamizado de la muestra de material por las mallas correspondientes.

- Se realizó con el cuidado respectivo, la inspección de cada partícula. Con el fin de verificar cuáles entran en el criterio de fracturada, para esto se observó directamente la cara de cada partícula, si ésta constituye al menos un cuarto de la máxima sección transversal de la partícula de roca, se consideró como una cara fracturada.



Figura 34: Inspección de partículas con caras fracturadas.



- Posteriormente separar las partículas fracturadas de las no fracturadas de acuerdo a los tamices.



Figura 35: Partículas con caras fracturadas y sin caras fracturadas por tamiz.

- Finalmente obtuvimos los pesos de cada uno.



Figura 36: Pesos de partículas con caras fracturadas y sin caras fracturadas por tamiz.



c) Toma de datos

Tabla 46

Toma de datos de ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 06		MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO (MTC E 210)				
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA 						
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".					
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn			FECHA:	14/12/2019	
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo					
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"					
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Cantera:	Morroblanco					
Ubicación:	Pisac					
Material:	Piedra de 1/2"					
Muestra:	1590.8 gr					
DATOS DE LA MUESTRA						
MUESTRA CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
3/4"	1/2"	390.40	380.3			
1/2"	3/8"	1200.40	1179.2			
Totales		1590.80				
Porcentaje con dos o mas caras fracturadas =						
MUESTRA CON DOS O MAS CARAS FRACTURADA						
TAMIZ		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)	(B/A)*100	%	C*D
3/4"	1/2"	390.40	346.2			
1/2"	3/8"	1200.40	1125.6			
Totales		1590.80				
Porcentaje con dos o mas caras fracturadas =						

3.5.1.1.5. Abrasión de los ángeles

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Balanza (precisión de 1gr-Capacidad de 5000 gr)
- Tamices (1/2", 3/8" y Fondo)
- Bandeja
- Máquina de los Ángeles
- Carga abrasiva
- Horno

b) Procedimiento

- Como primer paso, se debe lavar el material y ponerlo al horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.



Figura 37: Lavado y secado en horno del material.

- Luego, nos guiamos con la siguiente tabla, para la selección del método:

Tabla 47:

Gradación de muestras de ensayo para seleccionar el método a utilizar.

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

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 MTC 2016

- En nuestro caso se utilizó el método B.
- Seguidamente se tamizó el material, por los tamices de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ", obteniendo en cada tamiz los pesos de 2500 gr.



Figura 38: Tamizado y peso del material por tamiz.

- Recombinamos el material retenido en ambos tamices y colocamos el material en la máquina de los ángeles, con las 11 esferas que indica la norma según el método B y se hace girar la máquina con un total de 500 revoluciones.



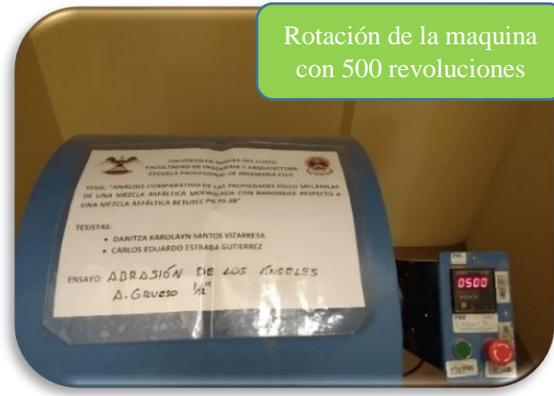
Colocado del material en la Máquina de los Ángeles



Máquina de los Ángeles con 11 esferas



Material en la Máquina de los Ángeles



Rotación de la maquina con 500 revoluciones

Figura 39: Colocado de material y esferas en la Máquina de los Ángeles y rotación de la misma.

➤ Se procede a descargar el material del cilindro y seguidamente se lava en la malla N°10.



Se descarga la Máquina de los Ángeles



Lavado del material obtenido



Figura 40: Lavado del material obtenido luego de la someterlo a la Máquina de los Ángeles.

➤ Finalmente se colocó en el horno y se obtuvo el peso seco del material.



Figura 41: Se seca el material en el horno y se obtiene el nuevo peso.

c) Toma de datos

Tabla 48

Toma de datos del ensayo de Abrasión de los Ángeles.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 07		ENSAYO DE ABRASION DE LOS ANGELES (MTC E 207)		
UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".			
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo	FECHA:	11/11/2019	
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
Cantera:	Morroblanco			
Ubicación:	Pisac			
Material:	Piedra de 1/2"			
Muestra:	5000.00 gr			
DATOS DE LA MUESTRA				
MÉTODO	MASA EN gr			
	GRADACIONES			
RETENIDO EN TAMIZ	A	B	C	D
1"				
3/4"				
1/2"		2500		
3/8"		2500		
1/4"				
N° 4				
N° 8				
Número de Esferas		11		
Peso Total		5000		
Peso retenido en Tamiz N°10		3977.5		
% de Desgaste				



3.5.1.1.6. Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio (MTC E 209).

a) Equipos, materiales y reactivos utilizados en la prueba.

- Tamices
- Recipientes o bowls
- Termómetro
- Balanza
- Horno
- Solución de Sulfato de Magnesio

b) Procedimiento

- Para este ensayo se considera como agregado grueso al retenido en el tamiz N°4. El peso de la muestra se obtendrá tamizando el material de acuerdo a la siguiente tabla:

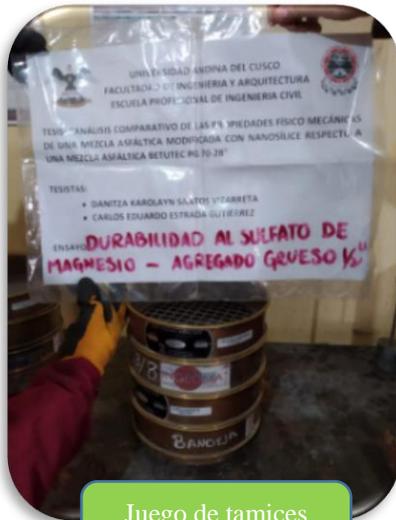
Tabla 49

Pesos mínimos de muestra de ensayo para Durabilidad al Sulfato de Sodio y de Magnesio.

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
Consistiendo de:	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (N° 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ± 10
Consistiendo de:	
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
Consistiendo de:	
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
Consistiendo de:	
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 MTC 2016

- Retenido en la malla 1/2" se considera 676.73 gr
- Retenido en la malla 3/8" se considera 302.10 gr
- Retenido en la malla N° 4 se considera 300.99 gr.



Juego de tamices requeridos



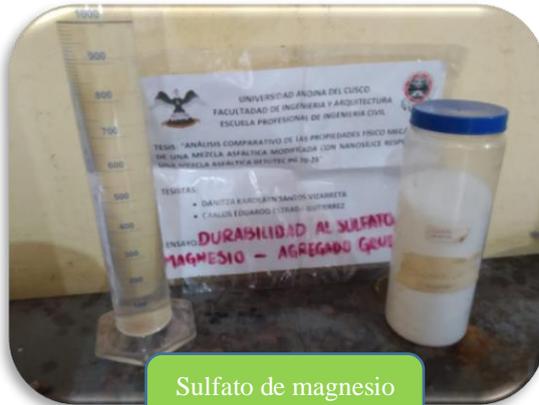
Colocación de la muestra en los tamices



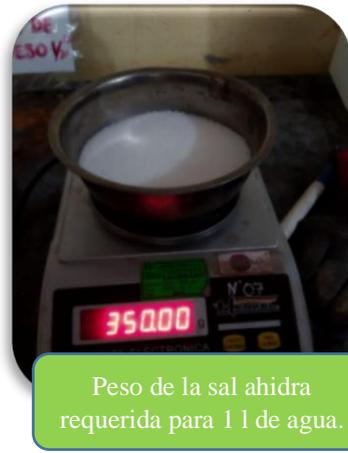
Tamizado de la muestra

Figura 42: Preparación y tamizado de la muestra.

- Primeramente se preparó la solución de sulfato de magnesio (sal anhidra), Para lo cual se disolvió la sal en agua a una temperatura de 25 a 30 °C. El peso considerado según norma es de 350 gr. por cada litro de agua.



Sulfato de magnesio (sal anhidratada)



Peso de la sal ahidra requerida para 1 l de agua.



Vertido de la sal anhidra en agua.

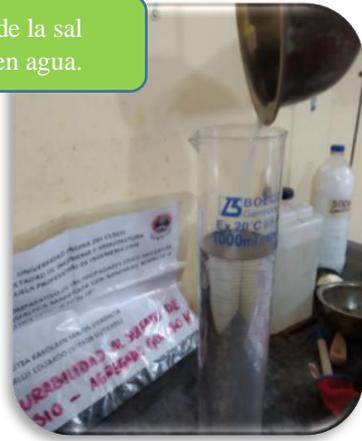


Figura 43: Preparación de la solución.



- Se sumerge la muestra correspondiente a cada tamiz en la solución por un periodo de 16 a 18 hrs., de tal manera que ésta sobrepase la muestra por lo menos unos 1.5 cm. Para evitar la inmersión de sustancias extrañas, se debe cubrir el envase.



Figura 44: Inmersión del material en la solución.

- Pasado el periodo de inmersión del material, se retira de la solución y se escurre por un lapso de 15 ± 5 min. y se lleva la muestra a secar al horno a una temperatura de 105 a 110°C hasta obtener un peso constante.



Figura 45: Ecurrido y colocado del material en el horno.

- Finalmente se retiró el material ensayado del horno dejándolo enfriar para obtener el peso del mismo. Luego de enfriada la muestra, se lava el material para eliminar el sulfato de magnesio, se seca a una temperatura de 105°C o 110°C hasta peso constante y se tamiza el material de acuerdo al tamaño apropiado de cada partícula.



Figura 46: Pesaje final del material.



c) Toma de datos

Tabla 50

Toma de datos del ensayo de Durabilidad al sulfato de Magnesio.



- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. B Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"

Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: MORRO BLANCO-CUNYAC

Fecha: NOVIEMBRE, 2021

Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ - DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

CANTERAS	MORRO BLANCO-CUNYAC
ALTITUD	3270

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209

INSUMO QUIMICO USADO: SULFATO DE MAGNESIO

AGREGADO GRUESO

MUESTRA PIEDRA CHANCADA 1/2"

TAMAÑO				%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
								PESO (g)	%			
2 1/2 pulg	a	3 pulg		0.00%	7000+-1000	0.00						
2 pulg	a	2 1/2 pulg		0.00%	3000+-300	0.00						
1 1/2 pulg	a	2 pulg		0.00%	2000+-200	0.00						
1 pulg	a	1 1/2 pulg		0.00%	1000+-50	0.00						
3/4 pulg	a	1 pulg		0.00%	800+-30	0.00						
1/2 pulg	a	3/4 pulg		52.88%	670+-10	676.73	SI					
3/8 pulg	a	1/2 pulg		23.60%	300+-5	302.10	SI					
N° 4	a	3/8"		23.52%	300+-5	300.99	SI					
				100.00%		1279.82					PERDIDAS TOTALES	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 15.00% max
CUMPLE????

AGREGADO FINO

MUESTRA ARENA NATURAL

TAMAÑO				%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
								PESO (g)	%			
N°4	a	3/8"		20.00%	100	100.00	SI					
N°8	a	N°4		20.00%	100	100.00	SI					
N°16	a	N°8		20.00%	100	100.00	SI					
N° 30	a	N°16		20.00%	100	100.00	SI					
N° 50	a	N°30		20.00%	100	100.00	SI					
				100.00%		500.00					PERDIDAS TOTALES	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 18.00% max
CUMPLE????

AGREGADO FINO

MUESTRA ARENA TRITURADA

TAMAÑO				%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
								PESO (g)	%			
N°4	a	3/8"		20.00%	100	100.00	SI					
N°8	a	N°4		20.00%	100	100.00	SI					
N°16	a	N°8		20.00%	100	100.00	SI					
N° 30	a	N°16		20.00%	100	100.00	SI					
N° 50	a	N°30		20.00%	100	100.00	SI					
				100.00%		500.00					PERDIDAS TOTALES	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 18.00% max
CUMPLE????

Fuente: INGEOMAT 2021.



3.5.1.2. Agregado Fino

3.5.1.2.1. Análisis granulométrico de agregados finos

d) Equipos utilizados en la prueba.

- Balanza de precisión.
- Una brocha
- Recipiente
- Serie de tamices.
- Tamizador mecánico.

e) Procedimiento

- Para realizar el ensayo, se obtuvo material de la planta de asfalto del gobierno regional Cusco ubicado en la localidad de Caycay.



Figura 47: Extracción de agregados minerales de la planta de asfalto.

- Se empieza haciendo el cuarteo: para lo cual se colocó el material en una superficie limpia y plana, se hace una ruma con el material mezclándolo con la pala, luego se aplanan procediendo a hacer la separación del cuarteo y se escogen las dos partes opuestas más homogéneas; se repite el proceso hasta obtener el peso adecuado, que en este caso, para piedra chancada de ½" es 2 kilos.



Figura 48: Cuarteo y pesaje de agregado fino.

- Seguidamente, se coloca la muestra de material en los tamices indicados en la tabla 16 (gradación MAC 2), evitando que éstos se saturen, para colocarlos en la tamizadora por 3 minutos.



Figura 49: Colocado y tamizado de agregado fino.

- Luego se procede a pesar el material que queda retenido en cada tamiz, poniéndolo en un recipiente adecuado.



Figura 50: Pesaje por tamiz de agregado fino.



f) Toma de datos

Tabla 51

Toma de datos del ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados Finos (Arena Natural).

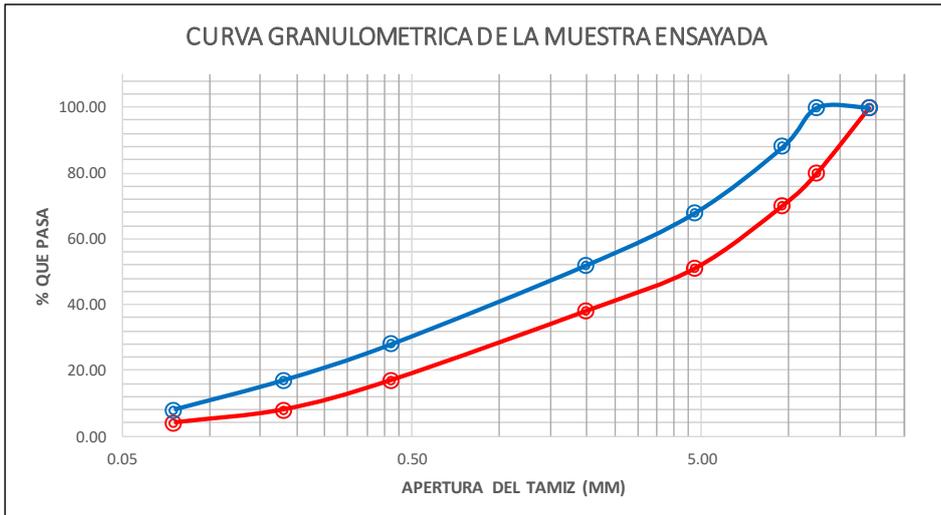
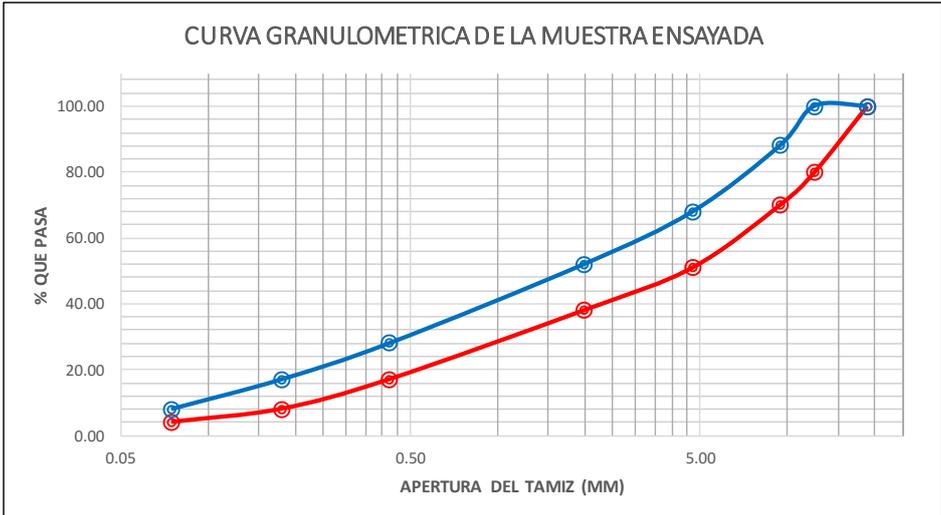
GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS (MTC E 204)					
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".								
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo						FECHA:	11/12/2019	
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									
Cantera:	Cunyac								
Ubicación:	Cusco								
Material:	Arena Natural								
Muestra:	2420.00 gr								
Gradación:	MAC 2								
DATOS DE LA MUESTRA									
TAMIZ	APERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO (CORREGIDO)	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA (%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/4"	19.00	0.00						100 %	100 %
1/2"	12.50	0.00						80 %	100 %
3/8"	9.50	8.60						70 %	88 %
#4	4.75	47.70						51 %	68 %
#10	2.00	383.70						38 %	52 %
#40	0.43	900.00						17 %	28 %
#80	0.18	689.00						8 %	17 %
#200	0.075	247.20						4 %	8 %
Fondo	0.000	127.30							
TOTAL		2403.50							
CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA ENSAYADA 									



Tabla 52

Toma de datos del ensayo de Análisis Granulométrico de Agregados Finos (Arena Triturada).

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 01			ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINOS (MTC E 204)						
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".								
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo						FECHA:	12/12/2019	
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"								
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA									
Cantera:	Cunyac								
Ubicación:	Cusco								
Material:	Arena Triturada								
Muestra:	2499.00 gr								
Gradación:	MAC 2								
DATOS DE LA MUESTRA									
TAMIZ	APERTURA	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO (CORREGIDO)	PORCENTAJE RETENIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA (%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/4"	19.00	0.00						100 %	100 %
1/2"	12.50	0.00						80 %	100 %
3/8"	9.50	30.00						70 %	88 %
#4	4.75	298.90						51 %	68 %
#10	2.00	995.00						38 %	52 %
#40	0.43	603.70						17 %	28 %
#80	0.18	223.60						8 %	17 %
#200	0.075	192.70						4 %	8 %
Fondo	0.000	157.10							
TOTAL		2501.00							
CURVA GRANULOMETRICA DE LA MUESTRA ENSAYADA 									



3.5.1.2.2. Gravedad específica y absorción de agregados finos

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Balanza: Sensible a 0.1% del peso medio y con capacidad de 1000 g. o más.
- Frasco o Bureta: Frasco volumétrico de 500cm³ de capacidad, calibrado hasta cm³ a 20°C.
- Estufa: Una estufa capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C ± 5°C.
- Molde Cónico: Metálico de 40 mm ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm ± 3 mm de diámetro en la parte inferior, y 75 mm ± 3mm de altura.
- Barra Compactadora de metal 340g ± 15g de peso con un extremo de superficie plano circular de 25 mm ± 3mm de diámetro.
- Bomba de Vacío
- Horno
- Tamiz N°3/8

b) Procedimiento

- Se realiza el cuarteo del agregado hasta obtener una muestra representativa de 01kg.



Figura 51: Cuarteo de material para el ensayo de gravedad específica y absorción.



- Se procede a tamizar la muestra obtenida por el Tamiz N° 4, eliminando el material retenido en dicho tamiz, hasta obtener mínimo 1 kg de muestra de agregado fino.



Tamizado de agregado fino por la malla N° 4.



Peso mínimo de muestra.

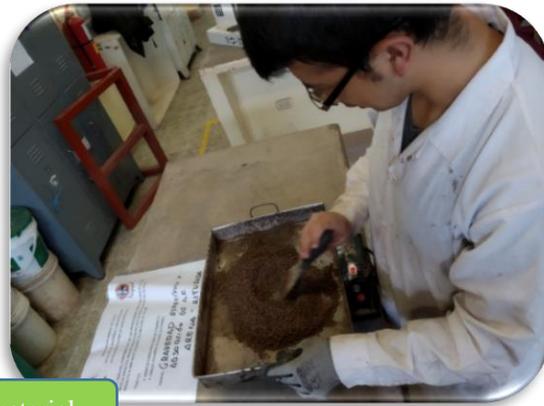
Figura 52: Preparado de la muestra para el ensayo de gravedad específica y absorción.

- Sumergir en agua la muestra representativa por un periodo de 24 horas +/- 4 horas (periodo de inmersión), antes del ensayo.



Figura 53: Material sumergido en agua.

- Pasado dicho tiempo, se procede a decantar el agua de la mezcla saturada teniendo cuidado de no perder finos. Luego se extiende sobre una superficie no absorbente y se expone a una corriente suave de aire caliente agitando con frecuencia para conseguir un secado uniforme; la operación se da por terminada cuando están sueltas las partículas del agregado. Caso contrario se procede a realizar el secado de la muestra sumergida por medio de la cocina, removiendo constantemente para que la humedad sea uniforme y para vigilar que no se seque la muestra más allá del estado saturado superficialmente seco, el que se obtiene cuando se cumpla la prueba del cono.



Secado del material



Figura 54: Secado de material hasta alcanzar el estado saturado superficialmente seco.

- Luego de conseguir la muestra en un estado superficialmente seco, se colocó en un molde cónico y con el pisón se compactó con 25 golpes finalmente se enrasó la superficie y se levantó el cono de manera vertical. Si el material conserva la forma de cono, quiere decir que existe humedad en la superficie. Si sucede esto, se repite el ensayo hasta que el cono formado por la muestra se derrumbe parcialmente al retirar el molde, así verificamos la condición de material saturado superficialmente seco.



Apisonado de la muestra en el cono de absorción



Figura 55: Secado de material hasta alcanzar el estado saturado superficialmente seco.

- En este paso se introdujo 500 gr de la muestra preparada en la fiola y se llenó de agua hasta la marca de 500 cm³ a una temperatura de 23 ± 2 °C. Se agitó el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual.

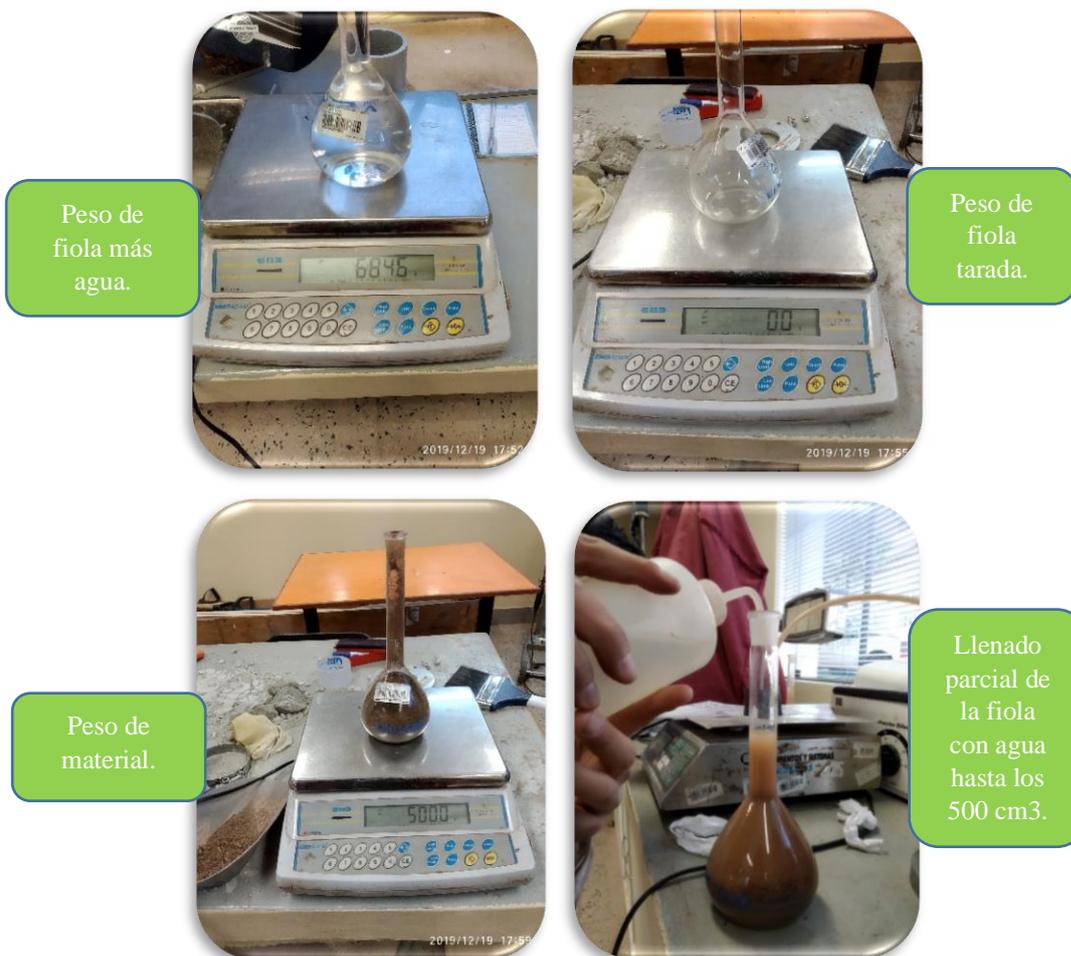


Figura 56: Pesos requeridos de la muestra para el ensayo.



- Utilizando la bomba de vacíos, se logró extraer las burbujas de aire de manera mecánica de manera que no degrade la muestra.

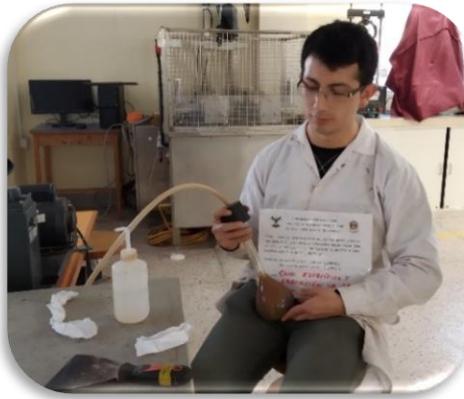


Figura 57: Eliminación de burbujas con la bomba de vacíos.

- Habiendo eliminado los vacíos de la muestra, se ajustó la temperatura de la fiola y su contenido a 23 ± 2 °C y se llenó el frasco hasta la capacidad calibrada. Se procede a pesar el contenido total del frasco, muestra y agua.



Figura 58: Peso total del frasco, muestra y agua.

- Se retiró el agregado fino de la fiola, y se colocó al horno durante 24 horas para obtener su peso seco.



Figura 59: Colocado del material en el horno.



- Retirar del horno y obtener el peso seco.

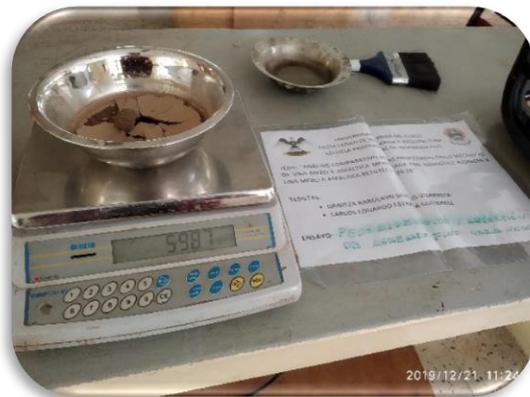


Figura 60: Peso del material seco.

c) Toma de datos

Tabla 53

Toma de datos del ensayo de Gravedad específica y Absorción de Agregados Finos (Arena Natural).

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 03		GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MTC E205)			
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".				
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	21/12/2019		
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo				
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:	Cunyac				
Ubicación:	Cusco				
Material:	Arena Natural				
Muestra:	1000.00 gr				
DATOS DE LA MUESTRA					
Descripción	Nom	1	2	3	PROMEDIO
Peso de muestra seca (gr)	A	485.7	489.4	489.3	
Peso del picnómetro mas agua (gr)	B	682	682	682	
Peso del picnómetro con muestra y lleno de agua (gr)	C	991.6	993.2	994.9	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	D	500	500	500	
Peso de picnómetro (gr)		198.1	198.1	198.1	
Peso de picnómetro mas muestra gr)		698.1	698.1	698.1	
Gravedad específica seca aparente (g/cm³)	G _{sa}				
Gravedad específica seca Bulk (g/cm³)	G _{sb}				
Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm³)	G _{sssb}				
Absorción (%)	Abs				
RESULTADOS					
Resultados de Absorción (%)					
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%)		0.5% max			



Tabla 54

Toma de datos del ensayo de Gravedad específica y Absorción de Agregados Finos (Arena Triturada).

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 03		GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS (MTC E205)			
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".				
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	19/12/2019		
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo				
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"				
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
Cantera:	Cunyac				
Ubicación:	Cusco				
Material:	Arena triturada				
Muestra:	1000.00 gr				
DATOS DE LA MUESTRA					
Descripción	Nom	1	2	3	PROMEDIO
Peso de muestra seca (gr)	A	484.9	488.4	486.3	
Peso del picnómetro mas agua (gr)	B	684.4	684.6	684.6	
Peso del picnómetro con muestra y lleno de agua (gr)	C	991.4	993.9	992.5	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	D	500	500	500	
Peso de picnómetro (gr)		150.1	150.1	150.1	
Peso de picnómetro mas muestra gr)		650.1	650.1	650.1	
Gravedad específica seca aparente (g/cm ³)	G _{sa}				
Gravedad específica seca Bulk (g/cm ³)	G _{sb}				
Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk (g/cm ³)	G _{sssb}				
Absorción (%)	Abs				
RESULTADOS					
Resultados de Absorción (%)					
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%)		0.5% max			



3.5.1.2.3. Ensayo de Límite Líquido de los Suelos.

d) Equipos utilizados en la prueba.

- Balanza: Sensible a 0.01g.
- Tamices N° 40 y N° 200.
- Recipiente o vasija de porcelana de 115 mm de diámetro aproximadamente.
- Pizeta llena de agua.
- Cuchara de Casagrande.
- Calibrador incorporado en el ranurador.
- Espátula de hoja flexible.
- Taras.
- Horno capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

e) Procedimiento

- Se realiza el tamizado de agregado fino y se tomará como muestra el material que pase el tamiz N° 40 y también con el material que pase el tamiz N° 200.



Figura 61: Equipos utilizados en el ensayo de Límite Líquido.

- Se procede a pesar 200 gr de material pasante de cada tamiz (N° 40 y N° 200).



Figura 62: Pesaje del material pasante de la malla N°40 y N°200.



- Obtenido el peso requerido del material pasante de las dos mallas, se procede a verter agua con la pizeta hasta tener una consistencia homogénea sin que la mezcla esté muy seca ni muy húmeda.

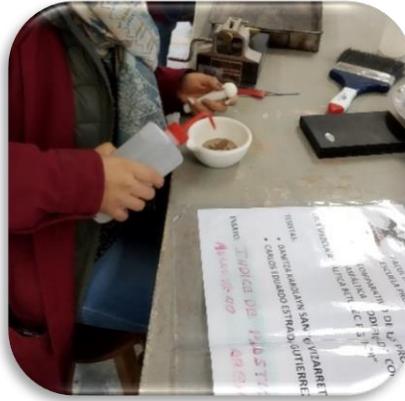


Figura 63: Vertido de agua y preparado de muestra de material pasante de la malla N°200

- Luego se procede a colocar la mezcla o pasta en la cuchara de Casagrande apoyada sobre la base, ejerciendo presión y esparciendo la muestra hasta obtener una altura aproximadamente de 10 mm (1 cm) desde la parte más profunda, procurando que la superficie sea uniforme y horizontal, evitando formar burbujas de aire en la mezcla con la menor cantidad de pasadas con la espátula.



Figura 64: Muestra colocada en la copa de Casagrande.

- Se divide la muestra contenida en la copa con el ranurador, haciendo un canal o ranura a través del suelo, siguiendo una línea recta que une el punto más alto con el más bajo en el borde de la copa. Al momento de realizar esta división, se debe mantener el acanalador contra la superficie de la copa trazando un arco y procurando mantener en todo el trazo la perpendicularidad con la superficie de la cuchara.



Figura 65: Muestra ranurada previa al ensayo.

- Luego girando la manivela, se levantó y soltó la copa a una velocidad de 1.9 – 2,1 golpes por segundo, se realiza la acción hasta que ambas partes de la muestra se junten 13 mm en la base de la ranura.



Figura 66: Muestra después del ensayo.

- Se registró la cantidad de golpes que se aplicaron para que la ranura se junte 13 mm. Luego se tomó una tajada de suelo del ancho de la espátula introduciendo la muestra en un recipiente de peso conocido, posteriormente se tapó el recipiente y se toma el dato de su masa para luego llevarlo al horno a una temperatura constante de $110 + 5^{\circ}\text{C}$. Se registra una vez más el peso del recipiente más la muestra de suelo seca. Este procedimiento se repite para el material pasante de la malla N°200.



Figura 67: Toma de datos de la masa del material en sus diferentes estados.



f) Toma de datos

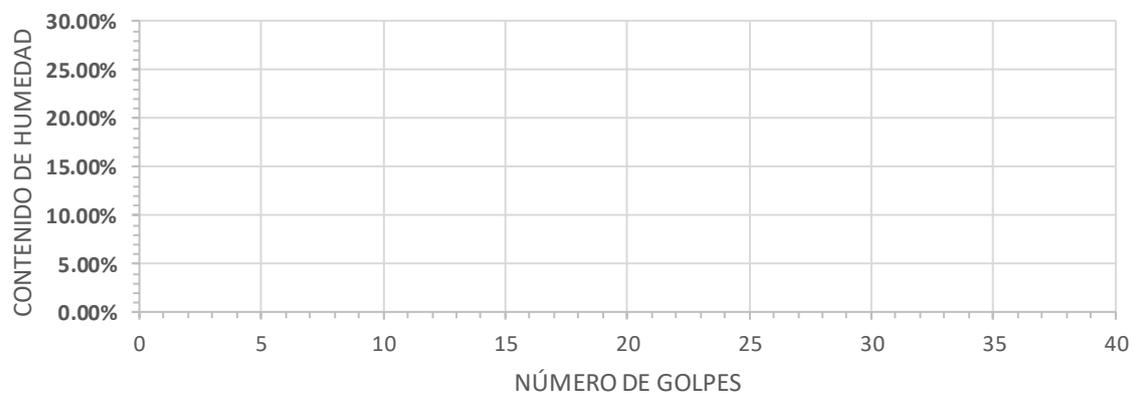
Tabla 55

Toma de datos del ensayo de Límite Líquido pasante de la malla N° 40.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 14		ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110)	
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.		
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	18/02/2020
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo		
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
Cantera:	Cunyac		
Ubicación:	Cusco		
Material:	Arena triturada		
Muestra:	Pasante malla #40		
DATOS DE LA MUESTRA			
DESCRIPCION	1	2	3
Peso de suelo humedo + tara(gr)	66.61	46.16	63.37
Peso de suelo seco + tara(gr)	60.38	40.21	58.29
Peso de tara(gr)	36.97	15.81	37.20
Peso de suelo seco(gr)			
Peso de suelo humedo(gr)			
Peso de agua(gr)			
Contenido de humedad			
Numero de golpes	17	28	35
LL aproximado			
LÍMITE LÍQUIDO			



Tabla 56
Toma de datos del ensayo de Límite Líquido pasante de la malla N° 200.

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 14		ENSAYO DE LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (MTC E 110)	
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.		
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	18/02/2020
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo		
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
Cantera:	Cunyac		
Ubicación:	Cusco		
Material:	Arena triturada		
Muestra:	Pasante malla #200		
DATOS DE LA MUESTRA			
DESCRIPCION	1	2	3
Peso de suelo humedo + tara(gr)	60.41	65.36	50.65
Peso de suelo seco + tara(gr)	55.50	59.73	47.85
Peso de tara(gr)	36.50	37.41	47.85
Peso de suelo seco(gr)			
Peso de suelo humedo(gr)			
Peso de agua(gr)			
Contenido de humedad			
Numero de golpes			
LL aproximado			
LÍMITE LÍQUIDO			
			



3.5.1.2.4. Ensayo de Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos.

g) Equipos utilizados en la prueba.

- Balanza: Sensible a 0.01g.
- Tamices N° 40 y N° 200.
- Recipiente o vasija de porcelana de 115 mm de diámetro aproximadamente.
- Pizeta llena de agua.
- Espátula de hoja flexible.
- Vidrio esmerilado.
- Taras.
- Horno capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

h) Procedimiento

- La cantidad de muestra tomada para éste ensayo fue de 15 gr de la porción de material humedecido preparada para el ensayo de Límite Líquido. El material debe permitir formar una esfera sin que el mismo se pegue a los dedos al aplastarla. Con la mitad de la muestra se forman cilindros en una superficie lisa, al llegar a un diámetro de 3.2 mm el material debe desmoronarse, en el caso que esto no suceda se repite el proceso.



Figura 68: Elaboración de esfera y cilindros con material humedecido.



- Se observa que los cilindros se desmoronan mucho antes de llegar al diámetro de 3.2 mm.



Figura 69: Cilindro desmoronado.

- Se vuelve a formar el elipsoide y repetir el proceso hasta conseguir que el cilindro se desmorone aproximadamente en el diámetro de 3.2 mm.



Figura 70: Cilindro desmoronado en el segundo intento.

- Luego se procede poner la muestra en taras de contenido de humedad, se pesa y posteriormente se coloca la tara contenida de muestra húmeda al horno a una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta peso constante y luego se halla el contenido de humedad de dicha muestra. Este procedimiento se realiza para los dos tipos de agregados finos (arena natural y arena triturada)



i) Toma de datos

Tabla 57

Toma de datos del ensayo de Límite Plástico pasante de la malla N° 40 (arena triturada).

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 15		ENSAYO DE LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111)	
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS:	“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28”.		
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	18/02/2020
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo		
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA			
Cantera:	Cunyac		
Ubicación:	Cusco		
Material:	Arena triturada		
Muestra:	Pasante malla #40		
DATOS DE LA MUESTRA			
DESCRIPCION	1	2	3
Peso de suelo humedo + tara(gr)	NO PRESENTA		
Peso de suelo seco + tara(gr)			
Peso de tara(gr)			
Peso de suelo seco(gr)			
Peso de suelo humedo(gr)			
Peso de agua(gr)			
Contenido de humedad			
LP aproximado			
Límite Plástico			
Índice de Plasticidad			
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).	NP		
CUMPLE??			



Tabla 58

Toma de datos del ensayo de Límite Plástico pasante de la malla N° 200 (arena triturada).

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 15		ENSAYO DE LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111)		
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".			
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	18/02/2020	
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo			
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
Cantera:	Cunyac			
Ubicación:	Cusco			
Material:	Arena triturada			
Muestra:	Pasante malla #200			
DATOS DE LA MUESTRA				
DESCRIPCION	1	2	3	
Peso de suelo humedo + tara(gr)	NO PRESENTA			
Peso de suelo seco + tara(gr)				
Peso de tara(gr)				
Peso de suelo seco(gr)				
Peso de suelo humedo(gr)				
Peso de agua(gr)				
Contenido de humedad				
LP aproximado				
Límite Plástico				
Índice de Plasticidad				
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).	NP			
CUMPLE??				



Tabla 59

Toma de datos del ensayo de Límite Plástico pasante de la malla N° 40 (arena natural).

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 15		ENSAYO DE LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111)		
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".			
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	18/02/2020	
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo			
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
Cantera:	Cunyac			
Ubicación:	Cusco			
Material:	Arena Natural			
Muestra:	Pasante malla #40			
DATOS DE LA MUESTRA				
DESCRIPCION	1	2	3	
Peso de suelo humedo + tara(gr)	NO PRESENTA			
Peso de suelo seco + tara(gr)				
Peso de tara(gr)				
Peso de suelo seco(gr)				
Peso de suelo humedo(gr)				
Peso de agua(gr)				
Contenido de humedad				
LP aproximado				
Límite Plástico				
Índice de Plasticidad				
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).	NP			
CUMPLE??				



Tabla 60

Toma de datos del ensayo de Límite Plástico pasante de la malla N° 200 (arena natural).

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 15		ENSAYO DE LIMITE PLASTICO DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (MTC E 111)		
 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28".			
TESISTAS:	SANTOS VIZARRETA, Danitza Karolayn	FECHA:	18/02/2020	
	ESTRADA GUTIERREZ, Carlos Eduardo			
Laboratorio:	"Laboratorio de Pavimentos - E.P. Ingeniería Civil"			
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				
Cantera:	Cunyac			
Ubicación:	Cusco			
Material:	Arena Natural			
Muestra:	Pasante malla #200			
DATOS DE LA MUESTRA				
DESCRIPCION	1	2	3	
Peso de suelo humedo + tara(gr)	NO PRESENTA			
Peso de suelo seco + tara(gr)				
Peso de tara(gr)				
Peso de suelo seco(gr)				
Peso de suelo humedo(gr)				
Peso de agua(gr)				
Contenido de humedad				
LP aproximado				
Límite Plástico				
Índice de Plasticidad				
Requerimiento por norma: EG-2013 del MTC (%).	NP			
CUMPLE??				



3.5.1.2.5. Durabilidad al Sulfato de Sodio y Sulfato de Magnesio

a) Equipos, materiales y reactivos utilizados en la prueba.

- Tamices
- Recipientes o bowls
- Termómetro
- Balanza
- Horno
- Solución de Sulfato de Magnesio

b) Procedimiento

- Para este ensayo se pasa el agregado fino por la malla 3/8". El peso de la muestra será de mínimo 100 g en cada tamiz, y éstos serán dados en función de la siguiente tabla:

Tabla 61

Tamices nominales para el ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio en 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 MTC 2016



Figura 71: Preparación y tamizado de la muestra.



- Se prepara la solución de sulfato de magnesio (sal anhidra), disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 a 30 °C. El peso considerado según norma es de 350 gr. por cada litro de agua.

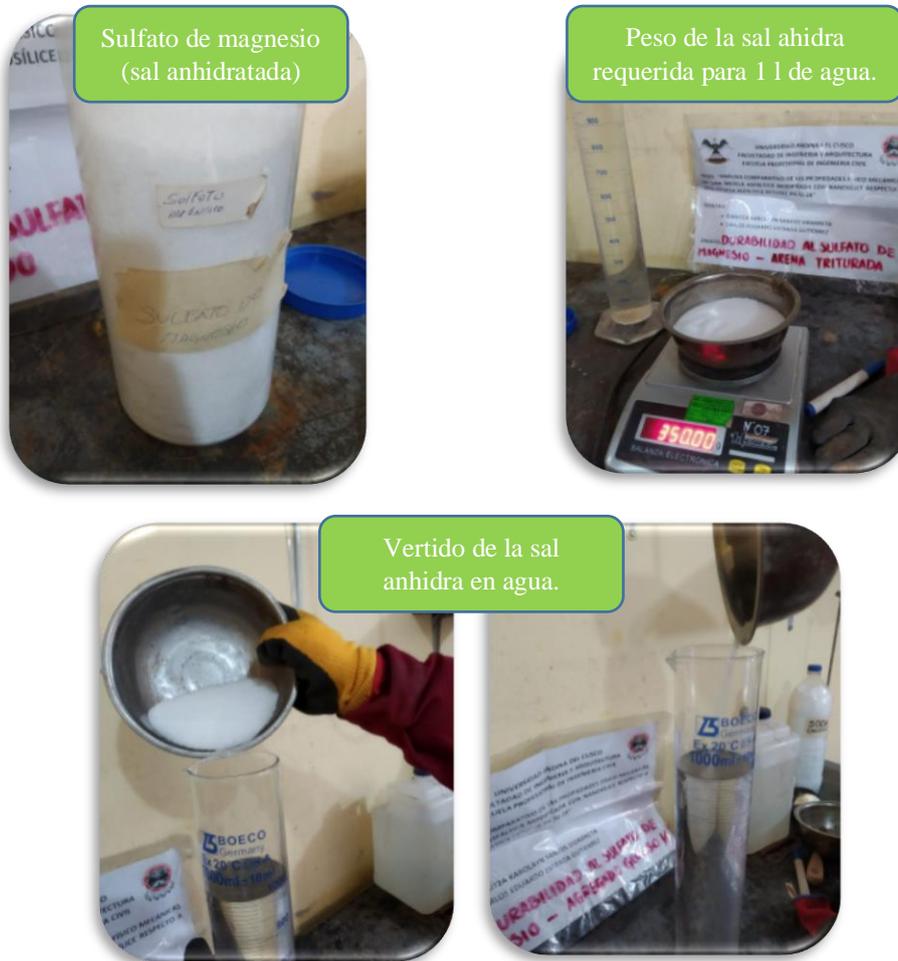


Figura 72: Preparación de la solución.

- Se sumerge la muestra correspondiente a cada tamiz en la solución por un periodo de 16 a 18 hrs., de tal manera que ésta cubra a una profundidad de por lo menos 1.5 cm. Para evitar la inmersión de sustancias extrañas, se debe cubrir el envase.



Figura 73: Inmersión del material en la solución.



- Pasado el periodo de inmersión, se retira la muestra de la solución y se deja escurrir durante un lapso de 15 ± 5 min. y se lleva la muestra a secar al horno hasta obtener un peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C.



Figura 74: Escurreido y colocado del material en el horno.

- Finalmente retira la muestra del horno, se deja enfriar a temperatura ambiente y se obtiene el peso de la misma.



Figura 75: Retirado del material del horno.

- Luego de enfriada la muestra, se lava el material para eliminar el sulfato de magnesio y se seca a una temperatura de 105°C o 110°C hasta peso constante y finalmente se tamiza el material por el mismo tamiz en el cual se retuvo al inicio del ensayo.



c) Toma de datos

Tabla 62

Toma de datos del ensayo de Durabilidad al sulfato de Magnesio.



- CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.
- Urb. B Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"

Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: MORRO BLANCO-CUNYAC

Fecha: NOVIEMBRE, 2021

Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ - DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

CANTERAS	MORRO BLANCO-CUNYAC
ALTITUD	3270

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO MTC E 209

INSUMO QUIMICO USADO: SULFATO DE MAGNESIO

AGREGADO GRUESO

MUESTRA: PIEDRA CHANCADA 1/2"

TAMAÑO				%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
									PESO (g)	%		
2 1/2 pulg	a	3 pulg		0.00%	7000+-1000	0.00						
2 pulg	a	2 1/2 pulg		0.00%	3000+-300	0.00						
1 1/2 pulg	a	2 pulg		0.00%	2000+-200	0.00						
1 pulg	a	1 1/2 pulg		0.00%	1000+-50	0.00						
3/4 pulg	a	1 pulg		0.00%	800+-30	0.00						
1/2 pulg	a	3/4 pulg		52.88%	670+-10	676.73	SI					
3/8 pulg	a	1/2 pulg		23.60%	300+-5	302.10	SI					
Nº 4	a	3/8"		23.52%	300+-5	300.99	SI					
				100.00%		1279.82					PERDIDAS TOTALES	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 15.00% max
CUMPLE????

AGREGADO FINO

MUESTRA: ARENA NATURAL

TAMAÑO				%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
									PESO (g)	%		
Nº4	a	3/8"		20.00%	100	100.00	SI					
Nº8	a	Nº4		20.00%	100	100.00	SI					
Nº16	a	Nº8		20.00%	100	100.00	SI					
Nº 30	a	Nº16		20.00%	100	100.00	SI					
Nº 50	a	Nº30		20.00%	100	100.00	SI					
				100.00%		500.00					PERDIDAS TOTALES	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 18.00% max
CUMPLE????

AGREGADO FINO

MUESTRA: ARENA TRITURADA

TAMAÑO				%	PESO (g) REQUERIDO	PESO (g) INICIAL	Cumple?	PESO (g) FINAL	PERDIDAS		GRADACION ORIGINAL	%
									PESO (g)	%		
Nº4	a	3/8"		20.00%	100	100.00	SI					
Nº8	a	Nº4		20.00%	100	100.00	SI					
Nº16	a	Nº8		20.00%	100	100.00	SI					
Nº 30	a	Nº16		20.00%	100	100.00	SI					
Nº 50	a	Nº30		20.00%	100	100.00	SI					
				100.00%		500.00					PERDIDAS TOTALES	

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA 18.00% max
CUMPLE????

Fuente: INGEOMAT 2021.



3.5.1.2.6. Método de ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino (MTC E 114)

a) Equipos, materiales y reactivos utilizados en la prueba.

- Un cilindro graduado, transparente de plástico con tapón de jebe (probeta).
- Horno
- Lata de medición
- Tamiz N°4
- Embudo
- Recipiente plano para mezclar
- Reloj
- Stock de solución

b) Procedimiento

- Se muestrea el material hasta obtener una muestra mínima de 1500 gr de material que pase el tamiz N°4, para esto se realiza el tamizado manual o mecánico durante 1 min. Se procede a desmenuzar los grumos existentes en el material.



Figura 76: Muestreo manual del material mediante el tamiz N°4.

- Para preparar el ensayo, utilizamos el procedimiento A. Se añade humedad a la muestra para evitar el flujo libre del material.



Figura 77: Humedecimiento del material.

- Con el recipiente en este caso la lata de medición se toma la muestra, para esto, se golpea la parte inferior sobre una superficie dura por lo menos cuatro veces para tener que el material quede consolidado y al borde de la medida, luego se regresa el material a la muestra y se vuelve a cuartear el material, todo esto se realiza hasta obtener la cantidad requerida según la medida para el ensayo.



Figura 78: Obtención de muestra con la lata de medición.

- Se ajustan los recipientes que contienen la solución de trabajo de cloruro de calcio, es importante que estas se encuentren por encima de la superficie de trabajo para que el dispositivo del sifón funcione, se sifonea un total de 102 ± 3 mm de acuerdo a la medida que indica en el cilindro graduado de la solución.



Solución concentrada de cloruro de calcio



Agua destilada con stock de solución



Dispositivo de sifón

Figura 79: Stock de solución y sifoneo del mismo en el cilindro graduado.

- Verter el espécimen preparado previamente en el cilindro de plástico con un embudo para evitar pérdidas. Se debe golpear suavemente el fondo del cilindro varias veces sobre la palma de la mano para eliminar las burbujas de aire y conseguir el humedecimiento total de la muestra, mantener el cilindro con la muestra humedecida evitando cualquier tipo de disturbio durante 10 ± 1 min.



Colocado de embudo



Vertido de material.

Figura 80: Vertido del material con embudo en el cilindro de plástico.



- Aflojar la muestra del fondo del cilindro agitándolo, luego de aflojar la muestra se agita el cilindro, en este caso con el método manual, para esto se sostiene el cilindro horizontalmente con las dos manos y se agita el mismo con un movimiento horizontal de extremo a extremo con un total de 90 ciclos (un ciclo es un movimiento completo de ida y vuelta) en un tiempo aproximado de 30s teniendo un recorrido total de 23 ± 3 cm.



Figura 81: Agitado manual del cilindro.

- Posteriormente, poner el cilindro sobre una mesa y remover el tapón de jebes. Se procede a introducir el tubo irrigador para enjuagar el material de las paredes, se aplica una acción de punzonamiento y se rellena el cilindro hasta los 38,0 cm, se registra el tiempo inicial a partir de ese momento. Se mantiene el cilindro con la muestra y la solución aislado de cualquier disturbio durante $20 \text{ min} \pm 15 \text{ seg}$.



Figura 82: Acción de punzonamiento y relleno con tubo irrigador.



- Pasados los 20 min de sedimentación, se procede a realizar la lectura de arcilla, seguidamente se introduce el dispositivo de pesado de pie en el cilindro bajando lentamente hasta que toque la arena, el dispositivo no debe tocar el fondo del cilindro. Se resta 25,4 cm del nivel que indica el pesado de pie siendo este valor la “lectura de arena”.



Introducción de
pesado de pie.



Lectura de arcilla



Lectura de arena.

Figura 83: Retirado del material del horno.



c) Toma de datos

Tabla 63

Toma de datos del ensayo Estándar para el Valor Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino



CONSULTORIA, ELABORACION DE PROYECTOS, EJECUCION Y SUPERVISION DE
- OBRAS CIVILES Y DE ARQUITECTURA.
- LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MATERIALES.

INGENIERIA DE MATERIALES E.I.R.L.

Urb. El Eden Lote C-3, San Sebastian - Cusco, Tlf: 270342, Claro: 974279249, Movistar: 998990111, RPM: #998990111

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON NANOSÍLICE RESPECTO A UNA MEZCLA ASFÁLTICA BETUTEC PG 70-28"

Ubicación: URB. EL EDEN-SAN SEBASTIAN-CUSCO-CUSCO

Muestra: CUNYAC

Fecha: NOVIEMBRE, 2021

Solicitante: - CARLOS EDUARDO ESTRADA GUTIERREZ - DANITZA KAROLAYN SANTOS VIZARRETA

CANTERA	CUNYAC
ALTITUD	3270 msnm

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO MTC E-114

MUESTRA ARENA NATURAL

Identificación Equipos Utilizados:	
Tamiz 5 mm	
Agitador Mecánico	
Sifón	
Probeta Graduada	
Pisón	

MUESTRAS GEMELAS					
ENSAYO 1			ENSAYO 2		
TIEMPO SEDIMENTACION	min	20	TIEMPO SEDIMENTACION	min	20
NIVEL ARCILLA	mm	10.32	NIVEL ARCILLA	mm	10.21
NIVEL ARENA	mm	8.9	NIVEL ARENA	mm	8.8

% de arena con respecto a la arcilla % de arena con respecto a la arcilla

% PROMEDIO DE ARENA CON RESPECTO A LA ARCILLA	<input type="text"/>
% TOLERANCIA	<input type="text"/>

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA
CUMPLE????

MUESTRA ARENA TRITURADA

Identificación Equipos Utilizados:	
Tamiz 5 mm	
Agitador Mecánico	
Sifón	
Probeta Graduada	
Pisón	

MUESTRAS GEMELAS					
ENSAYO 1			ENSAYO 2		
TIEMPO SEDIMENTACION	min	20	TIEMPO SEDIMENTACION	min	20
NIVEL ARCILLA	mm	10.11	NIVEL ARCILLA	mm	10.08
NIVEL ARENA	mm	8.6	NIVEL ARENA	mm	8.6

% de arena con respecto a la arcilla % de arena con respecto a la arcilla

% PROMEDIO DE ARENA CON RESPECTO A LA ARCILLA	<input type="text"/>
% TOLERANCIA	<input type="text"/>

MINIMO PERMITIDO POR LA NORMA
CUMPLE????

Fuente: INGEOMAT 2021.



3.5.2. Ensayo para el diseño de mezclas

3.5.2.1. Preparación de los especímenes Marshall BETUTEC PG 70-28 (MTC E504)

a) Equipos utilizados en la prueba.

- Moldes de compactación
- Compactador manual Marshall.
- Balanza de precisión
- Eyector de muestras de asfalto
- Horno eléctrico
- Cocina
- Juego de tamices
- Termómetro
- Espátula

b) Procedimiento

- Se seca los agregados hasta obtener peso constante entre 105°C y 110°C y se separa por tamizado en las siguientes mallas:

¾" a ½"

½" a 3/8"

3/8" a N°4

N°4 a N°10

N°10 a N°40

N°40 a N°80

N°80 a N°100

N°100 A N° 200



Figura 84: Separado de material por tamices requeridos.

- Se pesa los agregados para cada espécimen y se calienta en el horno a la temperatura de la mezcla. Así mismo se coloca los moldes de compactación y sus bases al horno a una temperatura entre 90 a 150 °C.



Colocación de
agregados en el
horno.



Colocación de moldes
de compactación en el
horno.



Figura 85: Colocación de agregados y moldes de compactación al horno.

- De la misma manera se calienta el ligante asfáltico BETUTEC PG 70 - 28 para luego verterlo en el recipiente de mezclado manual y realizar el pesaje del mismo para obtener la cantidad necesaria para cada espécimen por cada porcentaje de asfalto requerido.

Calentado del ligante
asfáltico BETUTEC
PG 70-28



Pesaje del ligante
asfáltico caliente.



Figura 86: Calentado y pesaje del bitumen.

- Obtenido el peso necesario de asfalto en caliente, se procede a incorporar el agregado grueso y fino al ligante, se mezclan los agregados con el asfalto a una temperatura de 145°C procurando que estén totalmente cubiertos por dicho material bituminoso.

Mezcla de
agregados y
asfalto.



Mezcla lista
para compactar



Figura 87: Mezclado de agregados y ligante asfáltico en caliente.