

# UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**UPLA**  
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

**TESIS**

“ALTERACIONES DEL FOCALIZADOR DIOXIDO DE TITANIO EN LAS CARACTERISTICAS MECÁNICAS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TANTO EN FRIO COMO CALIENTE EN LA AV. JAVIER PRADO LIMA”

**PARA OPTAR:**

**EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Paitampoma Ramon, Carlos Antonio**

**ASESOR:**

**Mg. Giancarlo F. Meza Terbullino**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:**

**Transporte y Urbanismo**


**Huancayo – Perú**

**2023**

**HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS**


---

Dr. Rubén Dario Tapia Silguera  
PRESIDENTE




---

Ing. Sánchez Mattos Waldir Alexis  
JURADO



---

Mtra. Ayuque Almidon Nelfa Estrella  
JURADO



---

Mtro. Gonzales Rojas Carlos Alberto  
JURADO



---

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza  
SECRETARIO DE DOCENTE

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de investigación principalmente a Dios. Porque Dios nos inspira y empodera para continuar y a mis Padres Efraín y Ydefonsa por su invaluable apoyo en las etapas de mi vida, a mis familiares por brindarme su apoyo incondicional y creer que a pesar de las dificultades en la vida se pueden superar todos los obstáculos y cumplir nuestras metas.

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por bendecirnos la vida, por guiarme a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Efraín y Ydefonsa, hermanos por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

agradezco a mis docentes de la Escuela de Ingeniería civil de la Universidad Peruana Los Andes, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional, de manera especial, a mi asesor Mg. Giancarlo F. Meza Terbullino quien me ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

# CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0061 - FI -2023

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **TESIS**; Titulado:

**ALTERACIONES DEL FOCALIZADOR DIOXIDO DE TITANIO EN LAS CARACTERISTICAS MECÁNICAS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TANTO EN FRIO COMO CALIENTE EN LA AV. JAVIER PRADO LIMA**

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **BACH. PAITAMPOMA RAMON CARLOS ANTONIO**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) : **Mtro. MEZA TERBULLINO GIANCARLO FERNANDO**

Fue analizado con fecha **26/10/2023** con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

**Excluye Bibliografía.**

X

**Excluye citas.**

X

**Excluye Cadenas hasta 20 palabras.**

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **18** %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 26 de Octubre de 2023.



**MTRA. LIZET DORIELA MONTARI MINCAMI**  
JEFA

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

## Contenido

Dedicatoria .....	iii
Agradecimiento .....	iv
Contenido .....	v
Contenido de tablas .....	vii
Contenido de imagen .....	x
Resumen .....	xi
Abstract .....	xii
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	13
1.2. Delimitación del problema.....	15
1.2.1. Delimitación temporal.....	15
1.2.2. Delimitación espacial .....	15
1.3. Formulación del problema .....	15
1.3.1. Problema General.....	15
1.3.2. Problema (s) Especifico (s) .....	15
1.4. Justificación .....	16
1.4.1. Ambiental.....	16
1.4.2. Social.....	16
1.4.3. Económica.....	16
1.4.4. Teórica .....	16
1.5. Objetivos .....	17
1.5.1. Objetivo General .....	17
1.5.2. Objetivo(s) Específico(s).....	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes (nacionales e internacionales) .....	18
2.2. Bases Teóricas o Científicas.....	26
2.3. Términos básicos.....	69
CAPÍTULO III .....	71
HIPÓTESIS .....	71
3.1. Hipótesis General .....	71
3.2. Hipótesis Específica (s).....	71
3.3. Variables (definición conceptual y operacional) .....	71
3.4. Operacionalización de las variables .....	72
CAPÍTULO IV .....	73
METODOLOGÍA .....	73
4.1. Método de Investigación.....	73

4.1.1.	Método de la Investigación .....	73
4.1.2.	Alcance de la Investigación.....	73
4.2.	Tipo de Investigación.....	73
4.3.	Nivel de Investigación .....	74
4.4.	Diseño de la Investigación .....	74
4.5.	Población, muestra y muestreo .....	74
4.6.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	75
4.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	76
4.8.	Aspectos éticos de la Investigación.....	76
CAPÍTULO V .....		78
RESULTADOS .....		78
5.1.	PRUEBAS – ENSAYOS DE CALIDAD REALIZADOS A LOS AGREGADOS PÉTREOS ..	78
5.2.	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE .....	97
5.3.	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.....	111
5.4.	ENSAYO DE DEGRADACIÓN DE RODAMINA B.....	126
5.5.	COSTOS .....	137
Análisis y discusión de resultados .....		141
Conclusiones .....		145
Recomendaciones.....		147
Referencias Bibliográficas.....		148
ANEXOS.....		158
MATRIZ DE CONSISTENCIA .....		159
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....		160
EVIDENCIA DE ENSAYOS .....		160

## Contenido de tablas

Tabla 1: Ensayos y frecuencias de la mezcla Asfáltica en caliente.....	43
Tabla 2: Guía para el uso de productos derivados del asfalto en mezclas en frío.....	44
Tabla 3: Ensayos y frecuencias de mezcla asfáltica en frío.....	44
Tabla 4: Límites granulométricos del agregado grueso.....	46
Tabla 5: Requisitos para los agregados gruesos.....	47
Tabla 6: Esta especificación se verifica con la norma NMX-C-077-ONNCCE.....	48
Tabla 7: Requisito para los agregados finos.....	48
Tabla 8: Especificaciones Técnicas del Cemento Asfáltico AC-20.....	54
Tabla 9: Causas y efectos de la baja durabilidad.....	58
Tabla 10 Causas y efectos de la permeabilidad.....	60
Tabla 11: Causas y efectos de la inestabilidad.....	60
Tabla 12: Criterio de diseño de mezclas Marshall.....	62
Tabla 13: Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA).....	63
Tabla 14: Requerimientos para una mezcla asfáltica: MTC.....	67
Tabla 15: Requisitos Mínimos en el Agregado Mineral.....	68
Tabla 41: Análisis granulométrico.....	78
Tabla 42: Análisis granulométrico MAC.....	79
Tabla 43: Resultado de equivalente de arena.....	80
Tabla 44: Parámetro equivalente de arena MTC.....	80
Tabla 45: Resultado del ensayo angularidad de agregado fino.....	80
Tabla 46: Parámetro angularidad de agregado fino (MTC).....	81
Tabla 47: Resultado azul de metileno.....	81
Tabla 48: Parámetro azul de metileno (AASHTO T330).....	81
Tabla 49: Material pasante (malla N° 40).....	82
Tabla 50: Consolidación sobre índice de plasticidad (malla N° 40).....	82
Tabla 51: Material pasante (malla N° 200).....	82
Tabla 52: Resultado índice de plasticidad (malla N° 200).....	82
Tabla 53: Requerimiento de índice de plasticidad (MTC E 111).....	83
Tabla 54: Resultado de ensayo de durabilidad.....	83
Tabla 55: Parámetro de ensayo de durabilidad (al sulfato de magnesio).....	83
Tabla 56: Consolidación sobre ensayo de índice de durabilidad.....	84
Tabla 57: Parámetro de ensayo índice de durabilidad.....	84
Tabla 58: Resultado del ensayo sales solubles totales.....	84
Tabla 59: Parámetro sales solubles totales (MTC).....	85
Tabla 60: Consolidación sobre el ensayo absorción.....	85
Tabla 61: Parámetro del ensayo de absorción (MTC).....	85
Tabla 62: Consolidación sobre el ensayo Malla N°200.....	86
Tabla 63: Resumen de ensayos de calidad realizados al agregado fino.....	86
Tabla 64: Consolidación sobre el análisis granulométrico – piedra chancada huso #67.....	87
Tabla 65: Consolidación sobre análisis granulométrico– piedra chancada huso #89.....	88
Tabla 66: Consolidación sobre Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio– piedra chancada huso #89.....	89
Tabla 67: Parámetros de ensayo durabilidad (al sulfato de magnesio) (MTC E 209)....	89
Tabla 68: Consolidación sobre ensayo abrasión los ángeles– piedra chancada huso #67	89



Tabla 69: Consolidación sobre ensayo abrasión los ángeles – piedra chancada huso #89.	89
Tabla 70: Parámetro de ensayo abrasión los ángeles (MTC) .....	90
Tabla 71: Consolidación sobre el ensayo de adherencia –piedra chancada huso #67....	90
Tabla 72: Consolidación sobre el ensayo de adherencia –piedra chancada huso #89....	90
Tabla 73: Parámetro del ensayo de adherencia (MTC) .....	91
Tabla 74: Ensayo índice de durabilidad– piedra chancada huso #67 .....	91
Tabla 75: Consolidación sobre el ensayo índice de durabilidad – piedra chancada huso #67 .....	91
Tabla 76: Ensayo índice de durabilidad – piedra chancada huso #89 .....	91
Tabla 77: Consolidación sobre el ensayo índice de durabilidad – piedra chancada huso #89 .....	92
Tabla 78: Parámetro ensayo índice de durabilidad (MTC). .....	92
Tabla 79: Consolidación sobre el ensayo partículas chatas y alargadas.....	92
Tabla 80: Requerimiento del ensayo partículas chatas y alargadas (MTC) .....	93
Tabla 81: Resultado del ensayo caras fracturadas de una cara.....	93
Tabla 82: Parámetro del ensayo cara fracturada (MTC) .....	93
Tabla 83: Consolidación sobre ensayo sales solubles totales –piedra chancada huso #67.	94
Tabla 84: Consolidación sobre ensayo sales solubles totales– piedra chancada huso #89.	94
Tabla 85: Parámetro de ensayo sales solubles totales (MTC) .....	94
Tabla 86: Resultados ensayo de Absorción – piedra chancada huso #67.....	95
Tabla 87: Resultado ensayo de Absorción – piedra chancada huso #89 .....	95
Tabla 88: Parámetro ensayo de Absorción (MTC).....	95
Tabla 89 Resultado ensayo material que pasa malla N° 200– Piedra chancada huso #67 .....	96
Tabla 90: Resultado ensayo material que pasa malla N° 200 – piedra chancada huso #89 .....	96
Tabla 91: Resumen de los resultados de los ensayos de calidad para el agregado grueso .....	96
Tabla 92: Consolidación sobre análisis granulométrico .....	97
Tabla 93: Diseño de la mezcla asfáltica convencional (C.A. %=4.5%).....	98
Tabla 94: Diseño de mezcla asfáltica convencional (C.A. %=5.0) .....	99
Tabla 95: Diseño de Mezcla asfáltica convencional (C.A. %=5.5.).....	100
Tabla 96: Diseño de Mezcla asfáltica convencional (C.A. %=6.0).....	101
Tabla 97: C.A. % según el ensayo Marshall.....	102
Tabla 98: Porcentaje óptimo de cemento asfáltico .....	102
Tabla 99: Características Marshall– % optimo.....	102
Tabla 100: Resultado de resistencia conservada .....	104
Tabla 101: Consolidación sobre el ensayo Marshall para 1% con adición de TiO <sub>2</sub> .....	105
Tabla 102: Consolidación sobre el ensayo Marshall para 2% con adición de TiO <sub>2</sub> .....	106
Tabla 103: Consolidación sobre el ensayo Marshall para 3% con adición de TiO <sub>2</sub> .....	107
Tabla 104: Resumen de resultado del Marshall modificado (TiO <sub>2</sub> ) .....	108
Tabla 105: Consolidación sobre el análisis granulométrico .....	111
Tabla 106: Tolerancia granulométrica de los agregados. ....	112
Tabla 107 Componentes de la mezcla.....	113
Tabla 108: Contenido de agua en la mezcla.....	113
Tabla 109: Resultado agua de compactación .....	114
Tabla 110: Componentes del diseño.....	114
Tabla 111 Resultados ensayo Marshall (asfalto residual =2.5%). .....	114

Tabla 112 Componentes del diseño .....	115
Tabla 113: Resultado ensayo Marshall (asfalto residual = 3.5%).....	115
Diseño de la mezcla asfáltica en frío convencional con 4.5% de asfalto residual	
Tabla 114: Componentes del diseño .....	116
Tabla 115: Resultado ensayo Marshall (asfalto residual=4.5%).....	116
Tabla 116: Componentes del diseño .....	117
Tabla 117: Resultado ensayo Marshall (asfalto residual =5.5%).....	117
Tabla 118: Resumen de los resultados del ensayo Marshall .....	118
Tabla 119: Resumen compactación .....	118
Tabla 120: Consolidación sobre el % óptimo de asfalto residual.....	120
Tabla 121: Características del % óptimo de asfalto.....	120
Tabla 122: Componentes de la mezcla con 1% de TiO <sub>2</sub> .....	121
Tabla 123: Resultado ensayo Marshall para 1% de TiO <sub>2</sub> .....	121
Tabla 124: Componentes de la mezcla con 2% de TiO <sub>2</sub> .....	122
Tabla 125: Resultados ensayo Marshall para 2% de TiO <sub>2</sub> .....	122
Tabla 126: Componentes de la mezcla con 3% de TiO <sub>2</sub> .....	123
Tabla 127: Resultado ensayo Marshall para 3% de TiO <sub>2</sub> .....	123
Tabla 128: Resumen del Consolidación sobre diseño de mezcla asfáltica en frío con 1 %, 2% y 3% de dióxido de titanio.....	124
Tabla 129: Resultado de diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> en 0.hrs. ....	126
Tabla 130: Resultado de diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> en 4 hrs.....	127
Tabla 131: Resultado de diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> en 26hrs.....	128
Tabla 132: Análisis de color y tiempo para los porcentajes de TiO <sub>2</sub> .....	128
Tabla 133: Medidas de coloración obtenidas .....	129
Tabla 134: Medidas de coloración obtenida.....	130
Tabla 135: Medidas de coloración obtenida.....	131
Tabla 136: Medidas de coloración obtenida.....	131
Tabla 137: Consolidación sobre diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> en 0-hrs. ....	132
Tabla 138: Resultado de diferentes porcentajes de TiO <sub>2</sub> en 4h.....	133
Tabla 139 Resultado de diferente porcentaje de TiO <sub>2</sub> en 26h .....	133
Tabla 140: Medidas de coloración obtenida.....	134
Tabla 141: Medidas de colorante obtenida .....	135
Tabla 142: Medidas de colocación obtenido.....	135
Tabla 143: Medidas de colorante obtenida .....	136
Tabla 144: Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica caliente convencional....	137
Tabla 145 Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con dióxido de titanio.....	138
Tabla 146: Comparación de costo de producción.....	138
Tabla 147: Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica en frío convencional.	139
Tabla 148: Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica en frío adicionado dióxido de titanio .....	140
Tabla 149: Comparación en costos de producción .....	140

## Contenido de imagen

Imagen 1 Máquina para Pruebas de Estabilidad Marshall con Anillo de Carga. ....	67
Imagen 20: Curva granulométrica.....	79
Imagen 21: Curva granulométrica –piedra chancada huso #67.....	87
Imagen 22: Curva granulométrica –piedra chancada huso #89.....	88
Imagen 23: Curva granulométrica.....	98
Imagen 24: Curva para determinar el óptimo de cemento asfáltico .....	103
Imagen 25: Comparación de Consolidación sobre peso unitario en cada concentración % .....	108
Imagen 26: Análisis comparativo de resultados de vacíos hallados en cada concentración % .	109
Imagen 27: Análisis comparativo de resultados V.M.A. en cada concentración % .....	109
Imagen 28: Análisis comparativo de resultados de vacíos llenos C.A. en cada concentración %	109
Imagen 29: Análisis comparativo de resultados de polvo/asfalto en cada concentración % .....	110
Imagen 30: Análisis comparativo de resultados de flujo en cada concentración % .....	110
Imagen 31: Análisis comparativo de resultados de Estabilidad en cada concentración % .....	110
Imagen 32: Curva granulométrica.....	112
Imagen 33: Curva granulométrica.....	112
Imagen 34: Estabilidad modificada (kg) .....	118
Imagen 35: Cambio estabilidad %.....	118
Imagen 36 Densidad seca Bulk. ....	119
Imagen 37: Humedad absorbida % .....	119
Imagen 38 Vacíos totales .....	119
Imagen 39: Estabilidad.....	120
Imagen 40: Comparación de Consolidación sobre densidad seca bul.....	124
Imagen 41: Análisis comparativo de resultados de vacíos totales.....	124
Imagen 42: Análisis comparativo de resultados de cambio de estabilidad. ....	125
Imagen 43: Análisis comparativo de resultados de humedad absorbida.....	125
Imagen 44: Análisis comparativo de resultados de flujo.....	125
Imagen 45: Análisis comparativo de resultados de estabilidad seca .....	126
Imagen 46: Análisis comparativo de resultados de estabilidad humedad .....	126
Imagen 47: Prueba de rodamina B–0.hrs. ....	127
Imagen 48: Prueba de rodamina B– 4hrs. ....	127
Imagen 49: Prueba de rodamina B–26hrs .....	128
Imagen 50: Análisis de mezcla asfáltica en caliente fotocatalítico con 0% $TiO_2$ .....	129
Imagen 51: Análisis de la mezcla asfáltica en caliente fotocatalítico con 1% de $TiO_2$ .....	130
Imagen 52: Análisis de mezcla asfáltica en caliente fotocatalítico con 2% de $TiO_2$ .....	131
Imagen 53: Análisis de la mezcla asfáltica en caliente fotocatalítico con 3% de $TiO_2$ .....	132
Imagen 54: Prueba de rodamina B– 0–hrs .....	132
Imagen 55: Prueba de rodamina B–4h .....	133
Imagen 56: Prueba de rodamina B en 26h.....	133
Imagen 57: Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico con 0% de $TiO_2$ .....	134
Imagen 58: Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico con 1% de $TiO_2$ .....	135
Imagen 59: Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico con 2% $TiO_2$ .....	136
Imagen 60: Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico con 3% de $TiO_2$ .....	136

## Resumen

La investigación se llevó a cabo con el propósito de realizar una comparación de los efectos del fotocatalizador de dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas, tanto calientes como frías, en la avenida Leoncio Prado de Lima. Para ello, se emplearon PEN 60/70 y agregados de la cantera Lorenzo de Lurín, sometidos a pruebas de calidad según las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción (EG-2013). El estudio se basó en una metodología aplicada, con una muestra de 66 unidades (briquetas) elaboradas en el Laboratorio de Diseño Geotécnico y Control de Calidad S.A.C. Se utilizaron mezclas asfálticas convencionales en caliente y en frío, así como briquetas con aditivos de  $TiO_2$  al 1%, 2% y 3%. Estas se prepararon para la prueba de Marshall para determinar sus propiedades mecánicas, y luego se realizó una prueba de Degradación de Rodamina B para evaluar su propiedad fotocatalítica. Los resultados mostraron que la estabilidad de la mezcla asfáltica, tanto fría como caliente, con un 2% de  $TiO_2$  fue suficiente, con valores de estabilidad de 1590.5kg y 1108.5kg, respectivamente. Esto representa un aumento del 11.9% y 0.24% en comparación con la mezcla asfáltica convencional. La adición de dióxido de titanio mejora notablemente las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, cumpliendo con los requisitos técnicos. Por ejemplo, se obtuvo una estabilidad de 1590.5 kg, un porcentaje de vacíos del 4% y un porcentaje de relleno mineral poros del 15.4%. En contraste, en la mezcla asfáltica en frío, la adición de  $TiO_2$  resultó en una estabilidad de 1108.5 kg, una reducción del 12.7% en los vacíos y una disminución del 22.8% en los poros de los agregados minerales. Estos resultados muestran mejoras significativas en comparación con los valores convencionales. En conclusión, las propiedades de la mezcla con  $TiO_2$  se mejoran aún más cuando se aplica en mezclas asfálticas calientes. Sin embargo, en el caso de las mezclas frías, se observó un alto porcentaje de vacíos, lo que representa una excepción.

**Palabras claves:** mezcla asfáltica, ensayo Marshall, dióxido de titanio, fotocatalizador, Rodamina B.

## Abstract

The research was carried out with the purpose of carrying out a comparison of the effects of the titanium dioxide photocatalyst on the mechanical properties of asphalt mixtures, both hot and cold, on Leoncio Prado Avenue in Lima. For this, PEN 60/70 and aggregates from the Lorenzo de Lurín quarry were used, subjected to quality tests according to the General Technical Construction Specifications (EG-2013). The study was based on an applied methodology, with a sample of 66 units (briquettes) produced in the Geotechnical Design and Quality Control Laboratory S.A.C. Conventional hot and cold asphalt mixtures were used, as well as briquettes with TiO<sub>2</sub> additives at 1%, 2% and 3%. These were prepared for the Marshall test to determine their mechanical properties, and then a Rhodamine B Degradation test was performed to evaluate their photocatalytic property. The results showed that the stability of the asphalt mixture, both cold and hot, with 2% TiO<sub>2</sub> was sufficient, with stability values of 1590.5kg and 1108.5kg, respectively. This represents an increase of 11.9% and 0.24% compared to conventional asphalt mix. The addition of titanium dioxide significantly improves the mechanical properties of the hot mix asphalt, meeting the technical requirements. For example, a stability of 1590.5 kg, a void percentage of 4% and a mineral pore filling percentage of 15.4% were obtained. In contrast, in the cold mix asphalt, the addition of TiO<sub>2</sub> resulted in a stability of 1108.5 kg, a 12.7% reduction in voids and a 22.8% decrease in the pores of the mineral aggregates. These results show significant improvements compared to conventional values. In conclusion, the properties of the mixture with TiO<sub>2</sub> are further improved when applied in hot asphalt mixtures. However, in the case of cold mixtures, a high percentage of voids was observed, which represents an exception.

**Keywords:** Asphalt mix, Marshall test, Titanium dioxide, Photocatalyst, Rhodamine B.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La creciente contaminación ambiental, principalmente atribuible a los países modernizados, plantea una amenaza significativa para la humanidad. La presencia de numerosos gases contaminantes tiene un impacto considerable en la salud y el estilo de vida de las personas. Es irónico que la modernización, el gran avance tecnológico y el crecimiento demográfico descontrolado sean las principales causas de esta contaminación.

La contaminación atmosférica, especialmente en entornos urbanos, es un problema grave en países tanto desarrollados como subdesarrollados. La emisión de gases contaminantes, principalmente provocada por el tráfico vehicular y las actividades industriales, es la principal fuente de contaminación del aire. Estas fuentes de contaminación deben ser estudiadas y controladas de manera integral como parte de los esfuerzos para abordar este problema.

En el caso específico de nuestro país, la contaminación ambiental, en particular la contaminación del aire, no es ajena a nosotros. La industria automotriz es una de las principales generadoras de emisiones contaminantes, lo que contribuye significativamente al congestionamiento vehicular y a la contaminación del aire, especialmente en ciudades como Lima, que es una de las más contaminadas de América Latina.

Dada la gravedad del problema y su impacto en la sociedad, se han llevado a cabo investigaciones para encontrar soluciones efectivas para prevenir la contaminación.

Los fotocatalizadores de dióxido de titanio han demostrado ser herramientas efectivas para limpiar el aire, con resultados prometedores en varios países. Además, el dióxido de titanio es más económico y eficiente en comparación con otros fotocatalizadores menos conocidos.

En Perú, se están utilizando productos y materiales basados en dióxido de titanio en diversas aplicaciones, desde la construcción hasta productos de uso diario como dentífricos y pinturas. Estos materiales innovadores no solo tienen capacidades de auto limpieza y desinfección ambiental, sino que también son económicos y duraderos.

A pesar del avance tecnológico y el descubrimiento de aditivos respetuosos con el medio ambiente, como el fotocatalizador de dióxido de titanio, todavía hay incertidumbre sobre cómo afectan exactamente estas adiciones a las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas. El proceso de fotólisis del fotocatalizador ofrece mecanismos de regeneración del aire y propiedades autolimpiantes, pero aún hay falta de conocimiento y difusión sobre su aplicación en la industria de la construcción, especialmente en la preparación de capas asfálticas. Esto se debe en parte a la novedad del producto y a la falta de información sobre sus propiedades mecánicas y su uso adecuado.

## **1.2. Delimitación del problema**

### **1.2.1. Delimitación temporal**

El desarrollo del trabajo fue de tres meses dentro del año 2023, siendo los meses de abril a junio.

### **1.2.2. Delimitación espacial**

El desarrollo del trabajo fue en la avenida Javier Prado en un tramo de 2 km de la cuadra 3 hasta la 22.

## **1.3. Formulación del problema**

La formulación del problema de una investigación es la etapa donde se estructura formalmente la idea de investigación a realizar. Una buena formulación del problema indiscutiblemente necesita de la delimitación del campo de investigación, establece claramente los límites dentro de los cuales se ejecutará el proyecto de estudio.

### **1.3.1. Problema General**

¿Cuál es el análisis comparativo de los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío en la avenida Leoncio Prado de la Ciudad de Lima?

### **1.3.2. Problema (s) Especifico (s)**

- ¿Cómo se presenta el efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en la estabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima?
- ¿Cuál es el efecto del dióxido de titanio fotocatalítico en la trabajabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima?
- ¿Cómo se da el efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en la permeabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima?



## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Ambiental**

Esto significa describir cómo los resultados de la investigación cambian la realidad del campo de estudio. Así, los estudios enfocados a evaluar la adopción de nuevas tecnologías en el sector logístico ayudan a las empresas que prestan estos servicios a conocer qué oportunidades tienen para ofrecer sus productos y servicios; La investigación también puede proporcionar algunas necesidades específicas para las empresas. Se requiere un buen desempeño del pavimento para la mezcla asfáltica, y el uso de fotocatalizador de dióxido de titanio reduciría los costos de mantenimiento y lograría una operación ecológica; utilizar los recursos de la infraestructura vial de manera tan efectiva como actualmente no sucede debido a la falta de información sobre este importante recurso.

### **1.4.2. Social**

Esto se justifica si la investigación realizada ofrece un nuevo método o una nueva estrategia para obtener información fiable y válida. Para lograr los objetivos trazados se deben utilizar lineamientos metodológicos confiables, se deben obtener herramientas e instructivos para el correcto procesamiento de la información y así obtener la información necesaria para confirmar la prueba de hipótesis de investigación y tomar decisiones.

### **1.4.3. Económica**

El presente estudio es más analítico y circunstancial, debido a que se realizan en obras realizadas, y nuestro modo es el análisis de campo y referencia documental, lo que nos lleva a ser un estudio económico y no lucrativo, además la inversión que se realiza es para ampliar el conocimiento y por ello no es imprudencia el gasto.

### **1.4.4. Teórica**

Describe las lagunas de conocimiento existentes que el estudio pretende reducir. Hay varios argumentos para justificar la importancia de la investigación desde una perspectiva teórica. Para este estudio se cuenta con datos confiables de varios estudios internacionales y nacionales sobre

muchos factores relacionados con este problema utilizando datos efectivos con respaldo confiable.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Realizar un análisis de tipo comparativo de los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.

### **1.5.2. Objetivo(s) Específico(s)**

- Investigar el efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en la estabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.
- Investigar el efecto del dióxido de titanio fotocatalítico en la trabajabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.
- Investigar el efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en la permeabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes (nacionales e internacionales)

##### **En lo nacional**

Se menciona el trabajo de Rivera, (2022), al que título “*Determinación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto adicionado con dióxido de titanio, Piura, 2022*”, donde el desarrollo de su investigación estuvo centrada en su objetivo principal de la determinación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto adicionado con Dióxido de Titanio  $TiO_2$ ; para lograrlo empleó la metodología a la investigación de tipo aplicada, diseño experimental y enfoque cuantitativo, con una población y muestra que donde consideró 24 prototipos en forma global, divididas en 6 muestras patrón, 6 muestras con 2% de dióxido de titanio, 6 con 4% de dióxido de titanio y 6 con 8% de dióxido de titanio  $TiO_2$ . En el desarrollo de esta investigación los resultados obtenidos a través de la estabilidad Marshall (resistencia a la deformación) y por lo establecido en la norma E 504 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la norma ASSTM– 1559 y las especificaciones técnicas establecidas en el manual de carreteras EG 2013; de las muestras ensayadas con 0%, 2%, 4%, 8% se pudo observar que presentó un incremento en su estabilidad Marshall en confrontación con la mezcla patrón; asimismo en el ensayo Rodamina B y norma UNI 11259 se pudo determinar la presencia de la propiedad fotocatalítica en el asfalto adicionado con dióxido de titanio dado que la investigación busco . desarrollar un asfalto fotocatalítico capaz de eliminar compuestos contaminantes. Con los datos obtenido llegó a concluir

que el dióxido de titanio es un buen aditivo para mejorar sus propiedades mecánicas, la adición del 2% da el mejor efecto, logró mejorar el comportamiento de la mezcla, y la estabilidad aumentó de 1206 kg obtenidos en la muestra estándar a 1460,8 kg. En cuanto al desempeño de la degradación fotocatalítica, se concluyó que la mezcla puede degradar el colorante orgánico Rodamina B, el mejor efecto se obtuvo al agregar 8% de  $\text{TiO}_2$ , el porcentaje de R4 con 8% de  $\text{TiO}_2$  fue de 11.76%, R26 con 8%. Se utilizó  $\text{TiO}_2$ , que dio una degradación de 28,49, aunque la mezcla no podía considerarse un material fotocatalítico porque no excedía las especificaciones técnicas del estándar utilizado.

En esta misma línea se cita a (Huamani & Solis, 2021), quienes desarrollaron su investigación al cual titularon “*Efecto de las propiedades físico-mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio – diciembre 2020*”; La investigación se enfocó en determinar el impacto del dióxido de titanio en las propiedades físicas, mecánicas y químicas del mortero convencional utilizado en la construcción en la provincia y región de Arequipa. Se llevó a cabo utilizando un enfoque cuantitativo experimental, analizando morteros con diferentes proporciones de  $\text{TiO}_2$  en relación con el cemento y la arena. Se trabajó con una muestra de 124 probetas prismáticas rectangulares para cada tipo de mezcla de mortero. Los resultados indicaron que la adición de  $\text{TiO}_2$  redujo la resistencia a la compresión y la absorción de agua, especialmente a mayores concentraciones. Además, se observó que solo el mortero sin  $\text{TiO}_2$  no mostraba actividad fotocatalítica. Sin embargo, los coeficientes de fotodegradación cumplían con los estándares mínimos requeridos. Se demostró que bajo exposición solar, el mortero con  $\text{TiO}_2$  mostraba capacidad de autolimpieza al evitar que las partículas contaminantes se adhirieran a su superficie. El autor concluyó que una concentración del 3% de  $\text{TiO}_2$  era óptima, ya que mejoraba las propiedades mecánicas del mortero, mantenía su manejabilidad, reducía la absorción de agua y ofrecía beneficios fotocatalíticos y autolimpiantes, todo ello con una perspectiva de costo-beneficio a largo plazo.

Se nos presenta a (Najar, 2021), quien se presentó con su trabajo de investigación con el título “*Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con  $\text{TiO}_2$  (Dióxido de Titanio) en la ciudad de Arequipa 2021*”, La investigación se centró en determinar el porcentaje óptimo

de dióxido de titanio en relación con el peso de cemento HE Yura en la mezcla de concreto convencional, con el objetivo de mantener o mejorar las propiedades físico-mecánicas y la capacidad autolimpiante en la fabricación de adoquines tipo II con una resistencia de 420 kgf/cm<sup>2</sup>. Se empleó un diseño experimental cuantitativo para evaluar la resistencia a la compresión y cualitativo para evaluar la capacidad fotocatalítica con rodamina B. La muestra consistió en 48 adoquines, de los cuales 36 se destinaron a la evaluación directa de la capacidad fotocatalítica y 12 para el ensayo de decoloración de rodamina B, que indica la propiedad autolimpiante. Los resultados mostraron un incremento del 7% en la resistencia a la compresión de los adoquines con un 7% de adición de TiO<sub>2</sub> en comparación con la muestra base, según el ensayo de resistencia a la compresión (NTP 366.611-NTP 366.604). En cuanto a la capacidad fotocatalítica evaluada con la prueba de Rodamina B, los adoquines con TiO<sub>2</sub> demostraron un rendimiento eficaz, calificado como alto en comparación con la muestra base. Se concluyó que un mayor porcentaje de TiO<sub>2</sub> no se tradujo necesariamente en una mayor capacidad fotocatalítica. Específicamente, el tratamiento con un 12% de TiO<sub>2</sub> no alcanzó el rendimiento esperado en comparación con los tratamientos del 3% y 7%, y no cumplió con los requisitos mínimos de resistencia de 420 kg/cm<sup>2</sup>.

Asimismo, en el trabajo de (Carazas & Palomino, 2020), quienes presentaron su investigación con el título de *“Evaluación de las propiedades físico-mecánicas y fotocatalíticas del mortero patrón de cemento respecto al mortero de cemento adicionado con dióxido de titanio al 3%, 5% Y 7% – Cusco 2020”*, Los investigadores se enfocaron en su objetivo principal de evaluar las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del mortero de cemento Portland tipo I con una relación agua/cemento de 0.85, al que se le añadió dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en concentraciones del 3%, 5% y 7%, en comparación con un mortero estándar de cemento Portland tipo I con la misma relación agua/cemento. Utilizaron un enfoque de investigación cuantitativa aplicada con un nivel descriptivo correlacional hipotético-deductivo y un diseño cuasiexperimental. Se consideraron dos poblaciones: probetas de mortero con una relación agua/cemento de 0.85 hechas con cemento tipo I y mezclas de mortero con las mismas características. La muestra consistió en 96 probetas de mortero y 60 secciones de mezcla de mortero. Se realizaron varias pruebas, incluida la prueba de fluidez en estado plástico, donde se observó que la fluidez disminuía con el aumento del TiO<sub>2</sub>, con concentraciones del 5% y 7% mostrando una consistencia más seca. En la prueba de resistencia a la

compresión en estado endurecido, se encontró que el mortero modificado con un 3% de TiO<sub>2</sub> mostraba un ligero aumento de resistencia, pero esta disminuía con concentraciones del 5% y 7%. La absorbancia también disminuyó con el aumento del TiO<sub>2</sub>, mientras que la adherencia aumentó. Para evaluar las propiedades fotocatalíticas, se realizó un ensayo de coeficiente de fotodegradación durante 4 y 26 horas, y se observó un aumento significativo en la tasa de degradación con mayores concentraciones de TiO<sub>2</sub>. Los resultados llevaron a la conclusión de que la adición de TiO<sub>2</sub> al mortero mejoraba sus propiedades mecánicas y le confería propiedades fotocatalíticas, lo que sugiere una mejora en la autolimpieza y descomposición de contaminantes.

Para finalizar citamos a (Cluzman, 2019), desarrollo su investigación bajo el título de *“Análisis comparativo de los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío en Lima, 2019”*, El objetivo principal de este estudio fue realizar una comparación de los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y en frío en Lima. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó asfalto PEN 60/70 altamente cementante y agregados provenientes de la cantera UNICON en el distrito de Carabayllo, sometidos a ensayos de calidad según las especificaciones técnicas generales de la construcción EG-2013. El método de investigación aplicado fue experimental, con un enfoque cuantitativo. La población estudiada consistió en briquetas de mezcla asfáltica disponibles en el laboratorio de Ingeniería Geotécnica y Control de Calidad S.A.C. en Lima. La muestra utilizada en la investigación fue de 66 briquetas, empleadas en diversos ensayos tanto para mezclas asfálticas en caliente como en frío, tanto convencionales como adicionadas con 1%, 2% y 3% de TiO<sub>2</sub> en ambos diseños. Se realizaron ensayos Marshall para determinar las propiedades mecánicas y ensayos de degradación de Rodamina B para medir la propiedad fotocatalítica. Los resultados mostraron que la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente y en frío con un 2% de TiO<sub>2</sub> era mejor que la de las mezclas normales. La adición de TiO<sub>2</sub> mejoró significativamente las propiedades mecánicas del asfalto en caliente, cumpliendo con las especificaciones técnicas requeridas. En cuanto a las mezclas en frío, la adición de TiO<sub>2</sub> también mejoró las propiedades, aunque en menor medida debido a un aumento en los vacíos, lo que afectó la impermeabilidad. En conclusión, la incorporación de dióxido de titanio TiO<sub>2</sub> en las mezclas asfálticas en caliente y en frío optimizó estas mezclas en comparación con las convencionales, mejorando su estabilidad, trabajabilidad y propiedades fotocatalíticas.

En lo internacional

Se presenta a (Rivera, De la Cruz, & Vega, 2023), quienes presentan su trabajo con el título de *“Modificación de la mezcla asfáltica por vía seca mediante la incorporación de dióxido de titanio”*; El enfoque principal de este estudio fue determinar las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto modificado con dióxido de titanio, utilizando ensayos de Marshall y degradación de Rodamina B. Se aplicó una metodología adaptada a una investigación aplicada, con un diseño experimental y un enfoque cuantitativo. La población de estudio consistió en veinticuatro especímenes en total: seis muestras patrón, seis con un 2% de dióxido de titanio, seis con un 4% y seis con un 8%. Los resultados mostraron un aumento en la resistencia de deformación en las muestras adicionadas con dióxido de titanio en comparación con la muestra patrón. Sin embargo, en cuanto a la capacidad de degradación de las muestras modificadas, los resultados estuvieron por debajo de la norma en el ensayo de degradación de Rodamina B. Se determinó la dosificación adecuada de dióxido de titanio en la mezcla asfáltica mediante el ensayo de Marshall, aplicado a la mezcla convencional, para garantizar que las muestras patrón cumplieran con los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras. Los resultados indicaron que el dióxido de titanio es un buen aditivo para mejorar las propiedades mecánicas del asfalto. Se observó que una adición del 2% proporcionó los mejores resultados, con una estabilidad adecuada para la durabilidad del asfalto, un flujo dentro de los estándares establecidos por la norma, un porcentaje de vacíos que favorece la impermeabilidad y un porcentaje de vacíos de agregado mineral suficiente para un óptimo revestimiento del agregado.

Por cuanto que para (Amagua, 2021), quien presento su trabajo de investigación con el título de *“Diseño de un pavimento asfáltico drenante basado en un material de protección ambiental de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), aplicado en el corredor vial de alto tráfico, Sector El Trébol, Cantón Quito.”*, Dado que la contaminación ambiental sigue siendo un problema importante en las áreas urbanas, causando problemas respiratorios y alergias en las personas, este trabajo de investigación se propuso estudiar el comportamiento del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) como fotocatalizador en mezclas asfálticas drenantes. Se llevó a cabo en un entorno de laboratorio, donde se crearon muestras rectangulares de asfalto drenante con un contenido asfáltico del 4%. Se aplicó una microemulsión acuosa con diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> (3%, 5%, 8%, 10%) en las superficies de las muestras,

utilizando un difusor a presión. Esta solución acuosa resultó de la combinación equitativa entre un aditivo y agua en una relación de 1:1. Durante los ensayos de laboratorio, se observó que las muestras lograron absorber 197,17  $\mu\text{/m}^3$  de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), lo que equivale al 98,56% del límite máximo establecido por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA). Además, en la prueba de descontaminación, se encontró la presencia de  $\text{TiO}_2$  en todas las muestras, con un aumento significativo en aquellas con un 10% de  $\text{TiO}_2$ . Por otro lado, en la prueba de autolimpieza, la muestra con un 5% de  $\text{TiO}_2$  cumplió con los límites establecidos por la Organización Mundial del Medio Ambiente (OMM) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA). En conclusión, se encontró que el comportamiento del  $\text{TiO}_2$  en el asfalto contribuyó a evitar que este se convierta en un contaminante, convirtiéndolo en una nueva mezcla asfáltica geoambiental que podría ser útil en áreas con alta congestión vehicular.

En cuanto a la investigación de (Prada, 2021) denominada “*Evaluación de la efectividad del uso del fotocatalizador  $\text{TiO}_2$  para la remoción de gases contaminantes tipo  $\text{NO}_x$  en el aire*”; Esta investigación se centró en evaluar la efectividad del uso del fotocatalizador  $\text{TiO}_2$  para eliminar los contaminantes  $\text{NO}_x$  del aire, con un enfoque químico. Para lograr este objetivo, se realizó una revisión bibliográfica que incluyó un breve análisis de la bibliometría, abarcando algunos de los estudios más relevantes sobre la eliminación de  $\text{NO}_x$  con  $\text{TiO}_2$  y  $\text{TiO}_2$  modificado. Entre los resultados de este estudio, se identificaron métodos importantes para la creación de materiales fotocatalíticos utilizando recubrimientos de  $\text{TiO}_2$ , como métodos híbridos, recubrimiento por aspersion, inmersión, sol-gel e inmersión. Se describieron también algunos procedimientos experimentales para la fabricación de materiales fotocatalíticos y procesos fotocatalíticos que permiten la eliminación de contaminantes. Se concluyó que el proceso de fotocatalisis no solo depende de las metodologías de deposición del fotocatalizador y de las propiedades del mismo, como la porosidad y el área superficial, sino también de variables externas como las condiciones ambientales. Se estableció que las variables fundamentales que influyen en los procesos de fotocatalisis incluyen las características fisicoquímicas del fotocatalizador, la fuente e intensidad de radiación, la presencia de humedad relativa (HR), la tasa de flujo y la adsorción de los contaminantes  $\text{NO}_x$ .

En la investigación de (Rangel & Molina, 2020), bajo el título de “*Efecto de la*



*adición de dióxido de titanio en las propiedades mecánicas y de durabilidad en materiales a base de cemento*”, El texto aborda el uso del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en estructuras de cemento, aprovechando sus propiedades fotocatalíticas activadas por la radiación ultravioleta. Esto resulta en propiedades auto-limpiantes y purificadoras de aire en las estructuras de cemento, lo que contribuye positivamente al desarrollo constructivo y la calidad del aire circundante. Sin embargo, es crucial considerar la influencia del TiO<sub>2</sub> en los aspectos físicos y la durabilidad de las estructuras, ya que pueden ser vulnerables a ataques físicos y químicos que podrían afectar su comportamiento. El objetivo principal del estudio fue evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas y de durabilidad en muestras de mortero con bajas dosificaciones de TiO<sub>2</sub>. Se llevó a cabo en un entorno de laboratorio, utilizando 24 cubos preparados con TiO<sub>2</sub> como material fotocatalítico en las propiedades del cemento, y se relacionaron los resultados obtenidos. Los resultados mostraron que al evaluar la resistencia a la compresión de los cubos de mortero con diferentes dosificaciones de TiO<sub>2</sub>, se logró una resistencia adecuada a la penetración de cloruros, medida mediante cilindros perforados según la norma NT BUILD 492. Además, la prueba de velocidad de corrosión, utilizando el método de resistividad de polarización lineal (RPL), indicó una disminución de esta patología debido al uso de TiO<sub>2</sub>. Estos hallazgos llevaron a concluir que el uso de TiO<sub>2</sub> en la mezcla no solo fue determinante para la conservación y resistencia de las mezclas, sino que también convirtió a dichas mezclas en materiales fotocatalíticos.

Por cuanto (Moreno, 2018) en la presentación de su trabajo al que tituló *“Fotocatálisis en materiales en base de cemento. Evaluación de autolimpieza de fotocatalíticos en el espectro visible frente al UV”*, En los últimos años, la gente ha prestado mucha atención al problema de la contaminación en las grandes ciudades. Esto afecta no solo a la salud de los residentes, sino también a la calidad estética del edificio. Los materiales de cemento, por sus propiedades físicas y químicas como rugosidad, porosidad y composición mineral, son particularmente vulnerables cuando se exponen a la intemperie, lo que puede degradar significativamente la apariencia si el aire contiene altas concentraciones de partículas de NO<sub>x</sub>. Por lo cual su objetivo principal fue el estudio de las propiedades auto limpiantes de los materiales fotocatalíticos activos en el espectro visible. Llevando a emplear una metodología del tipo experimental; se realizó, portanto, la evaluación de la autolimpieza de morteros de cemento, blancos y grises, con adiciones

fotocatalíticas: una comercial y una modificada para mejorar su rendimiento; obteniéndose en los resultados que en cuanto a la actividad de la luz visible no es significativa y el valor de degradación es inferior al 18%. Sin embargo, la actividad de la adición fotocatalítica se vio alterada en comparación con la luz ultravioleta. El producto comercial fue 48% más efectivo en mortero blanco. Estos resultados llevaron al autor a concluir que los materiales fotocatalíticos en su forma modificada tiene una mejora en todos los resultados en el espectro visible.

## 2.2. Bases Teóricas o Científicas

### DIÓXIDO DE TITANIO $\text{TiO}_2$

El dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) son materiales semiconductores que se siguen empleando desde las últimas décadas debido a su diversidad de aplicaciones, tanto como material óptico y dieléctrico en tecnología de transistores mencionados por (Tang, Berger, Schmid, & Lévy, 1994), (Wang, Helmersson, & Käll, 2002), actividad antimicrobiana explicadas por (Jalvo, Faraldos, Bahamonde, & Rosal, 2017), celdas solares descritas por (Jalvo, Faraldos, Bahamonde, & Rosal, 2017)– (Kao, Chen, & Young, 2011) y sensores de gas mencionada y descrita por (Alev, Şennik, Kılınç, & Öztürk, 2015), así como fotocatalizador en procesos de oxidación avanzada descrita en el trabajo de (Pizarro, Astudillo, & Delgadillo, 2019). El  $\text{TiO}_2$  presenta comúnmente tres fases polimórficas: anatasa (tetragonal), rutilo (tetragonal) y brookita (ortorrómbica). Estas fases presentan un band gap de 3.2 eV, 3.02 eV y 2.96 eV respectivamente. El polimorfo de anatasa es el más empleado en aplicaciones de conversión de energía (Gupta & Tripathi, 2011). Muchas de las aplicaciones que utilizan este semiconductor se generan por la producción de sistemas supramoleculares adsorbiendo moléculas sobre la superficie. Por ejemplo, en el trabajo realizado por (O'Regan & Grätzel, 1991) desarrollaron un sistema para convertir la energía solar en electricidad mediante la adsorción de complejos de rutenio–polipiridina en nanocristales de titanio. Estos dispositivos se conocen como células solares fotoelectroquímicas regenerativas sensibilizadas por colorante o DSSC.

En resumen, el dióxido de titanio es un producto con propiedades fotocatalíticas que la fotocatalisis se logra debido a la exposición a la luz ultravioleta. esta sustancia es un sólido que actúa como un semiconductor, observado cuando se absorbe la luz. se activa porque acelera el proceso de interacción con los reactivos debido a la

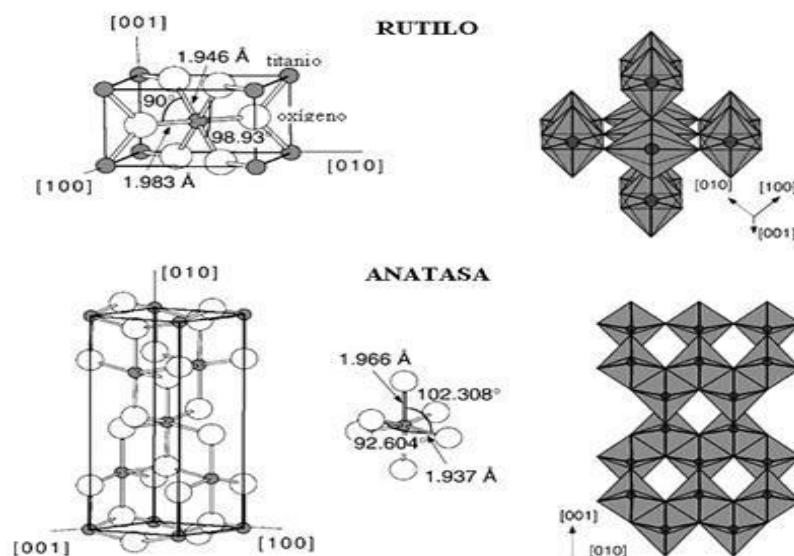
presencia par de huecos de electrones (Cervantes, 2011)

Por lo general, todo el material enviado para investigación está destinado mejorar sus propiedades físicas, como la compresión óptima y la resistencia al desgaste, y resistencia a varios ácidos y bacterias que se propagan por toda la zona polvo; el más innovador y nuevo del mercado es el dióxido de titanio. estas características se consiguen gracias a la composición del  $TiO_2$ , que tiene la propiedad de activarse, y Forma materiales que reaccionan naturalmente a la luz ultravioleta y Químicamente inerte y fácilmente disponible (Granda, y otros, 2007)

Una comparación de materiales fotocatalíticos da como resultado la adición del dióxido de titanio, se utiliza como material de construcción porque es Económico, fácilmente disponible y químicamente estable debido a su composición química compatible con los materiales de construcción tradicionales debido a su función alto factor fotocatalítico (Fernández, Del Campo, & Colorado, 2015)

El dióxido de titanio ( $TiO_2$ ) es un semiconductor con una brecha de energía de alrededor de 3,0 eV se considera un fotocatalizador ideal debido a sus propiedades fisicoquímicas: es insoluble en medios líquidos, barato y reciclable, tiene alta resistencia a la corrosión fotoquímica y la fotocatalisis ocurre a temperatura ambiente. (Hashimoto, Irie, & Fujishima, 2005).

Figura 1:  
Estructura cristalina de la anatasa y el rutilo



FUENTE: Caracterización del óxido de titanio obtenido mediante tratamiento térmico y anodizado electroquímico (Maimone, Camero, & Blanco, 2015)

## PROPIEDADES FOTOCATALÍTICASDESCONTAMINANTE DEL AIRE

¿Puede el asfalto ayudar a limpiar el aire de la ciudad? La respuesta que viene es

afirmativa pues, el material catalítico del asfalto es un óxido de metal (generalmente titanio) que se mezcla con el asfalto y limpia el aire. Cuando el producto se expone a la luz solar, provoca una reacción química que descompone los contaminantes del aire, como el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, en sus respectivos componentes, nitrógeno y oxígeno. La técnica, llamada “fotocatálisis”, consiste en aplicar materiales catalíticos a las superficies para promover reacciones químicas cuando se exponen a la luz ultravioleta. Lo que provoca una reacción química y descompone la materia orgánica en productos inoocuos, reduciendo así la contaminación del aire. A medida que los contaminantes se descomponen, el asfalto también se vuelve más abrasivo, lo que lo hace más duradero. Muchas ciudades han utilizado asfalto purificador de aire para mejorar la calidad del aire. El uso de esta tecnología en varias ciudades y carreteras reduce la cantidad de dióxido de nitrógeno en el aire, lo que puede ayudar a mejorar la calidad del aire y reducir el riesgo de enfermedades respiratorias y otras enfermedades relacionadas con la contaminación del aire. (Proquicesa, 2023)

Se tiene el caso de un producto que puede ayudar a limpiar el aire de las partículas contaminantes de óxido de nitrógeno que se acumulan en los entornos urbanos. Los componentes de NOxer (caso específico) contienen un compuesto llamado dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) que, con la ayuda de los rayos ultravioleta del sol, provoca una reacción fotocatalítica que convierte los óxidos de nitrógeno en otras sustancias que se unen al asfalto. Cuando llueve o los trabajadores municipales limpian las carreteras, estas sustancias son arrastradas a las alcantarillas, donde son recolectadas y enviadas a las plantas de tratamiento, donde se convierten en contaminantes. El Consolidación sobre la aplicación del producto sobre el asfalto es que la propia calzada se convierte en un purificador de aire, lo que resulta de gran utilidad en entornos urbanos, donde la circulación y concentración de óxidos de nitrógeno puede ser perjudicial para las personas y el medio ambiente. (TecnoCarreteras, 2019)

La fotocatalisis no se limita a aplicaciones en fase acuosa, sino que también es popular en reacciones en fase gaseosa. Generalmente, los fotocatalizadores para este estudio se deben utilizar sobre un lecho móvil fijo o colocados sobre un soporte fotoinerte. De esta forma, los compuestos orgánicos volátiles (COV) pueden mineralizarse mediante reacciones fotocatalíticas; este proceso requiere una cierta cantidad de humedad en la superficie del fotocatalizador ( $\text{TiO}_2$ ) como fuente de

radicales hidroxilos. Esta hidratación se mantiene al inicio de la degradación debido a la oxidación de los enlaces C–H del contaminante. El tolueno es un compuesto modelo entre los COV utilizados en ensayos de fotoactividad en estudios de catalizadores. La purificación de gases de escape es otra posible aplicación de la fotocatalisis. Puede eliminar NOx, CO, SOx en el aire y evitar que SOx ingrese al medio ambiente a través de la desulfuración fotocatalítica y la oxidación del combustible. (Nevárez, Espinoza, Quiroz, & Ohtani, 2017).

Figura 2:  
Conjunto de las reacciones que se producen en la superficie de un semiconductor, el TiO<sub>2</sub>, bajo la acción de una radiación UV adecuada.



FUENTE: (Uvrer, 2016)

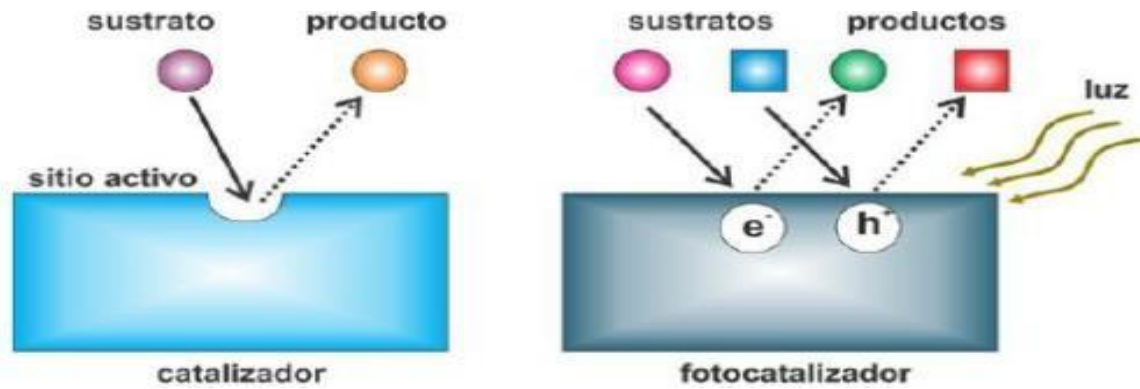
### ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA: CATÁLISIS VS. FOTOCATÁLISIS

La actividad fotocatalítica es una propiedad de un material sólido que se produce por el impacto de un fotón en su superficie con una energía igual o superior a la energía prohibida (“band gap”) del material, lo que da lugar que los electrones (e<sup>-</sup>) pertenecientes a la banda valencia (BV) se exciten con dirección a la banda de conducción (BC) y deje un hueco en la banda anterior. De esta manera, se crean pares e<sup>-</sup> – h<sup>+</sup> denominados excitones, que luego pueden ser empleados en reacciones redox (Koprivanac & Kusic , 2009). Los investigadores en fotocatalisis y catálisis utilizan ampliamente el término “actividad”, sin distinguir entre “actividad fotocatalítica” y “actividad catalítica” en la mayoría de los casos. Por lo tanto, es necesario aclarar la diferencia entre estos dos términos. Por un lado, la actividad catalítica se refiere al desempeño de un catalizador, donde cada sitio activo es importante en la reacción, por lo que la velocidad de reacción de cada sitio activo corresponde a la “actividad catalítica”. Además, la tasa de rotación (“tasa de rotación” o “frecuencia de rotación”) indica cuántas veces un sitio activo puede producir un producto por unidad de tiempo; por lo tanto, la velocidad de reacción depende de la densidad de los sitios activos (Figura 3). Por otro lado, los fotocatalizadores no tienen sitios activos tan importantes como la catálisis; en este caso, la velocidad de la reacción fotocatalítica depende de otros factores, como la intensidad de la luz incidente

y la diferencia entre  $e^-$  y  $h^+$  que viene a ser la velocidad de acoplamiento. (Ohtani, 2010).

Figura 3:

Diferencia entre un material catalizador y un fotocatalizador con base en la presencia de sitios activos.



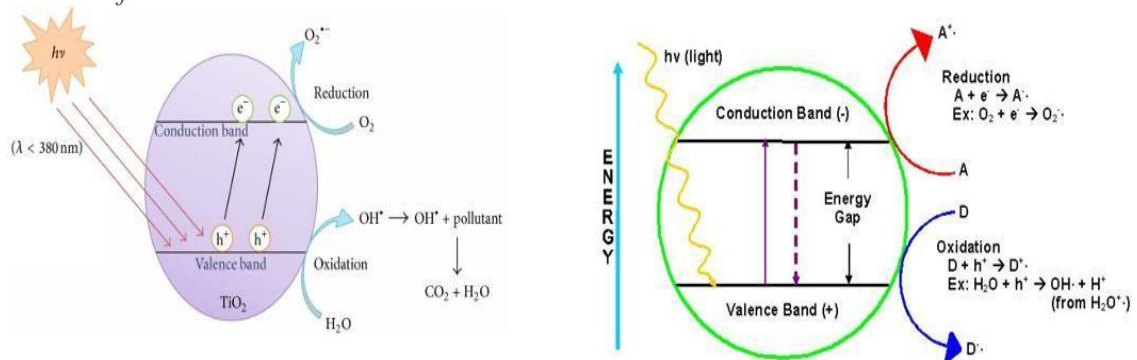
FUENTE: (Ohtani, 2010)

### PROCESO FOTOCATALÍTICO

La fotocatalisis es una combinación de procesos fotoquímicos y de catálisis, donde la luz y los catalizadores trabajan juntos para permitir o aumentar la velocidad de las reacciones químicas. En esencia, implica la aceleración de las reacciones químicas mediante catalizadores bajo la influencia de la luz. Este proceso comienza con la generación de pares electrón-hueco en partículas semiconductoras. Cuando un fotón con una energía igual o mayor que la energía de la banda prohibida del semiconductor golpea la superficie del material, un electrón es excitado de la banda de valencia a la banda de conducción, dejando un hueco en la banda de valencia. La energía de la banda prohibida es la diferencia de energía entre estas dos bandas en el semiconductor. (Fluidmecanicasur, 2020).

Figura 4:

Proceso fotocatalítico



FUENTE: (Fluidmecanicasur, 2020)

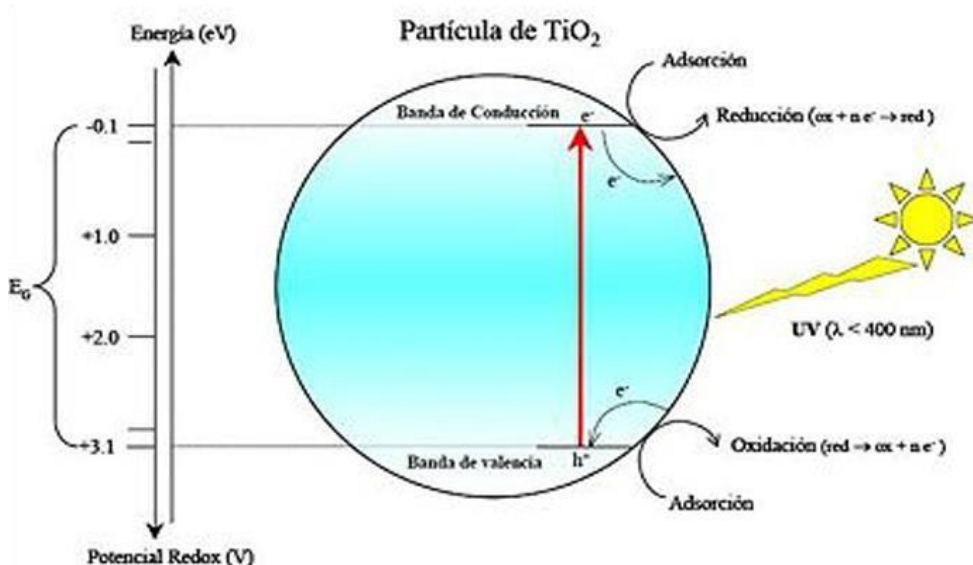
### TIPOS DE FOTOCATÁLISIS FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

La fotocatalisis heterogénea, que emplea dióxido de titanio como catalizador, implica activar el catalizador para generar radicales hidroxilo  $\text{-OH}$  bajo la influencia de la luz ultravioleta. Este proceso implica principalmente la excitación de electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, lo que crea huecos positivos en la banda de valencia. Estos huecos interactúan con el hidróxido y los iones de agua para producir los radicales libres  $\text{-OH}$ . Además, los electrones en la banda de conducción reaccionan con el oxígeno molecular para generar radicales libres de superóxido ( $\text{-O}_2$ ) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), que a su vez contribuyen a la formación de radicales libres  $\text{-OH}$ . (Fluidmecanicasur, 2020).

### MECANISMO FOTOCATALÍTICO

El dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) es ampliamente utilizado en fotocatalisis debido a su seguridad química y biológica, su estabilidad ante la corrosión química y fotoquímica, su abundancia, bajo costo y su capacidad para activarse con luz ultravioleta de longitudes de onda menores a 387 nm, como la luz solar. Se presenta en tres formas cristalinas: brookita, rutilo y anatasa, siendo las dos últimas las más efectivas para el tratamiento de aguas residuales. Aunque la anatasa es menos estable termodinámicamente que el rutilo, posee una mayor área superficial y una densidad de sitios activos para la adsorción y la catálisis. A pesar de las diferencias en la energía intersticial entre la anatasa (3,2 eV) y el rutilo (3,0 eV), el proceso de oxidación es similar en ambas formas. Para garantizar la reproducibilidad de los resultados en diferentes estudios, muchos investigadores optan por el dióxido de titanio Degussa P-25, que es el material más utilizado en aplicaciones fotocatalíticas ambientales. Este producto es una mezcla de fases cristalinas de anatasa y rutilo en una proporción de 80:20, con una pureza del 99,5%, una superficie específica de  $50 \pm 15 \text{ m}^2/\text{g}$  y un diámetro medio de 21 nm. En solución, generalmente se presenta en agregados primarios con un diámetro de 0,1  $\mu\text{m}$ . En un entorno con pH de 0, las posiciones de las bandas de valencia y conducción se calculan en 2,9 y -0,3 eV, respectivamente. La absorción de fotones con energía mayor que  $E_{\text{gap}}$  (3,2 eV) impulsa los electrones desde la banda de valencia al caballo de batalla, creando los huecos. Estos electrones y huecos pueden participar en reacciones redox con varias especies químicas, siendo los huecos altamente oxidantes y los electrones moderadamente reductores. El mecanismo simplificado de semiconductor en fotocatalisis heterogénea es representado en la Figura 5.

Figura 5:  
Mecanismo simplificado del semiconductor en la Fotocatálisis Heterogénea.



FUENTE: (Fluidmecanicasur, 2020)

## PARÁMETROS DE FOTOCATÁLISIS CON $\text{TiO}_2$

Hay varios parámetros que afectan cualitativa y cuantitativamente los procesos redox fotocatalíticos, los más importantes son:

- **Temperatura:** Los cambios de temperatura no afectan significativamente sobre la velocidad de reacción fotocatalítica. La interfaz óxido/electrolito es una superficie cargada que depende en gran medida del pH del medio, y las cargas que se mueven por la superficie determinan la estabilidad coloidal de las partículas de óxido en suspensión.
- **pH:** El pH de la solución acuosa juega un papel crucial debido a la naturaleza anfótera del catalizador, lo que afecta la carga de las partículas y, por ende, el tamaño de los agregados de  $\text{TiO}_2$ , así como la posición de los máximos y mínimos en su banda. Para obtener un rendimiento óptimo, es necesario operar más allá del punto de carga cero, donde la superficie del óxido está cargada. Este punto de carga cero, también conocido como punto isoelectrico, se sitúa alrededor de pH 7 para el  $\text{TiO}_2$ . Por encima o por debajo de este valor, el catalizador adquiere una carga positiva o negativa. En general, los valores cercanos a la neutralidad no tienen un impacto significativo en el rendimiento. Se requiere un análisis minucioso del pH óptimo, no solo por su influencia en el sustrato original, sino también por su efecto en los intermedios generados



durante el proceso de degradación.

- ***Influencia del Oxígeno:*** Para lograr la mineralización completa de los contaminantes, es crucial que el oxígeno esté disponible y no compita con otras especies durante la adsorción en el catalizador. El oxígeno desempeña un papel clave al reducir la recombinación de electrones y huecos generados, y también forma radicales libres altamente reactivos, como el oxígeno singlete. La velocidad de la reacción está directamente relacionada con la concentración de oxígeno, la cual aumenta a medida que se incrementa la presión parcial de oxígeno (O<sub>2</sub>P) en el agua.
- ***Intensidad de la Luz:*** La velocidad de reacción está inicialmente relacionada de manera proporcional con la intensidad de la luz, hasta alcanzar una intensidad característica para cada proceso. Después de este punto, la velocidad de reacción se vuelve proporcional a la raíz cuadrada de la intensidad de la luz, debido a una mayor recombinación electrón-hueco. Varios parámetros influyen en el proceso de degradación fotocatalítica de los contaminantes, como el tipo de catalizador, la configuración del fotorreactor, la fuente de luz utilizada e incluso el proceso de adsorción de los contaminantes sobre el catalizador, que se ve afectado por sus propiedades. Dependiendo de la intensidad de la irradiación, la reacción puede seguir una cinética de primer, medio o cero orden.

### **FOTOCATÁLISIS HOMOGÉNEA (Foto Fenton)**

La fotocatalisis homogénea, también conocida como foto-Fenton, implica la reacción del peróxido de hidrógeno con sales de hierro, lo que produce radicales hidroxilo en un entorno ácido y a temperaturas moderadas. Este proceso facilita la descomposición del peróxido de hidrógeno con la asistencia de la luz, actuando como un método de oxidación mejorado. Funciona al catalizar la generación de peróxido de hidrógeno mediante la presencia de hierro, lo que conduce a la producción de radicales hidroxilo (OH) altamente reactivos. Sin embargo, este tipo de fotocatalisis no se considerará en la presente investigación, ya que no está relacionada con el objetivo de estudio. (Fluidmecanicasur, 2020).

### **AUTO LIMPIEZA**

El efecto de autolimpieza se logra con POC, porque el molecular donde el material orgánico se adhiere a las superficies y se acumula en el almacenamiento La suciedad acumulada se elimina fácilmente mediante una reacción mecánica. Posee el agua creada por la lluvia. La presencia de moléculas puramente orgánicas como hidrocarburos y

ácidos grasos. Aparece en la plataforma en el departamento de la ciudad, agregó las superficies materiales que componen la infraestructura por su capacidad Interacción con componentes, interacción con suciedad, acumulación de polvo Crear depósitos de contaminación que causen contaminación.

Se presenta objeciones como en el proceso o tratamiento de autolimpieza para la descontaminación de componentes. Los procesos fotocatalíticos se utilizan a partir de medios como el aire, el suelo y el agua. Esto se consideró un prototipo demasiado útil para que la industria lo use como para el campo de la medicina. El proceso de auto purificación requiere que la expresión sea abierta porque es La presencia de luz solar es importante, el agua es fundamental para la eliminación de residuos, ya que Todo depende de la eficiencia de la oxidación de las partículas orgánicas. (Maury & De Belie, 2010).

### **DEGRADACIÓN DECOLORANTE RODAMINA B**

La rodamina, es el principal material, siendo este capaz de determinar la capacidad fotocatalítica de los revestimientos de hormigón, su degradación del color puede confirmar la degradación de otros contaminantes atmosféricos, este material se utiliza en la norma italiana UNI 11259–2008, donde los colorantes químicos evalúan la competencia fotocatalítica (Jiménez & Castellote, 2018)

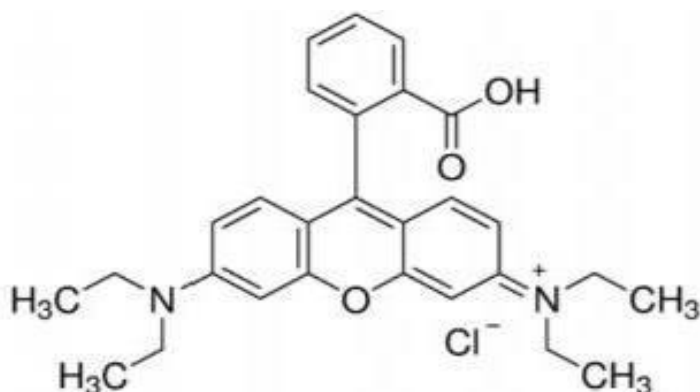
Las rodaminas son una clase de compuestos orgánicos fluorescentes heterocíclicos que contienen grupos amino derivados de los xantenos. Esta familia de compuestos incluye rodamina B, rodamina 6G y rodamina 123, y son ampliamente utilizadas en diversas aplicaciones. En la agricultura, se emplean como tratamiento de semillas para diferenciar entre las semillas tratadas y las no tratadas. En la industria, se utilizan como colorantes para la producción de láseres de colores en los sectores textil y papelería. Además, son comunes en el agua para medir el flujo, el volumen y la dirección, manteniendo las líneas de alineación.

La rodamina es un compuesto orgánico soluble en agua, metanol y etanol, y se considera de baja toxicidad. Sin embargo, estudios realizados en los Estados Unidos han catalogado a la rodamina B como posiblemente cancerígena, lo que requiere una etiqueta de advertencia. Por lo general, se presenta como un sólido cristalino verde brillante muy soluble en agua (50 g/l) y alcohol, formando una solución roja con una fuerte fluorescencia característica. A pesar de su solubilidad en agua, es importante tener en cuenta que el agua clorada, como la del grifo, descompone la rodamina B, y estas soluciones pueden ser absorbidas por el plástico en el que generalmente se almacena. Se

recomienda almacenarla en recipientes de vidrio o plástico adecuados. (Najar, 2021)

Figura 6:

Estructura Química de la Rodamina B (C<sub>28</sub> H<sub>31</sub> ClN<sub>2</sub> O<sub>3</sub>).



FUENTE: (De Oliveira, 2014)

## LÁMPARA DE UV

Para entender la importancia de utilizar equipos que proporcione luz UV nos entraremos a campo de la fotoquímica:

## FOTOQUÍMICA

La fotoquímica abarca el estudio de los procesos químicos que tienen lugar bajo la influencia de la luz. En este documento, no nos adentraremos en un análisis exhaustivo de la fotoquímica, sino que revisaremos de manera sucinta algunos conceptos relevantes en este ámbito. En primer lugar, se describirá el funcionamiento básico del simulador solar. Posteriormente, se explicarán dos fenómenos distintos: la fotodegradación y la fotocatalisis. (Imas, 2023).

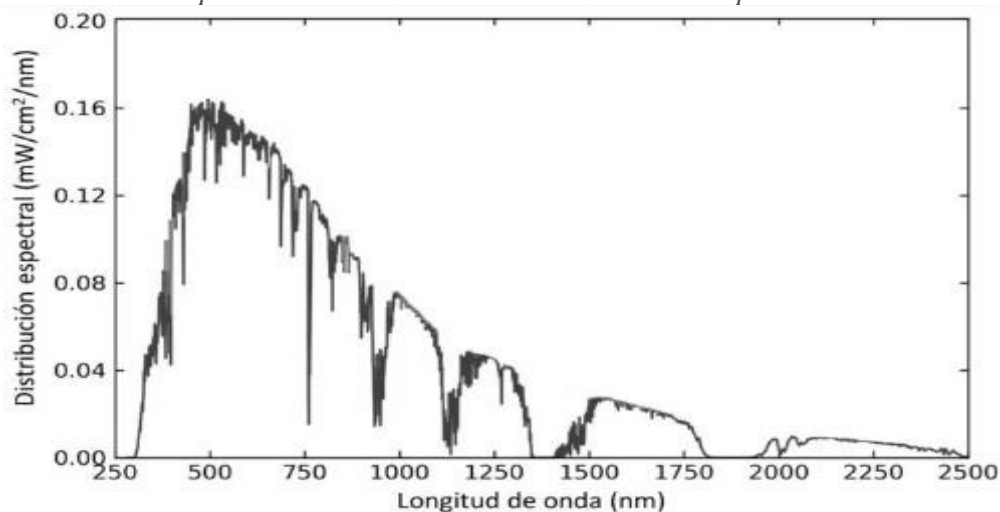
- *Distribución espectral*: coincide con el espectro estándar
- *Estabilidad temporal*: emisión constante en el tiempo
- *Uniformidad espacial*: distribución y consistencia de la radiación en un área.

Los parámetros anteriores se pueden calificar A, B o C, A es el mejor grado, C es el peor grado (si la especificación del simulador solar es peor que el grado C, se clasificará como grado U, es decir, “sin clasificar”).

Se pueden utilizar varios criterios para la distribución espectral. Los estándares especifican el porcentaje de radiación total que debe emitirse dentro de un rango dado de longitudes de onda. El estándar más común es AM1.5G (ver Figura 1). Las letras “AM” significan “masa de aire”, el espectro de luz que atraviesa el aire. “1,5” corresponde al ángulo cenital de 48,2°, que caracteriza las latitudes medias. Finalmente, la “G” significa

global, lo que significa que la luz dispersa y la dispersión también se tienen en cuenta en el espectro. También cabe mencionar que el estándar exige que la radiación total del simulador AM 1.5G alcance los 1000W/m<sup>2</sup>, lo que se denomina “one sun”.

*Figura 7:*  
*Distribución espectral AM1.5G. Licencia CCBY 4.0. Adaptado de FreshAlien.*



FUENTE: Fotoquímica: donde la luz y la química se unen (Imas, 2023)

Los simuladores solares se dividen en dos categorías: continuos o pulsados. Se pueden emplear diversas fuentes de luz con este fin, como lámparas de halógenos metálicos, lámparas halógenas de tungsteno de cuarzo (QTH), lámparas de xenón y fuentes de luz LED. Entre estas opciones, el simulador solar LED destaca por su excelente estabilidad temporal, bajo consumo energético, larga duración y precisión de control.

### *FOTODEGRADACIÓN*

La fotodegradación es el proceso de alteración de un material debido a la exposición a la luz, principalmente en longitudes de onda dentro del rango ultravioleta (UV) (250–400 nm) o visible (400–700 nm) del espectro. Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado, especialmente en polímeros, ya que la luz UV puede causar daños en las cadenas poliméricas, resultando en efectos no deseados como agrietamiento, descamación, decoloración y pérdida de propiedades físicas. Cuando la degradación es promovida por un oxidante presente, se denomina fotooxidación, que también puede acelerarse debido a la degradación térmica.

Aunque algunos polímeros, como el PET, muestran cierta resistencia a la luz UV, otros materiales comunes, como el poliestireno (PS), el policloruro de vinilo (PVC), el polipropileno (PP) o el polietileno (PE), son más susceptibles al daño. Para proteger estos

materiales, se añaden estabilizadores UV, que son compuestos químicos diseñados para absorber la luz UV y, por ende, reducir la fotodegradación de los polímeros a los que se aplican.

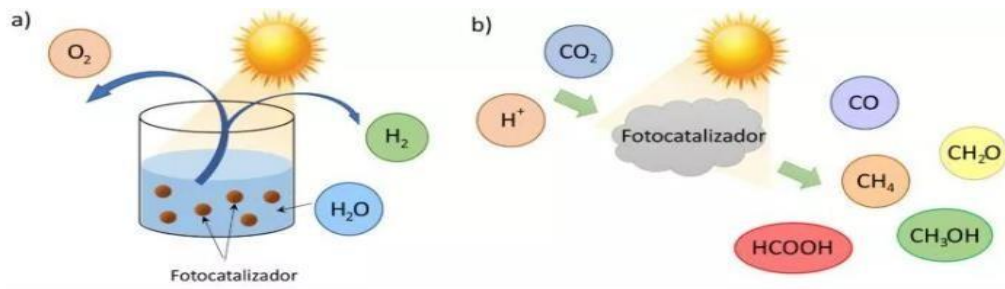
Los científicos investigan la fotodegradación en polímeros utilizando simuladores solares (descritos en el párrafo anterior), ya que la radiación UV del sol es la principal fuente de fotodegradación en la práctica. También pueden emplear fuentes UV directas, como luces LED, para estudiar este proceso degradativo en laboratorio. (Imas, 2023)

### *FOTOCATÁLISIS*

La fotocatalisis implica la aceleración de reacciones químicas mediante la presencia de un catalizador y la exposición a la luz. Dos ejemplos clásicos de reacciones fotocatalíticas incluyen la disociación del agua y la reducción del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La disociación del agua implica la generación de hidrógeno y oxígeno a partir del agua, lo que la convierte en una tecnología atractiva para la producción de hidrógeno como forma de almacenamiento de energía renovable, ofreciendo una alternativa a los métodos convencionales basados en el petróleo y el gas natural. El dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) es un fotocatalizador comúnmente utilizado para estas reacciones, especialmente bajo luz ultravioleta, aunque también se están investigando otros materiales catalíticos.

Por otro lado, la reducción fotocatalítica del CO<sub>2</sub> ha ganado interés debido a la preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En comparación con otros métodos de reducción de CO<sub>2</sub>, la fotocatalisis ofrece la ventaja de operar a temperaturas y presiones más bajas, lo que resulta en un menor consumo de energía. Los materiales utilizados como catalizadores en este proceso incluyen TiO<sub>2</sub>, g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (nitruro de carbono grafítico) y perovskitas. Tanto la luz ultravioleta como la visible se utilizan comúnmente como fuentes de energía en estas reacciones fotocatalíticas.

*Figura 8:*  
*Diagrama esquemático de dos reacciones fotocatalíticas: a) disociación del agua, y b) reducción del CO<sub>2</sub>.*



FUENTE: Fotoquímica (Imas, 2023).

## **Sobre el impacto ambiental en la Degradación de NOx**

Se han reconocido los peligros de los NOx, por lo que es importante utilizar tecnologías y estrategias para reducir y/o eliminar estos gases. Después de que Zeldovich publicara el mecanismo para la formación térmica de NO en 1943, la atención se centró en el control de estos gases, seguida de una extensa investigación en un intento de implementar métodos efectivos. Actualmente, se han desarrollado y puesto en práctica varios métodos destinados a controlar las emisiones (Hernández, 2017).

Se dividen en tratamiento primario y secundario. Consiste principalmente en métodos preventivos, es decir, aquellos que buscan evitar la formación de NOx, mientras que el tratamiento secundario se enfoca en técnicas de remediación o reducciones equivalentes de los NOx ya formados (Ângelo, Andrade, Madeira, & Mendes, 2013).

El tratamiento primario reduce principalmente las emisiones en el reactor de combustión al cambiar las condiciones de operación. El más utilizado de ellos (Lasek, Yu, & Wu , 2013): reducir el tiempo de residencia del combustible en la región de alta temperatura, crear una zona de reducción en la llama, reducir la concentración de O2 en la llama, reducir la temperatura pico de la llama, etc. (Hernández, 2017)

Algunos de los principales enfoques basados en estos fenómenos son los siguientes (Lasek, Yu, & Wu , 2013): uso de sustancias no combustibles en la zona de combustión, bajo contenido de nitrógeno en los combustibles niveles, uso de aditivos de combustible, pretratamiento de combustible, uso de diferentes oxidantes (bajo contenido de nitrógeno), reducción del precalentamiento de aire adicional, reducción del exceso de aire, adición de combustible pulsado, recirculación de los gases del combustible, dosificación de combustible auxiliar, etc. Sin embargo, los métodos de control de la combustión no son suficientes para garantizar las bajas emisiones exigidas por la normativa vigente; por ello, se han desarrollado métodos de tratamiento secundario para intentar reducir y/o eliminar estos gases de la atmósfera. El primer estudio en este campo corresponde a (Pichat, Herrmann, Courbon, Disdier, & Mozzanega, 1982), quienes estudiaron la descomposición de NO a TiO2 bajo radiación UV y usando butanol como oxidante. Las técnicas más destacadas son (Lasek, Yu, & Wu , 2013): fotólisis, reducción de CO, H2 y NH3 o hidrocarburos, reducción no catalítica selectiva (SNCR), reducción catalítica activa selectiva con H2 o NH3 o hidrocarburos (SCR), recirculación selectiva (SNR), inyección de O3, recirculación selectiva de NOx y fotooxidación, que es un proceso de oxidación progresiva del que se han publicado resultados muy efectivos obtenidos por los

investigadores como son (Lasek, Yu, & Wu , 2013); (Ângelo, Andrade, Madeira, & Mendes, 2013). Actualmente, estos materiales fotocatalíticos tienen el potencial de reducir los contaminantes en la atmósfera bajo la influencia de la radiación solar. (Hernández, 2017).

#### Sobre la reducción del CO<sub>2</sub>

Uno de los campos de investigación más activos es la reducción fotocatalítica del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En este proceso, el CO<sub>2</sub> se convierte en compuestos con mayor potencial energético, como monóxido de carbono, metano, metanol, ácido fórmico, formaldehído, y otras sustancias (Bahadori et al., 2018). Esta transformación es un proceso no espontáneo, lo que implica que se requiere una fuente de energía para impulsar la reacción hacia la formación de productos. Esta energía se suministra típicamente mediante radiación dentro de un rango específico de longitudes de onda, preferiblemente en la región visible del espectro, y se dirige a través de un fotocatalizador con una banda de energía prohibida adecuada. (Lingampalli, Ayyub, & Rao, 2017); (Mao, Li, & Peng, 2013); (Nogueira, Oliveira, Da Silva, & Ribeiro, 2019); (Sun, y otros, 2018). El uso de materiales fotocatalíticos ayuda principalmente a la limpieza del medio ambiente Controla la contaminación ambiental al purificar el aire, Esta tecnología de eliminación se utiliza para el rendimiento de autolimpieza y la reducción de CO<sub>2</sub> por fotocatálisis; porque permite el aprovechamiento de la luz solar porque es una fuente de energía abundante, limpia, accesible y barata.

Los pavimentos resilientes son una opción ampliamente utilizada en la construcción de carreteras en todo el mundo, y esta región no es una excepción. Las mezclas asfálticas desempeñan un papel crucial en los pavimentos flexibles, no solo en términos de la cantidad de material necesaria para su construcción, sino también porque constituyen la parte más visible y costosa de las carreteras: la capa superficial que los usuarios ven y por donde circulan millones de vehículos diariamente, satisfaciendo así una parte significativa de las necesidades de movilidad de la sociedad moderna.

Una mezcla asfáltica se puede definir como una combinación de agregados minerales unidos por un ligante asfáltico y mezclados de manera que los agregados queden recubiertos uniformemente por una película bituminosa. Las proporciones de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, en última instancia, su comportamiento funcional como capa de rodadura. El Instituto del Asfalto de los Estados Unidos describe al asfalto como un cemento fuerte, fácil de unir, altamente impermeable



y duradero. Se trata de una sustancia plástica que confiere flexibilidad controlada a la mezcla de áridos con la que se combina. Aunque el betún es sólido o semisólido a temperatura ambiente, se vuelve líquido con facilidad cuando se calienta. El betún se considera un cemento asfáltico porque está compuesto principalmente por hidrocarburos. (Garnica, Flores, Gómez, & Delgado, 2005).

La mezcla asfáltica es la parte de la superficie de rodadura que proporciona la superficie de rodadura, asegura estabilidad y uniformidad, su textura y color debe corresponder al efecto deseado y soportar los fenómenos abrasivos del alto tráfico. Actualmente existen diversas modificaciones, entre ellas la adición de diferentes tipos de polímeros o materiales para mejorar sus propiedades y de comprender su comportamiento mecánico y físico, el objetivo es mejorar las carencias del asfalto tradicional (Moreno, 2018).

### **TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Existen diferentes clasificaciones de las mezclas asfálticas según los parámetros que se tengan en cuenta a la hora de determinar la dispersión. Por tanto, se dividen en masilla asfáltica, mortero asfáltico, macadán asfáltico y hormigón asfáltico según la fracción de árido pétreo utilizada para preparar la mezcla. Si se tiene en cuenta la temperatura, se divide en mezcla fría y mezcla caliente. Si el parámetro considerado es el porcentaje de poros de aire, la mezcla puede ser densa o cerrada; semi apretado o semicerrado; abiertos y porosos, según su porosidad sea inferior al 6%, del 6% al 12%, respectivamente. del 12% al 18% o superior al 20%. Se hace otra clasificación en base a la estructura de los agregados pétreos; así hay mezclas con o sin marcos minerales. Cuando se consideran las curvas granulométricas, se clasifican en mezclas asfálticas continuas o discontinuas. El asfalto caliente es característico de este proceso porque tanto la piedra como el asfalto se calientan antes de mezclarlos; es una mezcla compuesta por 93% a 97% de agregado pétreo y 3% a 7% de asfalto con respecto a la mezcla de la masa total. Los tipos de mezclas asfálticas que se mencionarán en este trabajo son mezclas en caliente con granulometría densa y mezclas en frío; es decir, se vacía menos del 6%. Cabe señalar que esta es una mezcla asfáltica están siendo utilizadas en la región de Latinoamérica. (Garnica, Flores, Gómez, & Delgado, 2005).

### **MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

La mezcla asfáltica es una combinación homogénea de materiales de piedra y asfalto y posibles aditivos. Estos son materiales calentados utilizando cemento asfáltico y piedra en equipos de mezcla fijos o móviles equipados con el equipo necesario para calentar los

ingredientes de la mezcla. El tamaño de partícula de la mezcla asfáltica resistente al calor se define como sigue:

Es una mezcla cálida y homogénea de cemento asfáltico y piedra graduada en tamaños nominales de treinta y siete y cinco (37,5) milímetros (1½ pulgadas) y nueve y medio (9,5) milímetros (¾ pulgadas) que cumple con los requisitos de calidad especificados; norma N CMT 4 04/17 “Materiales pétreos para mezclas asfálticas” en el apartado D. Se utiliza comúnmente en la construcción de capas asfálticas para pavimentos nuevos donde se requiere capacidad estructural en función de los niveles de tráfico. (Delgado, 2020).

Tabla 1:  
Ensayos y frecuencias de la mezcla Asfáltica en caliente.

Material o Producto	Propiedades o Características	Método de Ensayo	Frecuencia	Lugar de muestreo
<b>Agregado</b>	Granulometría	MTC E 204	200 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
	Plasticidad	MTC E 110	200 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
	Partículas Fracturadas	MTC E 210	500 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
	Equivalente arena	MTC E 114	1.000 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
	Partículas planas y alargadas	MTC E 221	500 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
	Desgaste Los Ángeles	MTC E 207	1.000 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
	Angularidad del agregado fino	MTC E 222	1.000 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
	Pérdida en sulfato de magnesio	MTC E 209	1.000 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
	Azul de metileno	AASHTO TP 57	1.000 m <sup>2</sup>	Toiva en frío
<b>Mezcla Asfáltica</b>	Contenido de Asfalto	MTC E 502	2 por día	Pista/planta
	Granulometría			
	Ensayo Marshall	MTC E 504	2 por día	Pista/planta
	Temperatura	-	Cada volquete	Pista/planta
	Densidad	MTC E 506, MTC E 508 y MTC E 510	1 cada 250 m <sup>2</sup>	Pista compactada
	Espesor	MTC E 507	Cada 250 m <sup>2</sup>	Pista compactada
	Resistencia al deslizamiento	MTC E 1004	1 por día	Pista compactada
	Adherencia	MTC E 519	1.000 m <sup>2</sup>	Pista/planta

FUENTE: Manual de Carreteras “especificaciones técnicas de construcción” EG2013– (M.T.C., 2014)

## MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

La mezcla asfáltica en frío es una mezcla de áridos minerales con o sin áridos minerales y asfalto emulsionado o diluido, y todo el proceso se realiza a temperatura ambiente. La Tabla 2 proporciona un resumen de las recomendaciones para el uso de betún emulsionado y reducido para la producción de varios tipos de mezclas en frío. RECOPE produce una sola emulsión clasificada como CRS-1h, por lo que, según la tabla, dada con referencia en Costa Rica debe comenzar a producir otro tipo de emulsiones para producir mezcla asfáltica en frío. En general, las mezclas en frío se clasifican según el aglomerante utilizado, el método de mezcla, el tamaño de partícula, si se utilizan materiales reciclados y el período de almacenamiento final. Estas categorías se describen brevemente a continuación. (Jiménez, Sibaja, & Molina, 2009).

Tabla 2:

Guía para el uso de productos derivados del asfalto en mezclas en frío.

Tipo de Construcción			Asfaltos emulsificados								Asfaltos rebajados						
			Aniónicos				Catiónicos				Curado medio			Curado lento			
			MS-2 HFMS - 2	MS-2H HFMS - 2h	HFMS - 2 S	SS - 1	SS - 1h	CMS - 2	CMS - 2h	CCS - 1	CCS - 1h	70	250	800	3000	250	800
Mezclado en planta	Base y Superficies	Agregados con granulometría abiertas	X	X				X	X								
		Agregados bien graduados			X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
	Bacheo uso inmediato					X	X			X	X				X		
	Bacheo apilamiento										X	X			X	X	
Mezclado en sitio	Base y Superficies	Agregados con granulometrías abiertas	X	X				X	X			X	X		X	X	
		Agregados bien graduados			X	X	X			X	X	X	X		X	X	
		Arena			X	X	X			X	X	X	X				
		Suelos arenosos			X	X	X			X	X	X	X				
	Bacheo uso inmediato				X	X	X			X	X	X	X		X		

FUENTE: MS-14 Manual de Mezclas Asfálticas en Frío del Instituto del Asfalto (Jiménez, Sibaja, & Molina, 2009)

Tenga en cuenta que esta técnica se está volviendo menos común debido a razones técnicas y ambientales, y se recomienda solo cuando sea absolutamente necesario debido al diseño de ingeniería u otros factores, como el bajo flujo de tráfico. (M.T.C., 2014)

Tabla 3:  
Ensayos y frecuencias de mezcla asfáltica en frío.

Material o Producto	Propiedades o Características	Método de Ensayo	Frecuencia (*)	Lugar de muestreo
Agregado	Granulometría	MTC E 204	250 m <sup>3</sup>	Pista Dist. Agregado
	Partículas Fracturadas	MTC E 210	250m <sup>3</sup>	Cantera
	Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 221	250m <sup>3</sup>	Cantera
	Abrasión	MTC E 207	1.000m <sup>3</sup>	Cantera
	Pérdida en Sulfato de Sodio	MTC E 209	1.000m <sup>3</sup>	Cantera
	Adhesividad		1.000m <sup>3</sup>	Cantera
Mezcla abierta en frío	Contenido de asfalto residual	AASHTO T 164	1.000m <sup>2</sup>	Pista previo a compactación

FUENTE: Manual de Carreteras “Especificaciones técnicas de edificaciones” EG–2013.– (M.T.C., 2014).

#### COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

**AGREGADO PÉTREO:** De latín petreus, este agregado pétreo es un material obtenido de la piedra que generalmente está disponible sin tanta modificación. En la mayoría de los casos, se encuentran en forma de macizos rocosos o sus fragmentos, pero de diferentes tamaños, llamados arena o grava. Estos materiales se utilizan casi exclusivamente en la industria de la construcción. Son materiales granulares inertes de estructura sólida, como las superficies de las carreteras, en ocasiones junto con elementos activos y con un tamaño de partícula adecuado. Se utiliza principalmente en la fabricación de productos artificiales, mezclado con materiales como cemento o cal o con ligantes asfálticos. (Procon, 2020).

#### OBTENCIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS

Hay muchas maneras de obtener un resumen. De acuerdo con la fuente del agregado y la tecnología de extracción, se puede determinar el tipo de agregado, que se puede dividir en las siguientes categorías (Procon, 2020):

##### **Por su tamaño:**

- Grava: Este es el material que pasa a través de la rejilla de 3 pulgadas y es retenida en la rejilla n° 4.
- Polvo: Es la sustancia que pasa por el núm. 4 y es retenida por la malla n° 200.

**Por su fragmentación:**

- *Agregados Naturales:* Este tipo de agregados se encuentran en yacimientos naturales o no consolidados y su uso requiere únicamente de su selección, procesamiento y dimensionamiento.
- *Agregados artificiales o manufacturados:* Se encuentran en macizos rocosos, para su obtención se utilizan métodos explosivos, luego se limpian (espolvorean), trituran y clasifican; al término de este proceso el material está listo para su empleo.
- *Agregados Industriales:* Son aquellos que fueron pasados por diferentes áreas de producción, tal como el área de productos de desecho, materiales calcinados, con origen de demoliciones o algunos que ya han sido fabricados y mejorados.

AGREGADO GRUESO: Material comúnmente denominado grava; material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria de alto horno, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de estos u otros; que es retenido por la criba 4,75 mm (malla No.4) y que pasa por la criba 90 mm (malla No.3 1/2”). Debe cumplir las restricciones granulométricas de la Tabla 4. Los agregados que estén fuera de los rangos mostrados en la tabla 4 deben ser procesados para que estén dentro de esos rangos, se debe demostrar que el concreto preparado tiene un comportamiento adecuado porque si se acepta que los agregados no cumplen con estos límites, se debe ajustar la proporción del concreto para suplir las deficiencias granulométricas. Para validar esta especificación se debe utilizar la norma NMX– C077–ONNCCE. El coeficiente volumétrico de los agregados gruesos debe ser de 0.20 o más. Para cumplir con los requerimientos del cliente de cohesión, trabajabilidad, módulo de elasticidad y contracción cuando se utilizan agregados con un coeficiente volumétrico menor a 0.20, se debe realizar un estudio que demuestre los efectos de su uso, luego se deben ajustar las mezclas de concreto de acuerdo con los Consolidación sobre el estudio. El estándar se utiliza para verificar esta especificación. NMX–C–436–ONNCCE. (IMCEC, 2009)

*Tabla 4:  
Límites granulométricos del agregado grueso.*

Tamaño nominal, mm (Pulg.)	100	90 a 100	75 3”	63 2 1/2”	50 2”	37.5 1 1/2”	25 1”	19 3/4”	12,5 1/2”	9,5 3/8”	No 4 4.75	No 8 2,36	No 16 1,18
90,0 a 37,5 (3 1/2” a 1 1/2”)	100	91 a 100	–	25 a 60	–	0 a 15	–	0 a 5	–	–	–	–	–
63,0 a 37,5 (2 1/2” a 1 1/2”)	–	–	100	90 a 100	35 a 70	1 a 15	–	1 a 5	–	–	–	–	–

50,0 a 25,0 (2" a 1")	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
50,0 a 4,75 (2" a No.4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
37,5 a 19,0 (1 1/2" a 3/4")	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
37,5 a 4,75 (1 1/2" a No.4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
25,0 a 12,5 (1" a 1/2")	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15	1 a 5	-	-
25,0 a 9,5 (1" a 3/8")	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	1 a 15	2 a 5	-	-
25,0 a 4,75 (1" a No.4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
19,0 a 9,5 (3/4" a 3/8")	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
19,0 a 4,75 (3/4" a No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
12,5 a 4,75 (1/2" a No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	1 a 5	-
9,5 a 2,36 (3/8" a No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

FUENTE: (IMCEC, 2009)

Tabla 5:  
Requisitos para los agregados gruesos

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

FUENTE: Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas de Construcción" EG2013 (M.T.C., 2014)

#### AGREGADO FINO

Material conocido como arena; material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de estos u otros; que pasa por la criba 4,75 mm (malla No.4) y se retiene en la criba

0,075 mm (malla No. 200). Además, que se debe tener en cuenta: a) Estar dentro de los límites establecidos en la Tabla 6, excepto en los casos que se indican en los párrafos c y d de este inciso y en el inciso sustancias nocivas en el agregado. b) El módulo de finura debe estar comprendido entre 2,30 y 3,10. Este módulo puede ser determinado con pruebas previas. De no existir éstas, se puede determinar con el promedio del valor obtenido de las primeras 10 pruebas consecutivas o el promedio de las pruebas que haya cuando no se completa este número. c) El retenido parcial de la masa total en cualquier criba no debe ser mayor de 45 % Pueden aumentarse los porcentajes del retenido acumulado de la masa ensayada en las cribas 0,300 mm(No. 50) y 0,150 mm (No. 100) a 95 % y 100 % respectivamente, siempre y cuando el contenido de cemento del concreto en que se vaya a utilizar el agregado sea mayor de 240 kg/m<sup>3</sup> para concreto con aire incluido, o mayor de 300 kg/m<sup>3</sup> para concreto sin aire incluido, o bien añadiendo un adicionante (cementante) que supla la deficiencia de material que pase por estas cribas. d) En el caso de que los agregados a usarse no cumplan con las tolerancias indicadas en los incisos a, b y c. Éstos pueden ser utilizados, siempre y cuando existan antecedentes de comportamiento aceptable en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizadas a estos concretos sean satisfactorios. Los agregados se pueden usar siempre que se haga un ajuste apropiado en el proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría (IMCEC, 2009).

*Tabla 6:*

*Esta especificación se verifica con la norma NMX-C-077-ONNCCE.*

**LÍMITES DE GRANULOMETRÍA PARA AGREGADO FINO**

<b>CRIBA MM (NO.)</b>	<b>Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa</b>
<b>9,5 (3/8")</b>	100
<b>4,75 (NO 4)</b>	95 – 100
<b>2,36 (NO 8)</b>	80 – 100
<b>1,18 (NO 16)</b>	50 – 85
<b>0,600 (NO. 30)</b>	25 – 60
<b>0,300 (NO. 50)</b>	10 – 30
<b>0,150 (NO 100)</b>	

2 – 10

FUENTE: Agregados para concreto hidráulico. Especificaciones y métodos de prueba. (IMCEC, 2009)

Tabla 7:  
Requisito para los agregados finos.

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

FUENTE: Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas de Construcción” EG2013 (M.T.C., 2014)

### RELLENO MINERAL

El relleno que es un tipo de material que son adicionados a los materiales (como plástico, caucho, papel, pintura, etc.) para el complemento de la mezcla logrando su integración con los otros materiales. Puede disminuir los costos, mejorar el rendimiento y elevar las características del proceso de los materiales.

Los rellenos se pueden agrupar en dos tipos: uno es para la disminución de costos adicionando materiales baratos a materiales de mayor precio y no presenta variación en sus propiedades del material de los rellenos inertes; el otro son los rellenos funcionales las que se presentan con funciones especiales, como la electricidad, aislamiento, conductor, magnetismo, retardante de flama, antiestático y reforzante, etc., las propiedades del material se pueden mejorar después de ser incorporadas a los materiales principales. (ALPA, 2021)

**Cemento Asfáltico:** es una mezcla refinada de asfalto o una combinación de asfalto refinado y aceite líquido con una consistencia adecuada para su uso en pavimentación. Se distingue de otros tipos de asfaltos destinados a la impermeabilización y a usos industriales. Puede obtenerse a partir de depósitos naturales, que son grandes acumulaciones de asfalto mezclado con minerales, agua y otras impurezas, o mediante la destilación de aceites intermedios y de base asfáltica, dejando residuos del proceso.

La dureza del asfalto depende de las condiciones de destilación, como la presión, la temperatura y el tiempo, y puede variar desde asfaltos más blandos hasta asfaltos más



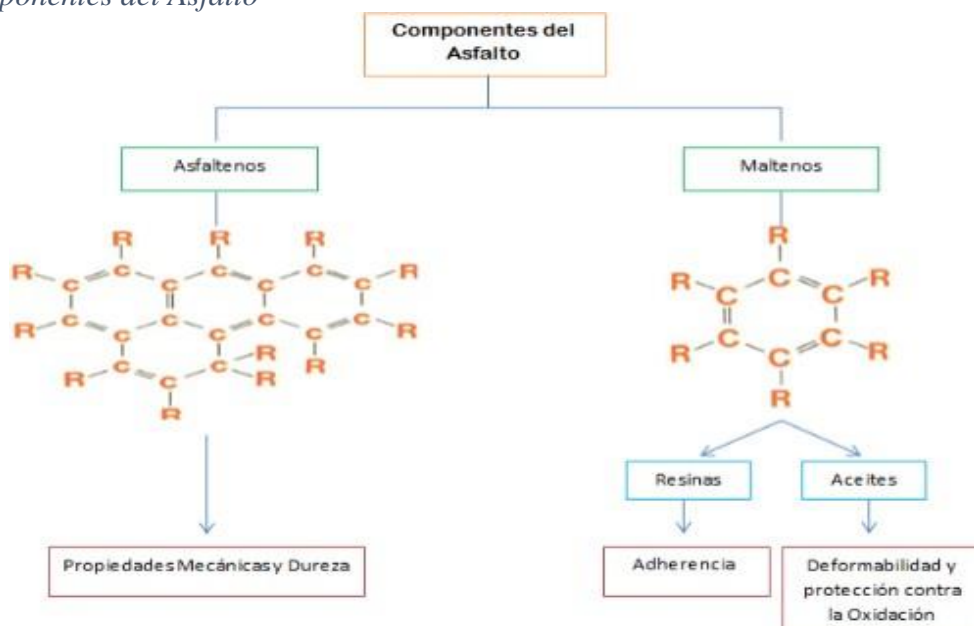
duros. Los asfaltos resultantes de destilaciones puras se utilizan para pavimentación, mientras que los asfaltos oxidados, obtenidos mediante procesos de oxidación, se utilizan para impermeabilización.

El cemento asfáltico es negro, pegajoso, semisólido y altamente viscoso a temperatura ambiente. Gracias a su naturaleza pegajosa, puede adherirse a las partículas de agregado y se utiliza para unirlos en el concreto asfáltico. Además, es resistente al agua y a la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Se le considera un material termoplástico, ya que se ablanda cuando se calienta y se endurece cuando se enfría. Estas características únicas hacen que el asfalto sea un material esencial en el mantenimiento y la restauración de pavimentos. Para preparar la mezcla, el cemento asfáltico se calienta junto con los áridos, utilizando especialmente cemento asfáltico S, que está formulado con la calidad y composición adecuadas para su uso en pavimentos asfálticos. (Studocu, 2013).

### Componentes del cemento asfáltico

Actualmente, la principal área de uso del asfalto en la industria de la construcción es la construcción de carreteras, vías férreas, caminos, vías férreas y puentes modernos, en cuyo caso el material asfáltico posee propiedades aptas para estos usos, tales como: resistencia al agua, capacidad de unión, es resistente a la intemperie y ofrece flexibilidad para las carreteras de automóviles y aviones. Los tipos de asfalto utilizados en carreteras, vías y caminos son laminados, piedra prensada y masilla.

Figura 9:  
Componentes del Asfalto



FUENTE: Química del Cemento Asfáltico (García, 2015)

### ***Obtención Del Cemento Asfáltico***

Se elabora con crudo extraído de pozos, se separa en una refinería; Principalmente esta separación se realiza por destilación. Después de la separación, las partículas se refinan aún más o se refinan en productos que cumplen ciertos requisitos, lo que da como resultado el producto del asfalto refinado de petróleo, según la calidad del petróleo refinado. El cemento asfáltico se obtiene como residuo o producto residual del petróleo. (Studocu, 2013).

Los cementos derivados del petróleo son compuestos de alto peso molecular, los compuestos son complejos y se convierten en hidrocarburos, y el otro está compuesto por hidrógeno y carbono con pequeñas partículas de oxígeno, azufre, y nitrógeno. Los hidrocarburos que componen el cemento asfáltico son:

- Aromáticos
- Nafténicos
- Parafínicos

### ***Traslado del cemento asfáltico***

El cemento asfáltico se puede llevar temporalmente a un estado tipo fluido (líquido) durante la construcción de tres formas distintas (Studocu, 2013):

- *Derritiéndolo*: después de los trabajos de construcción, el asfalto líquido caliente se enfría y vuelve de su estado líquido a su estado semisólido normal.
- *Diluyéndolo en solventes de petróleo seleccionados*: este proceso se llama recomposición (fragmentación). El asfalto resultante se llama asfalto de corte. Después de la reconstrucción, el solvente se evapora, dejando el cemento asfáltico en su lugar. El uso de asfalto reducido disminuyó debido a la escasez de petróleo y las regulaciones ambientales gubernamentales.
- *Emulsificándolo con agua*: dado que el asfalto y el agua suelen ser inmiscibles, se pueden llevar a este estado mezclando asfalto con agua en un molino coloidal y agregando una pequeña cantidad de emulsionante o emulsificante. El producto resultante, llamado emulsión asfáltica, es líquido y está listo para la construcción.

### ***Cualidades Características del Cemento Asfáltico***

Están dadas por las siguientes descripciones que caracteriza a este elemento importante para en asfalto (Enderica, 2017):

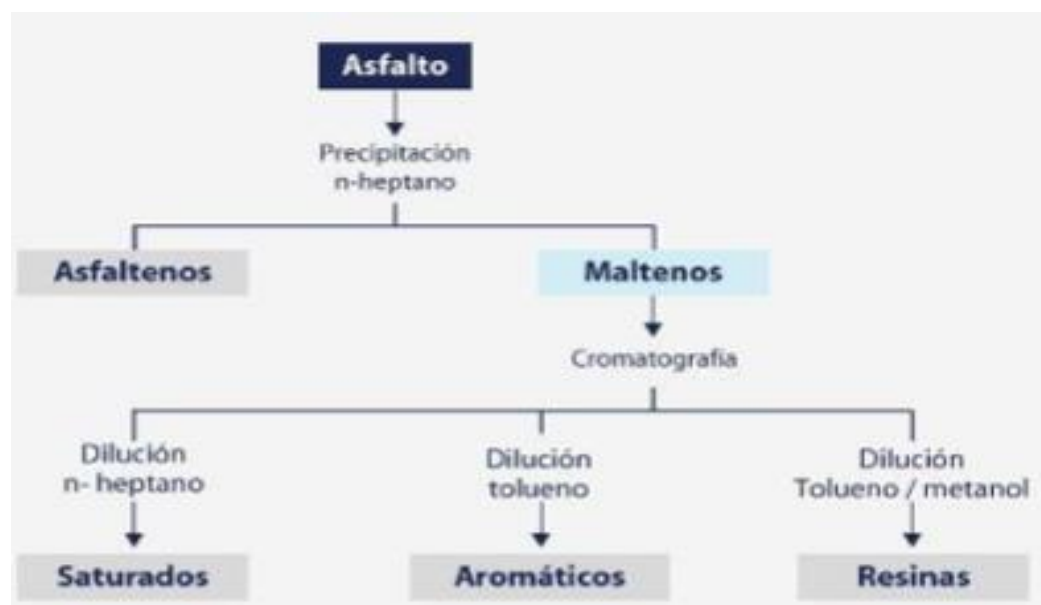
- *Poder Aglomerante:* “Bajo la influencia de la temperatura, la viscosidad de los componentes del asfalto tiende a disminuir, por lo que tiende a adherirse más fluidamente a los agregados de materiales finos y pétreos cuando se calientan.” “La elección del tipo de ligante a utilizar en la mezcla asfáltica es muy importante, principalmente por la capacidad que tiene el ligante de aglomerar materiales granulares y el comportamiento que puede tener en el pavimento en cuanto a las condiciones ambientales y de tránsito donde se requiera es claro” (Reyes, Valdés, & Salazar, Influencia de la Tipología del Ligante en las Propiedades Mecánicas de una Mezcla Asfáltica Densa, 2009). A medida que baja la temperatura del asfalto, se enfría, por lo que la superficie de contacto entre las partículas se vuelve más fuerte debido a la compactación.
- *Agente Estabilizante:* Las mezclas de asfalto se pueden usar como estabilizadores para materiales granulares; Se mejora la función aglutinante y estabilizadora del asfalto, lo que le da a la mezcla asfáltica un comportamiento de mayor calidad.
- *Agente impermeabilizante:* “El ligante asfáltico recubre los agregados granulares, dando un efecto impermeable en las capas asfálticas. Por otro lado, en la mezcla asfáltica (carga–aditivos asfálticos), uno de los parámetros más importantes en su análisis es el daño causado por el agua, debido a que se pueden presentar errores en el diseño del pavimento por una incorrecta evaluación de dosificación del asfalto de forma total.” (Reyes, Camacho, & Londoño, 2013)
- *Manejabilidad:* proporciona como resultado una mejora en la accesibilidad del trabajo por parte de los materiales agregados y ligantes asfálticos en el momento de realizar los trabajos en el sitio de la obra.
- *Resistencia a los agentes atmosféricos:* Dado que no hay componentes orgánicos en el asfalto, no tiene ningún efecto orgánico y permanece literalmente intacto a lo largo del tiempo. Los factores ambientales como el oxígeno y los rayos ultravioleta hacen estragos en el asfalto y hacen que la carretera envejezca y se vuelva quebradiza. El envejecimiento está relacionado principalmente con la pérdida de componentes volátiles y la oxidación del asfalto durante la preparación de la mezcla asfáltica. Este factor conduce al crecimiento de su viscosidad del asfalto por mezcla de curado–endurecimiento. (Vacca, León, & Ruiz, 2012)

### ***Compuesto químico:***

En el análisis químico realizado, se identifican dos principales grupos de elementos: los asfaltenos y el maltano. Los asfaltenos constituyen una fracción de alto peso molecular que es insoluble, mientras que el maltano es una fracción soluble de bajo peso molecular. A temperatura ambiente, los asfaltenos se presentan como sólidos de color negro y son quebradizos. Se clasifican como hidrocarburos aromáticos debido a su insolubilidad en solventes comunes. (Reyes, Alvarez, & Valdes, Evaluación mecánica de mezclas asfálticas frías fabricadas con reemplazode llenante mineral, 2014).

Los meltanos tienen una apariencia aceitosa que se disuelve en un componente llamado heptano, un compuesto típico de color marrón (Lopera & Cordoba, 2013). Compuestos por resinas, que son materiales pegajosos que actúan como dispersantes, los compuestos aromáticos suelen tener un peso molecular más bajo, por lo general un 40–60 % del aglutinante en la mezcla, y se saturan, convirtiéndose en aceites muy viscosos a bajas concentraciones por su reactividad.

*Figura 10:*  
*Estructura físico-química del asfalto.*



FUENTE: Este análisis se centra en el comportamiento físico y mecánico de la mezcla asfáltica tipo MDC.19, la cual ha sido modificada con la adición de fibra natural de caña de azúcar. (Bejarano & Caicedo, 2017)

### ***Propiedades***

En laboratorios especializados se llevan a cabo ensayos específicos destinados a

analizar una serie de propiedades clave de las mezclas asfálticas, tanto a nivel individual como parte de un conjunto. Entre las propiedades evaluadas se encuentran la penetración, viscosidad, resistencia al endurecimiento y envejecimiento, punto de inflamación, gravedad específica, solubilidad y durabilidad. Estos ensayos son fundamentales debido a que la mayoría de las carreteras se construyen utilizando mezclas asfálticas como componente principal. Por lo tanto, es crucial comprender y estudiar en detalle las propiedades mecánicas y dinámicas del asfalto, tanto como material individual como parte integral de la mezcla asfáltica. Esto permite garantizar la calidad, resistencia y durabilidad de las carreteras, así como optimizar su rendimiento y seguridad durante su vida útil. (Reyes, 2009)

Tabla 8:  
Especificaciones Técnicas del Cemento Asfáltico AC-20

PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	AC 20	
			Mínimo	Máximo
Penetración, 25 °C, 100g., 5s.	ASTM D-5	0.1 mm	60	-
Flash Point, Copa Cleveland	ASTM D-92	°C	232	-
Viscosidad Dinámica 60 °C	ASTM D-4402	cP	160.000	240.000
Viscosidad Cinemática, 135 °C	ASTM D 2170	cSt	300	
Solubilidad en Tricloroetileno	ASTM D-2042	%w	99	-
<b>ENVEJECIMIENTO TFOT, 163 °C, 5h</b>				
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	ASTM D 113	cm	50	-
Viscosidad Dinámica 60 °C	ASTM D 4402	cP	-	1.000.000

FUENTE: (Enderica, 2017)

**Penetración:** Esta prueba se basa en la viscosidad especificada en las especificaciones y está diseñada para usarse con cementos asfálticos que tienen un valor de penetración inadecuado a 25 °C (77 °F). El proceso consiste en estabilizar la muestra de CA a 25 °C (77 °F) en un baño de agua con temperatura controlada. Luego, la aguja se presiona en la muestra durante 5 segundos con una carga de 100 g. La distancia que pasa la aguja a través del CA se da en unidades de 0,1 mm, pero a medida que disminuye la permeabilidad del asfalto, esto significa que la densidad ha aumentado. En el país, los ensayos se realizan de acuerdo a las normas “Para evaluar la resistencia mecánica de las mezclas asfálticas tradicionales y modificadas bajo carga monotónica se utilizó el ensayo de Marshall, y ensayos de penetración y puntos de reblandecimiento para CA con y

sin aditivo. (Rondón, Fernández, & Castro, 2010)”. En este trabajo realizamos una prueba de penetración según el estándar de prueba AASHTO. T-49. MTOP-E203 donde se analizó la consistencia del cemento asfáltico, la tasa de curado de CA durante esta prueba de control.

**Viscosidad:** La viscosidad se refiere a la relación entre la fuerza que actúa sobre el líquido y su caudal, por lo que el comportamiento del ligante asfáltico es importante en su periodo de ejecución. La viscosidad es un factor en el cemento asfáltico. “Sin embargo, estudios posteriores demostraron que las medidas específicas de viscosidad no eran suficientes para describir el comportamiento de los asfaltos, ya que tienen propiedades viscoelásticas caracterizadas por una fuerte dependencia de la temperatura y durante los estímulos externos (Puello, Afanasjeva, & Álvarez, 2013). Cuando se realiza un análisis térmico, la viscosidad cambia con la exposición a diferentes temperaturas, por lo que esta propiedad juega un papel importante en este aspecto. El trabajo de recubrimiento generalmente se realiza a temperaturas que van desde 60 (140) y 135 (275) en el periodo de la aplicación del mezclado y colocación in situ.

**Punto de inflamación:** El punto de inflamación CA es la temperatura más baja a la que se liberan los volátiles de las muestras. El punto de inflamación es la temperatura más baja a la que el CA se enciende y se quema. El punto de inflamación es la combustión instantánea de fracciones volátiles que se separan del asfalto. En este informe indica la temperatura máxima que se puede hacer y tratar sin riesgo de inflamación. La temperatura del punto de inflamación del asfalto ajustable debe estar entre 215 C.” (Enderica, 2017)

**Densidad:** La densidad del asfalto utilizado en la construcción de carreteras varía entre 0,9 y 1,4 kg/dm<sup>3</sup>. Si el contenido de asfalto es alto hidrocarburos aromáticos, se crean valores de alta densidad. También funciona como indicador de convergencia para dar resultados de peso a volumen o viceversa y se determina con un picnómetro.” (Enderica, 2017)

**Peso específico:** es referida a la relación de una cantidad igual de agua a ambas masas a una temperatura dada. En el caso de un testigo, esto no suele mencionarse en las descripciones de trabajo.

- La gravedad específica de CA es un indicador para determinar los cambios de temperatura del volumen.

- Es necesario determinar el porcentaje de vacíos del recubrimiento.

El correspondiente ensayo de peso específico de los cementos asfálticos, en el que además de los valores de medida arbitrarios del ensayo, también se tomó como referencia la norma AASTHO T-229.

**Solubilidad:** es el proceso para determinar la pureza de CA. Se determina por una muestra sumergida en un solvente (tricloroetileno) en el que se separan sus elementos activos; las impurezas y otras impurezas inorgánicas no se disuelven. La solubilidad ayuda a garantizar la consistencia de las mezclas asfálticas, además de la cantidad de cemento asfáltico que hay en el concreto." (Enderica, 2017)

**Ductilidad:** Mide cuánto se puede estirar el asfalto antes de que se parta por la mitad. En otras palabras, la tenacidad mide la tensión que experimenta una muestra de asfalto antes de que se agriete debido al estiramiento de los extremos sueltos a un ritmo constante. Para determinar la durabilidad del asfalto se realizan ensayos, en los que consiste en extender la probeta de CA a cierta velocidad y temperatura de 25. La longitud a la que se estira un cable de CA antes de que se rompa, medida en centímetros, se denomina tenacidad de la muestra. Una recomendación es tener en cuenta que no tenga una durabilidad excesiva, que dañaría la apariencia y estructura de la vía, ya que se colocan cargas importantes sobre la vía, provocando ondulaciones y hundimiento de la capa asfáltica." (Enderica, 2017)

**Aplicación:** Se utilizan principalmente en la aplicación de pavimentos asfálticos y se aplican por dilución a los áridos por sus propiedades aglutinantes e impermeables, con especiales propiedades de flexibilidad, resistencia a sales y álcalis. Para lograr un mejor procesamiento del cemento asfáltico, el producto debe ser líquido, por lo que debe calentarse a altas temperaturas, es decir, a unos 150. Los materiales de relleno también se calientan a la misma temperatura durante la construcción; Las mezclas asfálticas resultantes se denominan mezclas en caliente, que otorgan al cemento asfáltico suficientes ventajas de adherencia, penetración y durabilidad en diversas condiciones climáticas. En nuestro país se dividen los siguientes tipos de asfalto:

- Asfalto de grado II para carreteras en la costa.
- Asfalto de grado III para carreteras en la sierra.
- Asfalto "RC 250" para aplicación de primera capa.

“La tecnología de los asfaltos y mezclas asfálticas modificadas ha sido ampliamente estudiada y utilizada a nivel mundial (Reyes, Guáqueta, Porras, & Rondón, 2013).” pasan los años, la tecnología tiende a actualizarse, por lo que no es una excepción para los tipos de concreto que tienen como objetivo mejorar propiedades como rigidez, capacidad de carga, durabilidad, etc. De esta manera, el objetivo es lograr una vida útil mucho más larga de la carretera. superficie donde los asfaltos desarrollados permiten un espesor más delgado de lo que normalmente se requiere. “Los ligantes de asfalto modificado son productos diseñados para superar las propiedades del asfalto original (que dependen de su contenido de asfaltenos, resinas y aceites) para mejorar el rendimiento del pavimento a largo plazo (Cárdenas & Fonseca, 2009)”

**Durabilidad:** es una mezcla asfáltica que incluye la capacidad de soportar factores como la degradación de agregados y algunos.

Se considera asfalto, donde la mezcla asfáltica mantiene su naturaleza a pesar del quiebre y envejecimiento. Lo cual depende de la estructura a la que se envía la mezcla asfáltica, las propiedades de los agregados y el trabajo. En general, la durabilidad de una mezcla asfáltica mejora al usar una mayor cantidad de asfalto; en segundo lugar, la utilización de una báscula muy compacta para áridos muy resistentes a la separación, y en tercerlugar, el adecuado diseño y compactación de la mezcla para conseguir la máximaimpermeabilidad (Fernández, Rondón, & Reyes, 2013) pág 6. Tener la mayor cantidad de asfalto en la mezcla asfáltica ayuda a mantener la durabilidad porqueuna de las características del asfalto es que no envejece ni se endurece rápidamente, lo que sella adecuadamente la mayoría de los vacíos, evitando que el aire y el agua entren en el asfalto. el piso; Si tiene una escala densa, prefiere agregados más uniformes.

*Tabla 9:  
Causas y efectos de la baja durabilidad*

<b>CAUSAS</b>	<b>EFECTOS</b>
Menor contenido del asfalto.	El asfalto se endurece rápidamente y se degrada debido a la pérdida de agregados.
Mayor contenido de vacíos debido a la falta de compresión.	Entonces se endurece rápidamente en asfalto provocando agrietamiento.
Agregados aptos al agua.	Forma la separación de la mezcla asfáltica en el agregado, dejando atrás unpavimento desgastado y degradado.

FUENTE: (Cluzman, 2019)



**Trabajabilidad:** Una de las cualidades esenciales de la mezcla asfáltica es su trabajabilidad, la cual facilita una adecuada compactación y colocación del material durante la construcción de carreteras. Esta propiedad garantiza que la mezcla sea fácil de manipular y colocar, lo que resulta fundamental para garantizar la eficacia y durabilidad de las estructuras viales. Si la mezcla carece de esta característica, se vuelve extremadamente complicado llevar a cabo estas tareas. La trabajabilidad de la mezcla asfáltica puede ser modificada mediante diversos parámetros de diseño y la composición de los agregados utilizados, incluyendo su tamaño y distribución granulométrica.

La evaluación de la trabajabilidad de una mezcla asfáltica se lleva a cabo durante su colocación y compactación, y requiere un control riguroso de los agregados utilizados. Se analizan sus propiedades físicas, su estructura, forma y tamaño, lo que determina la calidad de los mismos. Cada mezcla debe cumplir con las especificaciones establecidas por los modelos de diseño correspondientes. Uno de los desafíos en el diseño de la mezcla asfáltica es lidiar con un alto porcentaje de agregado grueso, que tiende a separarse durante el proceso y dificulta su compactación. En estos casos, suele ser adecuado agregar asfalto, ya sea en forma gruesa o fina, para restaurar y mejorar la trabajabilidad de la mezcla. Sin embargo, cualquier modificación realizada debe cumplir con los parámetros de diseño preestablecidos, como el contenido de porosidad o la estabilidad. La trabajabilidad adquiere una importancia aún mayor en lugares donde la colocación manual de la mezcla es obligatoria, ya que un mal desempeño en este aspecto puede resultar en una mezcla viscosa y difícil de compactar.

**Impermeabilidad:** La propiedad de impermeabilidad en la mezcla asfáltica garantiza que no se produzca la entrada de aire ni agua en la estructura. Esta característica es esencial debido a los requisitos que se imponen a las mezclas asfálticas, ya que protege la capa interna y, en general, salvaguarda toda la infraestructura de los efectos nocivos del agua. Es imprescindible que las mezclas asfálticas sean completamente impermeables para prevenir la infiltración de agua superficial hacia las capas internas, ya que esta acción puede ocasionar una disminución en la capacidad de carga. La impermeabilidad se determina por el tamaño de los vacíos presentes, independientemente de si están conectados entre sí y alcanzan la superficie del pavimento.

Después de que la mezcla asfáltica ha sido compactada, es crucial que conserve

cierto porcentaje de vacíos, ya que esta característica ayuda a prevenir la deformación plástica debida a las cargas de tránsito y los cambios climáticos. En mezclas densas, el porcentaje de porosidad es inferior al 6%, mientras que en mezclas abiertas es superior al 12% y en mezclas porosas es superior al 18%. Aunque la impermeabilidad es esencial, la durabilidad de las mezclas asfálticas después de la compactación también es de suma importancia. Existen algunas mezclas asfálticas que pueden ser impermeables hasta cierto punto, pero para ser aceptadas, deben estar debidamente justificadas y dentro de límites aceptables. (Shafii, Yew, Rais, & Latif, 2017)

*Tabla 10*  
*Causas y efectos de la permeabilidad.*

<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Insuficiente contenido de material asfalto.	Debido a la presencia de películas delgadas de componentes asfálticos, provoca un envejecimiento prematuro, además de la degradación de la mezcla.
Mayor contenido de vacíos en la mezcla de diseño.	El fácil acceso de agua y aire al revestimiento conduce a la oxidación y también a la descomposición de la mezcla.
Compactación inapropiada	El pavimento sellado incorrectamente tiene un mayor porcentaje de vacíos, lo que hace que el agua se filtre dentro y con él una baja estabilidad.

FUENTE: (Cluzman, 2019)

**Estabilidad:** La capacidad de soportar cargas y también tensiones derivadas de deformaciones aceptables es una de las propiedades de una mezcla asfáltica. La mezcla asfáltica tiene una propiedad llamada estabilidad, que representa la resistencia interna del material, que evalúa la combinación de su lógica interna y cohesión. (Harun, Bulbul, Sobhan, & Rahman, 2018).

*Tabla 11:*  
*Causas y efectos de la inestabilidad*

<b>CAUSAS</b>	<b>EFFECTOS</b>
Desequilibrio asfáltico en la mezcla	Ondas, arrugas y secreciones.
Desproporción de arenas grandes normales en la mezcla.	Menos resistencia a la condensación
Menos resistencia a la condensación.	Áridos y redondos con superficie ligeramente triturada. Descascarado y canalización

FUENTE: (Cluzman, 2019)

El diseño del hormigón asfáltico debe tener en cuenta ciertos factores de control para garantizar las condiciones óptimas, como una capa de asfalto duradera, estable e

impermeable, y depende de:

- **Granulometría:** depende de las especificaciones técnicas según la estructura deseada, que corresponde a una determinada composición granulométrica del material. Para una mayor estabilidad, se debe disponer de partículas de piedra grandes, pero esto se tiene en cuenta no supere los 2/3 del espesor de la capa asfáltica.
- **Cantidad de contenido de asfalto:** para evitar daños como la percolación del asfalto, ondulaciones, pliegues quebradizos causados por factores atmosféricos; Para obtener la porosidad mínima, se deben considerar las proporciones óptimas de contenido de la mezcla asfáltica.
- **Propiedades del cemento asfáltico:** Como ventajas de una buena construcción de concreto asfáltico, las necesidades de servicio y tráfico ya están satisfechas debido a la estabilidad de la mezcla asfáltica compacta, suficiente asfalto, suficiente trabajabilidad y la cantidad requerida de poros.

## **DISEÑO MÉTODO MARSHALL**

La Metodología Marshall para el diseño de mezclas asfálticas fue desarrollada originalmente por Bruce Marshall, un ingeniero del Departamento de Carreteras de Mississippi de los EE. UU. La forma actual del método corresponde a la desarrollada por el Cuerpo Americano de Ingenieros en 1943. La ventaja de esta metodología era que podía llevarse a cabo con equipos portátiles. Posteriormente, el procedimiento se desarrolló aún más con extensas pruebas que combinan varios tránsitos con numerosos estudios de laboratorio. El propósito del método es determinar el contenido óptimo de asfalto para una determinada combinación de agregados. También proporciona la información necesaria para controlar los principales parámetros de las mezclas en caliente, como la estabilidad, la fluidez, la densidad, las cavidades de mezcla, etc. El método se desarrolló principalmente para mezclas tratadas térmicamente de hasta 25 mm (1") de tamaño y es adecuado tanto para el diseño de mezclas como para el control de mezclas diseñadas. (Prieto, 2006)

El método Marshall utiliza especímenes estándar de 64 mm (2 1/2") de alto y 102 mm (4") de diámetro. Se fabrican mediante un método especial de calentamiento, mezcla y compactación de mezclas de asfalto y agregados. (ASTMD1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son el análisis de densidad y vacío y las pruebas de estabilidad y flujo de muestras compactadas. La estabilidad de la muestra de prueba es la fuerza máxima N (lb) alcanzada por la muestra estándar cuando se prueba a 60°C.

El valor actual es el movimiento o deformación total en unidades de 0,25 mm (1/100”) que se produce en la muestra entre el punto de máxima carga durante la descarga y la prueba de estabilidad.- (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

## GRANULOMETRÍA

La metodología de Marshall emplea un gráfico semilogarítmico para determinar el tamaño de grano adecuado. En este gráfico, el porcentaje de material que pasa por una malla específica se representa en el eje vertical, mientras que las aberturas de la malla, expresadas en milímetros, se muestran en el eje horizontal de forma logarítmica. La selección de la curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica compacta o cerrada se basa en dos parámetros principales: el tamaño nominal máximo del agregado y el tamaño de las guías (superior e inferior) de la curva granulométrica. La Tabla 4 proporciona los tamaños nominales máximos más comúnmente utilizados y sus límites de control según la norma ASTM D3515. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

## ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA

La determinación del contenido óptimo de asfalto implica considerar diversos criterios, detallados en este apartado. Un punto de partida común para el diseño es seleccionar el porcentaje de asfalto como el promedio de los límites de vacíos de aire, que suele ser alrededor del 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas con este contenido de asfalto deben ser evaluadas según los criterios de diseño establecidos para la mezcla, tal como se indica en la Tabla 12. Si todos los criterios son satisfechos, se obtiene el diseño preliminar de la mezcla asfáltica. En caso contrario, si los criterios no son cumplidos, se requiere realizar ajustes o reconsiderar el diseño de la mezcla. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

Tabla 12:

*Criterio de diseño de mezclas Marshall.*

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

FUENTE: Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas

Tabla 13:  
Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

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

FUENTE: Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas (Garnica, Flores, Gómez, & Delgado, 2005)

### EVALUACIÓN Y AJUSTES DE UNA MEZCLA DE DISEÑO

Cuando se desarrolla una combinación de diseño para una mezcla asfáltica, suele ser necesario realizar varias pruebas para encontrar una que cumpla con todos los criterios establecidos. Cada mezcla de prueba sirve como referencia para evaluar y ajustar las pruebas siguientes. Para un diseño preliminar o exploratorio, es recomendable comenzar con una escala agregada cercana al promedio de los límites establecidos. Las primeras pruebas ayudan a determinar la composición adecuada y garantizan que la planta mezcladora pueda reproducir la mezcla dentro de los límites requeridos. Si las pruebas iniciales no cumplen con los criterios de diseño para cualquier contenido de asfalto seleccionado, es necesario modificar o incluso rediseñar la mezcla. Para corregir deficiencias, una forma común de reformular la mezcla es ajustar la clasificación de los agregados mediante cambios en los porcentajes utilizados. A menudo, este ajuste es suficiente para cumplir con los requisitos. Sin embargo, si un simple cambio porcentual no es adecuado, es importante considerar otras estrategias. Existen pautas generales para ajustar las mezclas de prueba, aunque es importante tener en cuenta que estas recomendaciones pueden no ser aplicables en todos los casos y que cada situación puede requerir un enfoque único. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

### Vacíos Bajos Y Estabilidad Baja

Existen diversas estrategias para reproducir los vacíos necesarios en una mezcla asfáltica. En términos generales, para aumentar el tamaño de los vacíos en el

agregado y asegurar suficiente espacio para el asfalto y la porosidad del aire, se puede ajustar la clasificación del agregado agregando más agregado grueso o fino. Por otro lado, si el contenido de asfalto es mayor de lo necesario y no se requiere una cantidad excesiva para reponer lo absorbido en el agregado, se puede reducir el contenido de asfalto para aumentar el porcentaje de vacíos, logrando así un VMA adecuado. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la reducción del contenido de asfalto puede disminuir la durabilidad del pavimento, ya que podría provocar agrietamiento, acelerar la oxidación y aumentar la permeabilidad. En casos donde los ajustes anteriores no resulten en una mezcla estable, es posible que sea necesario cambiar el tipo de agregado. Además, la estabilidad y la porosidad de la mezcla también pueden mejorarse agregando más agregado grueso o reduciendo la cantidad de material permeable mediante la adición de arena procesada No. 200 a la mezcla. De esta manera, es posible mejorar la porosidad sin comprometer la estabilidad de la mezcla. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

*Figura 11:  
Representación del VAM en una mezcla compactada.*



FUENTE: Dosificación de mezclas asfálticas en caliente Método Marshall (Prieto, 2006)

### **Vacíos Bajos Y Estabilidad Satisfactoria**

Un bajo contenido de vacíos puede conducir posteriormente a la inestabilidad debido a la fluencia o después de que el pavimento haya estado en tránsito durante algún tiempo debido a la reorientación de las partículas y una mayor compactación. Por otro lado, los vacíos insuficientes pueden deberse a la cantidad de asfalto necesaria para lograr una alta durabilidad de buenas mezclas; sin embargo, la estabilidad es inicialmente satisfactoria debido al tráfico especial.

Una desintegración deficiente del agregado durante la preparación y/o el transporte de la mezcla puede provocar inestabilidad y fluidez si el contenido de poros de la mezcla es insuficiente. Por estas razones, las mezclas de vacíos pequeños deben

ajustarse utilizando uno de los métodos presentados en la sección anterior, independientemente de si la estabilidad al inicio fue satisfactoria. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

### **Vacíos Satisfactorios Y Estabilidad Baja**

Cuando se enfrenta una baja estabilidad, a pesar de que los vacíos y la granulometría del agregado son adecuados, podría indicar ciertas deficiencias en el agregado. En tales casos, es importante considerar la posibilidad de mejorar la forma de las partículas de los agregados. Esto se puede lograr utilizando material triturado o aumentando la proporción de agregado grueso en la mezcla. También se podría contemplar el aumento del tamaño máximo del agregado. Las partículas de relleno con una textura gruesa y superficies menos redondeadas tienden a proporcionar una mayor estabilidad, al mismo tiempo que mantienen o incluso aumentan el volumen de vacíos. Estas medidas pueden contribuir significativamente a mejorar la estabilidad de la mezcla asfáltica. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

### **Vacíos Altos Y Estabilidad Satisfactoria**

El exceso de vacíos en una mezcla asfáltica suele estar asociado con una alta permeabilidad. Esto permite que el aire y el agua circulen a través del pavimento, lo que puede provocar efectos no deseados como el endurecimiento prematuro del asfalto, la formación de grietas en el agregado o incluso el agrietamiento del asfalto en el agregado. Incluso si la estabilidad de la mezcla es satisfactoria, es necesario realizar ajustes para reducir la presencia de vacíos. Una forma de lograr esto es mediante pequeñas reducciones en los vacíos, lo cual se puede lograr agregando polvo mineral a la mezcla. En ocasiones, puede ser necesario seleccionar o combinar diferentes tipos de agregados para alcanzar una calidad que se acerque a la curva de densidad máxima, lo que contribuirá a mejorar la resistencia y durabilidad de la mezcla asfáltica. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

### **Vacíos Altos Y Estabilidad Baja**

Hay dos pasos a considerar en este tipo de condición: el primero es ajustar el volumen de los vacíos usando los métodos discutidos en las secciones anteriores, y el segundo, si el ajuste no mejora la estabilidad, es considerar la calidad en concordancia con los *vacíos bajos y estabilidad baja* y también los *vacíos bajos y*

*estabilidad satisfactoria.* (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

## PRUEBAS A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS

En el método Marshall se realizan tres tipos de ensayos para conocer las propiedades volumétricas y mecánicas mediante (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004):

### **Determinación de la gravedad específica**

La prueba de gravedad específica se puede llevar a cabo una vez que la muestra se haya enfriado a temperatura ambiente. Esta evaluación se realiza siguiendo los estándares establecidos, como la norma ASTM D1188 para el peso específico de la mezcla asfáltica compactada con parafina, o la norma ASTM D2726 para la gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada utilizando áreas saturadas de muestras secas. Para determinar cuál estándar aplicar, es necesario realizar pruebas de absorción en la mezcla asfáltica compactada. Si la absorción es superior al 2 %, se utiliza la norma ASTM D1188; de lo contrario, se aplica la norma ASTM D2726. Este proceso garantiza la precisión y la adecuación de la prueba a las características específicas de la muestra de mezcla asfáltica analizada. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004)

### **Prueba de estabilidad y flujo**

Después de determinar la gravedad específica, se lleva a cabo una prueba de estabilidad y flujo, en la cual la muestra se sumerge en un baño de agua a una temperatura controlada de  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) durante un período de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Una vez que el dispositivo de prueba está listo, la muestra se retira del baño de agua y se seca cuidadosamente del área, luego se coloca y se centra en la mordaza inferior del dispositivo, mientras se asegura que la mordaza superior esté completamente centrada y colocada en el dispositivo de carga. Posteriormente, se aplica una carga de prueba al espécimen a una tasa de deformación constante de 51 mm (5 pulgadas) por minuto hasta que ocurra la falla.

La falla se determina mediante la lectura de la carga máxima obtenida. El número total de newtons (lbs) requeridos para que el espécimen falle se registra como el valor de estabilidad de Marshall. En el caso de que no se utilice un dispositivo de monitoreo automático, el medidor de corriente debe permanecer en el volante



durante la prueba de estabilidad y se debe tomar una lectura y registrarla como el valor final de la corriente cuando la carga comienza a disminuir. La diferencia entre los valores de corriente inicial y final, expresada en unidades de 0,25 mm (1/100 de pulgada), corresponde al valor de flujo Marshall. (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004).

### **Análisis de densidad y vacíos**

Después de llevar a cabo las pruebas de estabilidad y flujo, se procede a analizar la densidad y la porosidad de cada conjunto de muestras de prueba. Es recomendable determinar la gravedad específica teórica máxima (según la norma ASTM D2041) para al menos dos concentraciones de asfalto, preferiblemente cercanas a la concentración óptima de asfalto. Basándose en estos valores, se calcula el promedio de la gravedad específica efectiva de todo el agregado.

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva de todo el agregado, los pesos específicos medios de las mezclas compactadas, el peso específico del asfalto y el peso específico máximo teórico de la mezcla asfáltica, se procede a calcular el porcentaje de asfalto absorbido a partir del peso del agregado seco, el porcentaje de vacíos ( $V_a$ ), el porcentaje de vacíos rellenos con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en la materia mineral (VMA). (Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón, 2004).

#### *Imagen 1*

*Máquina para Pruebas de Estabilidad Marshall con Anillo de Carga.*



FUENTE: (UTEST, 2018)

Tabla 14:  
Requerimientos para una mezcla asfáltica: MTC

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

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS “especificaciones técnicas generales de construcción” EG-2013- (M.T.C., 2014)

Tabla 15:  
Requisitos Mínimos en el Agregado Mineral.

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.° 8)	21	-
4,75 mm (N.° 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

FUENTE: MANUAL DE CARRETERAS “especificaciones técnicas generales de construcción” EG-2013- (M.T.C., 2014)

### 2.3. Términos básicos

La absorción de luz visible se refiere al proceso mediante el cual la materia capta radiación dentro del rango de la luz visible, conocido como absorción óptica (La web de Física, 2016).

Los alérgenos son sustancias capaces de desencadenar una reacción alérgica en el organismo humano.

La anatasa es una de las cinco formas minerales del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>).

La banda de conducción se define como el rango de energías electrónicas que, estando por encima de la banda de valencia, permite a los electrones experimentar aceleraciones bajo la influencia de un campo eléctrico externo, lo que facilita la conducción de corriente eléctrica (Tipler y otros, 2005).

La banda de valencia es el intervalo más alto de energías de electrones en el que estos están presentes normalmente a la temperatura del cero absoluto (Radiation Dosimetry, 2020).

La brookita es una de las cinco formas minerales del dióxido de titanio, junto con la anatasa y el rutilo.

Las capacidades reductoras se refieren a la capacidad de ciertas biomoléculas de actuar como donadoras de electrones o receptoras de protones en reacciones metabólicas de reducción-oxidación (Voet y otros, 1995).

La catálisis es el proceso mediante el cual se aumenta la velocidad de una reacción química gracias a la intervención de una sustancia llamada catalizador, mientras que los inhibidores son sustancias que desactivan esta acción (Masel, 2001).

La escorrentía se define como aquella parte de la lluvia, del agua de deshielo o del agua de riego que no se infiltra en el suelo y, en cambio, fluye sobre la superficie del mismo.

La fotocatalisis es un proceso de descontaminación inspirado en la naturaleza que, al igual que la fotosíntesis, utiliza la luz solar para eliminar contaminantes como los NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y COVs mediante un proceso de oxidación activado por la energía solar (Bermejo, 2018).

La fotodegradación es una reacción química que tiene lugar bajo la influencia de la

luz, pudiendo ocurrir en la atmósfera, en la superficie del suelo o del agua.

Los fotones son las partículas mínimas de energía luminosa o electromagnética que se producen, se transmiten y se absorben.

Las fuerzas de correlación son descripciones matemáticas del comportamiento fundamental de la materia a una escala molecular.

La hidrofiliidad es la propiedad física de las moléculas que tienden a interactuar o disolverse en agua o en otras sustancias polares.

La ilmenita es un mineral óxido con composición  $\text{Fe}_2\text{Ti}_4\text{O}_3$  (Calvo, 2009).

La luz UV es una radiación electromagnética con longitudes de onda entre aproximadamente 10 nm y 400 nm, que forma parte de la radiación solar y puede tener efectos diversos en la salud debido a su naturaleza ionizante y no ionizante.

La mineralización es un proceso biológico mediante el cual la materia orgánica se convierte en un estado inorgánico a través de la acción de microorganismos (EcuRed, 2019).

Un catalizador es una sustancia que acelera o retarda una reacción química sin participar en ella (Jencks, 1969).

## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis General**

El análisis comparativo de los efectos de fotocatalizador del dióxido de titanio al mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima

#### **3.2. Hipótesis Específica (s)**

- Efecto de fotocatalizador de dióxido de titanio mejora estabilidad de mezcla asfáltica caliente y fría en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.
- El efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio mejora la trabajabilidad de la mezcla asfáltica en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.
- El efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio mejora la permeabilidad de la mezcla asfáltica caliente y fría en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.

#### **3.3. Variables (definición conceptual y operacional)**

– **Variable Independiente:**

Alteraciones del fotocatalizador dióxido de titanio.

– **Variable dependiente:**

Características mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío

### 3.4. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Alteraciones del fotocatalizador dióxido de titanio.	Las alteraciones o efectos del fotocatalizador dióxido de titanio, gracias a las propiedades fotocatalíticas de purificación del aire y de autolimpieza, es un material muy responsable con el medio ambiente. Esta alteración de efecto positivo es factible medir a través de la prueba de rodamina B.	Propiedad fotocatalítico	-Capacidad de purificación del aire. - Capacidad de autolimpieza.	Prueba de rodamina (UNI 11259-2008)
		Degradación del colorante rodamina B	- Prueba de auto limpieza. --- - Prueba de contaminación	Prueba de rodamina B (UNI 11259-2008)
Características mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío.	Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de pavimentos, ya sea en forma de rodadura o capas inferiores, y su función es proporcionar a los usuarios de la vía una superficie vial cómoda, segura y económica, para lo cual deben tener propiedades mecánicas como estabilidad, trabajabilidad y resistencia al agua, que se mide a través de la prueba de Marshall y granulometría.	Estabilidad	- Estabilidad. - Contenido de asfalto.	Estabilidad y flujo Marshall (MTC E-204)
		Trabajabilidad	- Vacíos de agregado mineral. - Temperatura de diseño	Marshall (MTC E-204)
		Impermeabilidad	- Contenido de vacíos. - Compactación	-Porcentaje de vacíos de aire. (MTC E-204) - Ensayo Marshall (MTC E 204)

## **CAPÍTULO IV METODOLOGÍA**

### **4.1. Método de Investigación**

#### **4.1.1. Método de la Investigación**

Para la investigación se propuso que sea de un enfoque cuantitativo porque tiene como objetivo medir con precisión las variables de estudio. Un diseño de investigación enfocado cuantitativamente tiene como objetivo medir variables objetivamente y analizar datos cuantitativamente, independientemente de si existen diferencias entre los modelos dentro de esa categoría. (Navarro, Jiménez, Rappoport, & Thoilliez, 2017)

En la investigación aplicada, su propósito es producir un hecho nuevo, para lo cual debe estar suficientemente proyectado para que confiemos en los resultados de la investigación, haciendo que la nueva información sea útil y adecuada para formular una teoría. (Lozada, 2014)

#### **4.1.2. Alcance de la Investigación**

Por el tipo de investigación y por el objetivo perseguido, el nivel de profundidad, el método de inferencia estadística, el método de manipulación de variables, el tipo de datos o el tiempo de investigación. La investigación tiene varios aspectos que deben ser considerados. (Rus, 2020)

### **4.2. Tipo de Investigación**

Los tipos de investigación se pueden agrupar por el objetivo perseguido, el nivel de profundidad, el método de inferencia estadística, el método de manipulación de variables, el tipo de datos o el tiempo de investigación. Como podemos ver, la investigación tiene varios aspectos que deben ser considerados. (Rus, 2020)

En la investigación aplicada, su propósito es producir un hecho nuevo, para lo cual debe estar suficientemente proyectado para que confiemos en los resultados de la investigación, haciendo que la nueva información sea útil y adecuada para formular una teoría. (Lozada, 2014)

#### **4.3. Nivel de Investigación**

Para determinar la población y la muestra, primero es necesario especificar qué o quién será medido o analizado, es decir. que será estudiado. Esta decisión depende del enfoque inicial, el propósito y el diseño del estudio. (Carnacho, 2008)

**Unidad de medida:** Mezcla asfáltica

#### **4.4. Diseño de la Investigación**

En la presente investigación se definió para ser de un diseño de carácter experimental. La investigación experimental se utiliza para determinar la relación de causa y efecto de una situación. Es una investigación que observa el efecto de una variable independiente sobre una variable dependiente. (Muguira, 2018)

#### **4.5. Población, muestra y muestreo**

Para determinar la población y la muestra, primero es necesario especificar qué o quién será medido o analizado, es decir. que será estudiado. Esta decisión depende del enfoque inicial, el propósito y el diseño del estudio. (Carnacho, 2008)

**Unidad de medida:**

Mezcla asfáltica

**Población**

La presente investigación es de tipo experimental y las muestras serán realizadas en la av. Leoncio Prado de la ciudad de Lima, por ello, mi población resulta ser todas las briquetas de mezcla asfáltica que se encuentran en el laboratorio de GEOCONTROL Lima.



## **Muestra**

La muestra consta de un total de 66 briquetas, las cuales se dividen de la siguiente manera para su uso en distintas pruebas:

- 12 briquetas destinadas a determinar la dosificación óptima de mezcla asfáltica en caliente.
- 12 briquetas destinadas a determinar la dosificación óptima de mezcla asfáltica en frío.
- 18 briquetas divididas en 6 grupos, cada uno con concentraciones de 1%, 2% y 3% de TiO<sub>2</sub> adicionado a la mezcla asfáltica, tanto en caliente como en frío.
- 18 briquetas divididas en 6 grupos, cada uno con concentraciones de 1%, 2% y 3% de TiO<sub>2</sub> adicionado a las mezclas asfálticas, tanto en caliente como en frío, para llevar a cabo la Prueba de Rodamina B.
- 6 briquetas destinadas a la Prueba de Rodamina B, utilizando mezclas asfálticas en caliente y frío.

## **Muestreo**

El muestreo es no probabilístico debido a que la orientación de la muestra se basa en las características del estudio, en este tipo de muestreo se eligen de manera subjetiva y no aleatoria. La no probabilidad se refiere a la selección de una muestra de investigación según sus características, criterios y tipos, que luego el investigador considera, por lo que es poco fiable y válida.

### **4.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

Una escala nominal es una escala de medida donde los números actúan como “etiquetas” solo para identificar o clasificar el objeto. Una escala de medición nominal generalmente solo trata con variables no numéricas (no cuantitativas). Una escala nominal tiene solo una función descriptiva, lo que significa que tiene identificadores únicos para identificar o transferir valores a unidades. Cuando se utiliza una escala nominal para la identificación, existe una correlación de uno a uno entre el elemento y el valor que se le asigna. Por ello el instrumento de medición será a una escala nominal. (Ortega, 2018)

## **Confiabilidad**

La confiabilidad se logra calibrando los equipos que se utilizan para realizar las distintas pruebas y asegurando que el laboratorio donde se realizan las pruebas

cuenta con una ISO. Es una medida que se califica en una escala que tiene como objetivo lograr la capacidad de sobresalir constantemente frente a algún otro valor.

### **Validez**

Obtenemos la validez de los resultados realizando las pruebas necesarias para el estudio, las cuales son confirmadas con la firma y sello del experto. Toda investigación científica debe ser válida porque los resultados deben ser fiables y por tanto resultados reales.

#### **4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Pregunta básica	Explicación
¿Para qué?	Realizar un análisis comparativo del efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente y en frío
¿De qué persona u objetos?	Briquetas de mezcla asfáltica elaborados a 5, 10 y 15% de TiO <sub>2</sub>
¿Sobre qué aspectos?	Efectos de fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío.
¿Dónde?	Av. Javier Prado cuadras de la 3 a la 22 ciudad de Lima
¿Cómo?	Mediante pruebas y ensayos de laboratorio.

#### **4.8. Aspectos éticos de la Investigación**

En este proyecto de investigación, seguimos las directrices éticas propuestas por Aliaga (2017, p. 53), que detallan los siguientes procedimientos fundamentales:

- a) Respetamos plenamente a las personas y su personalidad, lo que incluye el respeto a su dignidad e intimidad, sus creencias religiosas, tendencias políticas, prácticas culturales y su derecho a la autodeterminación.
- b) Mostramos buena voluntad personal en todas nuestras interacciones y acciones relacionadas con la investigación.
- c) Mantenemos la equidad en las relaciones entre las agencias pertinentes, los investigadores y los participantes en el estudio.
- d) Evaluamos de manera proporcional y razonable la idoneidad de la investigación, asegurándonos de que los métodos utilizados sean adecuados y justificados.

- e) Nos aseguramos de no mencionar a los participantes con la intención de evitar riesgos o daños tanto para ellos como para los propios investigadores.
- f) Nos comprometemos a proporcionar honestidad y transparencia en todas las comunicaciones con las partes involucradas en la investigación.
- g) Nos aseguramos de no llevar a cabo estudios que puedan afectar negativamente la calidad de vida, garantizando la seguridad y protección de la población vulnerable y dependiente.

Estos principios éticos son fundamentales en nuestro proyecto de investigación, ya que son guiados por expertos en el campo y se implementan siguiendo las referencias y normas que nos acompañan en la construcción de la nación. Asimismo, reconocemos la importancia del Código Ético para evitar cualquier infracción de los derechos de autor.

## CAPÍTULO V RESULTADOS

Al diseñar mezclas asfálticas, era importante evaluar los materiales agregados, ya que debían cumplir con los requisitos de calidad definidos a través de normas y manuales por el MTC, lo que aseguraba su óptimo comportamiento.

### 5.1. PRUEBAS – ENSAYOS DE CALIDAD REALIZADOS A LOS AGREGADOS PÉTREOS

#### ENSAYOS DE CALIDAD AGREGADO FINO

##### Análisis Granulométrico (ASTM C33)

El propósito del análisis granulométrico del agregado fino (arena) es clasificar las partículas del agregado según su tamaño. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

*Tabla 16:  
Análisis granulométrico*

<b>AGREGADO FINO ASTM C33/C33M - 18 - ARENA GRUESA</b>							
Malla		Peso Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"
3/4"	19.00 mm					100.00	100.00
1/2"	12.50 mm					100.00	100.00
3/8"	9.50 mm					100.00	100.00
# 4	4.75 mm			0.00	100.00	95.00	100.00
# 8	2.36 mm	86.9	10.92	10.92	89.08	80.00	100.00
# 16	1.18 mm	179.0	22.49	33.41	66.59	50.00	85.00
# 30	600 µm	228.7	28.73	62.14	37.86	25.00	60.00
# 50	300 µm	159.2	20.00	82.15	17.85	5.00	30.00
# 100	150 µm	86.5	10.87	93.01	6.99	0.00	10.00
Fondo	-	55.6	6.99	100.00	0.00	-	-
						MF	2.82
						TMN	NA

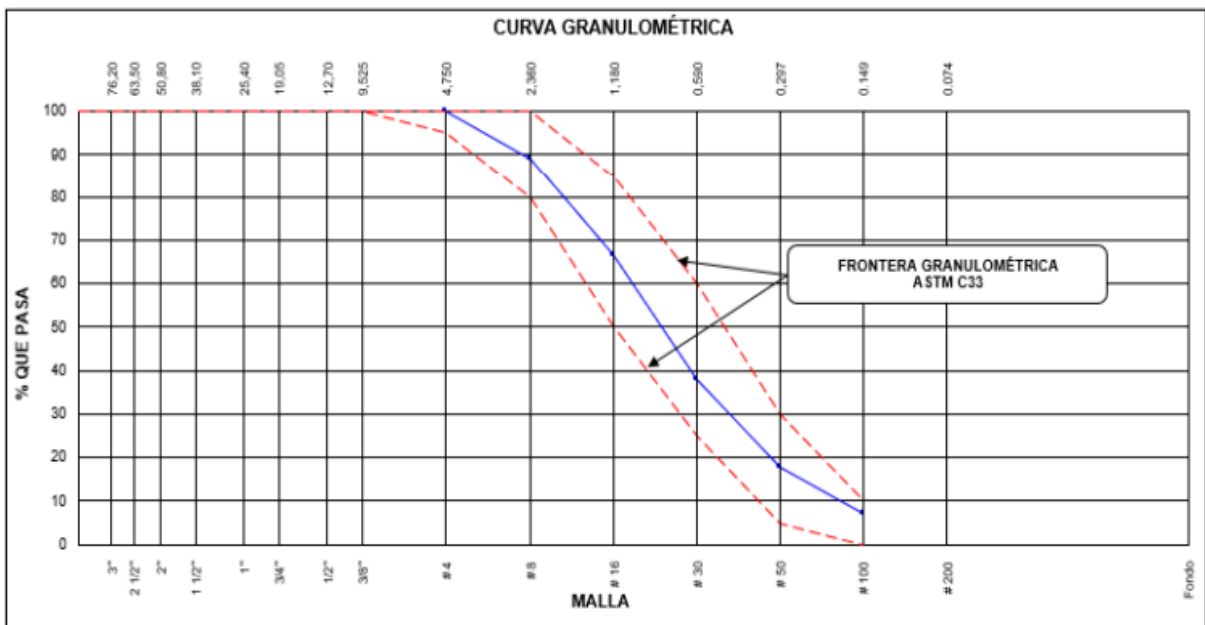
Nota: Elaboración Personal

Tabla 17:  
Análisis granulométrico MAC.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25 mm (1")	100	-	-
19 mm (3/4")	80	100	-
12.5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	-
9.5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4.75 mm (N°4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2 mm (N°10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 mm (N°40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 mm (N°80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75 mm (N°200)	04 - 8	05 - 8	05 - 10

FUENTE: (M.T.C., 2014)

Imagen 2:  
Curva granulométrica



Nota: Elaboración Personal

Al observar los resultados y contrastarlos con las especificaciones del MAC 2, se evidencia que siguen la escala estándar establecida por el MAC-2.

### Equivalente de arena (MTC E 114)

El propósito de esta prueba es determinar el porcentaje de arena presente en el agregado y, si cumple con las especificaciones del MTC, elaborar una mezcla que sea óptima para el asfalto.

Tabla 18:  
Consolidación sobre equivalente de arena.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		
		1	2	3
1	Muestra N°			
2	Hora de Entrada	15:18	15:20	15:22
3	Hora de Salida	15:28	15:30	15:32
4	Hora de Entrada	15:30	15:32	15:34
5	Hora de Salida	15:50	15:52	15:54
6	Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas)	3.48	3.50	3.46
7	Altura Máxima de la Arena (Pulgadas)	4.80	4.90	4.90
8	Equivalente de Arena (%)	72.5	71.4	70.6
9	Equivalente de Arena Promedio (%)	<b>72.0</b>		

Nota: Elaboración Personal

Tabla 19:  
Parámetro equivalente de arena MTC

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70

FUENTE: “Manual de carretera (especificaciones técnicas generales de construcción EG.2013” (M.T.C., 2014)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de arena equivalente se obtiene un 72% que corresponde a los parámetros definidos en el MTC.

### Prueba-ensayo de angularidad de agregado fino (MTC E 222)

Tabla 20:  
Consolidación sobre el ensayo angularidad de agregado fino

ENSAYO	N°	1	2	3	ESPECIFICACIÓN
Peso del Agregado Fino + Molde	gr.	5185	5210	5225	<b>FÓRMULA:</b> $v \cdot \frac{w}{G_{sb}} \times 100$
Peso del Molde	gr.	4199	4199	4199	
Peso del Agregado Fino	(w)	986	1011	1026	
Volumen del Cilindro	(v)	937	937	937	
Gravedad Específica de Agregado Fino	G <sub>sb</sub>	2.60	2.60	2.60	
<b>VACÍOS NO COMPACTADOS</b>	%	59.5	58.5	57.9	<b>Mín.40</b>
<b>PROMEDIO</b>	%	<b>58.6</b>			

Nota: Elaboración Personal

Tabla 21:  
Parámetro angularidad de agregado fino (MTC).

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		<3.000	>3.000
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40

FUENTE: Manual de carretera (especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013) (M.T.C., 2014)

Comparación de los resultados y el parámetro si cumple con los requisitos porque el mínimo es 30% y se obtuvo 58.6%.

### Ensayo azul de Metileno (AASHTO TP 57)

Tabla 22:  
Resultado azul de metileno

ENSAYO	Nº	1	2	ESPECIFICACIÓN
Cantidad de solución	g	14.1	14.2	FÓRMULA:
Peso del material fino	g	5.213	5.168	$AM = C_{sol} / P_{finos}$
VALOR AZUL DE METILENO	mg/g	2.7	2.7	
PROMEDIO	mg/g	2.7		

Nota: Elaboración Personal

Tabla 23:  
Parámetro azul de metileno (AASHTO T330).

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤ 3.000	>3.000
Azul de Metileno	AASHTO T330	8 máx.	8 máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Después de una necesaria comparación del resultado y las especificaciones, se encuentra que cumple con el parámetro requerido porque el requisito es de 8 mg/g como máximo y lo que se logró fue de 2,7 mg/g.

## Ensayo índice de Plasticidad (MTC E 111)

Tabla 24:

Material pasante (malla N° 40).

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	LIMITE LÍQUIDO	LIMITE PLÁSTICO
Nro. de Recipiente		<b>NP</b>	<b>NP</b>
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	g		
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	g		
Peso de Recipiente (C)	g		
Peso del Agua (A-B)	g		
Peso del Suelo Seco (B-C)	g		
Contenido Humedad $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	g		
N° De Golpes			

Nota: Elaboración Personal

Tabla 25:

Consolidación sobre índice de plasticidad (malla N° 40)

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
	LÍQUIDO	PLÁSTICO	
	15.0	NP	NP

Nota: Elaboración Personal

Tabla 26:

Material pasante (malla N° 200)

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	LIMITE LÍQUIDO	LIMITE PLÁSTICO
Nro. de Recipiente		<b>NP</b>	<b>NP</b>
Peso Recipiente + Suelo Húmedo (A)	g		
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	g		
Peso de Recipiente (C)	g		
Peso del Agua (A-B)	g		
Peso del Suelo Seco (B-C)	g		
Contenido Humedad $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	g		
N° De Golpes			

Nota: Elaboración Personal

Tabla 27:

Resultado índice de plasticidad (malla N° 200)

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
	LÍQUIDO	PLÁSTICO	
	15.0	NP	NP

Nota: Elaboración Personal



Tabla 28:  
Requerimiento de índice de plasticidad (MTC E 111)

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤ 3.000	>3.000
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Como resultado, la malla No. 40 no tiene índice de plasticidad y la malla N° 200 no tiene plasticidad que cumpla con las especificaciones de MTC.

### Ensayo durabilidad (sulfato de magnesio) MTC E 209

Tabla 29:  
Consolidación sobre ensayo de durabilidad

TAMICES		% RETENIDO	PESO INICIAL g	PESO FINAL g	DIFERENCIA	%PERD.	% PERD. CORREGIDO
PASA	RETIENE						
N°30	N°50	20.00	100	82.6	17.4	17.4	3.48
N°16	N°30	28.73	100	84.9	15.1	15.1	4.34
N°8	N°16	22.49	100	79.2	20.8	20.8	4.68
N°4	N°8	10.92	100	75.3	24.7	24.7	2.70
<b>% PÉRDIDA</b>							<b>15</b>

Nota: Elaboración Personal

Tabla 30:  
Parámetro de ensayo de durabilidad (al sulfato de magnesio)

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤ 3.000	>3.000
Durabilidad (sulfato de magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Después de comparar los parámetros del resultado y las especificaciones del MTC, se encontró que cumple con estos requisitos porque tiene un 15% y MTC E – 209 tiene un máximo de 18%.

## Índice de durabilidad (MTC E 214)

Tabla 31:  
Consolidación sobre ensayo de índice de durabilidad.

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	Promedio
N° DE ENSAYO			
Hora de entrada a saturación	07:55	08:30	
Hora de salida de saturación (mas 10')	08:05	08:40	
Hora de entrada a decantación	08:11	08:46	
Hora de salida de decantación (mas 20')	08:31	09:06	
Altura máxima de la arcilla (pulg.0.1")	8.40	8.40	
Altura máxima de la arena (pulg.0.1")	5.50	5.50	
Índice de Durabilidad (Df = H.arena/H.arcilla*100 )	65.5	65.5	65.5

Nota: Elaboración Personal

Tabla 32:  
Parámetro de ensayo índice de durabilidad.

ensayos	norma	requerimiento altitud (m.s.n.m)	
		≤ 3000	> 3000
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Comparando los resultados de la prueba del 65,5 % con el parámetro mínimo especificado del 35 %, esto cumple con el estándar MTC recomendado a través de sus normas.

## Ensayo sales solubles (MTC E 219)

Tabla 33:  
Consolidación sobre el ensayo sales solubles totales.

Identificación muestra	01	02	03
a.- Peso muestra en solución + vaso pìrex, g	104.32	127.66	112.51
b.- Peso vaso pìrex, g	20.18	38.59	20.11
c.- Peso muestra en solución, g	84.14	89.07	92.40
d.- Peso de la muestra evaporada + vaso pìrex, g	20.290	38.710	20.220
e.- Peso de la muestra evaporada, g	0.110	0.120	0.110
Sales Solubles, %	0.1307	0.1347	0.1190
<b>Promedio %</b>	<b>0.128</b>		

Nota: Elaboración Personal

Tabla 34:  
Parámetro sales solubles totales (MTC)

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (m.s.n.m.)	
		≤3000	>3000
Sales Solubles totales	MTC E 219	0.5% máx	0.5% máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

En el análisis del resultado se establece que el resultado obtenido en el experimento corresponde al definido en el MTC, debido a que el máximo es 0.5% y se obtuvo 0.128% en sales solubles.

### Ensayo peso específico y absorción (MTC E 205)

Tabla 35:  
Consolidación sobre el ensayo absorción.

	IDENTIFICACIÓN	1	2	
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (SSS)	500.0	500.0	
B	Peso Frasco + agua	650.1	650.9	
C	Peso Frasco + agua + muestra SSS	961.6	960.7	
D	Peso del Mat. Seco	492.7	492.5	
	Pe Bulk (Base seca) o Peso específico de masa = $D/(B+A-C)$	2.61	2.59	2.60
	Pe Bulk (Base Saturada) o Peso específico SSS = $A/(B+A-C)$	2.65	2.63	2.64
	Pe Aparente (Base seca) o Peso específico aparente = $D/(B+D-C)$	2.72	2.70	2.71
	% Absorción = $100*((A-D)/D)$	1.5	1.5	1.5

Nota: Elaboración Personal

Tabla 36:  
Parámetro del ensayo de absorción (MTC)

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (m.s.n.m.)	
		≤3000	>3000
Absorción	MTC E 205	0.5% máx	0.5% máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

## Ensayo material que pasa Malla N° 200

Tabla 37:  
Consolidación sobre el ensayo Malla N°200.

PESO INICIAL SECO g	1233.1
PESO LAVADO SECO g	1193.6
% FINOS < TAMIZ N° 200	3.2%

Nota: Elaboración Personal

Se elaboró una tabla resumen de los resultados de las pruebas de llenado fino, la cual se ajusta a las especificaciones del MTC dadas en sus normas

Tabla 38:  
Resumen de ensayos de calidad realizados al agregado fino.

ENSAYO	NORMA	ESPECIFICACION	RESULTADOS
Equivalente Arena	MTC E 114	60	72%
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	58.6%
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 max.	2.7
Indice de plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	-	15%
Indice de durabilidad	MTC E 214	35min	65.5
Indice de plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4max.	NP
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5%max.	0.128

Nota: Elaboración Personal

## Ensayos de Calidad Agregado Grueso – Piedra Chancada Huso #67 Y Huso#89

### Análisis granulométrico (ASTM C136)

Tabla 39:

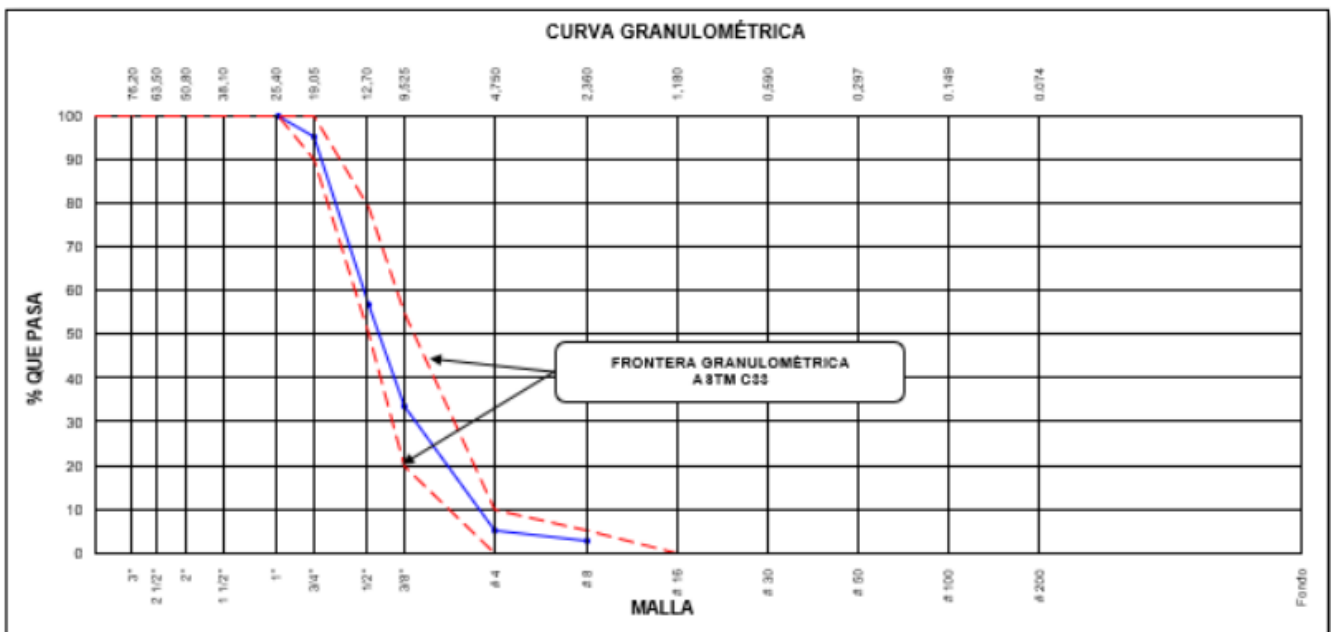
Consolidación sobre el análisis granulométrico – piedra chancada huso #67.

AGREGADO GRUESO ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 67							
Malla		Peso Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"
4"	100.00 mm					100.00	100.00
3 1/2"	90.00 mm					100.00	100.00
3"	75.00 mm					100.00	100.00
2 1/2"	63.00 mm					100.00	100.00
2"	50.00 mm					100.00	100.00
1 1/2"	37.50 mm					100.00	100.00
1"	25.00 mm				100.00	100.00	100.00
3/4"	19.00 mm	268.0	4.98	4.98	95.02	90.00	100.00
1/2"	12.50 mm	2058.8	38.22	43.20	56.80	50.00	79.00
3/8"	9.50 mm	1245.8	23.13	66.33	33.67	20.00	55.00
# 4	4.75 mm	1542.0	28.63	94.96	5.04	0.00	10.00
# 8	2.36 mm	128.3	2.34	97.30	2.70	0.00	5.00
# 16	1.18 mm					0.00	0.00
# 30	600 µm					0.00	0.00
# 50	300 µm					0.00	0.00
# 100	150 µm					0.00	0.00
Fondo	-	145.3	2.70	100.00	0.00	-	-
						MF	7.07
						TMN	1/2"

Nota: Elaboración Personal

Imagen 3:

Curva granulométrica –piedra chancada huso #67.



Nota: Elaboración Personal

Tabla 40:

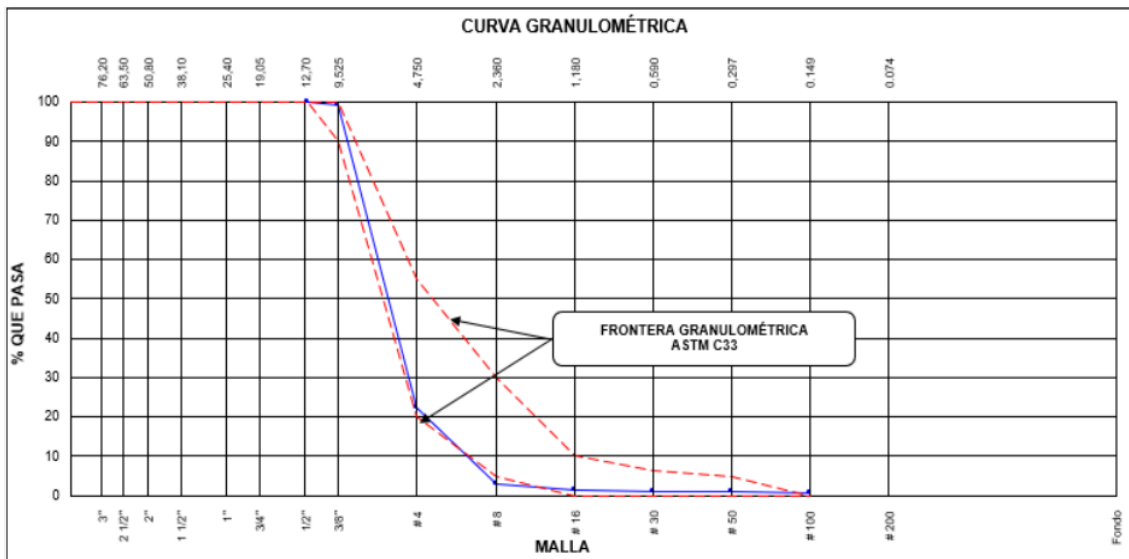
Consolidación sobre análisis granulométrico– piedra chancada huso #89.

AGREGADO GRUESO ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 89						
Malla	Peso Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"
4"	100.00 mm				100.00	100.00
3 1/2"	90.00 mm				100.00	100.00
3"	75.00 mm				100.00	100.00
2 1/2"	63.00 mm				100.00	100.00
2"	50.00 mm				100.00	100.00
1 1/2"	37.50 mm				100.00	100.00
1"	25.00 mm				100.00	100.00
3/4"	19.00 mm				100.00	100.00
1/2"	12.50 mm			100.00	100.00	100.00
3/8"	9.50 mm	13.4	0.83	99.17	90.00	100.00
# 4	4.75 mm	1243.5	76.94	77.77	20.00	55.00
# 8	2.36 mm	313.6	19.40	97.18	5.00	30.00
# 16	1.18 mm	23.9	1.48	98.66	0.00	10.00
# 30	600 µm	4.1	0.25	98.91	0.00	6.50
# 50	300 µm	1.9	0.12	99.03	0.00	5.00
# 100	150 µm	4.1	0.25	99.28	0.00	0.00
Fondo	-	11.6	0.72	97.90	2.10	-
					MF	5.72
					TMN	3/8"

Nota: Elaboración Personal

Imagen 4:

Curva granulométrica –piedra chancada huso #89



Nota: Elaboración Personal

De acuerdo con la tabla de Consolidación sobre el análisis granulométrico, el agregado grueso del huso triturador No. 40 y el huso No. 89 cumplen con el estándar MAC para el diseño de mezclas asfálticas.

### Ensayo de durabilidad (al sulfato de magnesio) (MTC E 209)

Tabla 41:

Consolidación sobre Ensayo durabilidad al sulfato de magnesio– piedra chancada huso #89.

TAMICES		PÉRDIDA DE PESO EN PORCENTAJE
PASA	RETENIDO	
2 1/2"	1 1/2"	0.00 %
1 1/2"	3/4 "	0.00 %
3/4 "	3/8"	0.00 %
3/8"	Nº 4	5.53 %
<b>TOTAL</b>		<b>6 %</b>

Nota: Elaboración Personal

Tabla 42:

Parámetros de ensayo durabilidad (al sulfato de magnesio) (MTC E 209).

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤ 3.000	>3.000
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Se encontró que el sulfato de magnesio cumple con las especificaciones de MTC según los datos de la prueba de durabilidad. Dado que el agregado de piedra chancada huso # 67 tiene un 10 %; la piedra chancada de huso #89 tiene un 6 %, por otro lado, las especificaciones exigen un máximo del 18 % como máx.

### Ensayo Abrasión los Ángeles (MTC E 207)

Tabla 43:

Consolidación sobre ensayo abrasión los ángeles– piedra chancada huso #67

PI	P100	P400	U	ABRASION	DETALLE	RESULTADO
10001.8	9432	8229	0.32	18	Uniformidad	0.32
					Abrasión	18%

Nota: Elaboración Personal

Tabla 44:

Consolidación sobre ensayo abrasión los ángeles – piedra chancada huso #89.

PI	P100	P400	U	ABRASION	DETALLE	RESULTADO
10005.6	9489.4	8597.3	0.37	14	Uniformidad	0.37
					Abrasión	14%

Nota: Elaboración Personal

Tabla 45:  
Parámetro de ensayo abrasión los ángeles (MTC)

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤ 3.000	>3.000
Abrasion los Angeles	MTC E 207	40% máx.	55% máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Los resultados que se han obtenidos en el ensayo con respecto a la abrasión los ángeles son de 18% en piedra chancada de huso #67 y 14% en piedra chancada de huso #89, la cual es una garantía que cumple las especificaciones del MTC, ya que el máximo es de un 40%.

### Ensayo de adherencia (MTC E 517)

Mezcla asfáltica – Diseño Betumen–aditivo:

- Contenido óptimo del cemento asfáltico en su presentación PEN 60/70 = 5.40%.
- Aditivo con mejorador de adherencia–Ar Red Radicote = 0.5%

Agregados pétreos (en proporciones):

- Agregado grueso (proporcionada por piedra chancada T<sub>máx.</sub> ¾) = 100.0%

Tabla 46:  
Consolidación sobre el ensayo de adherencia –piedra chancada huso #67

Descripción - ensayo	Resultado
Recubrimiento, %	100.0
Desprendimiento, % retenido	+ 95.0

Nota: Elaboración Personal

Tabla 47:  
Consolidación sobre el ensayo de adherencia –piedra chancada huso #89

Descripción - ensayo	Resultado
Recubrimiento, %	100.0
Desprendimiento, % retenido	+ 95.0

Nota: Elaboración Personal



Tabla 48:  
Parámetro del ensayo de adherencia (MTC)

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤ 3.000	>3.000
Adhrencia	MTC E 517	+95	+95

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

### Ensayo índice de durabilidad MTC E 214

Tabla 49:  
Ensayo índice de durabilidad– piedra chancada huso #67

TAMAÑOS DE MALLAS			Muestra	Agitación Muestra	Contenido de
PASA	RETENIDO	PESO (g)	Peso (g)	(10 minutos)	Agua Destilada (ml)
3/4"	1/2"	1070+/-10	1072		
1/2"	3/8"	570+/-10	574		
3/8"	Nº 4	910+/-5	908	10'	1000.0

Nota: Elaboración Personal

Tabla 50:  
Consolidación sobre el ensayo índice de durabilidad – piedra chancada huso #67

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	Promedio
Nº DE ENSAYO			
Hora de entrada a decantación	10:25	10:55	
Hora de salida de decantación (mas 20')	10:45	11:15	
Altura máxima de material fino (0.1")	4.80	4.50	
Indice de Durabilidad (De la tabla)	43.0	45.0	44.0

Nota: Elaboración Personal

Tabla 51:  
Ensayo índice de durabilidad – piedra chancada huso #89

TAMAÑOS DE MALLAS			Muestra	Agitación Muestra	Contenido de
PASA	RETENIDO	PESO (g)	Peso (g)	(10 minutos)	Agua Destilada (ml)
3/4"	1/2"	1070+/-10	1068		
1/2"	3/8"	570+/-10	570		
3/8"	Nº 4	910+/-5	911	10'	1000.0

Nota: Elaboración Personal

Tabla 52:

Consolidación sobre el ensayo índice de durabilidad – piedra chancada huso #89

DESCRIPCION	IDENTIFICACION			
	N° DE ENSAYO	1	2	Promedio
Hora de entrada a decantación	10:25	10:55		
Hora de salida de decantación (mas 20')	10:45	11:15		
Altura máxima de material fino (0.1")	4.70	4.60		
Indice de Durabilidad (De la tabla)	44.0	46.0		45.0

Nota: Elaboración Personal

Tabla 53:

Parámetro ensayo índice de durabilidad (MTC).

ensayos	norma	requerimiento altitud (m.s.n.m)	
		≤ 3000	> 3000
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

En cuanto al índice de durabilidad de en piedra chancada huso #67 y # 89 es de 44% y 45%, y para el que requiere la especificación es de al menos 35%.

### Ensayo partículas chatas y alargadas (ASTM 4791)

Tabla 54:

Consolidación sobre el ensayo partículas chatas y alargadas

TAMIZ (Pulg.)	ABERTURA (mm)	AGREGADO GRUESO		PESO DE PARTICULAS	CHATAS y ALARGADAS (5:1)		
		PESO RET. GRAD. ORIG.	(%) RET.		PESO	(%)	(%) CORREGIDO
2"	50.800						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	412.4	9.96	128.3	4.2	3.27	0.33
3/4"	19.000	771.2	18.62	212.4	4.6	2.17	0.40
1/2"	12.700	602.6	14.55	198.3	3.9	1.97	0.29
3/8"	9.500	927.3	22.39				
N° 4	4.750	1427.3	34.47				
PESO TOTAL DE LA MUESTRA:		4140.7		PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)			1.02

Nota: Elaboración Personal

Tabla 55:  
Requerimiento del ensayo partículas chatas y alargadas (MTC)

ensayos	norma	requerimiento altitud (m.s.n.m)	
		≤ 3000	> 3000
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Para los resultados de la prueba de partículas chatas y alargadas es de 1.02%, que está dentro de la especificación dadas por MTC ya que requiere un máximo de 10%.

### Ensayo caras fracturadas (MTC E 210)

tabla 56:  
Consolidación sobre el ensayo caras fracturadas de una cara.

A- CON UNA CARA FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	( g )	( g )	((B/A)*100 )	% Retenido	C*D
1 1/2"	1"	2000.0	1984.0	99.2	9.2	912.6
1"	3/4"	1500.0	1497.2	99.8	5.1	509.0
3/4"	1/2"	1200.0	1198.6	99.9	8.6	859.0
1/2"	3/8"	300.0	299.1	99.7	19.3	1,924.2
TOTAL		5000.0	4978.9			
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = \frac{4205}{42.20}$				99.6 %

Nota: Elaboración Personal

Tabla 57:  
Parámetro del ensayo cara fracturada (MTC)

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤ 3.000	>3.000
Caras Fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

## Ensayo sales solubles totales (MTC E219)

Tabla 58:

Consolidación sobre ensayo sales solubles totales –piedra chancada huso #67.

Identificación muestra	04	05	06
a.- Peso muestra en solución + vaso pírrex, g	114.32	116.41	119.37
b.- Peso vaso pírrex, g	25.64	28.16	21.37
c.- Peso muestra en solución, g	88.68	88.25	98.00
d.- Peso de la muestra evaporada + vaso pírrex, g	25.723	28.247	21.481
e.- Peso de la muestra evaporada, g	0.083	0.087	0.091
Sales Solubles, %	0.0936	0.0986	0.0929
<b>Promedio %</b>	<b>0.095</b>		

Nota: Elaboración Personal

Tabla 59:

Consolidación sobre ensayo sales solubles totales– piedra chancada huso #89.

Identificación muestra	07	08	09
a.- Peso muestra en solución + vaso pírrex, g	115.60	117.21	116.37
b.- Peso vaso pírrex, g	26.84	25.94	25.12
c.- Peso muestra en solución, g	88.76	91.27	91.25
d.- Peso de la muestra evaporada + vaso pírrex, g	26.923	26.026	25.206
e.- Peso de la muestra evaporada, g	0.083	0.086	0.086
Sales Solubles, %	0.0935	0.0942	0.0942
<b>Promedio %</b>	<b>0.094</b>		

Nota: Elaboración Personal

Tabla 60:

Parámetro de ensayo sales solubles totales (MTC)

ENSAYOS	NORMA	Requerimiento altitud (msnm)	
		≤ 3.000	>3.000
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5 % máx.	0.5 % máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Con respecto a sales soluble totales el MTC es requiere como lo estable en su norma un máximo de 0.5%, los resultados que se han obtenido cumplen las especificaciones ya que

son de 0.095% y 0.095% respectivamente con referencia a piedra chancada de huso #67 y #89.

### Ensayo gravedad específica y Absorción (MTC E 206)

Tabla 61:

Resultados ensayo de Absorción – piedra chancada huso #67

DATOS	A	B	
Peso de la muestra sss	2883.2	2869.9	
Peso de la muestra sss sumergida	1821.1	1814.4	
Peso de la muestra secada al horno	2863.2	2850.0	
RESULTADOS	1	2	PROMEDIO
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.696	2.700	2.698
PESO ESPECIFICO DE MASA S.S.S	2.715	2.719	2.717
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.748	2.752	2.750
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.7	0.7	0.7

Nota: Elaboración Personal

Tabla 62:

Resultado ensayo de Absorción – piedra chancada huso #89

DATOS	A	B	
Peso de la muestra sss	2569.1	2687.4	
Peso de la muestra sss sumergida	1623.1	1700.1	
Peso de la muestra secada al horno	2548.7	2668.7	
RESULTADOS	1	2	PROMEDIO
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.694	2.703	2.699
PESO ESPECIFICO DE MASA S.S.S	2.716	2.722	2.719
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.754	2.755	2.754
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.8	0.7	0.8

Nota: Elaboración Personal

Tabla 63:

Parámetro ensayo de Absorción (MTC)

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (m.s.n.m)	
		≤ 3000	> 3000
Absorción	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Para el diseño de mezcla asfáltica, el MTC establece un límite máximo de absorción del 1.0%. Según los resultados obtenidos, la piedra chancada de huso #67 tiene una absorción del 0.7% y la de huso #89 tiene una absorción del 0.8%, lo que cumple con las especificaciones del MTC.

### Ensayo material que pasa Malla N°200 (ASTM C136)

Tabla 64

Resultado ensayo material que pasa malla N° 200– Piedra chancada huso #67

PESO INICIAL SECO g	1233.1
PESO LAVADO SECO g	1193.6
% FINOS < TAMIZ N° 200	3.2%

Nota: Elaboración Personal

Tabla 65:

Resultado ensayo material que pasa malla N° 200 – piedra chancada huso #89

PESO INICIAL SECO g	1364.5
PESO LAVADO SECO g	1358.6
% FINOS < TAMIZ N° 200	0.4%

Nota: Elaboración Personal

Los resultados de calidad de los agregados gruesos se tabularon de acuerdo a las especificaciones del MTC.

Tabla 66:

Resumen de los resultados de los ensayos de calidad para el agregado grueso

ENSAYO	NORMA	ESPECIFICACION	RESULTADOS (huso #67)	RESULTADOS (huso #89)
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx.	10%	6%
Abrasión los Angeles	MTC E 207	40% máx.	18%	14%
Adherencia	MTC E 517	+95	+95	+95
Indice de durabilidad	MTC E 214	35% min.	44%	45%
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	1.02%	-
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	99.6/92.7	-
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5 %max.	0.095%	0.094%
Absorción	MTC E 206	1,0%max.	0.7%	0.8%

Nota: Elaboración Personal

## 5.2. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

El diseño se llevó a cabo utilizando distintos porcentajes de cemento asfáltico y se evaluó mediante el ensayo Marshall, siguiendo las especificaciones del MTC EG-2013. Se utilizaron agregados que cumplieran con las características del MAC-2 y se empleó cemento asfáltico tipo 60/70 a una temperatura de 150 °C.

### Análisis granulométrico (ASTMC136)

Para esta mezcla asfáltica se calentó utilizando diferentes agregados y materiales y estos son los siguientes:

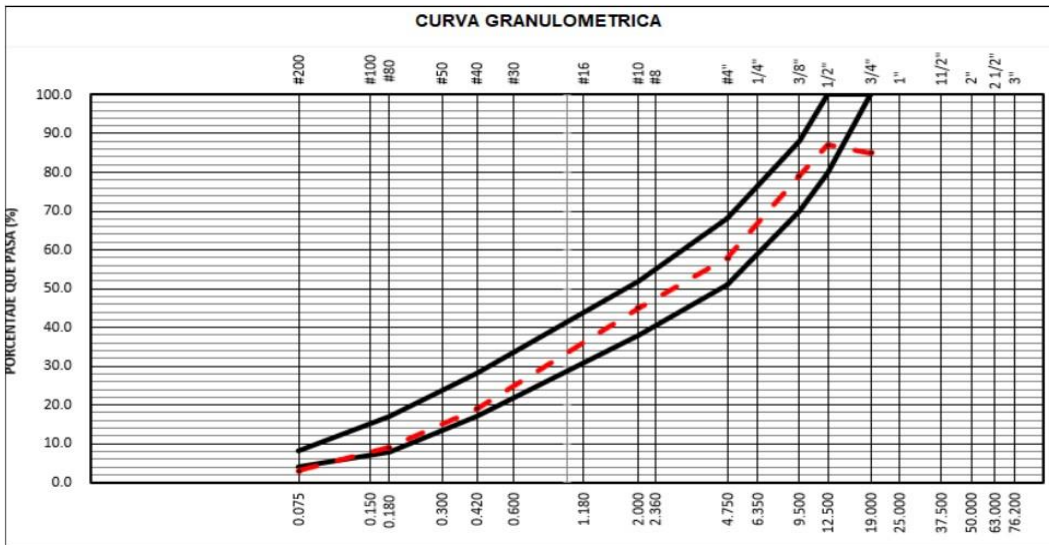
- Arena zarandeada= 49%
- Grava triturada =35%
- Cemento portland =1.0

*Tabla 67:  
Consolidación sobre análisis granulométrico*

TAMIZ	ABERTURA	Peso	Porcentaje			ESPECIFICACIÓN MAC-2	
			Retenido	Acumulado	Pasante		
3"	76.200						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000				85.0	100	100
1/2"	12.500	1032.2	12.9	12.9	87.1	80	100
3/8"	9.500	634.5	7.9	20.9	79.1	70	88
1/4"	6.350						
# 4	4.750	1695.2	21.2	42.1	57.9	51	68
# 8	2.360						
# 10	2.000	1034.9	13.0	55.0	45.0	38	52
# 16	1.180						
# 30	0.600						
# 40	0.420	2066.9	25.9	80.9	19.1	17	28
# 80	0.180	800.4	10.0	90.9	9.1	8	17
# 100	0.150						
# 200	0.075	487.4	6.1	97.0	3.0	4	8
>200		237.5	3.0	100.0			

Nota: Elaboración Personal

Imagen 5:  
Curva granulométrica.



Nota: Elaboración Personal

Tabla 68:  
Diseño de la mezcla asfáltica convencional (C.A. %=4.5%)

BRIQUETA N°		1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla		4.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla		40.19			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla		54.36			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla		0.95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc		3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.745			
11	Altura promedio de la briketa cm					
12	Peso de la briketa al aire (gr)	1190.8	1193.6	1195.2		
13	Peso de la briketa al agua por 60' (gr)	1193.7	1195.5	1198.6		
14	Peso de la briketa desplazada (gr)	689.7	690.1	689.3		
15	Volumen de la briketa por desplazamiento (cc) = (13-14)	504.0	505.4	509.3		
16	Peso especifico Bulk de la Briketa = (12/15)	2.363	2.362	2.347	<b>2.357</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.553			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)	7.5	7.5	8.1	<b>7.7</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.748			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado		1.45			
22	% de Asfalto Efectivo		3.12			
23	Relación Polvo/Asfalto		1.0			0.6 - 1.3
24	V.M.A.	14.7	14.7	15.3	<b>14.9</b>	14
25	% Vacios llenos con C.A.	49.2	49.0	47.0	<b>48.4</b>	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)	13.0	13.0	12.0	<b>12.7</b>	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)	1052	1088	1001		
28	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.00		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28	2030	1753	1001	<b>1595</b>	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo	6248	5394	3338	<b>4993</b>	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal



En la tabla 93: se muestra los resultados que se realizó en el ensayo Marshall con el C.A.% 4.5%.

Tabla 69:  
Diseño de mezcla asfáltica convencional (C.A. %=5.0)

BRIQUETA N°		1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla		5,0			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla		39,98			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla		54,07			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla		0,95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1,020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2,698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2,600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc		3,110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2,784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2,745			
11	Altura promedio de la briqueta cm					
12	Peso de la briqueta al aire (gr)	1191.2	1191.3	1194.2		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1193.2	1193.5	1196.7		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)	690.2	693.1	692.2		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)	503.0	500.4	504.5		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)	2.368	2.381	2.367	<b>2.372</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.523			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)	6.1	5.6	6.2	<b>6.0</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total		2,645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total		2,735			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado		1,28			
22	% de Asfalto Efectivo		3,79			
23	Relacion Filler/Betun		1,2			0.6 - 1.3
24	V.M.A.	14,9	14,5	15,0	<b>14,8</b>	14
25	% Vacios llenos con C.A.	58,9	61,1	58,7	<b>59,5</b>	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)	13,0	14,0	14,0	<b>13,7</b>	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)	1383	1521	1581		
28	Factor de estabilidad	1,04	1,04	1,04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28	1438	1582	1623	<b>1548</b>	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo	4425	4519	4638	<b>4527</b>	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal

En la tabla 94, se muestra los resultados obtenidos a través del ensayo Marshall mediante el diseño con 5.0% C.A

Tabla 70:

Diseño de Mezcla asfáltica convencional (C.A. % = 5.5.)

BRIQUETA N°		1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla		5.5			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla		39.77			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla		53.79			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla		0.94			
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.020			
6	Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.698			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.600			
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc		3.110			
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.784			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm					
12	Peso de la briqueta al aire (gr)	1192.9	1190.4	1192.9		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1194.9	1190.8	1194.6		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)	694.0	694.0	693.7		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)	501.0	496.8	500.9		
16	Peso específico Bulk de la Briqueta = (12/15)	2.381	2.396	2.382	<b>2.386</b>	
17	Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)		2.496			
18	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)	4.6	4.0	4.6	<b>4.4</b>	3 - 5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total		2.645			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total		2.725			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado		1.14			
22	% de Asfalto Efectivo		4.42			
23	Relacion Filler/Betun		1.4			0.6 - 1.3
24	V.M.A.	14.9	14.4	14.9	<b>14.7</b>	14
25	% Vacíos llenos con C.A.	69.2	72.2	69.3	<b>70.2</b>	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)	14.0	15.0	14.0	<b>14.3</b>	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)	1336	1434	1282		
28	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28	1389	1491	1333	<b>1404</b>	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo	3968	3976	3809	<b>3918</b>	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal

En la tabla 95, se muestra los resultados obtenidos a través del ensayo Marshall mediante el diseño con 5.5% de C.A.

Tabla 71:  
Diseño de Mezcla asfáltica convencional (C.A. %=6.0)

GRUPO N°		1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla		6.0			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla		39.56			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla		53.50			
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla		0.94			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc		1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc		3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm					
12	Peso de la briqueta al aire (gr)	1192.6	1191.9	1192.8		
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)	1192.9	1192.1	1193.0		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)	692.3	692.2	693.2		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)	500.6	499.8	499.8		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)	2.382	2.385	2.386	<b>2.384</b>	
17	Peso Especifico Máximo - Rice (ASTM D 2041)		2.474			
18	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)	3.7	3.6	3.5	<b>3.6</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.645			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.722			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado		1.10			
22	% de Asfalto Efectivo		4.97			
23	Relacion Filler/Betun		1.8			0.6 - 1.3
24	V.M.A.	15.3	15.2	15.2	<b>15.2</b>	14
25	% Vacíos llenos con C.A.	75.8	76.2	76.6	<b>76.2</b>	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)	16.0	15.0	15.0	<b>15.3</b>	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)	1338	1314	1327		
28	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 <sup>ra</sup> 28	1389	1367	1380	<b>1379</b>	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo	3473	3645	3680	<b>3599</b>	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal

En la tabla 96, se aprecia los resultados obtenidos a través del uso ensayo Marshall mediante el diseño elaborado a 6.0% de C.A.

## Marshall modificado –MAC 2 “Especificaciones técnicas MTS EG–2013”

Tabla 72:

C.A. % según el ensayo Marshall

DATOS DE LAS PROPORCIONES				
% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0
P.U. BRIQUETA	2.357	2.372	2.385	2.384
VACIOS	7.7	6.0	4.4	3.6
V.M.A.	14.9	14.8	14.7	15.2
V.LLA	48.4	59.5	70.2	76.2
POLVO / ASF.	1.0	1.2	1.4	1.6
FLUJO	12.7	13.7	14.3	15.3
ESTABILIDAD	1595.0	1547.7	1404.3	1379

Nota: Elaboración Personal

Para determinar el porcentaje óptimo de asfalto se aplica una tolerancia de +/-2% a la mezcla estándar, lo más cercano sería 5,45, que está de acuerdo con la EG–2013.

Tabla 73:

Porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Parámetros de diseño		- 0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES	N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.25	5.45	5.65	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.381	2.386	2.389	
VACIOS	%	5.1	4.6	4.2	3 - 5
V.M.A.	%	14.8	14.7	14.7	14
V. LL.C.A.	%	63.6	67.3	71.1	
POLVO / ASFALTO	%	1.3	1.3	1.4	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	14	14	15	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1434.5	1409.3	1391.6	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	4099.0	3929.8	3788.8	1700 - 4000
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Mpa		2.6		2.1
RESISTENCIA RETENIDA	%		80		75
RESISTENCIA CONSERVADA	%		80		80

Nota: Elaboración Personal

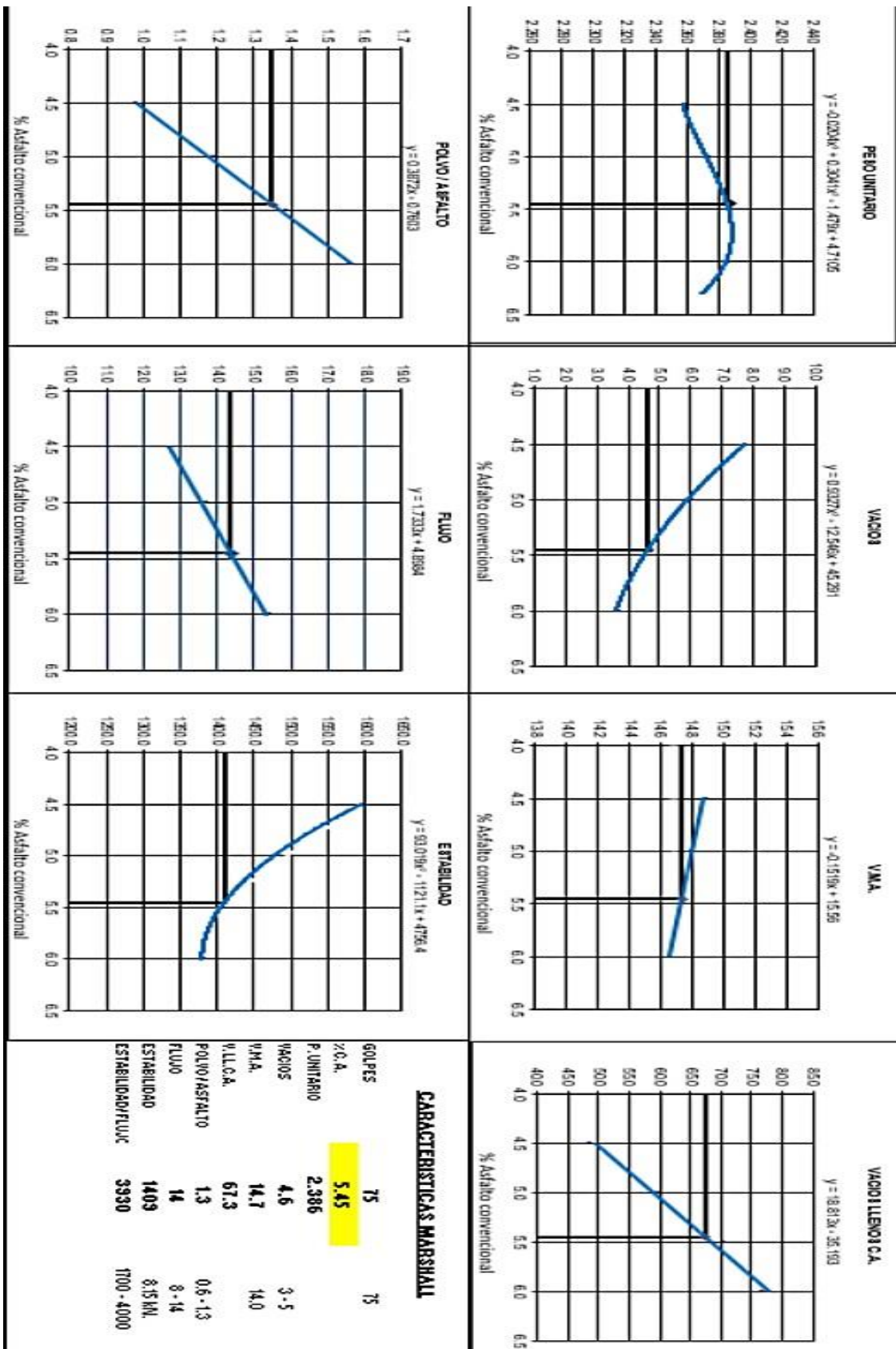
Tabla 74:

Características Marshall– % optimo

CARACTERISTICAS MARSHALL		
GOLPES	75	75
% C. A.	5.45	
P. UNITARIO	2.386	
VACIOS	4.6	3 - 5
V.M.A.	14.7	14.0
V. LL.C.A.	67.3	
POLVO / ASFALTO	1.3	0.6 - 1.3
FLUJO	14	8 - 14
ESTABILIDAD	1409	8.15 kN.
ESTABILIDAD/ FLUJO	3930	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal

Imagen 6:  
Curva para determinar el óptimo de cemento asfáltico



Nota: Elaboración Personal

## Ensayo de resistencia conservada (AASHTO T283)

Tabla 75:  
Consolidación sobre resistencia conservada.

		Grupo seco		Grupo húmedo	
	N.º DE PROBETAS	01	02	04	05
1	Diámetro	10.15	10.17	10.15	10.15
2	Espesor	6.69	6.68	6.70	6.70
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.45	5.45	5.45	5.45
4	Peso Probeta al Aire	1189.0	1187.0	1187.0	1191.0
5	Peso de la Probeta Saturada (60')	1190.0	1188.0	1188.0	1192.0
6	Peso de la Probeta en el Agua	680.0	678.0	678.0	679.0
7	Volumen de la Probeta	510.0	510.0	510.0	513.0
8	Peso Específico Bulk de la Probeta	2.331	2.327	2.327	2.322
9	% de Vacíos = $(17-16) \times 100/17$ (ASTM D 3203)	6.6	6.7	6.7	7.0
10	Estabilidad sin corregir	276	289	221	228
11	Factor Estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00
12	Estabilidad corregida (kg)	276	289	221	228
13	Resistencia a la compresión	2.6	2.7		
14	Resistencia retenida	80	79		
15	Promedio Estabilidad (30 Minutos) (kg)	282			
16	Promedio Estabilidad (24 Horas) (kg)			225	
17	Resistencia conservada (%)	80			

Nota: Elaboración Personal

### Diseño de mezcla asfáltica en caliente adicionando dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)

El diseño se llevó a cabo a una temperatura de 150°C utilizando un contenido óptimo de 4.5% de cemento asfáltico (C.A.), al que se le añadió dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en diferentes proporciones: 1%, 2% y 3%. Estas adiciones de TiO<sub>2</sub> se utilizaron como relleno en el diseño de la mezcla. Para realizar el experimento, se prepararon tres briquetas para cada porcentaje de TiO<sub>2</sub> agregado, y se promediaron los resultados obtenidos para asegurar valores consistentes y representativos.

Tabla 76:  
Consolidación sobre el ensayo Marshall para 1% con adición de TiO<sub>2</sub>

BRIQUETA N°		1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla		5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla		39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla		53.82			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla		0.95			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.600			
8	Peso Especifico del Dioxido de Titanio gr/cc		4.100			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm					
12	Peso de la briqueta al aire (gr)	1177.3	1179.0	1184.7		
13	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)	1179.0	1180.3	1185.9		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)	678.8	677.6	681.2		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)	500.2	502.6	504.7		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)	2.354	2.346	2.348	<b>2.349</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.496			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)	5.7	6.0	5.9	<b>5.9</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.650			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado		1.03			
22	% de Asfalto Efectivo		4.48			
23	Relacion Filler/Betun		1.40			0.6 - 1.3
24	V.M.A.	16.0	16.3	16.2	<b>16.2</b>	14
25	% Vacios llenos con C.A.	64.4	63.1	63.4	<b>63.6</b>	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)	16.0	16.0	15.0	<b>15.7</b>	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)	1407	1484	1627		
28	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 <sup>o</sup> 28	1557	1544	1588	<b>1563</b>	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo	3892	3859	4235	<b>3996</b>	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 101 presenta los resultados del ensayo Marshall obtenidos utilizando una mezcla asfáltica en estado caliente, a la cual se le añadió dióxido de titanio al 1%, junto con un aumento en el contenido de cemento asfáltico del 5.45%.

Tabla 77:  
Consolidación sobre el ensayo Marshall para 2% con adición de TiO<sub>2</sub>

BRIQUETA N°		1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla		5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla		39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla		52.87			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla		1.89			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc		2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.600			
8	Peso Especifico del Dioxido de Titanio gr/cc		4.100			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm					
12	Peso de la briqueta al aire (gr)	1199.1	1192.5	1197.1		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1200.1	1193.8	1198.6		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)	695.5	693.5	694.8		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)	504.6	500.3	503.8		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)	2.376	2.384	2.376	<b>2.379</b>	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.496			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)	4.8	4.5	4.8	<b>4.7</b>	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.660			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado		0.89			
22	% de Asfalto Efectivo		4.61			
23	Relacion Filler/Betun		1.44			0.6 - 1.3
24	V.M.A.	15.5	15.3	15.5	<b>15.4</b>	14
25	% Vacios llenos con C.A.	69.2	70.6	69.1	<b>69.6</b>	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)	14.0	15.0	14.0	<b>14.3</b>	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)	1500	1548	1539		
28	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28	1560	1610	1601	<b>1590</b>	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo	4458	4293	4574	<b>4442</b>	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 102 muestra los resultados de la prueba Marshall obtenidos con una mezcla asfáltica en presentación caliente con dióxido de titanio al 2 % adicionando cemento asfáltico en 5.45 %.



Tabla 78:

Consolidación sobre el ensayo Marshall para 3% con adición de TiO<sub>2</sub>

BRQUETA N°		1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla		5.45			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla		39.79			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla		51.92			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla		2.84			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc		1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc		2.698			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc		2.600			
8	Peso Especifico del Dioxido de Titanio gr/cc		4.100			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc		2.784			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc		2.745			
11	Altura promedio de la briqueta cm					
12	Peso de la briqueta al aire (gr)	1196.1	1210.2	1197.2		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)	1197.7	1211.5	1198.1		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)	700.1	704.1	698.5		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)	497.6	507.4	499.6		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)	2.404	2.385	2.396	2.395	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)		2.496			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)	3.7	4.4	4.0	4.0	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total		2.670			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total		2.723			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado		0.74			
22	% de Asfalto Efectivo		4.75			
23	Relacion Filler/Betun		1.48			0.6 - 1.3
24	V.M.A.	14.9	15.5	15.1	15.2	14
25	% Vacios llenos con C.A.	75.2	71.4	73.7	73.4	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)	14.0	14.0	13.0	13.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)	1558	1538	1546		
28	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28	1620	1597	1608	1608	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo	4630	4563	4946	4713	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 103 muestra los resultados de la prueba Marshall obtenidos con una mezcla asfáltica en presentación caliente con dióxido de titanio al 3 % adicionando cemento asfáltico en 5.45 %.

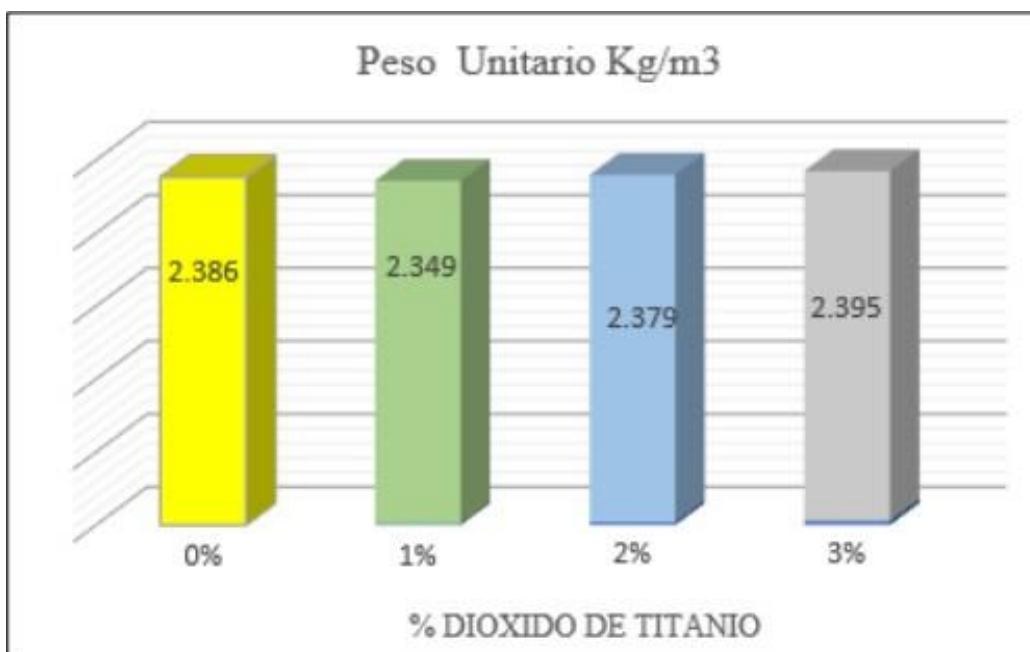
Tabla 79:  
Resumen de Consolidación sobre el Marshall modificado ( $TiO_2$ )

Parámetros de diseño					Especificación EG 2013
Dióxido de Titanio	%	1.0	2.0	3.0	
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.45	5.45	5.45	
PESO UNITARIO	kg/m <sup>3</sup>	2.349	2.379	2.395	
VACIOS	%	5.9	4.7	4.0	3 - 5
V.M.A.	%	16.2	15.4	15.2	14
V. LL.C.A.	%	63.6	69.6	73.4	
POLVO / ASFALTO	%	1.4	1.4	1.5	0.6 - 1.3
FLUJO	mm	15.7	14.3	13.7	8 - 14
ESTABILIDAD	kN	1562.9	1590.5	1608.4	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO	kg/cm	3990.5	4438.5	4707.4	1700 - 4000

Nota: Elaboración Personal

Se prepararon gráficos comparativos de los resultados obtenidos con la mezcla asfáltica en caliente modificada. Se utiliza la siguiente propiedad.

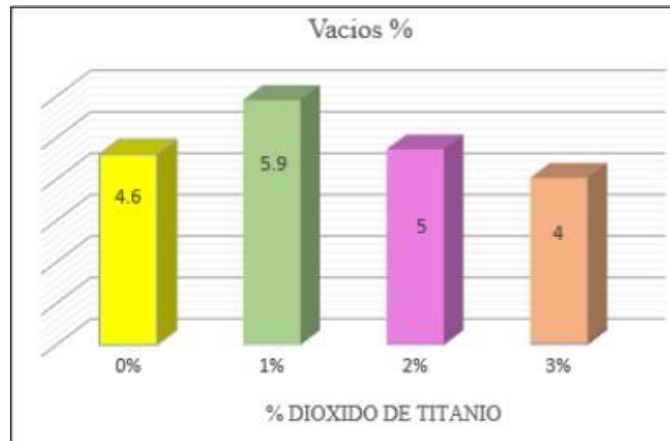
Imagen 7:  
Comparación de Consolidación sobre peso unitario en cada concentración %.



Nota: Elaboración Personal

Imagen 8:

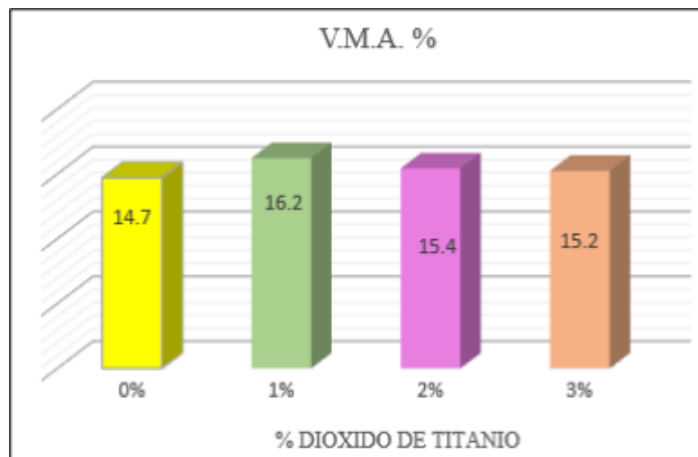
Análisis comparativo de resultados de vacíos hallados en cada concentración %.



Nota: Elaboración Personal

Imagen 9:

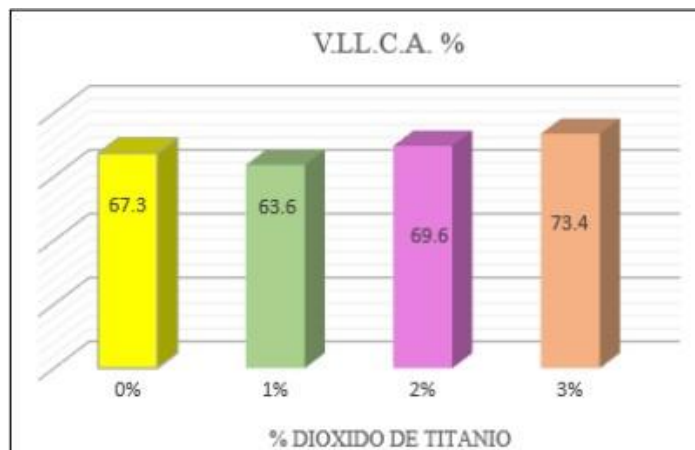
Análisis comparativo de resultados V.M.A. en cada concentración %.



Nota: Elaboración Personal

Imagen 10:

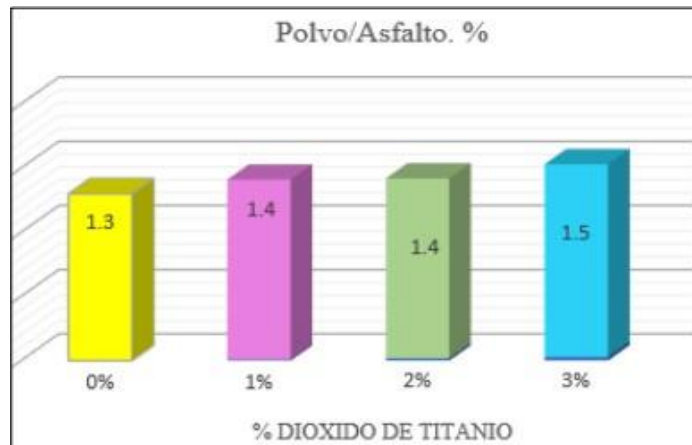
Análisis comparativo de resultados de vacíos llenos C.A. en cada concentración %.



Nota: Elaboración Personal

Imagen 11:

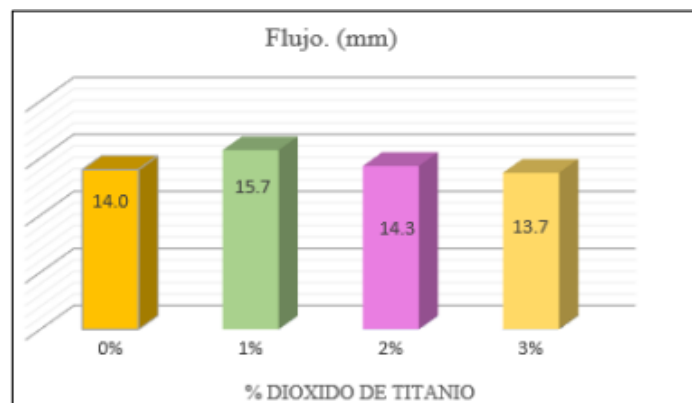
Análisis comparativo de resultados de polvo/asfalto en cada concentración %.



Nota: Elaboración Personal

Imagen 12:

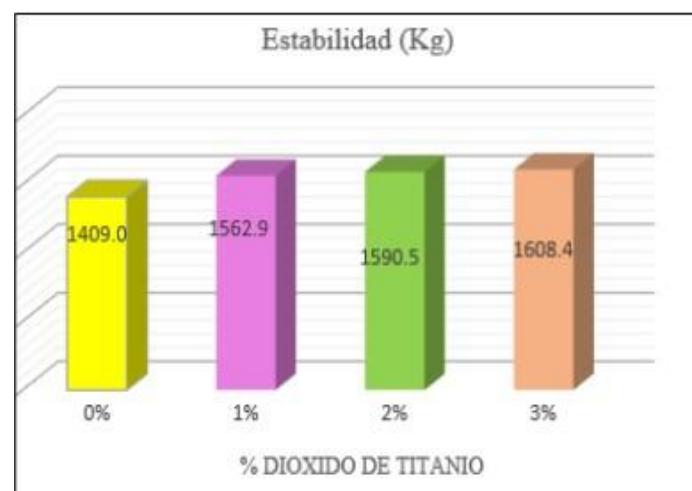
Análisis comparativo de resultados de flujo en cada concentración %.



Nota: Elaboración Personal

Imagen 13:

Análisis comparativo de resultados de Estabilidad en cada concentración %.



Nota: Elaboración Personal

### 5.3. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

El diseño se llevó a cabo utilizando diversos porcentajes de cemento asfáltico y emulsión asfáltica, y luego se analizó mediante el ensayo Marshall conforme a las especificaciones del MTC EG-2013. Los agregados utilizados correspondieron al tipo MDF-2. La emulsión asfáltica empleada fue del tipo CSS-1h.

#### Análisis granulométricos (ASTM C 136)

Para esta mezcla asfáltica se enfrió utilizando diferentes agregados y materiales;

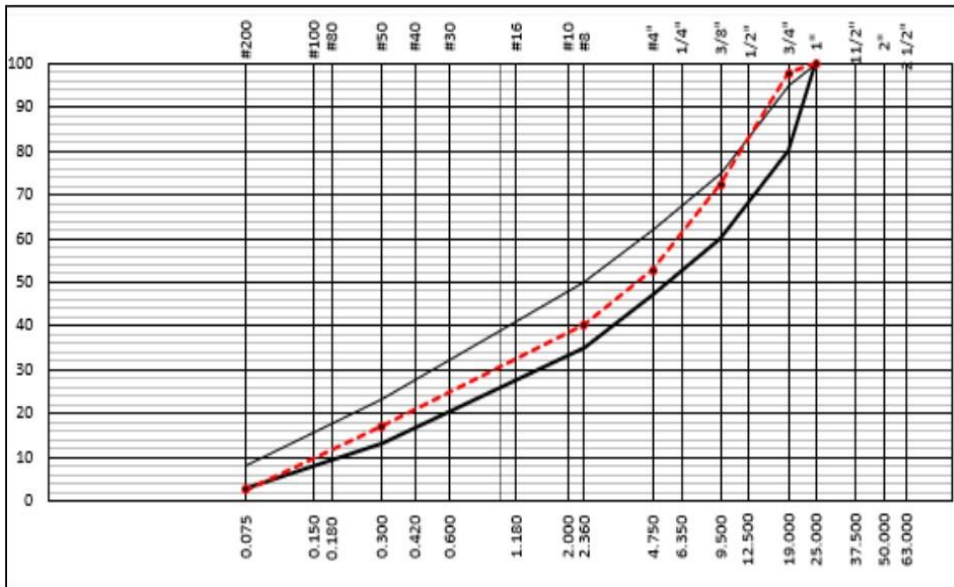
- Piedra chancada= 45%
- Gravilla= 10%
- Arena zarandeada =45%

Tabla 80:  
Consolidación sobre el análisis granulométrico

TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE			MDF - 2	
			Retenid.	Retenido	Acumul.		
ASTM	mm						
3"	76.200						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000				100.0	<b>100</b>	<b>100</b>
3/4"	19.000	170.4	2.1	2.1	97.9	<b>80</b>	<b>95</b>
1/2"	12.500	1308.8	15.9	17.9	82.1		
3/8"	9.500	798.8	9.7	27.6	72.4	<b>60</b>	<b>75</b>
1/4"	6.350						
# 4	4.750	1615.6	19.6	47.2	52.8	<b>47</b>	<b>62</b>
# 8	2.360	1030.2	12.5	59.6	40.4	<b>35</b>	<b>50</b>
# 10	2.000						
# 16	1.180						
# 20	0.840						
# 30	0.600						
# 40	0.420						
# 50	0.300	1917.6	23.2	82.9	17.1	<b>13</b>	<b>23</b>
# 80	0.180						
# 100	0.150	744.2	9.0	91.9	8.1		
# 200	0.075	452.6	5.5	97.4	2.6	<b>3</b>	<b>8</b>
>200		218.8	2.6	100.0	0.0		

Nota: Elaboración Personal

Imagen 14:  
Curva granulométrica



Nota: Elaboración Personal

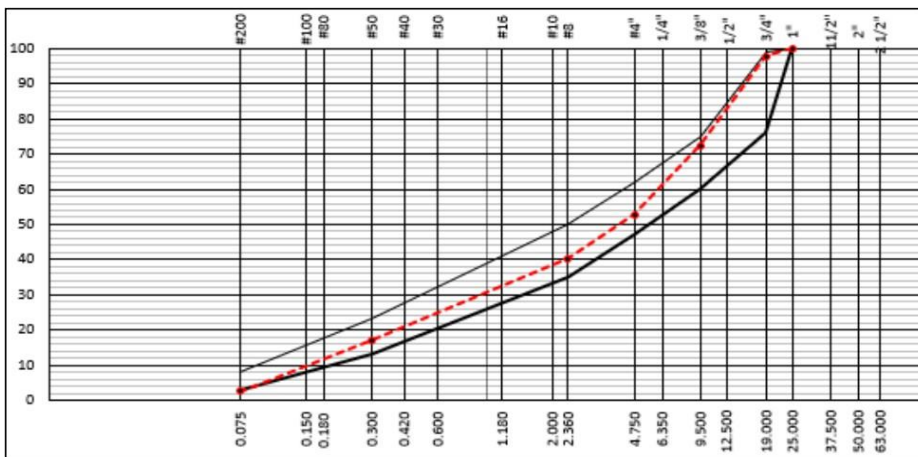
Se encontró que no se cumplió con la pendiente requerida, por lo que se utiliza la tolerancia agregada de la mezcla resistente como es las mezclas densas en frío.

Tabla 81:  
Tolerancia granulométrica de los agregados.

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE % SOBRE EL PESO SECO DE LO AGREGADOS
4.75 mm (N° 4) y mayores	+/- 4%
2.36 mm (N° 8)	+/- 3%
300um (N° 50)	+/- 3%
75um (N° 200)	+/- 1%

FUENTE: Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales de construcción EG, 2013.

Imagen 15:  
Curva granulométrica.



Nota: Elaboración Personal

## Humedad por compactación

En esta prueba se hizo una curva relativa a la curva/contenido de humedad, se supuso que esta compactación era de 3,5% de asfalto residual y 3,0% de agua, y se produjeron 4 briquetas de 1100 g cada una con el propósito de evaporar el agua, en consecuencia, lograr una humedad óptima en la mezcla.

Tabla 82  
*Componentes de la mezcla*

Tipo de emulsion	CSS-1HP
Residuo asfáltico de la emulsion (%)	60.0
Peso del agregado seco (g)	1100
Cemento Portland (%)	0.5
Cemento Portland (g)	5.5
Porcentaje teórico del asf. Res. (%)	3.5
Peso del asf. Res. Teórico (g)	39.0
Porcentaje teórico de la emulsion (%)	5.9
Peso de la emulsion teórico (g)	65.1
Porcentaje de agua en la emulsion (g)	2.4
Peso del agua en la emulsion (g)	26.0

Nota: Elaboración Personal

La preparación de la muestra tenía el mismo contenido de asfalto (3,5%) y se aireó para perder el contenido de humedad de la mezcla.

Tabla 83:  
*Contenido de agua en la mezcla*

Humedad de la mezcla (%)	Humedad a compactar (%)	Agua a ser eliminada	
		%	g
5.7	5.7	0.0	-0.4
5.7	4.7	1.0	11.0
5.7	3.7	2.0	22.4
5.7	2.7	3.0	33.8

Nota: Elaboración Personal

Estas muestras se curaron dentro de las 24 horas a temperatura ambiente de 22°C y se realizaron pruebas de estabilidad de Marshall.

Tabla 84:  
Resultado agua de compactación

Agua de Pre-Mezcla (%)	3.0
Agua de compactación (%)	4.5

Nota: Elaboración Personal

Para lograr una humedad óptima, las briquetas se desarrollan agregando emulsiones a los agregados con contenidos de residuos asfálticos de 2,5%, 3,5% y 4,5%. 5,5% a 22°C y 4,5% agua de compactación.

### Diseño de la mezcla asfáltica en frío, método Illinois–Marshall modificado

### Diseño de mezcla asfáltica en frío convencional con 2.5% asfalto residual

Tabla 85:  
Componentes del diseño.

EMULSIÓN	
Tipo Emulsión Asfáltica	CSS-1H
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	60.0
Gravedad específica del asfalto (B)	1.01
Asfalto residual en la mezcla (A) (%)	2.5
MEZCLA Y COMPACTACIÓN	
Agua total en la mezcla (%)	4.7
Agua de adición a la mezcla (g)	14.5
Agua de compactación (%)	4.5

Nota: Elaboración Personal

Tabla 86  
Resultados ensayo Marshall (asfalto residual =2.5%).

DESCRIPCIÓN	SECO			SATURADO		
	1	2		4	5	6
<b>Nº Densidad Bulk</b>						
1 Peso de la probeta en aire ( D )	1146.8	1145.1		1147.6	1143.8	
2 Peso de la probeta en agua ( E )	610.9	608.2		620.1	618.1	
3 Peso de la probeta SSD ( F )	1154.1	1151.4		1158.9	1156.4	
4 Volumen por desplazamiento	543.2	543.2		538.8	538.3	
5 Densidad Bulk ( G )	2.111	2.108		2.130	2.125	
6 Densidad Seca Bulk	2.064	2.062	2.063			
<b>Nº Estabilidad ( 22.2 °C )</b>						
1 Estabilidad (Kg-f)	1419	1374		1232	1257	
2 Factor de corrección	0.93	0.93		0.93	0.93	
3 Estabilidad corregida (Kg-f)	1320	1278	1299	1146	1169	1157.4
4 Flujo (mm)	3.0	3.0	3.0	3.3	3.6	3.4
<b>Nº Contenido de Humedad</b>						
1 Peso de la muestra húmeda (H)	1154.1	1151.4		1158.9	1156.4	
2 Peso de la muestra seca (I)	1120.9	1120.3		1074.0	1073.6	
3 Tara (J)						
4 Contenido de humedad (K)	2.4	2.3	2.3	8.1	7.9	
5 Humedad absorbida						
<b>Nº Características</b>						
1 Máximo total de vacíos (%)	22.1	22.2	22.2			
2 vacíos de aire (%)	17.4	17.6				
3 V. M. A. (%)	27.2	27.2				
4 % pérdida de estabilidad		10.9				

Nota: Elaboración Personal



La Tabla 111 muestra los resultados de la prueba Marshall para 2.5% de asfalto residual.

### Diseño de mezcla asfáltica en frío convencional con 3.5% de asfalto residual

Tabla 87

Componentes del diseño.

EMULSIÓN	
Tipo Emulsión Asfáltica	CSS-1H
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	60.0
Gravedad específica del asfalto (B)	1.01
Asfalto residual en la mezcla (A) (%)	3.5
MEZCLA Y COMPACTACIÓN	
Agua total en la mezcla (%)	5.3
Agua de adición a la mezcla (g)	7.5
Agua de compactación (%)	4.5

Nota: Elaboración Personal

Tabla 88:

Resultado ensayo Marshall (asfalto residual = 3.5%).

DESCRIPCIÓN		SECO			SATURADO		
Nº	DENSIDAD BULK	1	2		4	5	6
1	Peso de la probeta en aire ( D )	1157.6	1158.2		1188.6	1158.9	
2	Peso de la probeta en agua ( E )	620.0	619.3		627.8	614.1	
3	Peso de la probeta SSD (F)	1168.8	1164.8		1195.5	1166.1	
4	Volumen por desplazamiento	548.8	545.5		567.7	552.0	
5	Densidad Bulk ( G )	2.109	2.123		2.094	2.099	
6	Densidad Seca Bulk	2.066	2.085	2.076			
Nº	Estabilidad (22.2 °C)						
1	Estabilidad (Kg-f)	1362	1354		1314	1326	
2	Factor de corrección	0.93	0.93		0.86	0.89	
3	Estabilidad corregida (Kg-f)	1267	1259	1263	1130	1180	1155.1
4	Flujo (mm)	3.3	3.6	3.4	3.6	3.8	3.7
Nº	Contenido de humedad						
1	Peso de la muestra húmeda (H)	1168.8	1164.8		1195.5	1166.1	
2	Peso de la muestra seca (I)	1134.0	1137.6		1127.5	1100.5	
3	Tara (J)						
4	Contenido de humedad (K)	2.2	1.9		6.2	6.2	
5	Humedad absorbida						
Nº	Características						
1	Máximo total de vacíos (%)	20.9	20.1	20.5			
2	vacíos de aire (%)	16.6	16.3				
3	V. M. A. (%)	27.7	27.1				
4	% pérdida de estabilidad		8.5				

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 113 muestra los resultados de la prueba Marshall para 3.5% de asfalto residual.

*Diseño de la mezcla asfáltica en frío convencional con 4.5% de asfalto residual*

Tabla 89:

*Componentes del diseño*

<b>EMULSIÓN</b>	
Tipo Emulsión Asfáltica	CSS-1H
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	60.0
Gravedad específica del asfalto ( B )	1.01
Asfalto residual en la mezcla ( A )(%)	4.5
<b>MEZCLA Y COMPACTACIÓN</b>	
Agua total en la mezcla (%)	6.0
Agua de adición a la mezcla (q)	
Agua de compactación (%)	4.5

Nota: Elaboración Personal

Tabla 90:

*Resultado ensayo Marshall (asfalto residual=4.5%)*

<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>SECO</b>			<b>SATURADO</b>		
<b>Nº</b>	<b>DENSIDAD BULK</b>	<b>1</b>	<b>2</b>		<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	Peso de la probeta en aire ( D )	1156.0	1173.8		1169.5	1171.6	
2	Peso de la probeta en agua ( E )	613.0	631.8		627.9	628.9	
3	Peso de la probeta SSD ( F )	1161.1	1180.2		1176.3	1177.4	
4	Volumen por desplazamiento	548.1	548.4		548.4	548.5	
5	Densidad Bulk ( G )	2.109	2.140		2.133	2.136	2.134
6	Densidad Seca Bulk	2.072	2.102	2.087			
<b>Nº</b>	<b>Estabilidad (22.2 °C )</b>						
1	Estabilidad (Kg-f)	1246	1240	1243	1167	1184	
2	Factor de corrección	0.89	0.89		0.89	0.89	
3	Estabilidad corregida (Kg-f)	1109	1104		1039	1054	
4	Flujo (mm)	3.8	4.1	3.9	4.3	4.1	4.2
<b>Nº</b>	<b>Contenido de humedad</b>						
1	Peso de la muestra húmeda (H)	1161.1	1180.2		1176.3	1177.4	
2	Peso de la muestra seca (I)	1135.5	1152.8		1118.8	1117.6	
3	Tara (J)						
4	Contenido de humedad (K)	1.9	1.9		5.4	5.6	
5	Humedad absorbida					-3.6	
<b>Nº</b>	<b>Características</b>						
1	Máximo total de vacíos (%)	19.4	18.2	18.8			
2	vacíos de aire (%)	15.7	14.4				
3	V. M. A. (%)	28.3	27.2				
4	% pérdida de estabilidad	5.4					

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 115 muestra los resultados de la prueba Marshall para 4.5% de asfalto residual.

## Diseño de la mezcla asfáltica en frío convencional con 5.5% de asfalto residual

Tabla 91:

Componentes del diseño

EMULSIÓN	
Tipo Emulsión Asfáltica	CSS-1H
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	60.0
Gravedad específica del asfalto (B)	1.01
Asfalto residual en la mezcla (A) (%)	5.5
MEZCLA Y COMPACTACIÓN	
Agua total en la mezcla (%)	6.7
Agua de adición a la mezcla (g)	
Agua de compactación (%)	4.5

Nota: Elaboración Personal

Tabla 92:

Resultado ensayo Marshall (asfalto residual =5.5%)

DESCRIPCIÓN		SECO			SATURADO		
N°	DENSIDAD BULK	1	2		4	5	6
1	Peso de la probeta en aire (D)	1184.4	1211.2		1183.0	1190.6	
2	Peso de la probeta en agua ( E )	630.0	640.9		627.9	629.1	
3	Peso de la probeta SSD (F)	1188.2	1213.1		1187.6	1188.5	
4	Volumen por desplazamiento	558.2	572.2		559.7	559.4	
5	Densidad Bulk ( G )	2.122	2.117		2.114	2.128	2.121
6	Densidad Seca Bulk	2.084	2.078	2.081			
N°	Estabilidad (22.2 °C)						
1	Estabilidad (Kg-f)	1132	1147	1140	1110	1098	
2	Factor de corrección	0.89	0.93		0.89	0.89	
3	Estabilidad corregida (Kg-f)	1007	1067		988	977	
4	Flujo (mm)	3.8	3.8	3.8	4.3	4.6	4.5
N°	Contenido de humedad						
1	Peso de la muestra húmeda ( H )	1188.2	1213.1		1187.6	1188.5	
2	Peso de la muestra seca ( I )	1163.3	1189.1		1139.8	1136.7	
3	Tara (J)						
4	Contenido de humedad (K)	1.9	2.0		4.4	4.8	
5	Humedad absorbida					-2.7	
N°	Características						
1	Máximo total de vacíos (%)	17.7	18.0	17.8			
2	vacíos de aire (%)	14.0	14.1				
3	V. M. A (%)	28.5	28.7				
4	% pérdida de estabilidad		5.3				

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 117 muestra los resultados de la prueba Marshall para 5.5% de asfalto residual.

Tabla 93:  
Resumen de los Consolidación sobre el ensayo Marshall

% CA. RESIDUAL	2.5	3.5	4.5	5.5
DENSIDAD SECA BULK	2.063	2.076	2.087	2.081
% VACÍOS TOTALES	22.2	20.5	18.8	17.8
HUMEDAD ABSORV.	5.7	4.2	3.6	2.7
CAMBIO ESTABILIDAD	10.9	8.5	5.4	5.3
ESTABILIDAD SECA	1299	1263	1106	1037
ESTABILIDAD HÚMEDA	1157	1155	1046	983
ESTABILIDAD RETENIDA (%)	89	91	95	95

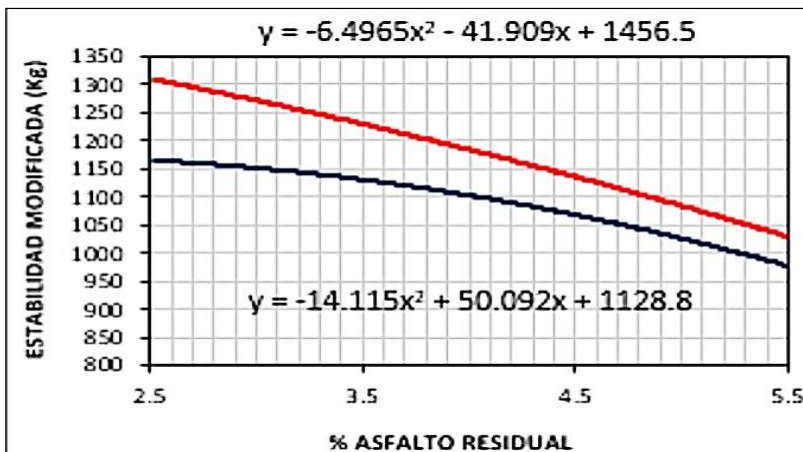
Nota: Elaboración Personal

Tabla 94:  
Resumen compactación

Compactación				
Contenido de Humedad	2.7	3.7	4.7	5.7
Estabilidad	793	919	947	826

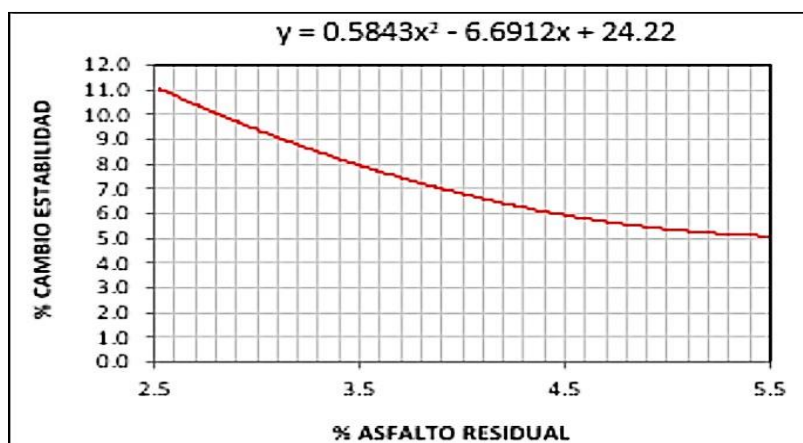
Nota: Elaboración Personal

Imagen 16:  
Estabilidad modificada (kg).



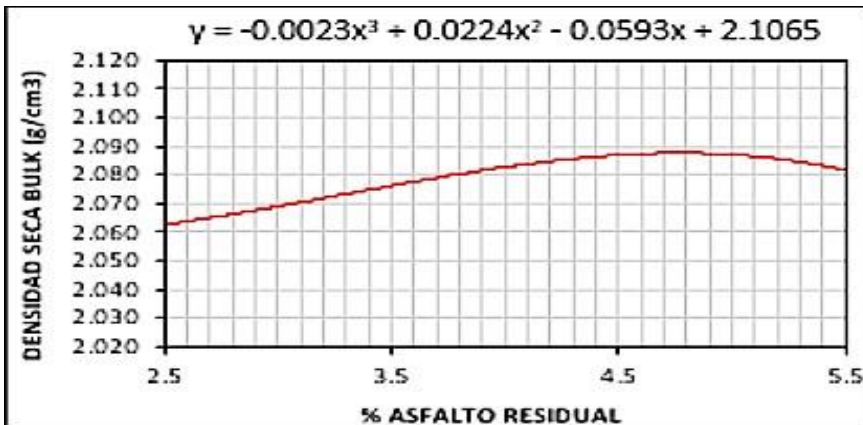
Nota: Elaboración Personal

Imagen 17:  
Cambio estabilidad %.



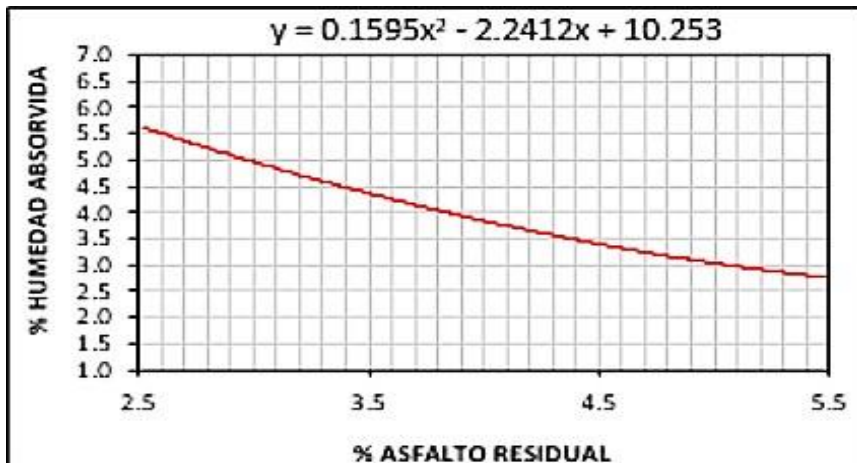
Nota: Elaboración Personal

Imagen 18  
Densidad seca Bulk.



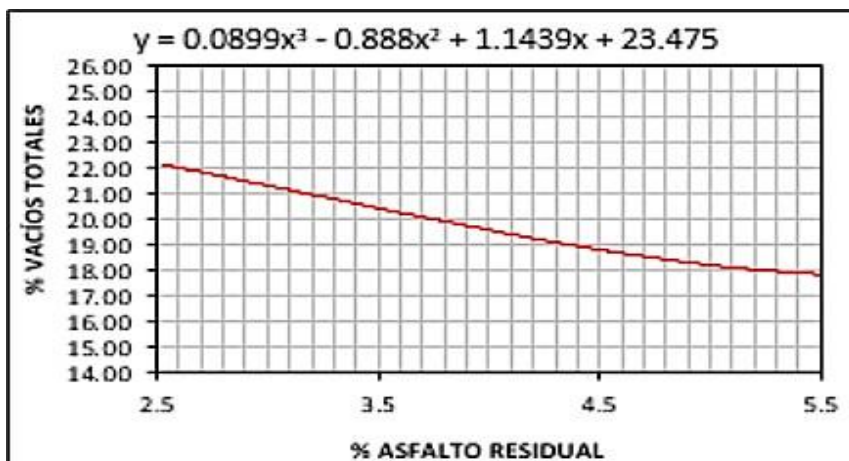
Nota: Elaboración Personal

Imagen 19:  
Humedad absorbida %



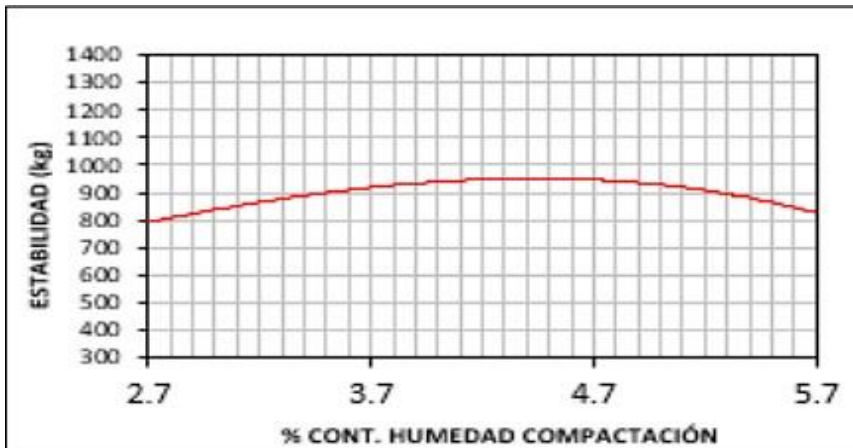
Nota: Elaboración Personal

Imagen 20  
Vacíos totales



Nota: Elaboración Personal

Imagen 21:  
Estabilidad



Nota: Elaboración Personal

Tabla 95:  
Consolidación sobre el % óptimo de asfalto residual

PORCENTAJE OPTIMO			
% E. A.	7.5	8.0	8.5
% A. R.	4.5	4.8	5.1
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	2.088	2.088	2.087
ESTABILIDAD SECA (kg)	1136.5	1105.8	1073.9
ESTABILIDAD HÚMEDA (	1068.2	1043.9	1017.1
CAMBIOS DE ESTABILIDAD (%)	6.0	5.6	5.3
VACÍOS TOTALES (%)	18.8	18.4	18.1
HUMEDAD ABSORVIDA (%)	3.4	3.2	3.0

Nota: Elaboración Personal

Tabla 96:  
Características del % óptimo de asfalto

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)	
Agregado Piedra Chancada	: 45.0 %
Agregado Gravilla	: 10.0 %
Agregado Arena zarandeada	: 45.0 %
Filler (Cemento Portland Tipo I)	: 1.0 %
Gradación	: MTC - E.G. - 2013 : SECCIÓN 424
2.- LIGANTE ASFÁLTICO	
Tipo de emulsión asfáltica	: CSS-1H
% óptimo de emulsión asfáltica	: 8.0
% óptimo de asfalto residual	: 4.8
3.- AGUA	
% de humedad natural	: 0
% de agua en la emulsión	: 3.2
% de agua de pre- mezcla	: 3.0
% de agua total en la mezcla	: 6.2
% de agua de compactación	: 4.5

Nota: Elaboración Personal

## Diseño de mezcla asfáltica frío adicionando dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)

El diseño de la mezcla se llevó a cabo a una temperatura de 22.2°C, utilizando un contenido óptimo de asfalto residual del 4.8%. Se añadió dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) en proporciones de 1%, 2% y 3%, utilizando como relleno de arrozal en el diseño. Se prepararon tres briquetas para cada porcentaje agregado, con el fin de realizar la prueba de Marshall.

### Diseño de mezcla densa en frío con 1% de TiO<sub>2</sub>

Tabla 97:

Componentes de la mezcla con 1% de TiO<sub>2</sub>

EMULSIÓN	
Tipo Emulsión Asfáltica	CSS-1H
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	60.0
Gravedad específica del asfalto (B)	1.01
Asfalto residual en la mezcla (A) (%)	4.8
MEZCLA Y COMPACTACIÓN	
Agua total en la mezcla (%)	6.2
Agua de adición a la mezcla (g)	
Agua de compactación (%)	4.5

Nota: Elaboración Personal.

Tabla 98:

Resultado ensayo Marshall para 1% de TiO<sub>2</sub>

DESCRIPCIÓN		SECO			SATURADO		
Nº	DENSIDAD BULK	1	2		4	5	6
1	Peso de la probeta en aire (D)	1170.7	1171.8		1169.1	1171.6	
2	Peso de la probeta en agua (E)	658.4	659.9		661.2	660.2	
3	Peso de la probeta SSD (F)	1175.0	1176.3		1180.1	1181.0	
4	Volumen por desplazamiento	516.7	516.4		518.9	520.8	
5	Densidad Bulk (G)	2.266	2.269		2.253	2.250	2.251
6	Densidad Seca Bulk	2.223	2.232	2.230			
Nº	Estabilidad ( 22.2 °C )						
1	Estabilidad (Kq-f)	1196	1189		1087	1179	
2	Factor de corrección	1.00	1.00		1.00	1.00	
3	Estabilidad corregida (Kq-f)	1196	1189	1192.6	1087	1179	1193.0
4	Flujo (mm)	3.6	3.6	3.7	3.6	4.1	4.0
Nº	Contenido de humedad						
1	Peso de la muestra húmeda (H)	1175.0	1176.3		1180.1	1181.0	
2	Peso de la muestra seca (I)	1150.9	1152.4		1128.0	1130.6	
3	Tara (J)						
4	Contenido de humedad (K)	1.8	1.8		4.8	4.7	
5	Humedad absorbida					-3.0	
Nº	Características						
1	Máximo total de vacíos (%)	13.0	12.8	12.9			
2	vacíos de aire (%)	9.2	9.1				
3	V. M. A. (%)	23.1	22.9				
4	% pérdida de estabilidad		5.0				

Nota: Elaboración Personal

## Diseño de mezcla asfáltica en frío con 2% de TiO<sub>2</sub>

Tabla 99:

Componentes de la mezcla con 2% de TiO<sub>2</sub>

EMULSIÓN	
Tipo Emulsión Asfáltica	CSS-1H
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	60.0
Gravedad específica del asfalto (B)	1.01
Asfalto residual en la mezcla (A)(%)	4.8
MEZCLA Y COMPACTACIÓN	
Agua total en la mezcla (%)	6.2
Agua de adición a la mezcla (g)	
Agua de compactación (%)	4.5

Nota: Elaboración Personal

Tabla 100:

Resultados ensayo Marshall para 2% de TiO<sub>2</sub>

DESCRIPCION		SECO			SATURADO		
Nº	DENSIDAD BULK	1	2		4	5	6
1	Peso de la probeta en aire (D)	1189.9	1185.6		1185.6	1187.1	
2	Peso de la probeta en agua (E)	669.2	672.3		674.3	671.2	
3	Peso de la probeta SSD (F)	1193.3	1195.1		1200.8	1201.0	
4	Volumen por desplazamiento	524.1	522.8		526.5	529.8	
5	Densidad Bulk (G)	2.270	2.268		2.252	2.241	
6	Densidad Seca Bulk	2.239	2.239	2.236			
Nº	Estabilidad (22.2 °C)						
1	Estabilidad (Kg-f)	1129	1134		1049	1064	
2	Factor de corrección	0.96	1.00		0.96	0.96	
3	Estabilidad corregida (Kg-f)	1083	1134		1007	1021	
4	Flujo (mm)	4.1	3.8	3.9	4.3	4.3	4.3
Nº	Contenido de humedad						
1	Peso de la muestra húmeda (H)	1193.3	1195.1		1200.8	1201.0	
2	Peso de la muestra seca (I)	1173.3	1167.4		1156.0	1157.6	
3	Tara (J)						
4	Contenido de humedad (K)	1.5	1.6		4.1	3.9	
5	Humedad absorbida						
Nº	Características						
1	Máximo total de vacíos (%)	12.5	12.8	12.7			
2	vacíos de aire (%)	9.4	9.3				
3	V. M. A. (%)	22.7	22.9				
4	% perdida de estabilidad	3.5					

Nota: Elaboración Personal



## Diseño de mezcla de asfalto en frío con 3% de TiO<sub>2</sub>

Tabla 101:

Componentes de la mezcla con 3% de TiO<sub>2</sub>

EMULSIÓN	
Tipo Emulsión Asfáltica	CSS-1H
Residuo asfáltico en la emulsión (%)	60.0
Gravedad específica del asfalto ( B )	1.01
Asfalto residual en la mezcla ( A )(%)	4.8
MEZCLA Y COMPACTACIÓN	
Agua total en la mezcla (%)	6.2
Agua de adición a la mezcla (g)	
Agua de compactación (%)	4.5

Nota: Elaboración Personal

Tabla 102:

Resultado ensayo Marshall para 3% de TiO<sub>2</sub>

DESCRIPCIÓN		SECO			SATURADO		
Nº	DENSIDAD BULK	1	2		4	5	6
1	Peso de la probeta en aire ( D )	1196.0	1194.5		1195.5	1194.4	
2	Peso de la probeta en agua ( E )	681.7	680.9		678.5	676.1	
3	Peso de la probeta SSD ( F )	1208.3	1208.5		1207.3	1207.0	
4	Volumen por desplazamiento	526.6	527.6		528.8	530.9	
5	Densidad Bulk ( G )	2.271	2.264		2.261	2.250	
6	Densidad Seca Bulk	2.242	2.233	2.237			
Nº	Estabilidad (22.2 °C)						
1	Estabilidad (Kg-f)	1118	1118		1003	1014	
2	Factor de corrección	0.96	0.96		0.96	0.96	
3	Estabilidad corregida (Kg-f)	1073	1074	1073.4	963	973	968.2
4	Flujo (mm)	4.6	4.3	4.4	4.6	4.6	4.6
Nº	Contenido de humedad						
1	Peso de la muestra húmeda( H )	1208.3	1208.5		1207.3	1207.0	
2	Peso de la muestra seca ( I )	1180.4	1178.0		1170.0	1170.1	
3	Tara ( J )						
4	Contenido de humedad ( K )	1.4	1.5		3.3	3.3	
5	Humedad absorbida					-1.9	
Nº	Características						
1	Máximo total de vacíos (%)	12.4	12.8	12.6			
2	vacíos de aire (%)	9.5	9.6				
3	V. M. A. (%)	22.6	22.9				
4	% pérdida de estabilidad	9.8					

Nota: Elaboración Personal

Tabla 103:

Resumen del Consolidación sobre diseño de mezcla asfáltica en frío con 1 %, 2% y 3% de dióxido de titanio

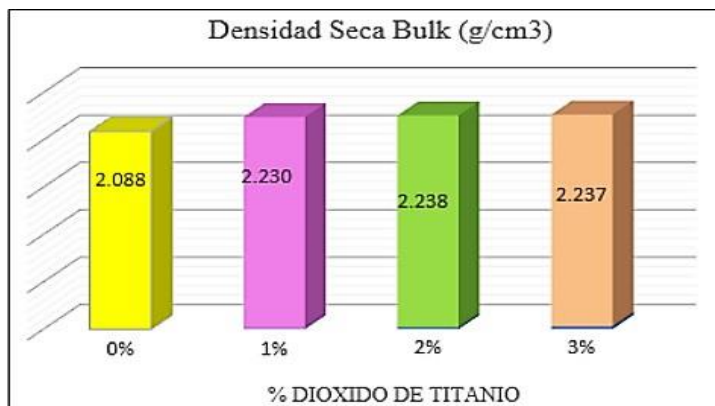
DATOS DE LAS PROPORCIONES			
% Dióxido de Titanio	1.0	2.0	3.0
DENSIDAD SECA BULK (g/cm <sup>3</sup> )	2.230	2.236	2.237
VACÍOS TOTALES (%)	12.9	12.7	12.6
CAMBIOS DE ESTABILIDAD (%)	5.0	8.5	9.8
HUMEDAD ABSORVIDA (%)	3.0	2.4	1.9
FLUJO	3.7	3.9	4.4
ESTABILIDAD SECA (kg)	1192.6	1108.5	1073.4
ESTABILIDAD HÚMEDA (kg)	1133.0	1014.2	968.2

Nota: Elaboración Personal

Se elaboró un cuadro comparativo para los resultados obtenidos con el asfalto modificado en frío. Se usó las características siguientes:

Imagen 22:

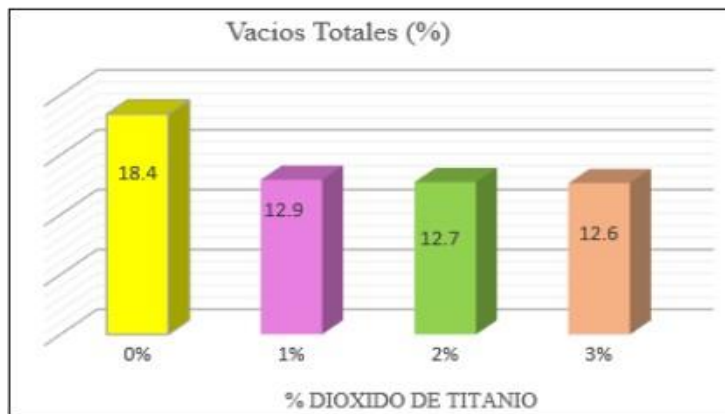
Comparación de Consolidación sobre densidad seca bul



Nota: Elaboración Personal

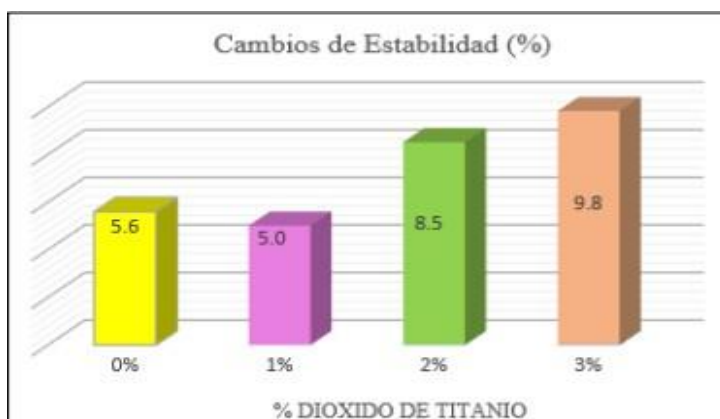
Imagen 23:

Análisis comparativo de resultados de vacíos totales



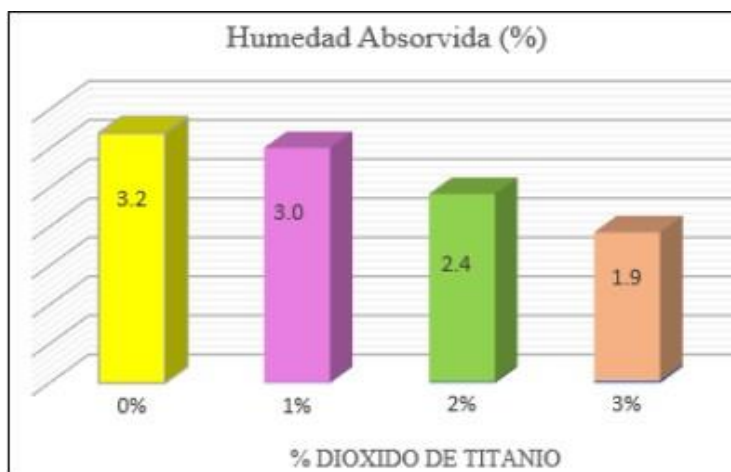
Nota: Elaboración Personal

Imagen 24:  
Análisis comparativo de resultados de cambio de estabilidad.



Nota: Elaboración Personal

Imagen 25:  
Análisis comparativo de resultados de humedad absorbida



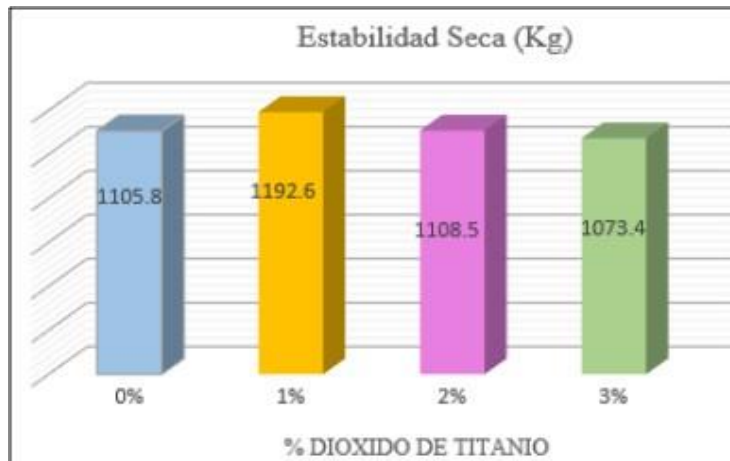
Nota: Elaboración Personal

Imagen 26:  
Análisis comparativo de resultados de flujo



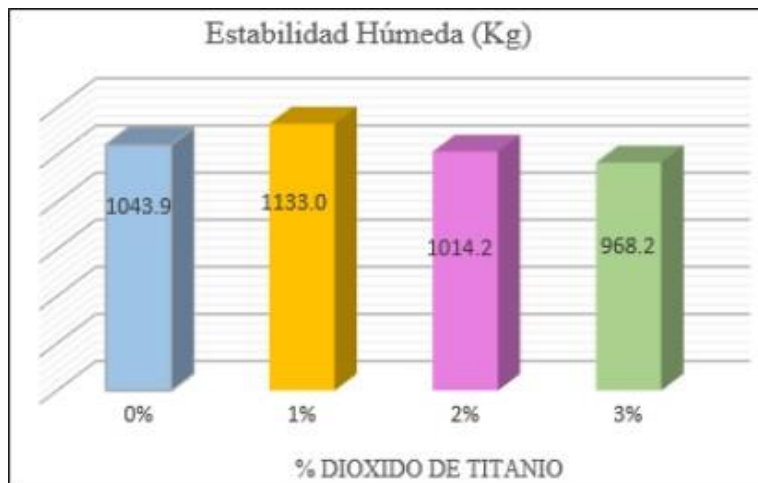
Nota: Elaboración Personal

Imagen 27:  
Análisis comparativo de resultados de estabilidad seca



Nota: Elaboración Personal

Imagen 28:  
Análisis comparativo de resultados de estabilidad humedad



Nota: Elaboración Personal

#### 5.4. ENSAYO DE DEGRADACIÓN DE RODAMINA B

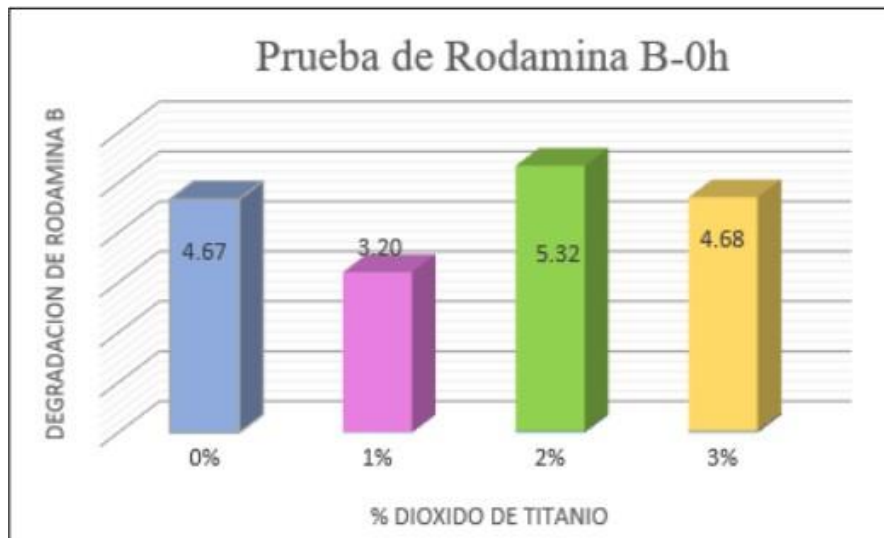
##### Ensayo de degradación de rodamina B mezcla asfáltica en caliente con TiO<sub>2</sub>

Tabla 104:  
Consolidación sobre diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> en 0.hrs.

Tiempo	% DE TIO2			
	0%	1%	2%	3%
0h	4.67	3.2	5.32	4.68

Nota: Elaboración Personal

Imagen 29:  
Prueba de rodamina B-0.hrs.



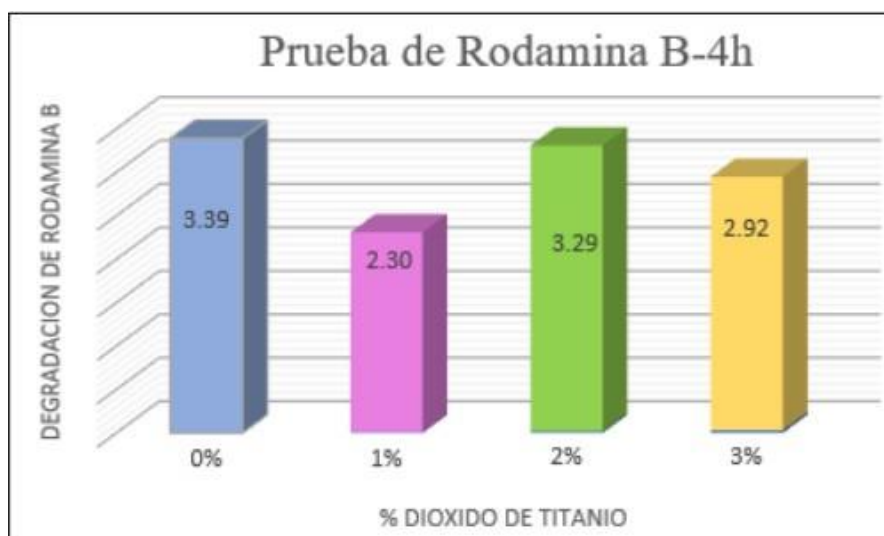
Nota: Elaboración Personal

Tabla 105:  
Consolidación sobre diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> en 4 hrs.

	% de TiO <sub>2</sub>			
Tiempo	0%	1%	2%	3%
4h	3.39	2.3	3.29	2.92

Nota: Elaboración Personal

Imagen 30:  
Prueba de rodamina B- 4hrs.



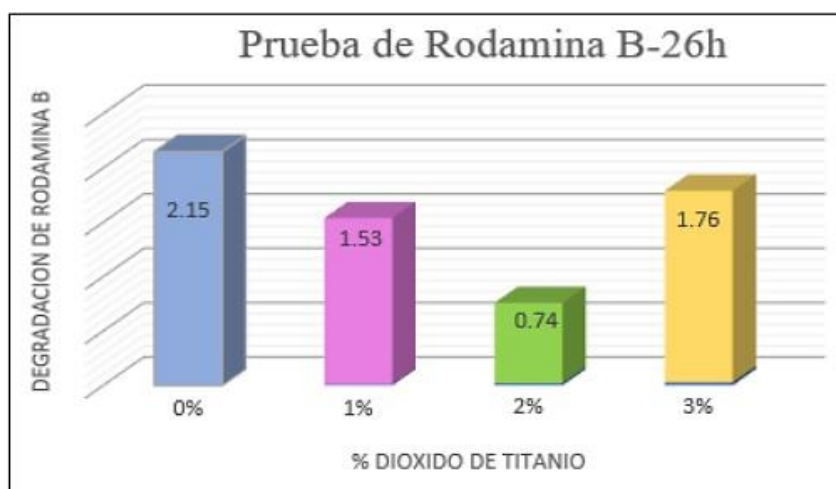
Nota: Elaboración Personal

Tabla 106:  
Consolidación sobre diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> en 26hrs

	% de TiO <sub>2</sub>			
Tiempo	0%	1%	2%	3%
26h	2.15	1.53	0.74	1.76

Nota: Elaboración Personal

Imagen 31:  
Prueba de rodamina B-26hrs



Nota: Elaboración Personal

Tabla 107:  
Análisis de color y tiempo para los porcentajes de TiO<sub>2</sub>

	% de TiO <sub>2</sub>			
Tiempo	0%	1%	2%	3%
0h	4.67	3.20	5.32	4.68
4h	3.39	2.30	3.29	2.92
26h	2.15	1.53	0.72	1.76

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 132 del análisis muestra que no todos tenían el mismo punto de partida, pero esto era difícil de observar debido a la superficie rugosa de las briquetas. Para medir la degradación, se midió cuantitativamente por la degradación del color de la rodamina B cuando se expuso a la radiación UV-A.

Se tuvo en cuenta que incluso las briquetas con asfalto caliente que contienen 0,0 % de TiO<sub>2</sub> exhiben degradación de la rodamina, ya que la degradación del color de este tipo de tinte es muy común. Sin embargo, se ha encontrado que el efecto mejora el deterioro del fotocatalizador TiO<sub>2</sub>.

### **Análisis de mezcla asfáltica foto catalítico –prueba de degradación de rodamina B**

### **Análisis de mezcla asfáltica fotocatalítico – tratamiento sin TiO<sub>2</sub>**

*Tabla 108:*

*Medidas de coloración obtenidas*

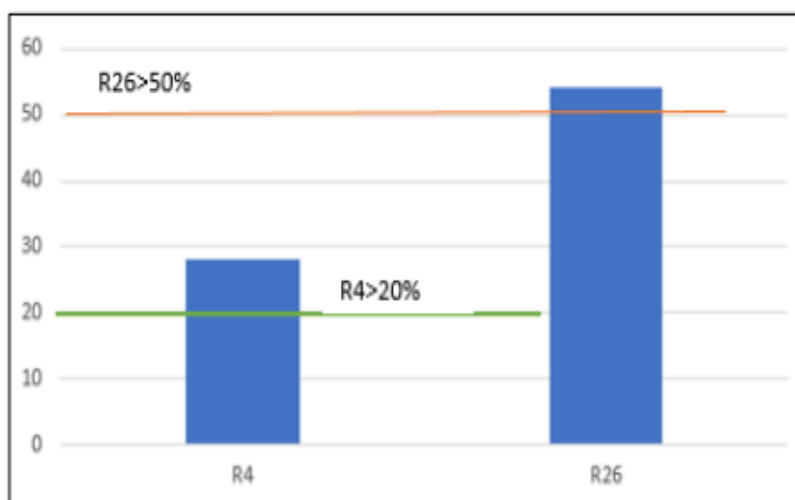
Tiempo	0% TiO <sub>2</sub>
0h	4.67
4h	3.39
26h	2.15
<b>R4</b>	<b>28.05</b>
<b>R26</b>	<b>53.96</b>

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 133 muestra los datos para R4 y R26 utilizando la fórmula teórica. Para que una mezcla asfáltica sea considerada fotocatalítica, el valor R4 debe ser superior al 20% y el valor R26 debe ser superior al 50%. El valor de 0±titanio de R4 es 28,05 %, que es superior al 20 %, y el valor de R26 es 53,96 %, que es superior al 50 %.

*Imagen 32:*

*Análisis de mezcla asfáltica en caliente fotocatalítico con 0% TioO<sub>2</sub>*



Nota: Elaboración Personal

## Análisis de mezcla asfáltica fotocatalítico– tratamiento 1% TiO<sub>2</sub>

Tabla 109:

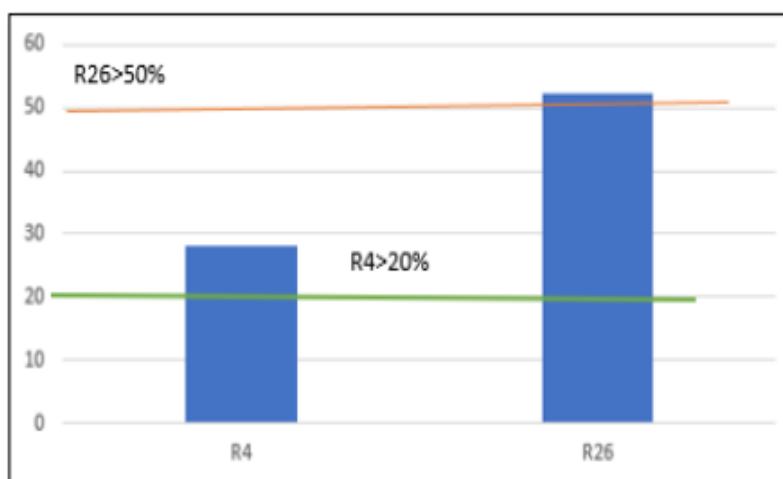
Medidas de coloración obtenida.

Tiempo	1% TiO <sub>2</sub>
0h	3.20
4h	2.30
26h	1.53
R4	28.125
R26	52.19

Nota: Elaboración Personal

Imagen 33:

Análisis de la mezcla asfáltica en caliente fotocatalítico con 1% de TiO<sub>2</sub>



Nota: Elaboración Personal

La Tabla 134 muestra datos para R4 y R26 utilizando fórmulas teóricas para mezclas asfálticas que se cree que son fotocatalíticas. El valor de R4 debe ser superior al 20%. El valor de R26 debe ser superior al 50%. Tenga en cuenta que el valor de 1% de TiO<sub>2</sub> para R4 resultó ser 28,125 %, que es superior al 20 %, y que para R26 resultó ser 52,19 %, que es superior al 50 %.



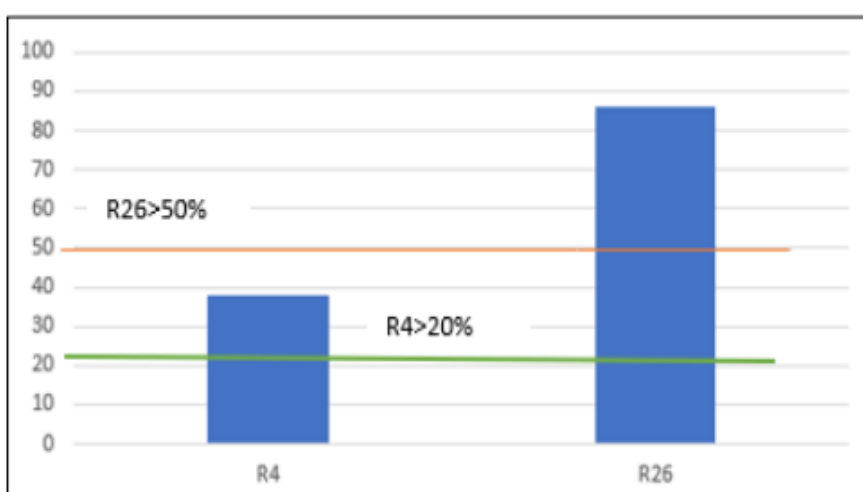
## Análisis de mezcla asfáltica fotocatalítica – Tratamiento 2% de TiO<sub>2</sub>

Tabla 110:  
Medidas de coloración obtenida.

Tiempo	2% TiO <sub>2</sub>
0h	5.32
4h	3.29
26h	0.72
R4	38.16
R26	86.09

Nota: Elaboración Personal

Imagen 34:  
Análisis de mezcla asfáltica en caliente fotocatalítico con 2% de TiO<sub>2</sub>



Nota: Elaboración Personal

La Tabla 135 muestra los datos para R4 y R26 utilizando fórmulas teóricas. Para que una mezcla asfáltica sea considerada fotocatalítica, el valor R4 debe ser superior al 20% y el valor R26 debe ser superior al 50%. Podemos ver que el valor de 2TiO<sub>2</sub> para R4 es mayor al 20% con un Consolidación sobre 38.16 y el valor de R26 es mayor al 50% con un Consolidación sobre 86.09%.

## Análisis de mezcla asfáltica fotocatalítica – tratamiento 3% de TiO<sub>2</sub>

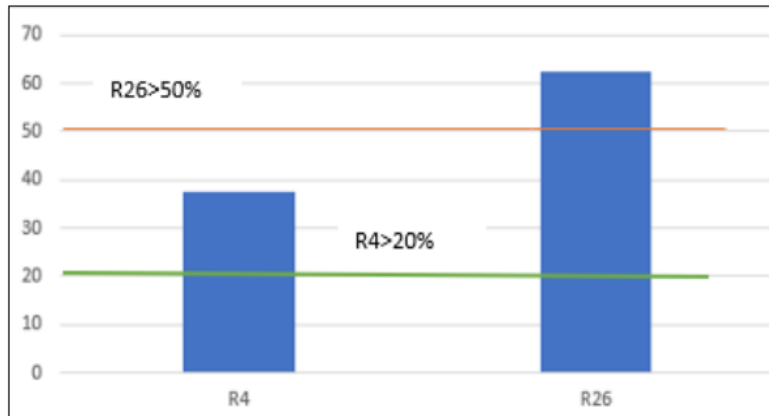
Tabla 111:  
Medidas de coloración obtenida

Tiempo	3% TiO <sub>2</sub>
0h	4.68
4h	2.92
26h	1.76
R4	37.61
R26	62.39

Nota: Elaboración Personal

Imagen 35:

Análisis de la mezcla asfáltica en caliente fotocatalítico con 3% de TiO<sub>2</sub>



Nota: Elaboración Personal

La Tabla 136 muestra datos para R4 y R26 utilizando fórmulas teóricas para mezclas asfálticas que se cree que son fotocatalíticas. El valor de R4 debe ser superior al 20% y el valor de R26 debe ser superior al 50%. Tenga en cuenta que el valor de TiO<sub>2</sub> para R4 es 37,61 %, que es superior al 20 %, y el valor para R26 es 62,39 %, que es superior al 50 %.

### Ensayo de degradación de Rodamina B mezcla asfáltica en frío con TiO<sub>2</sub>

Tabla 112:

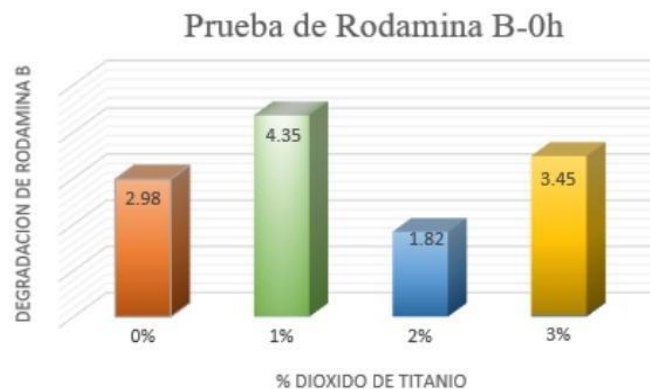
Consolidación sobre diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub> en 0-hrs.

	% de TiO <sub>2</sub>			
Tiempo	0%	1%	2%	3%
0h	2.98	4.35	1.82	3.45

Nota: Elaboración Personal

Imagen 36:

Prueba de rodamina B- 0-hrs



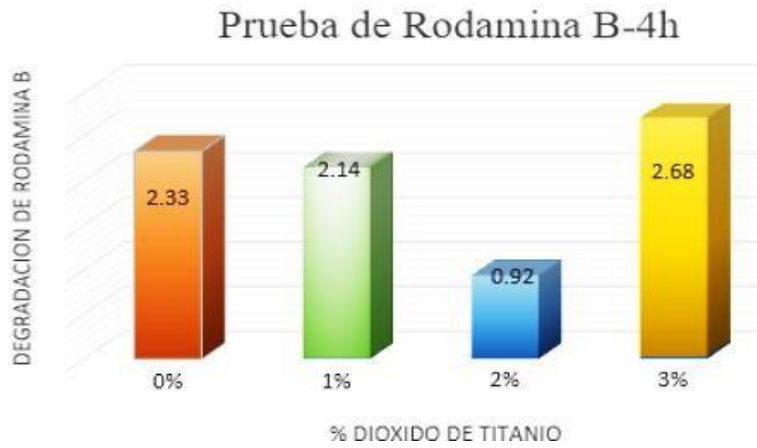
Nota: Elaboración Personal

Tabla 113:  
Consolidación sobre diferentes porcentajes de  $TiO_2$  en 4h

	% DE $TiO_2$			
tiempo	0%	1%	2%	3%
4h	2.33	2.14	0.92	2.68

Nota: Elaboración Personal

Imagen 37:  
Prueba de rodamina B-4h



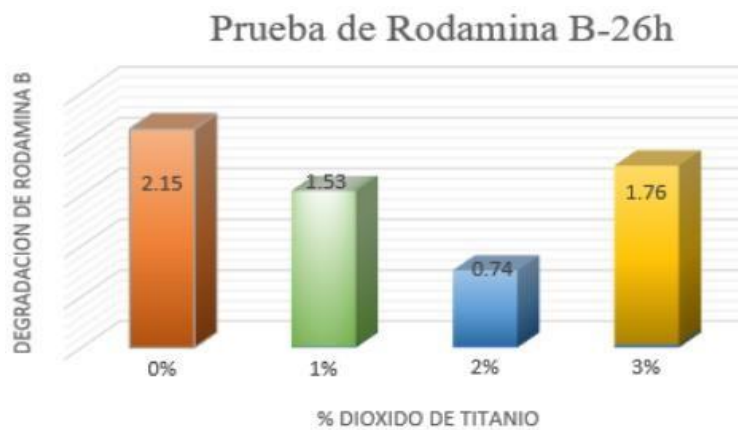
Nota: Elaboración Personal

Tabla 114  
Consolidación sobre diferente porcentaje de  $TiO_2$  en 26h

	% de $TiO_2$			
Tiempo	0%	1%	2%	3%
26h	2.15	1.53	0.74	1.76

Nota: Elaboración Personal

Imagen 38:  
Prueba de rodamina B en 26h



Nota: Elaboración Personal

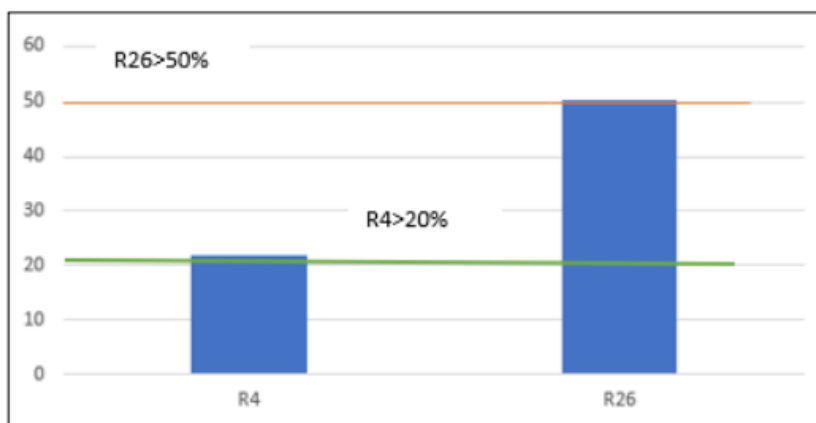
## Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítica– tratamiento 0% de TiO2

Tabla 115:  
Medidas de coloración obtenida

Tiempo	0% TiO2
0h	2.98
4h	2.33
26h	0.48
R4	21.8
R26	50.3

Nota: Elaboración Personal

Imagen 39:  
Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico con 0% de TiO2



Nota: Elaboración Personal

La Tabla 140 muestra datos para R4 y R26 utilizando fórmulas teóricas para mezclas asfálticas en frío que se consideran fotocatalíticas. El valor de R4 debe ser superior al 20% y el valor de R26 debe ser superior al 50%. Se puede observar que el valor de TiO2 de 0 para R4 da como resultado un 21,8%, que supera el 20%, y el valor de R26 da como resultado un 21,8%, que supera el 50%. Hasta el 50,3%.

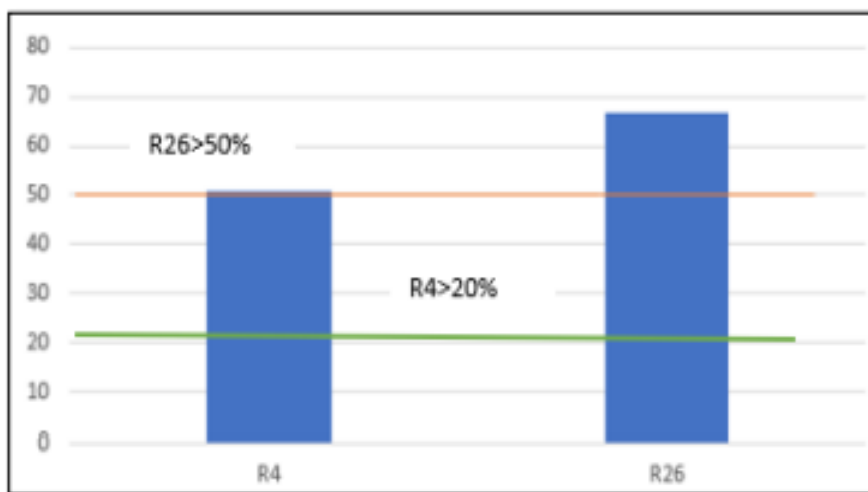
## Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico – tratamiento 1% TiO2

Tabla 116:  
Medidas de colorante obtenida

Tiempo	1% TiO2
0h	4.35
4h	2.14
26h	1.44
R4	50.8
R26	66.89

Nota: Elaboración Personal

Imagen 40:  
Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico con 1% de TiO2



Nota: Elaboración Personal

La Tabla 141 muestra datos para R4 y R26. La fórmula teórica de mezcla asfáltica en frío debe ser superior al 20% y R26 debe ser superior al 50%. Tenga en cuenta que el valor de 1% de TiO2 para R4 es 50,8%, que está por encima del 20%, y el de R26 es 66,89%, que está por encima del 50%.

## Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico – tratamiento 2% de TiO2

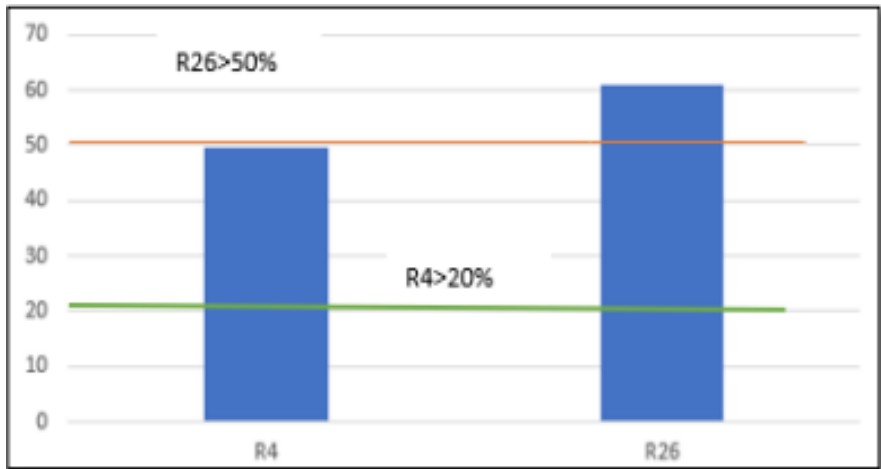
Tabla 117:  
Medidas de colocación obtenida

Tiempo	2% TiO2
0h	1.82
4h	0.92
26h	0.71
R4	49.45
R26	60.9

Nota: Elaboración Personal

Imagen 41:

Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico con 2% TiO<sub>2</sub>



Nota: Elaboración Personal

La Tabla 142 muestra datos para R4 y R26. Usando la fórmula teórica, la mezcla asfáltica en frío debe tener al menos un 20% y R26 al menos un 50% para ser considerado fotocatalítico. Tenga en cuenta que el valor de 2% de TiO<sub>2</sub> para R4 es 49,45 %, que es superior al 20 %, y el de R53,26 es 60,9 %, que es superior al 50 %.

### Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico – tratamiento 3% TiO<sub>2</sub>

Tabla 118:

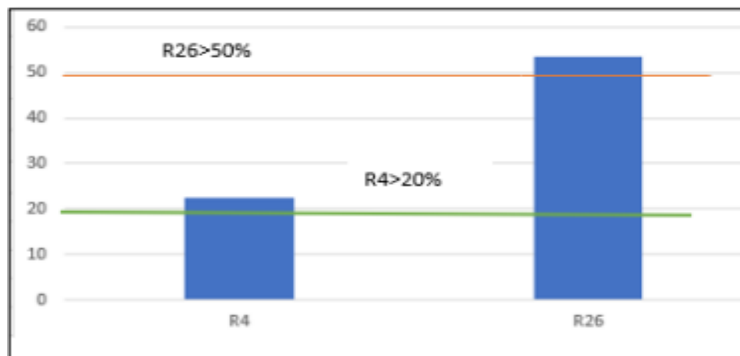
Medidas de colorante obtenida

Tiempo	3% TiO <sub>2</sub>
0h	3.45
4h	2.68
26h	1.6
R4	22.31
R26	53.62

Nota: Elaboración Personal

Imagen 42:

Análisis de mezcla asfáltica en frío fotocatalítico con 3% de TiO<sub>2</sub>



Nota: Elaboración Personal

La Tabla 143 muestra datos para R4 y R26 usando la fórmula de mezcla asfáltica en frío considerada fotocatalítica. El valor de R4 debe ser superior al 20 % y R26 debe ser superior al 50 %. Tenga en cuenta que el valor de 3% deTiO2 para R4 es 22,31% y el valor de R26 está por encima del 50% y, por lo tanto, por encima del 20% el rendimiento fue del 53,62%.

## 5.5. COSTOS

### Costo de producción de mezcla asfáltica en caliente

Tabla 119:

Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica caliente convencional

MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL					
partida	producción de mezcla asfáltica en caliente PEN 60/70				
rendimiento	m3/día				
costo unitario m3	701.54				
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	parcial s/.
mano de obra					
oficial	hh	1	0.0321	17.03	0.55
operario	hh	1	0.0321	21.01	0.67
peón	hh	3	0.0964	15.33	1.48
					<b>2.70</b>
materiales					
cemento asfáltico PEN 60/70	gal		50	10	500
cemento portland	kg		23	0.54	12.42
piedra chancada (P/asfalto)	m3		0.402	45	18.09
confitillo	m3		0.937	45	42.165
arena	gl		1.339	50	66.95
					<b>639.63</b>
equipos					
Herramientas manuales	%MO		5	2.70	13.49
Cargador sobre llantas 125-155HP3 Yd3	hm	1	0.0321	175	5.62
Grupo electrógeno 230HP 150kw	hm	1	0.0321	170.08	5.46
Grupo electrógeno 116HP 75kw	hm	2	0.0643	139.38	8.96
Planta de asfalto de 60-115 tn/hr	hm	1	0.0321	800	25.68
					<b>59.21</b>

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 144 muestra los costos unitarios para la producción de mezcla asfáltica convencional, totalizando el m3. en s/. 701.54.

Tabla 120

Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica en caliente adicionado con dióxido de titanio

MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE ADICIONADO DIOXIDO DE TITANIO					
partida	producción de mezcla asfáltica en caliente PEN 60/70				
rendimiento	m3/día				
costo unitario m3	718.60				
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	parcial s/.
mano de obra					
oficial	hh	1	0.0321	17.03	0.55
operario	hh	1	0.0321	21.01	0.67
peón	hh	3	0.0964	15.33	1.48
					<b>2.70</b>
materiales					
cemento asfáltico PEN 60/70	gal		50	10	500
pedra chancada (P/asfalto)	m3		0.402	45	18.09
confitillo	m3		0.937	45	42.165
arena	m3		1.339	50	66.95
Filler (dióxido de titanio)	kg		26.8	1.1	29.48
					<b>656.69</b>
equipos					
Herramientas manuales	%MO		5	2.70	13.49
Cargador sobre llantas 125-155HP3 Yd3	hm	1	0.0321	175	5.62
Grupo electrógeno 230HP 150kw	hm	1	0.0321	170.08	5.46
Grupo electrógeno 116HP 75kw	hm	2	0.0643	139.38	8.96
Planta de asfalto de 60-115 tn/hr	hm	1	0.0321	800	25.68
					<b>59.21</b>

Nota: Elaboración Personal

La Tabla 145 muestra los costos unitarios para la producción de asfalto titanado en caliente con un costo total de s/. 718.60. Comparando el coste de fabricación de este asfalto calentado, se puede observar que el asfalto calentado al que se le añade dióxido de titanio es superior al producto convencional.

Tabla 121:

Comparación de costo de producción.

	mezcla asfáltica en Caliente	
	convencional	dióxido de titanio
precio del diseño de mezcla asfáltica	s/. 701.54	s/. 718.60
Ahorro	17.06	

Nota: Elaboración Personal



## Costo de producción de mezcla asfáltica en frío

Tabla 122:

Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica en frío convencional

MEZCLA ASFALTICA EN FRIO CONVENCIONAL					
partida	producción de mezcla asfáltica en caliente PEN 60/70				
rendimiento	100m3/día				
costo unitario m3	675.17				
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	parcial s/.
mano de obra					
oficial	hh	1	0.08	17.03	1.36
operario	hh	1	0.08	21.01	1.68
peón	hh	3	0.24	15.33	3.68
					<b>6.72</b>
materiales					
piedra chancada (P/asfalto)	m3		0.402	45	18.09
confitillo	m3		0.973	45	43.785
arena	m3		1.339	50	66.95
Emulsión asfáltica CCS- 1HP	gl		32	15	480.00
Agua	gl		25	0.03	0.75
filler (cemento portland)	kg		23	0.54	12.42
					<b>622.00</b>
equipos					
Herramientas manuales	%MO		5	6.72	33.61
cargador frontal	hm	1	0.08	160.5	12.84
					<b>46.45</b>

Nota: Elaboración Personal

Tabla 123:

Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica en frío adicionado dióxido de titanio

MEZCLA ASFALTICA EN FRIO ADICIONADO DIOXIDO DE TITANIO					
partida	producción de mezcla asfáltica en caliente PEN 60/70				
rendimiento	100m3/día				
costo unitario m3	692.23				
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	parcial s/.
mano de obra					
oficial	hh	1	0.08	17.03	1.36
operario	hh	1	0.08	21.01	1.68
peón	hh	3	0.24	15.33	3.68
					<b>6.72</b>
materiales					
pedra chancada (P/asfalto)	m3		0.402	45	18.09
confitillo	m3		0.973	45	43.785
arena	m3		1.339	50	66.95
Emulsión asfáltica CCS- 1HP	gl		32	15	480.00
Agua	gl		25	0.03	0.75
filler (DIOXIDO DE TITANIO)	kg		26.8	1.1	29.48
					<b>639.06</b>
equipos					
Herramientas manuales	%MO		5	6.72	33.61
cargador frontal	hm	1	0.08	160.5	12.84
					<b>46.45</b>

Nota: Elaboración Personal

Las tablas 147 y 148 muestran los precios unitarios los precios unitarios de mezcla asfáltica en frío convencional con un costo total para su producción de s/. 675.17 y el precio unitario de la mezcla asfáltica en frío con incorporación del dióxido de titanio con un costo que asciende a s/. 692.23.

Tabla 124:

Comparación en costos de producción

	mezcla asfáltica en Frio	
	convencional	dióxido de titanio
precio del diseño de mezcla asfáltica	s/. 675.17	s/. 692.23
Ahorro	17.06	

Nota: Elaboración Personal

Comparado con el costo unitario de producción de mezcla asfáltica, el asfalto frío con adición de dióxido de titanio es mayor en s/. 17.06 a lo convencional.

## Análisis y discusión de resultados

Para Rivera, (2022), quien desarrollo su investigación con el título de “*Determinación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto adicionado con dióxido de titanio, Piura, 2022*”; pudo llegar a desarrollar su objetivo general en el que las propiedades mecánicas de los asfaltos con adiciones de 2%, 4% y 8% de dióxido de titanio están especificadas técnicamente en la Norma E 504 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Norma ASSTM–1559 y Norma E 504. Establecido en Road Manual EG 2013 y concluyó que es un buen aditivo para mejorar las propiedades mecánicas, la adición al 2% da los mejores resultados y mejora todas las propiedades de toda la mezcla que pueda de forma global. La medición de las propiedades de degradación fotocatalítica de las mezclas enriquecidas al 2%, 4% y 8% se realizó de acuerdo con el método establecido por la Organización de Unidad Nacional Italiana (UNI) 11259:2008 (Determinación de la actividad fotocatalítica – Método de prueba de Rhodamina B). Por lo que concluyó que esta mezcla era capaz de degradar el colorante orgánico rodamina B, y que los mejores resultados se obtuvieron después de 26 horas de exposición a la luz ultravioleta con la luz natural de la luz solar como fuente de luz, seguido de la adición de 8%. Sin embargo, la mezcla no se considera un material fotocatalítico ya que no supera las especificaciones técnicas del estándar utilizado.

Asimismo, para los investigadores (Huamani & Solis, 2021), quienes desarrollaron su trabajo con el título de “*Efecto de las propiedades físico–mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio – diciembre 2020*”, llegaron a su objetivo general de analizar el efecto del dióxido de titanio en diferentes proporciones dentro del mortero, comparándolo con uno convencional y analizando sus propiedades físico – mecánicas y químicas, llegando así a concluir: en base a todas las pruebas realizadas, el porcentaje de adición óptimo es 3% de TiO<sub>2</sub> debido a su fotocatalítica, autolimpieza, permeabilidad, fluidez e hidrofobicidad. según la prueba de flujo, el mortero estándar fue 0% y el mortero óptimo 3% de TiO<sub>2</sub> fue 113.83% y 106.94%, respectivamente, cumplieron con la plasticidad requerida para el oscurecimiento, mientras que el contenido de aditivo fue mayor. composición seca. En la prueba de absorción, a medida que aumentaba el porcentaje de TiO<sub>2</sub>, disminuía la absorción del mortero, lo cual era conveniente para predecir hongos y aumentar su resistencia, por lo que el mortero con 9% con TiO<sub>2</sub> se desempeñó mejor en esta prueba. Los paneles desgastados con altas temperaturas y la exposición a la luz solar directa con suciedad fueron canalizadas para su actividad fotocatalítica y su propiedad hidrofóbica, se observó que mantuvo su color blanco durante el proceso de observación y durante las lluvias. estos no fueron absorbidos, además, se eligieron meses seleccionados por presentar condiciones ambientales adversas. Lo mismo se observó para el comportamiento de autolimpieza. Al igual que los paneles, los morteros infundidos con TiO<sub>2</sub> eran autolimpiantes, eliminando cualquier pigmento derramado sobre sus superficies. Propiedades mecánicas, el mortero estándar

alcanzó una resistencia a la compresión de 182,70 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días; por lo que se decidió que la disminución es de 3,76% (3% de TiO<sub>2</sub>), 7,87% (6% de TiO<sub>2</sub>), 12,53% (9% de TiO<sub>2</sub>) con respecto al mortero estándar, pero todas ellas aún eran superiores al modelo que era de 130 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que no tuvo un efecto directo. Según sus propiedades químicas, el ensayo de rodamina mostró que todos los morteros con TiO<sub>2</sub> añadido tenían actividad fotocatalítica, lo que les otorgaba propiedades autolimpiantes, pero 9% sobre el mortero con TiO<sub>2</sub>; su color se redujo porque no había poros que llenar, por lo que no fue necesario agregar más aditivo. Considerando que la rentabilidad de nuestro aditivo es económicamente viable, a pesar de que los costes de producción de los morteros con un 3%, 6% y 9% de TiO<sub>2</sub> son un 220%, 339% y 459% superiores, se ahorran un 48%, 40% y 33 %. % para los próximos diez años durante los cuales es útil porque su color no se ve afectado mayoritariamente por las manchas de contaminación y por lo tanto nos enfrentamos a un problema creciente de contaminación en nuestra ciudad.

En la misma línea de investigación se tiene a (Najar, 2021) quien desarrollo su trabajo titulada *“Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con TiO<sub>2</sub> (Dióxido de Titanio) en la ciudad de Arequipa 2021”* en que pudo concluir que el tratamiento con 7° TiO<sub>2</sub> fue el mejor en comparación con el tratamiento con 0% de TiO<sub>2</sub>, que es el recubrimiento estándar o básico, debido a que presenta un equilibrio entre las dos propiedades evaluadas como son la resistencia a la presión y la autolimpieza. El análisis del estudio mostró que el adoquín que contenía 7° TiO<sub>2</sub> se comportó linealmente a los 3, 7 y 28 días de edad y alcanzó la durabilidad requerida a los 7 días de curado, además de las propiedades fotocatalíticas, también podía degradarse. La tinción con rodamina B es más eficaz que los demás tratamientos, lo que lo convierte en el tratamiento óptimo para la dosificación prevista con una relación a/c de 0,4 y una relación cemento : arena de 1:3. La adición de fotocatalizador de dióxido de titanio no es directamente proporcional a su capacidad de autolimpieza, ya que el adoquín recubierto de 12% de TiO<sub>2</sub> no es tan efectivo como los tratamientos al 3 y 7%, por lo que la adición de dióxido de titanio no es proporcional a la autolimpieza –capacidad de limpieza, también se estableció que la única muestra que no fue autolimpiante, el tratamiento con 0% de TiO<sub>2</sub> fue porque no concuerda con la medición de la observación de calidad. La temperatura no afecta a la capacidad fotocatalítica en el caso de la radiación UV (la activación del fotocatalizador depende de los fotones), debido a que el estudio se realizó a una temperatura media de 22 °C, a diferencia de otros estudios por encima de los 37 °C, donde también se obtuvieron resultados óptimos en los experimentos realizados; a ello se pudo concluir que la producción de elementos prefabricados para obras de infraestructura vial tiene una idoneidad ambiental y un efecto favorable en la región de Arequipa y el país cuando se aplica en calles de alto tránsito con pavimento fotocatalítico incorporado.

Al citar a (Cluzman, 2019) quien desarrollo su investigación “*Análisis comparativo de los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío en Lima, 2019*” en el que pudo concluir de manera satisfactoria el al incorporación del TiO<sub>2</sub> eleva las propiedades mecánicas de las mezclas de asfalto tanto en su presentación fría y más aún en la caliente; comparando con su versiones que representan el control de 0% de TiO<sub>2</sub> en las mezclas estos superan en a sus predecesoras de control. Se determinó que el contenido mineral agregado (V.M.A%) de la mezcla asfáltica en caliente con dióxido de titanio es superior al de la mezcla asfáltica normal en un 14,7%, V.M.A aumenta de la siguiente manera: 1% aumenta 1,5%, 2%. 0,7% y 3% 0,5% y contenido de carga mineral (V.M.A%) en dióxido de titanio prensado en frío menor que el modelo convencional 27,75% bajar el V.M.A de la siguiente manera: aumentar 1%, 2%, 3% y 5% de TiO<sub>2</sub>; sin dejar una de sus propiedades que poseen la mezcla fría y caliente que es la trabajabilidad no poseyeron porosidad alta o baja.

Para finalizar se tiene a (Carazas & Palomino, 2020) que luego de desarrollar su trabajo con el título de “*Evaluación de las propiedades físico–mecánicas y fotocatalíticas del mortero patrón de cemento respecto al mortero de cemento adicionado con dióxido de titanio al 3%, 5% Y 7% – Cusco 2020*”, se puede y se afirma que en sus conclusiones dadas por los resultados de evaluar las propiedades físicas, mecánicas y fotocatalíticas del mortero de cemento portland tipo I A/C=0,85 con la adición de dióxido de titanio en concentraciones del 3%, 5% y 7% en comparación con la proporción del mortero de cemento portland tipo I A /C =0.85 mejora las propiedades mecánicas, adquiriendo la propiedad fotocatalítica del mortero al ser expuesto a diferentes pruebas y ensayos. Por lo cual concluyeron que la inclusión del dióxido de titanio a asfalto en presentación de estudio por los morteros mejora sustancialmente las propiedades físico–mecánicas de estos.

Al presentar estos cinco antecedentes que lograron afirmar que la incorporación del dióxido de titanio TiO<sub>2</sub> en concentraciones de acuerdo con sus ensayos y pruebas, se puede despejar la discusión de la incorporación de TiO<sub>2</sub> en mezclas para ser empleadas en asfaltos, por ello al existir una relación entre los antecedentes y el marco teórico se tiene que en:

#### *Propiedades físico–mecánicas*

- El mortero con dióxido de titanio se vuelve menos fluido cuando la concentración de dióxido de titanio en la mezcla de mortero aumenta en comparación con el mortero estándar.
- En comparación con el mortero estándar, el mortero con dióxido de titanio tiene una mayor resistencia a la compresión hasta cierto límite de concentración de dióxido de titanio.

- Sin embargo, más allá de este límite, la adición de más dióxido de titanio tiende a reducir la resistencia a la compresión del mortero.
- El mortero con dióxido de titanio tiene una mayor adherencia en comparación con el mortero estándar cuando se agrega más dióxido de titanio a la mezcla de mortero.
- La tasa de absorción del mortero con dióxido de titanio agregado en comparación con el mortero estándar disminuye a medida que aumenta la concentración de dióxido de titanio en la mezcla de mortero.

#### *Propiedades fotocatalíticas*

- La autolimpieza y la degradabilidad del dióxido de nitrógeno gaseoso, medido por el coeficiente de fotodegradación de los morteros con dióxido de titanio en comparación con los morteros estándar, aumentó con la adición de dióxido de titanio.

## CONCLUSIONES

La incorporación de proporciones de dióxido de titanio en mezclas asfálticas de alta temperatura mejoró las propiedades mecánicas. El valor óptimo para TiO<sub>2</sub> es 2%. Los datos obtenidos del ensayo Marshall se incrementaron significativamente en comparación con el convencional, resultando en una estabilidad de 1590,5 kg, 4,7% de entrehierro, 15,4% V.M.A y 14,3 mm de caudal (Tabla 114). % y 0.7%, respectivamente, en comparación con el convencional (Tabla 98), y la mezcla asfáltica en frío con 2" de estabilidad TiO<sub>2</sub> aumenta los vacíos totales a 1108.5 kg. El V.M.A se reduce al 12,7% y el V.M.A se reduce en un 22,8% frente a 1105,8 kg, 15,05% y 27,7% para el diseño convencional (Tabla 128). Reducción mínima de la porosidad y retención de las propiedades de procesabilidad (Tabla 120).

La incorporación de TiO<sub>2</sub> en mezclas asfálticas de alta temperatura aumenta la estabilidad de 1409,3 kN para mezclas convencionales (Tabla 98) a 1562,9 kN, 1590,5 kN y 1608,4 kN para mezclas modificadas que contienen 1% y 2% (Tabla 114). Mejorando en el 3%. Las mezclas de TiO<sub>2</sub> y asfalto frío aumentan en estabilidad desde 1105.8 kg (Tabla 120) para mezclas convencionales hasta 1192.6 kg y 1108.5 kg (Tabla 128) para mezclas modificadas que contienen 1% y 2%. El TiO<sub>2</sub> disminuyó un 2,85 %, lo que sugiere que, además de que la proporción óptima de asfalto fue suficiente, la estabilidad disminuyó a medida que aumentó la proporción de TiO<sub>2</sub>: 5,45 % para el asfalto caliente y 4,8 %. Mejor estabilidad en asfalto frío y se mantiene dentro de las especificaciones.

Se encontró que el asfalto caliente con TiO<sub>2</sub> agregado mejora la trabajabilidad porque el V.M.A% aumenta de la siguiente manera. En comparación con el diseño convencional, el 1 %, el 2 % y el 3. TiO<sub>2</sub> aumentaron un 16,2 %, un 15,4 % y un 15,2 %, respectivamente (Tabla 97). Las mezclas asfálticas en frío que contenían 1%, 2% y 3% de TiO<sub>2</sub> redujeron el V.M.A% en un 23%, 22,8% y 22,7% (Tabla 128) en comparación con el 27,75% de la mezcla convencional (Tabla 120)., una temperatura de 150 °C fue suficiente para permitir una fácil densificación y niveles suficientes de cargas minerales. Se considera que las mezclas asfálticas calientes y frías tienen propiedades de trabajabilidad.

Se encontró que la estructura asfáltica a alta temperatura mejora las propiedades de impermeabilidad porque la estructura 2% de TiO<sub>2</sub> es porosa, mientras que la estructura asfáltica a baja temperatura es propensa a la pérdida de impermeabilidad al 4,7% (Tabla 104) y 12,7% (Tabla 128), versión caliente dentro de especificación, versión fría en límites. Se encontró que esto era mayor que el máximo permitido por la especificación del 5%, por lo que la mezcla es permeable. Además, aunque la compresión utilizada en la estructura de asfalto caliente fue adecuada, los altos vacíos fueron inaceptables. Este no era el caso dado que la situación fue similar para las mezclas asfálticas en frío con una alta proporción de vacíos.

Se encontró que las mezclas de asfalto preparadas con TiO<sub>2</sub> cumplían con las propiedades fotocatalíticas. En las pruebas de descomposición de Rodamina B, los porcentajes óptimos resultaron ser 2% de TiO<sub>2</sub> en mezclas asfálticas calientes y 1% de TiO<sub>2</sub> en mezclas para el asfalto frío, estos porcentajes indican un alto grado de degradación, resultando diseños de asfalto caliente con valores de 38.16% y 96.09% para R4 y R26, y 50.8% para R4 y 66.89% para R26, respectivamente. Por tanto, todos los valores de R4 son superiores al 20% y R26 es superior al 50%, asegurando las propiedades fotocatalíticas.



## RECOMENDACIONES

Primera: Sugerimos ampliar este estudio para incluir pruebas para medir el comportamiento a la fatiga, la resistencia a la fatiga y la deformación permanente.

Segunda: Realizar secciones de prueba para obtener datos precisos y estudiar el comportamiento como un diseño de pavimento completo.

Tercera: Se deben realizar más pruebas con diferentes niveles de dióxido de titanio que los utilizados en este estudio para evaluar si se obtienen mejores resultados en comparación con las proporciones probadas.

Con base en esta investigación, se recomiendan dos estudios:

- Análisis comparativo de propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas con dióxido de titanio y adiciones de polímeros. la comparación en esas propiedades de estas mezclas asfálticas modificadas para determinar el diseño óptimo.
- Evaluación de la resistencia al asentamiento de una mezcla bituminosa con dióxido de titanio mediante viga Benkelman. Esto da un resultado más preciso en cuanto a si la mezcla con dióxido de titanio añadido puede soportar una deformación permanente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alev, O., Şennik, E., Kılınc, N., & Öztürk, Z. Z. (2015). Gas Sensor Application of Hydrothermally Growth TiO<sub>2</sub> Nanorods. *Procedia Engineering*, CXX(1), 1162–1165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.747>
- ALPA. (11 de Noviembre de 2021). *Rellenos minerales y su papel en los recubrimientos*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Shandong ALPA Powder Technology: <https://www.alpapowder.com/es/112915/>
- Amagua, J. A. (2021). *Diseño de un pavimento asfáltico drenante basado en un material de protección ambiental de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), aplicado en el corredor vial de alto tráfico, Sector El Trébol, Cantón Quito*. Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción – Carrera de Ingeniería Civil . Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/24119/1/T-ESPE-044388.pdf>
- Ângelo, J., Andrade, L., Madeira, L. M., & Mendes, A. (15 de Noviembre de 2013). An overview of photocatalysis phenomena applied to NO<sub>x</sub> abatement. *Journal of Environmental Management*, CXXIX(1), 522–539. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.006>
- Bahadori, E., Trípodí, A., Vila, A., Pirola, C., Prati, L., Ramis, G., & Rossetti, I. (Septiembre de 2018). Fotorreducción de CO<sub>2</sub> a alta presión : efecto de la formulación del catalizador, la adición de barredores de agujeros y las condiciones de funcionamiento. *Catalizadores*, VIII(10), 430–432. doi:<https://doi.org/10.3390/catal8100430>
- Bejarano, J. F., & Caicedo, C. F. (2017). *Análisis del comportamiento físico– mecánico de la mezcla asfáltica tipo MDC.19 con fibra natural de caña de azucaR*. Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Civil . Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/d6c0f0a9-3680-43a7-a170-4802f2c550a5/content>
- Carazas, C. S., & Palomino, N. A. (2020). *Evaluación de las propiedades físico– mecánicas y fotocatalíticas del mortero patrón de cemento respecto al mortero de cemento adicionado con dióxido de titanio al 3%, 5% Y 7% – Cusco 2020*. Facultad de Ingeniería y Arquitectura – Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Cusco: Universidad Andina del Cusco. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/[https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3995/Carol\\_Nery\\_Tesis\\_bachiller\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3995/Carol_Nery_Tesis_bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Cárdenas, J., & Fonseca, E. (Diciembre de 2009). Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímero reciclado, estudiada desde la relación viscosidad–temperatura. *Revista EIA*, *I*(12), 125–137. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome–extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n12/n12a10.pdf
- Carnacho, B. (13 de Enero de 2008). *La población y la muestra –Metodología de la Investigación Científica*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Repositorio – UPTC: chrome–extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/4557/1/3266.pdf
- Cervantes, V. H. (Mayo de 2011). Aplicaciones generales de la nanotecnología en el campo de la construcción. *Programa de Infraestructura del Trnasporte*, *II*(17), 1–5. Recuperado el 13 de MAYO de 2023, de chrome–extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/365/17.pdf?sequence=1
- Cluzman, L. T. (2019). *Análisis comparativo de los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío en Lima, 2019*. Facultad de Ingeniería – Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil. Lima: Universidad César Vallejo. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/51041
- Colorado, M. (14 de Marzo de 2019). *Perú es el país con la peor calidad de aire y Santiago la capital más contaminada de Latinoamérica*. Recuperado el 12 de Mayo de 2023, de France 24 – Medio Ambiente: https://www.france24.com/es/20190313–medio–ambiente–calidad–aire–contaminacion
- De Oliveira, K. (14 de Noviembre de 2014). *Estrutura molecular de Rodamina B*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Research Gate: https://www.researchgate.net/figure/Figura–1–Estrutura–molecular–do–corante–Rodamina–B\_fig1\_271529394
- Delgado, H. (2020). *Diseño de mezclas asfálticas densas en caliente en función del nivel de tránsito*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes . México: Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome–extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt602.pdf
- Enderica, B. A. (2017). *Análisis de las características y propiedades del cementoasfáltico para el diseño de hormigón asfáltico en la ciudad de Machala*. Unidad Académica de Ingeniería Civil– Carrera de Ingeniería Civil. Machala: Universidad Técnica de Machala. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome–

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/11065/1/TUAIC\_2017\_IC\_CD0020.pdf

- Escobar, L., & Solís, D. A. (20 de Agosto de 2021). Desarrollo de fotocatalizadores basados en TiO<sub>2</sub> en forma de película delgada para la degradación de moléculas orgánicas en solución acuosa. *Mundo Nano*, XIV(26), 1–23. doi: <https://doi.org/10.22201/ceiach.24485691e.2021.26.69646>
- Fernández, J., Del Campo, J., & Colorado, D. (27 de Marzo de 2015). Estudio de la aplicabilidad del TiO<sub>2</sub> en su faceta descontaminante sobre superficies metálicas tratadas. *Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo*, XV(2), 98–105. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v15n2/art10.pdf
- Fernández, W., Rondón, H., & Reyes, F. (Abril de 2013). El fenómeno de envejecimiento en asfaltos y mezclas asfálticas. Una revisión. *Ingeniería e Investigación*, XXXIII(1), 5–12. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v33n1/v33n1a02.pdf
- Fluidmecanicasur. (29 de Mayo de 2020). *¿Qué es la fotocatalisis? – Fotocatalisis de superficies de TiO<sub>2</sub>*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Fluidmecanicasur: chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.fluidmecanicasur.es/content/uploads/13\_GAINA%20-%20Fotocatalisis%20TiO2.pdf
- García, J. (6 de Octubre de 2015). *Química del Cemento Asfáltico*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Prezi Inc: <https://prezi.com/qkgtbswu8s3q/quimica-del-cemento-asfaltico/>
- Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J. A., Alonso, S., & Alarcón, H. A. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. (I. M. Transporte, Ed.) Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Secretaría de Comunicaciones y Transportes: chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt246.pdf
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J. A., & Delgado, H. (2005). *Caracterización Geomecánica de Mezclas Asfálticas*. Laboratorios acreditados por EMA § , Secretaria de Comunicaciones y Transportes . México: Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf
- Granda, F., Pino, A., Maya, N., Marín, J., Rios, L., & Restrepo, G. (Septiembre de 2007). Soporte y caracterización de películas de TiO<sub>2</sub> sobre recubrimientos poliméricos con actividad fotoinducida. *Scientia Et Technica*, XIII(36), 245–249. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903645>

- Gupta, S. M., & Tripathi, M. (19 de Mayo de 2011). A review of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Chinese Science Bulletin*, *LVI*(1), 1639–1657. doi:<https://doi.org/10.1007/s11434-011-4476-1>
- Harun, G. M., Bulbul, M., Sobhan, A., & Rahman, N. (2018). Marshall Características de las Mezclas Bituminosas Utilizando Pavimento de asfalto recuperado. *Revista Estadounidense de Ingeniería de Tráfico y Transporte*, *III*(4), 57–61. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4DYPZHN8YzwJ:article.ajotate.org/pdf/10.11648.j.ajtte.20180304.11.pdf&cd=4&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>
- Hashimoto, K., Irie, H., & Fujishima, A. (2005). Fotocatálisis de TiO<sub>2</sub>: una descripción histórica y perspectivas futuras. *Revista japonesa de física aplicada*, *XLIV*(1), 8269–8285. doi:<http://dx.doi.org/10.1143/JJAP.44.8269>
- Hernández, M. J. (2017). *Eliminación de NO<sub>x</sub> mediante fotocatálisis heterogénea*. Química – Facultad de Ciencias del Mar – Programa Oficial de Doctorado en Oceanografía . Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://accedacris.ulpgc.es>
- Huamani, M. A., & Solis, S. (2021). *Efecto de las propiedades físico–mecánicas y químicas del mortero convencional adicionado con dióxido de titanio para el sector construcción en la provincia y región de Arequipa, julio – diciembre 2020*. Facultad de Ingeniería – Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil. Arequipa: Universidad Continental. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10434/1/IV\\_FIN\\_105\\_TE\\_Huamani\\_Solis\\_2021.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10434/1/IV_FIN_105_TE_Huamani_Solis_2021.pdf)
- Icart, M., & Canela, J. (Febrero de 1998). El uso de hipótesis en la investigación científica. *Atención Primaria*, *XXI*(3), 172–178. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-el-uso-hipotesis-investigacion-cientifica-15038>
- Imas, J. J. (22 de Febrero de 2023). *Fotoquímica: donde la luz y la química se unen*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Pyrois Tech: <https://www.pyroistech.com/es/fotoquimica-luz-quimica/>
- IMCEC. (25 de Noviembre de 2009). *Agregados para concreto hidráulico. Especificaciones y métodos de prueba*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://www.imcyc.com/revistacyt/images/problemas/2009/pdf/NOVIEMBRE.pdf>
- Jalvo, B., Faraldos, M., Bahamonde, A., & Rosal, R. (15 de Octubre de 2017). Antimicrobial and antibiofilm efficacy of self-cleaning surfaces functionalized

- by TiO<sub>2</sub> photocatalytic nanoparticles against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas putida*. *Journal of Hazardous Materials*, CCCXL(1), 160–170. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.07.005>
- Jiménez, E., & Castellote, M. (6 de Mayo de 2018). *La fotocatalisis en construcción: fundamentos y métodos de medida*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Grupo ISCMA-IETcc-CSIC: <https://docplayer.es/95379940-La-fotocatalisis-en-construccion-fundamentos-y-metodos-de-medida.html>
- Jiménez, M., Sibaja, D., & Molina, D. (27 de Febrero de 2009). *Mezclas asfálticas– Mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Dialnet– Unirioja– • Infraestructura Vial: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5051911.pdf>
- Kao, M., Chen, H., & Young, S. (1 de Marzo de 2011). Dye-sensitized solar cells with TiO<sub>2</sub> nanocrystalline films prepared by conventional and rapid thermal annealing processes. *Thin Solid Films*, DXIX(10), 3268–3271. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tsf.2010.12.032>
- Koprivanac, N., & Kusic, H. (2009). *Hazardous Organic Pollutants in Colored Wastewaters*. New York: Nova Science Pub Inc. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://www.amazon.com/-/es/Natalija-Koprivanac/dp/1604569360>
- Lasek, J., Yu, Y. H., & Wu, J. C. (Marzo de 2013). Removal of NO<sub>x</sub> by photocatalytic processes. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, XIV(1), 29–52. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.08.002>
- Lingampalli, S., Ayyub, M. M., & Rao, C. (16 de Junio de 2017). Recent Progress in the Photocatalytic Reduction of Carbon Dioxide. *ACS Omega*, II(6), 2740–2748. doi:<https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00721>
- Lopera, C. H., & Cordoba, J. E. (13 de Junio de 2013). Diseño de mezcla asfáltica tibia a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma. *Revista Dyna*, LXXX(179), 99–108. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532013000300011&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532013000300011&script=sci_abstract)
- Lozada, J. (Diciembre de 2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Cienciamérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, III(1), 47–50. Recuperado el 13 de Mayo de 2023
- M.T.C. (26 de Marzo de 2014). *Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción (EG–2013)*. (D. G. Ferrocarriles, Ed.) Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Ministerio de Transportes y Comunicaciones: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://portal.mtc.gob.pe/transpo>

rtes/caminos/normas\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\_PDF/MAN\_10%20EG%202013.pdf

- Maimone, A., Camero, S., & Blanco, S. (2015). Caracterización del óxido de titanio obtenido mediante tratamiento térmico y anodizado electroquímico. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, XXX(1), 189–200. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://ve.scielo.org/pdf/rfiucv/v30n1/art19.pdf
- Mao, J., Li, K., & Peng, T. (2013). Recent advances in the photocatalytic CO<sub>2</sub> reduction over semiconductors. *Catalysis Science & Technology*, III(10), 2481–2498. doi:https://doi.org/10.1039/C3CY00345K
- Maury, A., & De Belie, N. (24 de Junio de 2010). Estado del arte de los materiales a base de cemento que contienen TiO<sub>2</sub>: propiedades auto-limpiantes. *Materiales de Construcción*, LX(298), 33–50. doi:doi: 10.3989/mc.2010.48408
- Mayor, F., Fariñas, F., & Vega, S. (2019). *One health Cambio climático, contaminación ambiental y el impacto sobre la salud humana y animal*. Madrid, España: Amazing Books. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de https://www.google.com.pe/books/edition/\_/EQUnzAEACAAJ?hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewjaytHXmOn-AhVfL7kGHQ5mAeEQ7\_IDegQIChAC
- Moreno, I. (2018). *Fotocatálisis en materiales en base de cemento. Evaluación de autolimpieza de fotocatalíticos en el espectro visible frente al UV*. Grado en fundamentos de la Arquitectura. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://oa.upm.es/49707/1/TFG\_Moreno\_Huerga\_Imanol.pdf
- Muguirra, A. (17 de Octubre de 2018). *Diseño de investigación. Elementos y características*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Investigación de mercado – Questionpro: https://www.questionpro.com/blog/es/diseño-de-investigacion/#:~:text=Dise%C3%B1o%20de%20Investigaci%C3%B3n%20experimental%3A%20El,independiente%20sobre%20la%20variable%20dependiente.
- Najar, S. N. (2021). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con TiO<sub>2</sub> (Dióxido de Titanio) en la ciudad de Arequipa 2021*. Facultad de Ingeniería y Computación – Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Arequipa: Universidad Católica San Pablo. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de https://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/20.500.12590/16924
- Navarro, E., Jiménez, E., Rappoport, S., & Thoilliez, B. (2017). ¿Cómo puedo actuar? Los diseños cuantitativos. En E. Navarro, E., S. Rappoport, & B. Thoilliez

- (Edits.), *Fundamentos de la investigación y la innovación educativa* (Primera ed., págs. 105–136). Logroño, España: Universidad Internacional de La Rioja. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.unir.net/wp-content/uploads/2017/04/Investigacion\_innovacion.pdf
- Nevárez, M. C., Espinoza, P. J., Quiroz, F. J., & Ohtani, B. (4 de Diciembre de 2017). Fotocatálisis: inicio, actualidad y perspectivas a través del TiO<sub>2</sub>. *Avances en Química*, *XII*(2–3), 45–59. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://www.redalyc.org/journal/933/93357608005/html/>
- Nogueira, A. E., Oliveira, J. A., Da Silva, G. T., & Ribeiro, C. (4 de Febrero de 2019). Insights into the role of CuO in the CO<sub>2</sub> photoreduction process. *Scientific Reports*, *IX*(1316), 1–11. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-018-36683-8>
- Ohtani, B. (Diciembre de 2010). Photocatalysis A to Z—What we know and what we do not know in a scientific sense. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, *XI*(4), 157–178. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2011.02.001>
- O'Regan, B., & Grätzel, M. (24 de October de 1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature*, *CCCLIII*(1), 737–740. doi:<https://doi.org/10.1038/353737a0>
- Ortega, C. (8 de Septiembre de 2018). *Escala nominal: Características y ejemplos*. Obtenido de Questionpro: [https://www.questionpro.com/blog/es/escala-nominal/#:~:text=Una%20escala%20nominal%20es%20una,no%20num%C3%A9ricas%20\(no%20cuantitativas\).](https://www.questionpro.com/blog/es/escala-nominal/#:~:text=Una%20escala%20nominal%20es%20una,no%20num%C3%A9ricas%20(no%20cuantitativas).)
- Pardo, C. (2017). *Evaluación de la actividad fotocatalítica del dióxido de titanio sensibilizado con colorantes naturales en la degradación de azul de metileno*. Facultad de Ingenierías – Programa de Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6373/1/6121948-2017-2-IQ.pdf
- Pichat, P., Herrmann, J. M., Courbon, H., Disdier, J., & Mozzanega, M. N. (Febrero de 1982). Photocatalytic oxidation of various compounds over TiO<sub>2</sub> and other semiconductor oxides; Mechanistic considerations. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, *LX*(1), 27–32. doi:<https://doi.org/10.1002/cjce.5450600106>
- Pizarro, S. G., Astudillo, P. A., & Delgadillo, A. (2019). Adsorción de un complejo de hierro sobre nanocristales de dióxido de titanio utilizando un residuo piridina. *Revista Colombiana de Química*, *XLVIII*(1), 52–58. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.73295>.



- Prada, A. F. (2021). *Evaluación de la efectividad del uso del fotocatalizador TiO<sub>2</sub> para la remoción de gases contaminantes tipo NO<sub>x</sub> en el aire*. Facultad de Ingenierías – Programa de Ingeniería Química. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8327/1/6171149-2021-1%20IQ.pdf
- Prieto, G. (25 de Abril de 2006). *Dosificación de mezclas asfálticas en caliente Método Marshall*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Ingeniería Civil (UNCUYO)–Filadd: <https://filadd.com/doc/apunte-marshall-1-pdf-construccion-de-carreteras>
- Procon. (17 de Julio de 2020). *Agregados Pétreos*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Procon Grupo Industrial: <https://www.procon.com.mx/agregado-petreo/>
- Proquicesa. (19 de Abril de 2023). *¿Asfalto que limpia el aire?* Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Proquicesa: <https://www.proquicesa.com/asfalto-que-limpia-el-aire/>
- Puello, J., Afanasjeva, N., & Álvarez, M. (2013). Correlaciones estadísticas para la estimación de propiedades reológicas de asfaltos en estado original y envejecido. *Revista ION*, XXVI(1), 73–84. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=342030287008>
- Rangel, L. S., & Molina, J. D. (2020). *Efecto de la adición de dióxido de titanio en las propiedades mecánicas y de durabilidad en materiales a base de cemento*. Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Civil. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/3480496d-aa2c-4d69-b565-272ad41efd55/content
- Reyes, F. A., Guáqueta, C., Porras, L. M., & Rondón, H. A. (2013). Comportamiento de un cemento asfáltico modificado con un desecho de PVC. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, XII(22), 75–84. doi:<https://doi.org/10.22395/rium.v12n22a6>
- Reyes, O. J. (Diciembre de 2009). Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación. *Ingeniería y Desarrollo*, I(26), 139–155. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/852/85212233010.pdf
- Reyes, O. J., Alvarez, A. E., & Valdes, G. A. (2014). Evaluación mecánica de mezclas asfálticas frías fabricadas con reemplazo de llenante mineral. *Información tecnológica*, XXV(2), 93–102. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000200011>

- Reyes, O. J., Camacho, J. F., & Londoño, A. (Diciembre de 2013). Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del agregado pétreo. *Revista Científica "General José María Córdova"*, XI(12), 215–232. Recuperado el 13 de Mayo de 2023
- Reyes, O. J., Valdés, G. A., & Salazar, M. (2009). Influencia de la Tipología del Ligante en las Propiedades Mecánicas de una Mezcla Asfáltica Densa. *Información Tecnológica*, XX(6), 37–44. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642009000600006>
- Rivera, B. E. (2022). *Determinación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto adicionado con dióxido de titanio, Piura, 2022*. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Piura: Universidad César Vallejo. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/108354>
- Rivera, B. E., De la Cruz, S. A., & Vega, C. S. (30 de Marzo de 2023). Modificación de la mezcla asfáltica por vía seca mediante la incorporación de dióxido de titanio. *Ingeniería – Revista de la Universidad de Costa Rica*, XXXIII(2), 75–85. doi:DOI: 10.15517/ri.v33i2.53454
- Rondón, H., Fernández, W., & Castro, W. (Abril de 2010). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD). *Revista ingeniería de construcción*, XXV(1), 83–94. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000100004>
- Rus, E. (1 de Noviembre de 2020). *Tipos de investigación*. (J. F. López, Editor, & Economipedia) Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-investigacion.html#:~:text=Los%20tipos%20de%20investigaci%C3%B3n%20pueden,aspectos%20a%20tener%20en%20cuenta>.
- Shafii, M. A., Yew, C. L., Rais, N. M., & Latif, A. A. (2017). Effect of Blending Temperature and Blending Time on Physical Properties of NRL-Modified Bitumen. *International Journal of Applied Engineering*, XII(13), 3844–3849. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/[https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n13\\_39.pdf](https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n13_39.pdf)
- Studocu. (26 de Septiembre de 2013). *Cemento asfáltico*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de StudeerSnel B.V., Keizersgracht: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-andina-del-cusco/pavimentos/cemento-asfaltico-pavimentos/56366301>
- Sun, Z., Talreja, N., Tao, H., Texter, J., Muhler, M., Strunk, J., & Chen, J. (25 de Junio de 2018). Catalysis of Carbon Dioxide Photoreduction on Nanosheets: Fundamentals and Challenges. *A Journal of the German Chemical Society – Angewandte Chemie – International Edition*, LVII(26), 7610–7627. doi: <https://doi.org/10.1002/anie.201710509>

- Tang, H., Berger, H., Schmid, P., & Lévy, F. (Octubre de 1994). Optical properties of anatase (TiO<sub>2</sub>). *Solid State Communications*, *XCII*(3), 267–271. doi:[https://doi.org/10.1016/0038-1098\(94\)90889-3](https://doi.org/10.1016/0038-1098(94)90889-3)
- TecnoCarreteras. (11 de Junio de 2019). *Tres productos para las carreteras que buscan reducir la contaminación*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de TecnoCarreteras: <https://www.tecnocarreteras.es/2019/06/11/tres-productos-para-las-carreteras-que-buscan-reducir-la-contaminacion/>
- UTEST. (23 de Febrero de 2018). *Diseño y Ensayos de Mezclas Bituminosas – Máquina para Pruebas de Estabilidad Marshall*. Obtenido de UTEST: <https://www.utest.com.tr/es/26053/M-quina-para-Pruebas-de-Estabilidad-Marshall-con-Anillo-de-Carga>
- Uvrer. (25 de Noviembre de 2016). *La fotocatalisis*. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de Uvrer-anemo: <https://www.uvrer-anemo.com/fotocatalisis?lang=es>
- Vacca, H. A., León, M. P., & Ruiz, D. M. (Diciembre de 2012). Evolución del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80–100 en el horno de película delgada sobre el comportamiento estático y dinámico de mezclas asfálticas tipo MDC–2. *Ingeniería y Universidad*, *XVI*(2), 379–396. Recuperado el 13 de Mayo de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4160727>
- Wang, Z., Helmersson, U., & Käll, P. O. (22 de Febrero de 2002). Optical properties of anatase TiO<sub>2</sub> thin films prepared by aqueous sol–gel process at low temperature. *Thin Solid Films*, *CDV*(1–2), 50–54. doi:[https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(01\)01767-9](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(01)01767-9)

## **ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA


Titulo: ALTERACIONES DEL FOCALIZADOR DIOXIDO DE TITANIO EN LAS CARACTERISTICAS MECÁNICAS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS TANTO EN FRIO COMO CALIENTE EN LA AV. JAVIER PRADO LIMA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	MÉTODO: Método científico
¿Cuál es el análisis comparativo de los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío en la avenida Leoncio Prado de la Ciudad de Lima?	Realizar un análisis de tipo comparativo de los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.	El análisis comparativo de los efectos de fotocatalizador del dióxido de titanio al mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente y frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima	Los efectos del fotocatalizador dióxido de titanio	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	ENFOQUE: Cuantitativo
¿Cómo se presenta el efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en la estabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima?	Investigar el efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en la estabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.	Efecto de fotocatalizador de dióxido de titanio mejora estabilidad de mezcla asfáltica caliente y fría en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.	Propiedades mecánicas de las mezclas asfáltica en caliente y frío	NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Explicativo
¿Cuál es el efecto del dióxido de titanio fotocatalítico en la trabajabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima?	Investigar el efecto del dióxido de titanio fotocatalítico en la trabajabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.	El efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio mejora la trabajabilidad de la mezcla asfáltica en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.		DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Experimenta
¿Cómo se da el efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en la permeabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima?	Investigar el efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio en la permeabilidad de mezclas asfálticas en caliente y en frío en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.	El efecto del fotocatalizador de dióxido de titanio mejora la permeabilidad de la mezcla asfáltica caliente y fría en la avenida Leoncio Prado de la ciudad de Lima.		UNIDAD DE MEDIDA Mezcla asfáltica
				POBLACIÓN Todas las briquetas que se encuentran en el laboratorio de Ingeniería Geotecnia de Calidad S.A.C
				MUESTRA 66 briquetas
				MUESTREO No probabilístico

### MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Alteraciones del fotocatalizador dióxido de titanio.	Las alteraciones o efectos del fotocatalizador dióxido de titanio, gracias a las propiedades fotocatalíticas de purificación del aire y de autolimpieza, es un material muy responsable con el medio ambiente. Esta alteración de efecto positivo es factible medir a través de la prueba de rodamina B.	Propiedad fotocatalítico	-Capacidad de purificación del aire. - Capacidad de autolimpieza.	Prueba de rodamina (UNI 11259-2008)
		Degradación del colorante rodamina B	- Prueba de auto limpieza. --- - Prueba de contaminación	Prueba de rodamina B (UNI 11259-2008)
Características mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente y frío.	Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de pavimentos, ya sea en forma de rodadura o capas inferiores, y su función es proporcionar a los usuarios de la vía una superficie vial cómoda, segura y económica, para lo cual deben tener propiedades mecánicas como estabilidad, trabajabilidad y resistencia al agua, que se mide a través de la prueba de Marshall y granulometría.	Estabilidad	- Estabilidad. - Contenido de asfalto.	Estabilidad y flujo Marshall (MTC E-204)
		Trabajabilidad	- Vacíos de agregado mineral. - Temperatura de diseño	Marshall (MTC E-204)
		Impermeabilidad	- Contenido de vacíos. - Compactación	-Porcentaje de vacíos de aire. (MTC E-204) - Ensayo Marshall (MTC E 204)

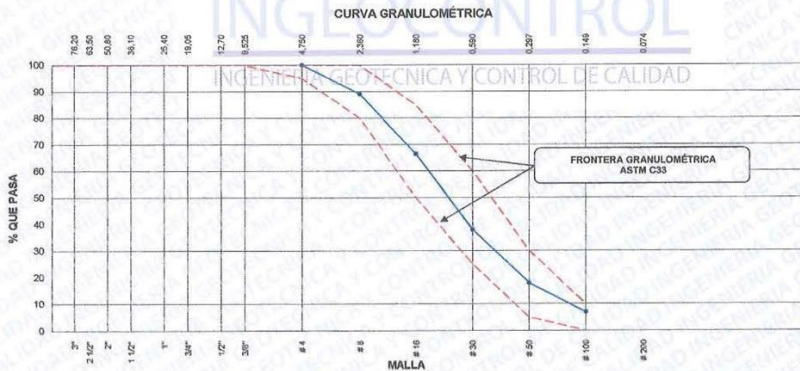
# EVIDENCIAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

	INFORME		Código	AE-FO-150
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS ASTM C 136		Versión	01
			Fecha	20-05-2023
			Página	1 de 1

**Proyecto** : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima **Registro N°:** IGC19-LEM-139-01  
**Solicitante** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio **Muestreado por :** Solicitante  
**Atención** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio **Ensayado por :** B. Melgar  
**Ubicación de Proyecto** : Lima **Fecha de Ensayo:** 30/6/2023  
**Material** : Agregado Fino **Turno:** Diurno


**Código de Muestra** : ---  
**Procedencia** : Ferreteria Progresol - Av. Naranjal  
**N° de Muestra** : ---  
**Progresiva** : ---

AGREGADO FINO ASTM C33/C33M - 18 - ARENA GRUESA						
Malla	Peso Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"
4"	100.00 mm				100.00	100.00
3 1/2"	90.00 mm				100.00	100.00
3"	75.00 mm				100.00	100.00
2 1/2"	63.00 mm				100.00	100.00
2"	50.00 mm				100.00	100.00
1 1/2"	37.50 mm				100.00	100.00
1"	25.00 mm				100.00	100.00
3/4"	19.00 mm				100.00	100.00
1/2"	12.50 mm				100.00	100.00
3/8"	9.50 mm				100.00	100.00
# 4	4.75 mm		0.00	100.00	95.00	100.00
# 8	2.36 mm	86.9	10.92	89.08	80.00	100.00
# 16	1.18 mm	179.0	22.49	33.41	66.59	85.00
# 30	600 µm	228.7	28.73	62.14	37.86	60.00
# 50	300 µm	159.2	20.00	82.15	17.85	30.00
# 100	150 µm	86.5	10.87	93.01	6.99	10.00
Fondo	-	55.6	6.99	100.00	0.00	-
					MF	2.82
					TMN	NA



INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	CQC - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Noemi C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavin 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingeocontrol.com / informes@ingeocontrol.com

	INFORME	Código	AE-FO-67
	<b>DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO ASTM C128-15</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1

Proyecto : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima Registro N°: IGC19-LEM-139-04  
 Solicitante : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Muestreado por : Solicitante  
 Atención : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Ensayado por : B. Melgar  
 Ubicación de Proyecto : Lima Fecha de Ensayo: 30/6/2023  
 Material : Agregado Fino Turno: Diurno

---

Código de Muestra : ---  
 Procedencia : Ferrería Progresol - Av. Naranjal  
 N° de Muestra : ---  
 Progresiva : ---


IDENTIFICACIÓN		1	2	
A	Peso Mat. Sat. Seca (SSS)	500.0	500.0	
B	Peso Frasco + agua	650.1	650.9	
C	Peso Frasco + agua + muestra SSS	961.6	960.7	
D	Peso del Mat. Seco	492.7	492.5	
Pe Bulk (Base seca) o Peso específico de masa = D/(B+A-C)		2.61	2.59	2.60
Pe Bulk (Base Saturada) o Peso específico SSS = A/(B+A-C)		2.65	2.63	2.64
Pe aparente (Base seca) o Peso específico aparente = D/(B+D-C)		2.72	2.70	2.71
% Absorción = 100*((A-D)/D)		1.5	1.5	1.5

  
**INGEOCONTROL**  
 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD

INGEOCONTROL SAC		
<b>TECNICO LEM</b> Nombre y firma: 	<b>JEFE LEM</b> Nombre y firma:  <b>Noemi C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	<b>CQC - LEM</b> Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavín 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingocontrol.com / informes@ingocontrol.com



	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-58
	<b>DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D2419-14</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1

**Proyecto** : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima Registro N°: IGC19-LEM-139-05  
**Solicitante** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Muestreado por : Solicitante  
**Atención** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Ensayado por : B. Melgar  
**Ubicación de Proyecto** : Lima Fecha de Ensayo: 30/6/2023  
**Material** : Agregado Fino Turno: Diurno

**Código de Muestra** : ---  
**Procedencia** : Ferreteria Progresol - Av. Naranjal  
**N° de Muestra** : ---  
**Progresiva** : ---

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	ENSAYOS		
		1	2	3
1	Muestra N°			
2	Hora de Entrada	15:18	15:20	15:22
3	Hora de Salida	15:28	15:30	15:32
4	Hora de Entrada	15:30	15:32	15:34
5	Hora de Salida	15:50	15:52	15:54
6	Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas)	3.48	3.50	3.46
7	Altura Máxima de la Arena (Pulgadas)	4.80	4.90	4.90
8	Equivalente de Arena (%)	72.5	71.4	70.6
9	Equivalente de Arena Promedio (%)	72.0		

  
**INGEOCONTROL**  
 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD

INGEOCONTROL SAC		
<b>TECNICO LEM</b> Nombre y firma:	<b>JEFE LEM</b> Nombre y firma:	<b>CQC - LEM</b> Nombre y firma:
	 <b>Noemí C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	 <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavín 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingeocontrol.com / informes@ingeocontrol.com

	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-62
	<b>DETERMINACIÓN DE LA ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO MTC E222-2000</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1

**Proyecto** : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima Registro N°: IGC19-LEM-139-06  
**Solicitante** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Muestreado por : Solicitante  
**Atención** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Ensayado por : B. Melgar  
**Ubicación de Proyecto** : Lima Fecha de Ensayo: 30/8/2023  
**Material** : Agregado Fino Turno: Diurno


**Código de Muestra** : ---  
**Procedencia** : Ferreteria Progresol - Av. Naranjal  
**N° de Muestra** : ---  
**Progresiva** : ---

ENSAYO	N°	1	2	3	ESPECIFICACIÓN
Peso del Agregado Fino + Molde	gr.	5185	5210	5225	<b>FÓRMULA:</b>  $\frac{W}{V - \text{Geb}} \times 100$
Peso del Molde	gr.	4199	4199	4199	
Peso del Agregado Fino	(w)	986	1011	1026	
Volumen del Cilindro	(v)	937	937	937	
Gravedad Específica de Agregado Fino	G <sub>ss</sub>	2.60	2.60	2.60	
VACÍOS NO COMPACTADOS	%	59.5	58.5	57.9	Min.40
<b>PROMEDIO</b>	%		58.5		

  
**INGEOCONTROL**  
 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD

INGEOCONTROL SAC		
<b>TECNICO LEM</b> Nombre y firma: 	<b>JEFE LEM</b> Nombre y firma:  <b>Noemi C. Sanchez Huaman</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	<b>CQC - LEM</b> Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutierrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavín 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingeocontrol.com / informes@ingeocontrol.com

	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-66
	<b>VALOR AZUL DE METILENO PARA RELLENOS MINERALES, ARCILLAS Y FINOS AASHTO T330</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1

Proyecto : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima Registro N°: IGC19-LEM-139-07  
 Solicitante : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Muestreado por : Solicitante  
 Atención : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Ensayado por : B. Melgar  
 Ubicación de Proyecto : Lima Fecha de Ensayo: 30/6/2023  
 Material : Agregado Fino Turno: Diurno

---

Código de Muestra : ---  
 Procedencia : Ferretería Progresol - Av. Naranjal  
 N° de Muestra : ---  
 Progresiva : ---

ENSAYO	N°	1	2	ESPECIFICACIÓN
Cantidad de solución	g	14.1	14.2	FÓRMULA:  $AM = \frac{C_{sol}}{P_{finos}}$
Peso del material fino	g	5.213	5.168	
VALOR AZUL DE METILENO	mg/g	2.7	2.7	
PROMEDIO	mg/g	2.7		



INGEOCONTROL SAC		
<b>TECNICO LEM</b> Nombre y firma: 	<b>JEFE LEM</b> Nombre y firma:  <b>Noemí C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	<b>QCQ - LEM</b> Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

	<b>INFORME</b>	<b>Código</b>	AE-FO-04
	<b>DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318-17e</b>	<b>Versión</b>	01
		<b>Fecha</b>	20-05-2023
		<b>Página</b>	1 de 1

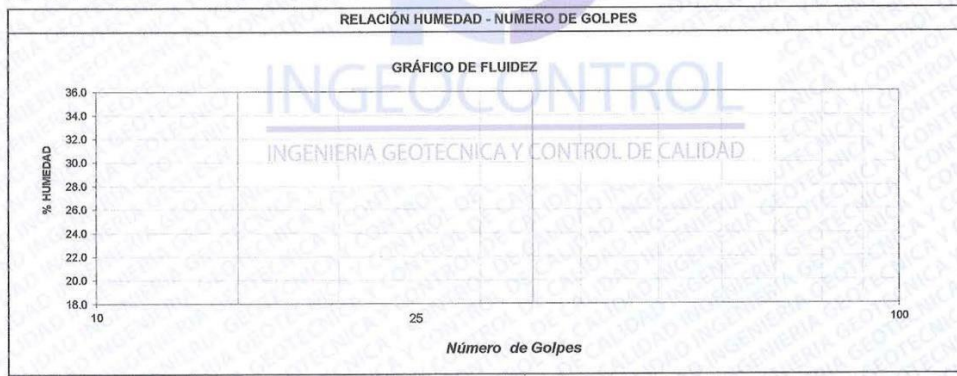
**Proyecto** : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima Registro N°: IGC-19-LEM-139-08  
**Solicitante** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Muestreado por : Solicitante  
**Atención** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Ensayado por : B. Melgar  
**Ubicación de Proyecto** : Lima Fecha de Ensayo: 30/6/2023  
**Material** : Agregado Fino Turno: Diurno

**Código de Muestra** : ---  
**Procedencia** : Ferreteria Progresol - Av. Naranjal  
**N° de Muestra** : ---  
**Progresiva** : ---

**Material Pasante Tamiz N° 40**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Nro. de Recipiente			
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	g	<b>NP</b>	<b>NP</b>
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	g		
Peso de Recipiente (C)	g		
Peso del Agua (A-B)	g		
Peso del Suelo Seco (B-C)	g		
Contenido Humedad $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	g		
N° De Golpes			

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
	LÍQUIDO	PLÁSTICO	
	15.0	NP	



INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	CQC - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Noemi C. Sanchez Huaman</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutierrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-04
	<b>DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318-17e</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1

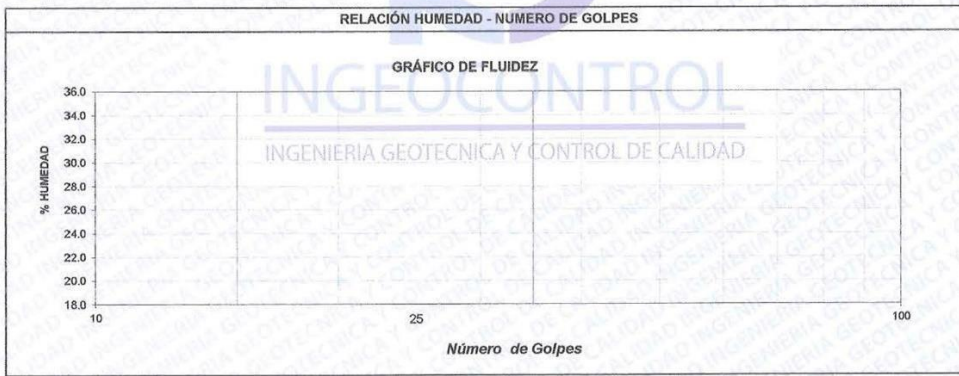
**Proyecto** : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima Registro N°: IGC19-LEM-139-09  
**Solicitante** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Muestreado por : Solicitante  
**Atención** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio Ensayado por : B. Melgar  
**Ubicación de Proyecto** : Lima Fecha de Ensayo: 30/6/2023  
**Material** : Agregado Fino Turno: Diurno

**Código de Muestra** : --  
**Procedencia** : Ferreteria Progresol - Av. Naranjal  
**N° de Muestra** : --  
**Progresiva** : --

**Material Pasante Tamiz N° 200**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO
Nro. de Recipiente			
Peso Recipiente + Suelo Humedo (A)	g	<b>NP</b>	<b>NP</b>
Peso Recipiente + Suelo Seco (B)	g		
Peso de Recipiente (C)	g		
Peso del Agua (A-B)	g		
Peso del Suelo Seco (B-C)	g		
Contenido Humedad $[W=(A-B)/(B-C)*100]$	g		
N° De Golpes			

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES DE CONSISTENCIA		ÍNDICE PLÁSTICO
	LÍQUIDO	PLÁSTICO	
	15.0	NP	



INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	CQC - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Noemí C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

	<b>INFORME</b>	<b>Código</b>	<b>AE-FO-72</b>
	<b>DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS ASTM D3744-18</b>	<b>Versión</b>	<b>01</b>
		<b>Fecha</b>	<b>20-05-2023</b>
		<b>Página</b>	<b>1 de 1</b>

**Proyecto** : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima **Registro N°:** IGC19-LEM-139-10  
**Solicitante** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio **Muestreado por** : Solicitante  
**Atención** : Paitapoma Ramon Carlos Antonio **Ensayado por** : B. Melgar  
**Ubicación de Proyecto** : Lima **Fecha de Ensayo**: 30/6/2023  
**Material** : Agregado Fino **Turno**: Diurno

**Código de Muestra** : ---  
**Procedencia** : Ferreteria Progresol - Av. Naranjal  
**N° de Muestra** : ---  
**Progresiva** : ---


TAMAÑOS DE MALLAS			Agitación Muestra	Contenido de	Muestra Lata
PASA	RETENIDO	PESO (g)	(10 minutos)	Agua Destilada (ml)	(ml)
N° 4	fondo	500	10'	1000.0	85

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	Promedio
N° DE ENSAYO			
Hora de entrada a saturación	07:55	08:30	
Hora de salida de saturación (mas 10')	08:05	08:40	
Hora de entrada a decantación	08:11	08:46	
Hora de salida de decantación (mas 20')	08:31	09:06	
Altura máxima de la arcilla (pulg.0.1")	8.40	8.40	
Altura máxima de la arena (pulg.0.1")	5.50	5.50	
Índice de Durabilidad (Df = H.arena/H.arcilla*100)	65.5	65.5	65.5

  
**INGEOCONTROL**  
 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD

INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	CQC - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Noemí C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavín 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingeocontrol.com / informes@ingeocontrol.com

	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-118
	<b>ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA INALTERABILIDAD POR MEDIO DEL SULFATO DE MAGNESIO ASTM C88/C88M - 18</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1

Proyecto	Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima	Registro N°	IGC19-LEM-139-11
Solicitante	Paitipoma Ramon Carlos Antonio	Muestreado por	Solicitante
Atención	Paitipoma Ramon Carlos Antonio	Ensayado por	B. Melgar
Ubicación de Proyecto	Lima	Fecha de Ensayo	30/6/2023
Material	Agregado Fino	Turno	Diurno
Código de Muestra	---		
Procedencia	Ferreteria Progresol - Av. Naranjal		
N° de Muestra	---		
Progresiva	---		

I. EXAMEN CUANTITATIVO: AGREGADO FINO

TAMICES		% RETENIDO	PESO INICIAL g	PESO FINAL g	DIFERENCIA	%PERD.	% PERD. CORREGIDO
PASA	RETIENE						
N°30	N°50	20.00	100	82.6	17.4	17.4	3.48
N°16	N°30	28.73	100	84.9	15.1	15.1	4.34
N°8	N°16	22.69	100	79.2	20.8	20.8	4.68
N°4	N°8	10.92	100	75.3	24.7	24.7	2.70
<b>% PÉRDIDA</b>							<b>15</b>

NOTA : Para el desarrollo del ensayo se utilizó reactivo de SULFATO DE MAGNESIO.



INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	COC - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Neemi C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavín 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingeocontrol.com / informes@ingeocontrol.com

	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-82
	<b>DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS MTC E209-2000</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1

Proyecto	: Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima	Registro N°:	IGC18-LEM-139-15
Solicitante	: Paitapoma Ramon Carlos Antonio	Muestreado por :	B. Melgar
Atención	: Paitapoma Ramon Carlos Antonio	Ensayado por :	J. Gutiérrez
Ubicación de Proyecto	: Lima	Fecha de Ensayo:	30/6/2023
Material	: Agregado Fino	Turno:	Diurno
Código de Muestra	: ---		
Procedencia	: Ferreteria Progresol - Av. Naranjal		
N° de Muestra	: ---		
Progresiva	: ---		

Identificación muestra	01	02	03
a.- Peso muestra en solución + vaso pirex, g	104.32	127.66	112.51
b.- Peso vaso pirex, g	20.18	38.59	20.11
c.- Peso muestra en solución, g	84.14	89.07	92.40
d.- Peso de la muestra evaporada + vaso pirex, g	20.290	38.710	20.220
e.- Peso de la muestra evaporada, g	0.110	0.120	0.110
Sales Solubles, %	0.1307	0.1347	0.1190
Promedio %		0.128	


$$\text{Sales Solubles, \%} = \left( \frac{(d-b)}{(a-b)} \right) \times 100$$

  
**INGEOCONTROL**  
 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD

INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	CQC - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Noemí G. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavin 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingeocontrol.com / informes@ingeocontrol.com



	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-116
	<b>ENSAYO DE TARRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS FRIABLES ASTM C142/C142M-17</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1

Proyecto	Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima	Registro N°	IGC19-LEM-139-13
Solicitante	Paitapoma Ramon Carlos Antonio	Muestreado por :	B. Melgar
Atención	Paitapoma Ramon Carlos Antonio	Ensayado por :	J. Gutierrez
Ubicación de Proyecto	Lima	Fecha de Ensayo:	30/6/2023
Material	Agregado Fino	Turno:	Diurno
Código de Muestra	---		
Procedencia	Ferretería Progresol - Av. Naranjal		
N° de Muestra	---		
Progresiva	---		

TAMICES	M* (g)	R (g)	P (%)	Porcentaje Retenido **	% Perdida Corregida
No. 8	100	99.5	0.50	10.92	0.1
No. 16	100	99.6	0.40	22.49	0.1
PROMEDIO PONDERADO	0.1%				

\* PESO NO MENOR DE 25 g

\*\* DATOS DE LA GRANULOMETRIA DEL FINO

PRESENTAR LOS RESULTADOS CON APROXIMACIÓN AL 0,1% DE LA MASA.

FORMULA :

$$P = \left[ \frac{(M - R)}{M} \right] \times 100$$

$$\% \text{ de pérdida corregida} = \frac{\% P \times \% \text{ retenido}}{100}$$

DONDE:

P : Porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla


M : Masa de la muestra de ensayo retenidas en el tamiz No. 16

R : Masa de las partículas retenidas sobre el tamiz designado, o sea el No. 20

INGEOCONTROL  
INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD

INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	CQC - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Noemí C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavín 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
www.ingeocontrol.com / informes@ingeocontrol.com


	<b>INFORME</b>	Código	AE-FO-53
	<b>MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ N° 200 ASTM C117-17</b>	Versión	01
		Fecha	20-05-2023
		Página	1 de 1
<b>Proyecto</b> : Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima	<b>Registro N°:</b> IGC18-LEM-139-14	<b>Muestreado por :</b> B. Melgar	<b>Ensayado por :</b> J. Gutiérrez
<b>Solicitante</b> : Paitapoma Ramon Carlos Antonio	<b>Ubicación de Proyecto</b> : Lima	<b>Fecha de Ensayo:</b> 30/6/2023	<b>Turno:</b> Diurno
<b>Material</b> : Agregado Fino	<b>Código de Muestra</b> : ---	<b>Procedencia</b> : Ferreteria Progresol - Av. Naranjal	<b>N° de Muestra</b> : ---
<b>Progresiva</b> : ---			

PESO INICIAL SECO g	1233.1
PESO LAVADO SECO g	1193.6
% FINOS < TAMIZ N° 200	3.2%

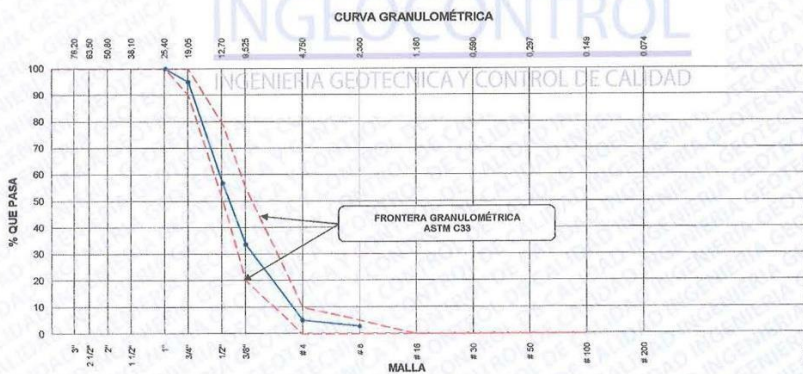





INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	CQC - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Noemí C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony D. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavin 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingeocontrol.com / informes@ingeocontrol.com

	INFORME		Código	AE-FO-150
	<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS ASTM C136</b>		Versión	01
			Fecha	20-05-2023
			Página	1 de 1
Proyecto	: Alteraciones del focalizador dióxido de titanio en las características mecánicas en las mezclas asfálticas tanto en frío como caliente en la Av. Javier Prado Lima		Registro N°:	IGC19-LEM-139-16
Solicitante	: Paitapoma Ramon Carlos Antonio		Muestreado por :	Solicitante
Atención	: Paitapoma Ramon Carlos Antonio		Ensayado por :	B. Melgar
Ubicación de Proyecto	: Lima		Fecha de Ensayo:	30/6/2023
Material	: Agregado Grueso - Piedra chancada huso #67		Turno:	Diurno
Código de Muestra	: ---			
Procedencia	: Ferretería Progresol - Av. Naranjal			
N° de Muestra	: ---			
Progresiva	: ---			

AGREGADO GRUESO ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 67							
Malla	Peso Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"	
4"	100.00 mm				100.00	100.00	
3 1/2"	90.00 mm				100.00	100.00	
3"	75.00 mm				100.00	100.00	
2 1/2"	63.00 mm				100.00	100.00	
2"	50.00 mm				100.00	100.00	
1 1/2"	37.50 mm				100.00	100.00	
1"	25.00 mm			100.00	100.00	100.00	
3/4"	19.00 mm	288.0	4.98	4.98	95.02	90.00	100.00
1/2"	12.50 mm	2058.8	38.22	43.20	56.80	50.00	79.00
3/8"	9.50 mm	1245.8	23.13	66.33	33.67	20.00	55.00
# 4	4.75 mm	1542.0	28.63	94.96	5.04	0.00	10.00
# 8	2.36 mm	126.3	2.34	97.30	2.70	0.00	5.00
# 16	1.18 mm				0.00	0.00	
# 30	600 µm				0.00	0.00	
# 50	300 µm				0.00	0.00	
# 100	150 µm				0.00	0.00	
Fondo	-	145.3	2.70	100.00	0.00	-	-
					MF	7.07	
					TMN	1/2"	



INGEOCONTROL SAC		
TECNICO LEM	JEFE LEM	COG - LEM
Nombre y firma: 	Nombre y firma:  <b>Noemi C. Sánchez Huamán</b> INGENIERA CIVIL - CIP N°: 196029 INGENIERIA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.	Nombre y firma:  <b>Jony C. Gutiérrez Abanto</b> GERENTE DE PROYECTOS Y ESTUDIOS INGENIERIA GEOTÉCNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.

Mz. B Lote 11 Urb. Ampliación Los Portales de Chavín 4ta etapa - San Martín de Porres - Lima  
 Telf.: (01) 6853852 Cel.: 924 513 299  
 www.ingocontrol.com / informes@ingocontrol.com

**INFORME DE ENSAYO**  
**SL-IE-17062019-01**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

Cliente : CARLOS ANTONIO PAITAMPOMA RAMON  
DNI : 74983298

**2. FECHAS**

Inicio : 20 de Mayo de 2023  
Finalización : 30 de Junio de 2023  
Emisión de informe : 30 de Junio de 2023  
Observaciones : —

**3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**

Temperatura : 19.4°C  
Humedad Relativa : 48 %

**4. ENSAYO SOLICITADO Y METODO UTILIZADO**

Ensayo solicitado : Espectrofotometría UV  
Norma utilizada : Método Espectrofotométrico

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



**NOELYA MORÁN CORREA**  
QUÍMICA  
CQP. 1281

**5. RESULTADOS**

Tiempo de Exposición	Frio Inicio (L; a; b)	Frio 1% (L; a; b)	Frio 2% (L; a; b)	Frio 3% (L; a; b)
0 horas	(18.12; 2.98; -2.58)	(6.38; 4.35; -0.51)	(17.44; 1.82; -0.81)	(17.28; 3.45; -2.42)
4 horas	(14.23; 2.33; 0.20)	(12.23; 2.14; 0.01)	(15.84; 0.92; 0.32)	(21.33; 2.68; -1.89)
26 horas	(11.14; 1.48; 2.07)	(11.10; 1.44; 0.52)	(11.44; 0.71; 1.02)	(17.45; 1.60; 1.31)

Tiempo de Exposición	Caliente Inicio (L; a; b)	Caliente 1% (L; a; b)	Caliente 2% (L; a; b)	Caliente 3% (L; a; b)
0 horas	(14.75; 4.67; -1.25)	(16.52; 3.20; -1.77)	(15.86; 5.32; -1.72)	(8.81; 4.68; -0.59)
4 horas	(10.53; 3.39; -0.29)	(12.35; 2.30; 0.19)	(14.97; 3.29; 1.21)	(9.91; 2.92; -0.49)
26 horas	(9.48; 2.15; 0.34)	(11.71; 1.53; 1.15)	(11.98; 0.74; 2.56)	(8.16; 1.76; 1.40)

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
**NOELY MORÁN CORREA**  
 QUÍMICA  
 CQP. 1281

Foodchem

Certificate of Analysis

Product Name: Titanium Dioxide

Batch No.: 2601809047

Quantity: 20000KG

Production Date: SEPTEMBER.08.2018

Expiry Date: SEPTEMBER.07.2020

Items	Standards	Results
Characteristics	A white or almost white powder	Conforms
Identification	D. Pale yellowish color at heating E. Oranger-red color with H2O2 F. Violet-blue color with Zinc	Conforms
Loss on drying	≤ 0.5%	Conforms
Loss on ignition	≤ 1.0%	0.25
Water soluble substance	≤ 0.5%	0.28
Acid soluble substance	≤ 0.5%	0.33
Lead PPM	≤ 10	Conforms
Arsenic PPM	≤ 2	Conforms
Antimony PPM	≤ 1	Conforms
Mercury PPM	≤ 1	Conforms
Zinc PPM	≤ 50	Conforms
Cadmium PPM	≤ 1	Conforms
Al2O3 and/or SiO2	≤ 2.0%	Conforms
Assay	≥ 99.0%	99.08%

Conclusion: The Goods Conform to the standards of E171

Packaging: 25 KG/BAGS

Storage: Kept in dry, cool, and shaded place with original packaging, avoid moisture, store at room temperature.

Our ingredients, your success!

中国上海市浦东新区张江高科技园区祖冲之路2277号世和商务中心9号楼  
Building 9, 2277 Zuchongzhi Road, Zhangjiang Hi-Tech Park, Shanghai, 201203, China  
Tel: 0086 21 31257000 Fax: 0086 21 38768440 Http://www.foodchem.cn E-mail: info@foodchem.cn





# PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA - QUIMICA  
RUC N° 20602182721

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LT - 027 - 2023

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 5

1. Expediente	800-2023
2. Solicitante	INGEOCONTROL S.A.C.
3. Dirección	MZA. B LOTE. 11 URB. AMPLIACIÓN LOS PORTALES DE CHAVIN 4TA ETAPA LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES
4. Equipo	HORNO
Alcance Máximo	300 °C
Marca	PERUTEST
Modelo	PT-H
Número de Serie	0105
Procedencia	PERÚ
Identificación	NO INDICA
Ubicación	NO INDICA

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	30 °C a 300 °C	30 °C a 300 °C
División de escala / Resolución	0.1 °C	0.1 °C
Tipo	CONTROLADOR ELECTRONICO	TERMOMETRO DIGITAL

5. Fecha de Calibración 2019-02-13

Fecha de Emisión Jefe del Laboratorio de Metrología

2019-02-15

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES



Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima  
Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque  
Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224  
E-mail: ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe



# PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA - QUIMICA

RUC N° 20602182721

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN PT - LT - 027 - 2023

Página 2 de 5

### 6. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT 90), se consideró como referencia el Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con aire como Medio Termostático PC-018; 2da edición; Junio 2009, del SNM-INDECOPI.

### 7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.  
MZA. B LOTE. 11 URB. AMPLIACIÓN LOS PORTALES DE CHAVIN 4TA. ETAPA LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	22.5	22.5
Humedad Relativa	63 %	63 %

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o informe de calibración
SAT - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-Q14	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL DE 10 CANALES TERMOPARES TIPO T - DIGISENSE	LT-1145-2018

### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- (\*) Código indicado en una etiqueta adherido al equipo.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.



Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima  
Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque  
Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224  
E-mail: ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe





# PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA - QUIMICA

RUC N° 20602182721

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PT - LT - 027 - 2023

Área de Metrología

Laboratorio de Temperatura

Página 3 de 5

### 11. Resultados de Medición

Temperatura ambiental promedio 21 °C

Tiempo de calentamiento y estabilización del equipo 2 horas

El controlador se seteo en 110

#### PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T prom (°C)	Tmax-Tmin (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110.0	106.9	107.1	111.0	115.1	112.4	104.2	109.0	112.4	112.4	109.7	110.0	10.9
02	110.0	107.3	107.1	109.7	115.7	113.0	104.0	108.6	113.0	113.0	109.7	110.1	11.7
04	110.0	107.0	106.9	111.3	115.4	112.6	104.2	108.6	112.6	112.6	109.6	110.1	11.2
06	110.0	107.4	107.0	110.5	115.3	112.6	104.0	108.6	112.4	112.6	109.7	110.0	11.3
08	110.0	106.9	107.3	111.0	115.1	112.4	104.0	109.0	113.0	112.4	109.7	110.1	11.1
10	110.0	107.3	107.0	109.7	115.7	113.0	104.1	108.6	112.6	113.0	109.6	110.1	11.6
12	110.0	107.0	107.1	111.0	115.4	112.6	104.0	108.6	112.6	112.6	109.7	110.1	11.4
14	110.0	107.4	106.9	109.7	115.3	112.6	104.1	109.0	113.0	112.6	109.7	110.0	11.2
16	110.0	106.9	107.0	111.3	115.1	112.4	104.2	108.6	112.6	112.4	109.6	110.0	10.9
18	110.0	107.3	107.1	110.5	115.7	113.0	104.0	109.0	113.0	113.0	109.7	110.2	11.7
20	110.0	107.0	107.1	111.3	115.4	112.6	104.2	108.6	112.6	112.6	109.7	110.1	11.2
22	110.0	107.4	107.1	110.5	115.1	112.6	104.0	108.6	112.6	112.6	109.6	110.0	11.1
24	110.0	106.9	106.9	111.0	115.7	112.6	104.2	108.6	113.0	112.6	109.7	110.1	11.5
26	110.0	107.3	107.0	109.7	115.4	112.4	104.0	108.6	112.4	112.4	109.7	109.9	11.4
28	110.0	106.9	106.9	111.3	115.3	113.0	104.2	108.6	113.0	113.0	109.6	110.2	11.1
30	110.0	107.3	107.0	110.5	115.4	112.4	104.0	109.0	112.4	112.4	109.7	110.0	11.4
32	110.0	107.0	107.1	111.0	115.3	113.0	104.0	108.6	113.0	113.0	109.7	110.2	11.3
34	110.0	107.4	107.0	109.7	115.1	112.6	104.0	109.0	112.6	112.6	109.6	110.0	11.1
36	110.0	107.4	107.1	111.3	115.7	112.6	104.2	108.6	112.6	112.6	109.7	110.2	11.5
38	110.0	106.9	107.1	110.5	115.1	113.0	104.0	108.6	113.0	113.0	109.7	110.1	11.1
40	110.0	107.3	106.9	111.0	115.7	112.6	104.0	109.0	112.6	112.6	109.6	110.1	11.7
42	110.0	107.0	107.0	109.7	115.4	112.4	104.2	108.6	112.6	112.4	109.7	109.9	11.2
44	110.0	107.4	107.0	111.0	115.3	113.0	104.0	108.6	112.4	113.0	109.7	110.1	11.3
46	110.0	106.9	107.1	109.7	115.1	112.6	104.2	108.6	113.0	112.6	109.6	109.9	10.9
48	110.0	107.3	107.1	111.3	115.7	112.6	104.1	109.0	112.6	112.6	109.7	110.2	11.6
50	110.0	106.9	106.9	110.5	115.4	112.4	104.2	108.6	113.0	112.4	109.7	110.0	11.2
52	110.0	107.0	107.0	111.3	115.3	113.0	104.0	108.6	112.6	113.0	109.6	110.1	11.3
54	110.0	107.4	107.1	111.0	115.1	112.6	104.0	108.6	113.0	112.6	109.6	110.1	11.1
56	110.0	106.9	107.1	109.7	115.7	112.6	104.0	108.6	112.6	112.6	109.7	109.9	11.7
58	110.0	107.3	106.9	111.3	115.4	113.0	104.2	109.0	112.6	113.0	109.7	110.2	11.2
60	110.0	106.9	107.0	110.5	115.3	112.6	104.0	108.6	113.0	112.6	109.6	110.0	11.2
T.PROM	110.0	107.1	107.0	110.6	115.4	112.7	104.1	108.7	112.7	112.7	109.7	110.1	
T.MAX	110.0	107.4	107.1	111.3	115.7	113.0	104.2	109.0	113.0	113.0	109.7		
T.MIN	110.0	106.9	106.9	109.7	115.1	112.4	104.0	108.6	112.4	112.4	109.6		
DTT	0.0	0.5	0.2	1.6	0.6	0.6	0.2	0.4	0.6	0.6	0.1		



Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima

Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque

Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224

E-mail: ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe



# PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO  
SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA - QUIMICA  
RUC N° 20602182721

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PT - LT - 027 - 2023

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 8 de 8

PARÁMETRO	VALOR [ °C ]	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA [ °C ]
Máxima Temperatura Medida	115.7	10.3
Mínima Temperatura Medida	104.0	0.0
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1.6	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	11.3	10.4
Estabilidad Medida ( ± )	0.8	0.04
Uniformidad Medida	11.7	10.4

- T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.  
T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.  
T.MAX : Temperatura máxima.  
T.MIN : Temperatura mínima.  
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo : 0.06 °C

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

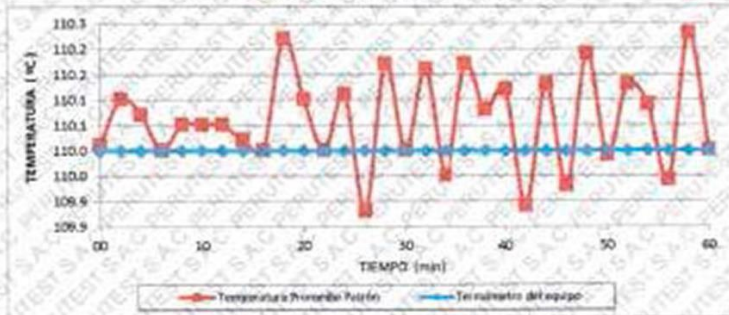
La Estabilidad es considerada igual a  $\pm 1/2$  DTT.

Durante la calibración y bajo las condiciones en que ésta ha sido hecha, el medio isotermo SI CUMPLE con los límites especificados de temperatura.

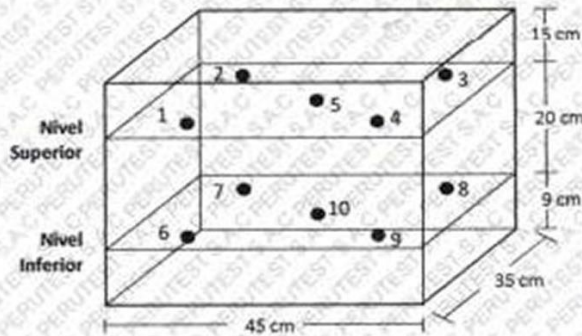


Principal: Calle Yahuar Huaca Nro. 215 - Urb. San Agustín II Etapa - Comas - Lima  
Sucursal: Calle Sinchi Roca Nro. 1320 - La Victoria - Chiclayo - Lambayeque  
Teléfono: 913028621 - 913028623 - 913028624 Oficina: (511) 502 - 2226 / (511) 502 - 2224  
E-mail : ventas@perutest.com.pe Web: www.perutest.com.pe

### DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO TEMPERATURA DE TRABAJO: 110 °C ± 10 °C



### DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 9 cm de las paredes laterales y a 9 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

#### 12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del documento