

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TESIS

“Influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2023”

Presentado por:

Bach. CRUZ HUAMAN JAIME YOHAN

Bach. ZAGA HINOJOSA NEYER IVAN

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

**Abancay – Apurímac – Perú
2024**

Tesis

“Influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2023”

Línea de Investigación:

Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible

Asesor:

MSc. Ing. Ángel Maldonado Mendivil



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“INFLUENCIA DEL DIÓXIDO DE TITANIO AL 3%, 5%, 7% CON RESPECTO A
LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FOTOCATALÍTICAS DE LA MEZCLA
ASFÁLTICA EN CALIENTE CON AGREGADOS DE ABANCAY – APURÍMAC,
2023”**

Presentado por los Bach: **JAIME YOHAN CRUZ HUAMAN** y **NEYER IVAN ZAGA HINOJOSA**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Sustentado y aprobado el 28 de febrero del 2024, ante el jurado:

Presidente : Dr. Ing. Erick Alarcón Camacho

Primer miembro : Ing. Holguer Cayo Baca

Segundo miembro : Ing. Rubén Gamarra Mota

Asesor : MSc. Ing. Ángel Maldonado Mendívil

Influencia del dióxido de titanio al 3%, 5%, 7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay-Apurímac 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	9 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3 %
3	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1 %
6	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %

DEDICATORIA

A mi madre Verónica Huaman que desde el cielo me guía y me cuida, a mi padre Jaime Cruz por ser mi guía mi soporte en todo momento, a mis hermanos Cristian, Yacidi por su apoyo brindado para poder superarme.

Jaime Yohan.

Lo dedico principalmente a mi madre Leyda Hinojosa, a mi padre Juan Saavedra, por su dedicación y apoyo incondicional en todo momento, a mi hermana Fiorella, abuelos Rosa y Alipio, y familiares, quienes me impulsaron a salir adelante en busca de mis objetivos más anhelados.

Neyer Iván.

AGRADECIMIENTO

Primero a Dios que es el creador por brindarme salud, fuerza y motivación para salir adelante en los momentos más difíciles. A la universidad por brindarme docentes con alto nivel académico para mi formación de alta competitividad. Hago mención en especial al MSc. Ing. Ángel Maldonado Mendivil por su apoyo y guía en la elaboración de esta tesis.

Jaime Yohan.

A mi asesor MSc. Ing. Ángel Maldonado Mendivil por su orientación y apoyo en el desarrollo de esta investigación y a todas aquellas personas y amigos que motivaron a seguir adelante

Neyer Ivan.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
POSPORTADA	ii
PÁGINA DEL JURADO.....	iii
PORCENTAJE DE SIMILITUD.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN	xxi
CAPÍTULO I.....	1
PLAN DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Identificación y Formulación de Problemas	6
1.2.1. Problema general.....	6
1.2.2. Problemas específicos	6

1.3. Justificación.....	7
1.4. Objetivos	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivos específicos	9
1.5 Delimitación de la Investigación	9
1.5.1 Espacial	9
1.5.2 Temporal.....	10
1.5.3 Social	10
1.5.4 Conceptual.....	10
1.6 Viabilidad de la Investigación	10
1.7 Limitaciones de la investigación	11
CAPÍTULO II.....	12
MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Antecedentes de Investigación.....	12
2.1.1 A nivel internacional	12
2.1.2 A nivel nacional.....	15
2.1.3 A nivel regional y local.....	20
2.2 Bases Teóricas	20
2.2.1. Diseño de pavimento asfáltico.....	20
2.2.2. Dióxido de titanio.....	27

2.2.3. Fotocatálisis	28
2.2.3 Rodamina B	33
2.2.4 Norma Unificación Italiana Nacional.....	34
2.3 Marco Conceptual	36
CAPÍTULO III	40
METODOLOGÍA	40
3.1 Hipótesis	40
3.1.1 Hipótesis general	41
3.1.2 Hipótesis específicas	41
3.2 Método	41
3.3 Tipo de investigación.....	42
3.4 Nivel de investigación.....	42
3.5 Diseño de investigación.....	42
3.6 Operacionalización de variables.....	43
3.7 Población y muestra.....	46
3.7.1. Población	46
3.7.2. Muestra	46
3.8 Técnicas e instrumentos.....	48
3.8.1 Técnica	48
3.8.2. Instrumento	48

3.9 Consideraciones éticas	49
3.10 Procedimiento estadístico	49
CAPÍTULO IV.....	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1. Resultados	50
4.1.1. Resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo Marshall	50
4.1.2. Resistencia a la tracción indirecta de las mezclas asfálticas mediante el ensayo de resistencia a compresión diametral.....	78
4.1.3. Resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica mediante el ensayo de cántabro	81
4.1.4. Grado de autolimpieza de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de rodamina B.....	84
4.1.5. Degradación del CO ₂ de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de autolimpieza con rayos U.V.....	102
4.2. Discusión de resultados	112
4.2.1. Discusión de resultados	112
4.3. Prueba de hipótesis.....	116
4.3.1. Contrastación de hipótesis	116
CONCLUSIONES.....	141
RECOMENDACIONES	145

BIBLIOGRAFÍA	148
ANEXOS.....	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variable independiente	44
Tabla 2	Operacionalización de variable dependiente	45
Tabla 3	Cantidad de muestras para el ensayo Marshall – MTC E 504	47
Tabla 4	Cantidad de muestras para el ensayo de tracción indirecta – NLT 346/90 ..	47
Tabla 5	Cantidad de muestras para el ensayo de cántabro – MTC E 515.....	47
Tabla 6	Cantidad de muestras para el ensayo de rodamina B – UNI 11259	47
Tabla 7	Cantidad de muestras para el ensayo de autolimpieza con rayos UV – UNI 11259.....	48
Tabla 8	Especificaciones técnicas de cemento asfáltico PEN 60/70.	50
Tabla 9	Parámetros para el agregado grueso	51
Tabla 10	Gradación del agregado grueso TM 3/4”	52
Tabla 11	Aceptación de la caracterización del agregado grueso.....	53
Tabla 12	Parámetros para el agregado fino	54
Tabla 13	Gradación del agregado fino	54
Tabla 14	Aceptación de la caracterización del agregado fino.....	56
Tabla 15	Dosificación en porcentajes de los agregados según diseño de Huso MAC – 1.....	56
Tabla 16	Combinación óptima de agregados según MAC – 1	57
Tabla 17	Ficha técnica del dióxido de titanio	59
Tabla 18	Resultado de diseño Marshall de MAC -1.....	60
Tabla 19	Parámetros óptimos y resultados de diseño Marshall.....	64
Tabla 20	Resultados de diseño Marshall con 3.0 % de dióxido de titanio.....	69
Tabla 21	Resultados de diseño Marshall con 5.0 % de dióxido de titanio.....	71

Tabla 22	Resultados de diseño Marshall con 7.0 % de dióxido de titanio.....	73
Tabla 23	Resumen de resultados.....	78
Tabla 24	Resultados del ensayo de resistencia a compresión diametral.....	79
Tabla 25	Resultados del ensayo de cántabro.....	82
Tabla 26	Características físico – químicas y microbiológicas.....	85
Tabla 27	Fotodegradación de la rodamina B + 0% TiO ₂	95
Tabla 28	Fotodegradación de la rodamina B + 3% TiO ₂	95
Tabla 29	Fotodegradación de la rodamina B + 5% TiO ₂	96
Tabla 30	Fotodegradación de la rodamina B + 7% TiO ₂	96
Tabla 31	Fotodegradación de la rodamina B + 0% TiO ₂	98
Tabla 32	Fotodegradación de la rodamina B + 3% TiO ₂	98
Tabla 33	Fotodegradación de la rodamina B + 5% TiO ₂	99
Tabla 34	Fotodegradación de la rodamina B + 7% TiO ₂	99
Tabla 35	Resumen de resultados.....	101
Tabla 36	Medición colorimétrica de los especímenes a 0 horas y 24 horas	110
Tabla 37	Resultados de estabilidad de TiO ₂	117
Tabla 38	Valores estadísticos	118
Tabla 39	Análisis de varianza de la estabilidad con TiO ₂	118
Tabla 40	Diferencias de medias de estabilidad con TiO ₂	119
Tabla 41	Resultados de flujo de TiO ₂	120
Tabla 42	Valores estadísticos	120
Tabla 43	Análisis de varianza de flujo con TiO ₂	121
Tabla 44	Diferencias de medias de estabilidad con TiO ₂	121
Tabla 45	Resultados de tracción indirecta de TiO ₂	124

Tabla 46	Valores estadísticos	124
Tabla 47	Análisis de varianza de TSR con TiO ₂	125
Tabla 48	Diferencias de medias de TSR con TiO ₂	125
Tabla 49	Resultados de perdida por desgaste de TiO ₂	127
Tabla 50	Resultados de perdida por desgaste de TiO ₂	128
Tabla 51	Análisis de varianza de la perdida por desgaste con TiO ₂	128
Tabla 52	Diferencias de medias de TSR con TiO ₂	129
Tabla 53	Resumen de resultados de ensayo de rodamina B	131
Tabla 54	Valores estadísticos	132
Tabla 55	Análisis de varianza del ensayo de rodamina B con TiO ₂	132
Tabla 56	Diferencias de medias de rodamina B con TiO ₂	133
Tabla 57	Resumen de resultados de autolimpieza con rayos UV	136
Tabla 58	Valores estadísticos	137
Tabla 59	Análisis de varianza del ensayo de autolimpieza con rayos UV con TiO ₂	138
Tabla 60	Diferencias de medias de autolimpieza con rayos U.V. con TiO ₂	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Superficie expuesta en contacto con gotas de agua	30
Figura 2	El ángulo de contacto en función del tiempo de radiación UV	30
Figura 3	Sistema de color CIE L*a*b (3D)	35
Figura 4	Gradación del agregado grueso	53
Figura 5	Gradación del agregado fino	55
Figura 6	Gradación de los agregados en combinación.....	58
Figura 7	Datos de peso unitario frente al %C.A.....	61
Figura 8	Datos de vacíos frente al %C.A.....	61
Figura 9	Datos de V.M.A. frente al %C.A.	62
Figura 10	Datos de V. F. A. frente al %C.A.	62
Figura 11	Datos de flujo frente al %C.A.	63
Figura 12	Datos de estabilidad frente al %C.A.	63
Figura 13	Datos de índice de rigidez frente al %C.A.	64
Figura 14	Adicionando TiO ₂ al diseño optimo.....	66
Figura 15	Baño maría a 60 °C - Espécimen en Marshall.....	70
Figura 16	Rotura espécimen en Marshall.....	72
Figura 17	Rotura espécimen en Marshall.....	74
Figura 18	Variación de estabilidad frente al % de dióxido de titanio	75
Figura 19	Variación de flujo frente al % de dióxido de titanio	76
Figura 20	Variación de índice de rigidez frente al % de dióxido de titanio	77
Figura 21	Ensayos de tracción indirecta.....	80
Figura 22	Variación de la resistencia a la tracción indirecta	80
Figura 23	Variación de la resistencia a la tracción indirecta	81

Figura 24	Ensayo de desgaste.....	83
Figura 25	Perdida por desgaste según ensayo cántabro	83
Figura 26	Perdida por desgaste según ensayo cántabro	84
Figura 27	Rodamina B	86
Figura 28	Colocación de la rodamina B dentro de la probeta	87
Figura 29	Colocación de solución rodamina B a los especímenes	87
Figura 30	Rayos UV en los especímenes dentro de 26 horas	88
Figura 31	Ensayo de degradación de la rodamina B a las 0 horas	89
Figura 32	Ensayo de degradación de la rodamina B a las 4 horas	90
Figura 33	Ensayo de degradación de la rodamina B a las 26 horas	91
Figura 34	Software ImageJ	92
Figura 35	Extracción de coordenadas RGB	93
Figura 36	Conversión de coordenadas RGB a L*a*b	94
Figura 37	Rodamina B factor degradación con TiO ₂	97
Figura 38	Rodamina B factor degradación con TiO ₂	100
Figura 39	Degradación de rodamina B contra el tiempo de exposición a rayos UV	101
Figura 40	Especímenes antes de realizar el ensayo de autolimpieza	103
Figura 41	Especímenes en contacto con la contaminación CO ₂	104
Figura 42	Aceleración de contaminación con CO ₂	104
Figura 43	Autolimpieza de los especímenes	105
Figura 44	Degradación de partículas volátiles contaminantes antes de la exposición CO ₂	106
Figura 45	Degradación a las 0 horas de especímenes.....	107
Figura 46	Degradación a las 24 horas de especímenes.....	108

Figura 47	Fotografías introducidas al software Image J	109
Figura 48	Extracción del valor de intensidad ponderada	110
Figura 49	Medición de la intensidad según los % de TiO ₂ a 0 horas	111
Figura 50	Medición de la intensidad según los % de TiO ₂ a 24 horas	111

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
DIGESA	: Dirección General de Salud Ambiental
EG	: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
UNI	: Unificación Italiana Nacional
NLT	: Norma del Laboratorio del Transporte
MINSA	: Ministerio de Salud
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
CIP	: Colegio de Ingenieros del Perú
TiO ₂	: Dióxido de Titanio
CO ₂	: Dióxido de Carbono
NO _x	: Dióxido de Nitrógeno
PEN 60/70	: Rango de Penetración del Producto

RESUMEN

La presente tesis se desarrolló con el fin de mejorar las propiedades mecánicas, así como las propiedades fotocatalíticas adicionando dióxido de titanio en la mezcla asfáltica en caliente, tiene un enfoque cuantitativo donde surge un problema de pocas tecnologías para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica donde aumenten su vida útil, así como ayuden a reducir la contaminación. El objetivo es determinar la influencia del dióxido de titanio en las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente adicionada con respecto al agregado fino que será inducido por vía seca a través de pruebas de laboratorio, su método es deductivo así también su tipo es descriptiva, correlacional, tiene diseño experimental, su muestra está compuesta por 72 especímenes de asfalto adicionados y asfaltos sin adición. Los resultados obtenidos adicionando dióxido de titanio a la mezcla asfáltica en proporciones de 3%, 5%, 7% respectivamente influyen parcialmente en las propiedades mecánicas, para la estabilidad con adición presenta un incremento en la resistencia a la deformación de 3.24%, para la tracción indirecta TSR es de 1.58 Mpa y para el desgaste por fatiga se presenta un decremento en 7.68% en función de la adición de 3%. Para las propiedades fotocatalíticas donde adquieren una mejor degradación al adicionar dióxido de titanio según la norma de Unificación Italiana Nacional UNI 11259 en R4 > 20% y R26 > 50%, para 3%, 5%, 7% de TiO₂ es de 24.01%, 26.56%, 36.51% respectivamente, así como para R26 es de 55.53%, 56.52%, 56.60% y la autolimpieza adquiere 14.74%, 15.28%, 21.30%.

Palabras claves: Mezcla asfáltica, dióxido de titanio, propiedad mecánica, propiedad fotocatalítica.

ABSTRACT

The present thesis was developed in order to improve the mechanical behaviors, as well as the photocatalytic property by adding titanium dioxide in hot asphalt mixture, has a quantitative approach where a problem of few technologies arises. to improve the mechanical property of asphalt mixture where they increase their useful life, as well as help reduce pollution. The objective is to determine the influence of titanium dioxide on the mechanical and photocatalytic properties of the hot asphalt mixture added with respect to the fine aggregate that will be induced by dry means through laboratory tests, its method is deductive and its type is also descriptive, correlational, has an experimental design, its sample is composed of 72 specimens of added asphalt and asphalt without addition. The results obtained by adding titanium dioxide to the asphalt mixture in proportions of 3%, 5%, 7% respectively partially influence the mechanical properties, the percentage where the best results were obtained was 3% addition where it presents an increase in the resistance to deformation of 3.24%, for indirect traction TSR is 1.58 Mpa and for fatigue wear there is a decrease of 7.68% depending on the addition of 3%. For the photocatalytic properties where they acquire a better degradation when adding titanium dioxide according to Unification Italian National UNI 11259 in R4 > 20% and R26 > 50%, for 3%, 5%, 7% of TiO₂ it is 24.01%, 26.56%, 36.51% respectively, as well as for R26 it is 55.53%, 56.52%, 56.60 and the cleaning acquire 14.74%, 15.28%, 21.30%.

Keywords: Asphalt mixture, titanium dioxide, mechanical behavior, photocatalytic property.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial en el Perú padece de nuevas metodologías para mejorar sus carpetas asfálticas, sus propiedades mecánicas se ven claramente deficientes en las vías nacionales, departamentales. La implementación de nuevas innovaciones que prioricen sus propiedades mecánicas y a su vez ayude a la descontaminación del medio ambiente como la propiedad fotocatalítica, tenemos que estar adaptándonos al cambio climático. Innovar nuevas carpetas asfálticas adaptadas para descontaminar y mejorar su vida útil.

Se plantea la investigación según los criterios del ensayo Marshall para diseño de mezclas asfálticas en caliente, donde adicionamos el dióxido de titanio a la mezcla asfáltica común por lo cual son complementadas mediante los ensayos de tracción indirecta, ensayo de cántabro, ensayo de rodamina B y ensayo de autolimpieza los dos últimos bajo criterios de la norma internacional Unificación Italiana Nacional estandarizada UNI 11259.

El estudio se basa en 4 capítulos, donde el capítulo I busca representar información concisa, así como detallada de la realidad problemática, objetivos y sus limitaciones. Como capítulo II busca contextualizar los antecedentes de estudio, así como definir sus bases teóricas y ampliar su marco conceptual. Como capítulo III tenemos en cuenta la hipótesis, método, tipo, nivel, diseño, operacionalización de variables, muestra y procesamiento estadístico como puntos más importantes. El capítulo IV nos muestra los resultados obtenidos, así como la prueba de hipótesis para así poder concluir y recomendar en futuros estudios.

CAPÍTULO I

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad problemática

(Almazán, 2015). Europa mediante sus vehículos de transporte representa el mayor agente responsable de contaminación mediante la emanación de dióxido de carbono (CO₂). Así mismo en todo el territorio español el 72 % de vehículos, fábricas y agentes que producen huellas de carbono son los responsables de emitir gases con efecto invernadero durante los ciclos de vida de una vía o carretera, significando que en vías donde existe alto tráfico vehicular con periodos nomas de 30 años, estos gases contaminantes representan del 1 al 2 % del deterior de la capa de ozono en España. Estos países no usan nuevas técnicas eco amigables en renovación de asfaltos probablemente por motivos bélicos, corrupción, problemas políticos y económicos no habiendo estrategias para reducir las emisiones del transporte por lo menos en un 60 % proyectados para el 2050, aumentando así la tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en un 10 %.

(Renego, 2022) A nivel internacional en España se encuentra deficiencias en sus vías de acceso que generan los ahuellamientos, hundimientos, fisuras

longitudinales, transversales y gravas dispersas en los pavimentos flexibles, las cuales son fallas de roturas habituales haciendo que en el país de España no salga bien favorecido en el área de mantenimiento de infraestructura vial. En investigaciones recientes la Asociación Española de Carreteras (AEC) atribuye el estado de las vías asfaltadas como sumamente intransitables, así mismo se menciona que las fallas estructurales del pavimento son las razones principales del 94 % de los accidentes automovilísticos. De acuerdo a la información proporcionada por esta institución una de cada 13 kilómetros de las arterias viales españolas presentan fallas estructurales significativas en más del 50 % del recubrimiento de la carpeta asfáltica donde se podrá visualizar roderas, grietas transversales así como longitudinales, tratándose de deterioros que afectan la parte estructural de la carpeta asfáltica afectando el confort, la operatividad y la seguridad del flujo vehicular por lo que se recomienda disminuir la velocidad de 40 a 20 km/h como medida preventiva.

(Reportarte, 2011). Actualmente en los Estados Unidos los materiales que se usan en el sector constructivo tales como el concreto, acero y aluminio son artífices directos de abundantes emisiones de dióxido de carbono (CO_2), debido a su elevada nivel de energía integrada teniendo como ejemplo 9.7 millones de toneladas de CO_2 siendo productos provenientes de 76 millones en toneladas de concreto, debido a que estas se elaboran con grandes maquinas industriales en plantas chancadoras que emanan gases contaminantes según (Fernandez J. , 2016). La comunidad americana es la industria más consumista de energía y generadora de desechos, cuya estimación es el 60% de los insumos extraídos del continente como mencionan (Calle, 2012),

particularmente las carpetas asfálticas son las responsables de producir efectos ambientales irreversibles y desprendimientos alrededor de $213 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$.

(Romanelli, 2021) A nivel de Latinoamérica de acuerdo a los censos realizados en el año 2018 por la Confederación Nacional de Transportes (CNT). El panorama actual de rutas nacionales en más del 50% de estas rutas brasileñas presentan deformaciones permanentes, así como algún tipo de fallas estructurales tales como: trincas, fisuras, exudación, las cuales son concavidades en la capa superficial de la carpeta asfáltica por un mal diseño, así como deficiente compactación, temperatura inadecuada menor a $135 \text{ }^\circ\text{C}$ en la hora de imprimación. El equipo técnico de CNT evalúa continuamente las vías asfaltadas siendo un total de 107.130 km. Donde el panorama es más trágico ya que el 13% de las vías contienen carpeta asfáltica donde su mayoría está en manos de gobiernos locales con pésima gestión.

(Rojas V. , 2020) En la actualidad el territorio peruano es el séptimo país con mayor población de América latina con índices de crecimiento demográfico del 1.7 % como indica el INEI, más de 1 millón de personas viven en la capital del Perú siendo una de las ciudades con mayor densidad poblacional, sus vías de acceso la mayoría son de carpeta asfáltica que debido al tráfico generado por vehículos se genera altos índices de contaminación y fallas en la carpeta asfáltica. Adicionalmente otro de los agentes peligrosos que son producidos por los vehículos en mal estado es el dióxido de nitrógeno (NO_2). Según lo indicado por el Ministerio de Salud (MINSA) se identificó que, en el mes de enero del 2018 los 2 factores determinantes de muerte son las enfermedades pulmonares y la neumonía, dichas patologías están relacionadas con

la calidad de aire ya que estas partículas son tan pequeñas menores a 2.5 micrómetros elevando el índice de mortalidad hasta un 5%.

(Lopez, 2018) En la actualidad el departamento de Arequipa dispone de una de las estaciones fijas de la Gerencia Regional de Salud donde el área encargado de salud en la Av. los Incas en la cual del 2017 al 2018 reporto valores de concentración de PM_{2,5} en la que presenta diversos elementos entre los cuales se encuentran óxidos de nitrógeno , las cuales son producidas por un aumento de la industria automotriz las cuales emanan humos tóxicos significativamente altos, la Organización Mundial de Salud (OMS) establece 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por periodos de 24 horas ,donde dicho valor no debe excederse en más de 7 veces al año, reportándose en la ciudad expresiones mayores a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y la mala organización en sistemas de tránsito integral así como el uso de vehículos con motores en mal estado hacen que al menos 1500 ciudadanos padezcan de afecciones cardiovasculares y respiratorias como consecuencias de la contaminación del aire.

(DIGESA, 2022) Según los informes de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), en la provincia de Abancay se registró una concentración de PM_{2.5} de 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero del 2021, en diciembre de 2022 se reportó una concentración de 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, incluso cuando las personas permanecieron en sus hogares se registraron informes que superaban los límites recomendados lo que provocó un aumento mucho mayor en tasas de mortalidad por problemas en las vías respiratorias en un 10 % según el Ministerio de salud (MINSA). El problema de la calidad del aire en Abancay se debe principalmente a las fuentes fugitivas asociadas a la vía principal que está pavimentada con asfalto flexible, construcciones,

demoliciones así como el incremento de fluencia que genera el tráfico como vehículos ligeros, pesados que transitan diariamente por la vía departamental PE-3S. Agregándose como fuente de contaminación la industria del parque automotor como talleres, llanterías debido a que las llantas al ser quemadas emiten gases nocivos como el dióxido de carbono desprendido por los vehículos.

La provincia de Abancay presenta deficiencias en la infraestructura vial desde el punto de la resistencia a la deformación, en ese caso se presenta el estado situacional de los pavimentos flexibles que se ubican en las vías de acceso, avenidas y calles, donde presentan ciertas fallas como deformaciones permanentes (roderas o ahuellamientos), fallas por fatiga (piel de cocodrilo) y desprendimientos (agregado – asfalto), conjuntamente las lluvias originan en las vías el fenómeno llamado como cocodrilo afectando así directamente a la vida útil del pavimento y afectando la circulación vehicular.

La carretera departamental PE-3S desde la Av. Panamericana KM 0+00 hasta KM 1+00 donde se intersecta con Av. Villasol presenta deficiencias en su carpeta asfáltica desde deformaciones permanentes, fallas por fatiga y desprendimientos. La contaminación que presenta según (DIGESA) contiene alto índice de agentes malos sumado a esto el dióxido de carbono que emanan los vehículos con alta frecuencia son datos a tomar en cuenta. Por lo tanto, se modifica la mezcla asfáltica común para mejorar dos parámetros importantes; la parte mecánica y la fotocatalisis, sin embargo, la mezcla asfáltica modificada adquiere un costo alto en comparación a la mezcla asfáltica común, en un largo plazo presenta un equilibrio por los costos de mantenimiento y a su vez ayuda a la transformación de agentes peligrosos.

1.2. Identificación y Formulación de Problemas

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac, 2023?

1.2.2. Problemas específicos

a. ¿Cuál es la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall?

b. ¿Cuál es la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral?

c. ¿Cuál es la influencia del dióxido de titanio al 3%, 5%, 7% con respecto a la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro?

d. ¿Cuál es la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto al grado de auto limpieza de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de rodamina B?

e. ¿Cuál es la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la degradación del CO₂ de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de autolimpieza con rayos U.V?

1.3. Justificación

En el aspecto metodológico es crear nuevas técnicas con ensayos de decoloración con rodamina B mediante el análisis de fotodegradación para ver la capacidad autolimpiable de las mezclas asfálticas en diferentes concentraciones de dióxido de titanio (TiO_2) y los datos analizados es mediante diseños experimentales, además de ello es buscar conceptos futuristas con fines medioambientales como son los pavimentos ecológicos y la variación de sus variables dependientes para lo cual se plantea esta tesis para un antecedente en usar este tipo de pavimentos fotocatalíticos donde se espera su aplicación en obras públicas.

Desde el punto de vista práctico la investigación ayuda a mejorar sus propiedades mecánicas en las carpetas asfálticas en caliente con la incorporación del dióxido de titanio en diferentes porcentajes que está demostrado por esta investigación donde se plantea su aplicación en los diversos proyectos a futuro.

En el aspecto teórico se difunde mejores metodologías, la adición del TiO_2 en la carpeta asfáltica común del pavimento flexible será una modificación a la mezcla asfáltica común donde no hay antecedentes de estudio en el departamento de Apurímac. Se genera perspectivas más amplias en investigaciones la información obtenida es útil para debatir, desarrollar o respaldar la teoría de mezclas asfálticas autolimpiantes modificadas en los campos de ingeniería civil y ambiental.

La tecnología es justificable donde se mide la degradación de TiO_2 en la carpeta asfáltica, la adición de TiO_2 es para mejorar su propiedad mecánica y fotocatalítica. Esto contribuye a innovar una tecnología adecuada, así como relevante para mejorar la infraestructura vial donde dar prioridad el medio ambiente es fundamental.

Desde una perspectiva económica, es justificable midiendo el costo asociado para dicha demanda contribuye a tomar una problemática la cual es generada por el mismo ser humano. Para lo cual al analizar un costo – beneficio en el inicio del proyecto es caro, pero a mediano y largo plazo es viable.

En el ámbito socio-ambiental, es justificable debido a que las mezclas asfálticas en caliente con la adición de dióxido de titanio evitaban una disgregación temprana, así como los baches y ahuellamiento, los costos por mantenimiento son menores esto favorece a los vehículos, así como la sociedad. Además de ello esta investigación tiene una gran importancia donde nos brinda la oportunidad de abordar la problemática actual relacionada con la contaminación ambiental causada por la industria automotriz. De esta manera, estamos respondiendo a las demandas sociales como ambientales establecidas, así como de mejorar las tecnologías en mezclas asfálticas en caliente donde se impulsa a dar soluciones que benefician tanto a la sociedad como al medio ambiente.

En ese sentido hay escasa literatura que aborde usar el TiO_2 como adición en el asfalto en caliente, tampoco hay estudios sobre las mezclas asfálticas como degradadoras.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac, 2023.

1.4.2 Objetivos específicos

a. Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall.

b. Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral.

c. Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro.

d. Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto al grado de auto limpieza de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de rodamina B.

e. Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la degradación del CO₂ de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de autolimpieza con rayos U.V.

1.5 Delimitación de la Investigación

1.5.1 Espacial

El proyecto de investigación se efectuó en la ciudad de Abancay, específicamente es con agregados de Abancay.

1.5.2 Temporal

La tesis se llevó a cabo desde el mes de noviembre del año 2023 hasta enero del año 2024.

1.5.3 Social

La tesis no posee una delimitación social, debido a que el estudio se realizó a la mezcla asfáltica en caliente, mas no a personas.

1.5.4 Conceptual

Los conceptos vertidos en este trabajo de investigación son: propiedades mecánicas y propiedades fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente.

1.6 Viabilidad de la Investigación

La viabilidad se mide desde la pre investigación por lo cual existe antecedentes para investigar las mezclas asfálticas en caliente, así como mezclas asfálticas común bajo los criterios de la metodología Marshall.

El tiempo que genero realizar los estudios de laboratorio comprendió entre 1 a 2 meses donde se determinó las propiedades mecánicas, así como propiedades fotocatalíticas donde se necesita la mayor concentración de CO₂, esto se genera a partir del tráfico y los rayos U.V. en su máximo esplendor.

La investigación es viable económicamente porque los ensayos son a través de laboratorio donde se elaboró especímenes de asfalto bajo los criterios de la metodología Marshall.

1.7 Limitaciones de la investigación

Asesoramiento de un especialista en el tema con enfoque en geotécnica estrictamente en mezclas asfálticas en caliente.

El departamento de Apurímac no cuenta con laboratorios que netamente estén especializados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se tiene que acudir a Cusco para poder realizar algunos ensayos desde los requerimientos que especifica la norma y poder ensayar los especímenes elaborados en la ciudad de Abancay para determinar los parámetros Marshall.

La poca referencia de estudios con adición de TiO_2 en mezclas asfálticas en caliente, si bien existe información relevante con TiO_2 , pero es en función a estudios anteriores relacionados con concreto mas no con asfalto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Investigación

2.1.1 A nivel internacional

(Moreno&Calvo, 2014) El propósito esencial de estos ensayos fue examinar el funcionamiento físico mecánico mediante ensayos de laboratorio a la hora de adicionar como material el caucho y la bota militar. La metodología empleada por fases experimentales donde se requirió 102 especímenes con pesos aproximados de 1200 gramos, para cada porción de los especímenes se trabajaron con adiciones de cementos asfálticos cuyas proporciones fluctúan entre 4.5 %,5 %,5.5 %, 6 % y donde se concluyó que el flujo aumenta conforme se añade más caucho probablemente por las propiedades que presenta este polímero como material elástico de forma gradual se incrementó el flujo del compuesto en un 8.5 % con la incorporación del 1 %,2 %,4 % y 8 % del material al cual se está modificando. Los especímenes convencionales con las modificadas al 1%, 2% muestran cifras muy dispersas razón por lo que se debe a que el porcentaje del material es tan pequeño por lo que se incorporó un tipi de

elastómeros sin embargo, si la estabilidad del compuesto se va dando de manera constante respecto al incremento, entonces se puede inferir que hay una resistencia a la deformación en forma elevada con respecto a la aplicación en forma de cargas , si la estabilidad es muy variable entonces el compuesto muestra una resistencia limitada con repeticiones en sus cargas constantes produciéndose los llamados ahuellamientos.

(Haddadi, 2019) Manifiesta que su propósito principal estudiar las propiedades de la combinación de asfaltos influenciadas a altas temperaturas sometidos a modificaciones del 2%,4 %,6% y 8% del nanosílice. La metodología empleada fue mediante diseños metodológicos aplicados, nivel de investigación descriptivo y tipo de estudio cuantitativo. Se concluye que en las pruebas Marshall, RM y ITS al adicionar nanosílice en proporciones del 4% este aumenta según a los ensayos de resistencia a la tracción indirecta en un 30%, el módulo de resiliencia en un 29% y un ligero incremento en requisito Marshall frente con los especímenes patrón. Los resultados que se dieron con la prueba de tracción indirecta (TSR) fueron que con la modificación del nanosílice se redujo la TSR, las muestras que fueron saturadas el 5% del nanosílice como aglutinante base disminuye según su estabilidad en medios saturadas en un 20%. Los datos obtenidos nos muestran que la incorporación del nanosílice al ligante asfáltico tiene efectos adversos en las resistencias de las mezclas asfálticas modificadas en contraste a los resultados de los ensayos de la tracción indirecta.

(Najar, 2021) Manifiesta que su propósito fue comparar dos medios, el primero en el cual se mide la presencia de oxidantes NO_x , pertenecientes a una avenida en la no se tomó en cuenta los agentes que producen fotocatalisis, después se dio en un

pasaje la cual tuvo propiedades ambientales y físicas parecidas a la primera avenida en la cual si se colocaron materiales que producen fotocatalisis, donde se colocaron morteros sobre estructuras verticales circundantes a las calles. Este estudio en Europa impulso a desarrollar materiales que producen el efecto fotocatalisis todas ellas aplicadas a estructuras urbanas con el fin de reducir los niveles de contaminación atmosférica ocasionado por los gases NO_x , CO_2 , los cuales existen edificios en forma de "Street canyon", donde forman una especie de un cañón donde conlleva un mayor patrón de aglutinamiento por una mayor altura y por ende hace que los gases no escapen directamente.

(Castaño, 2017) El propósito de esta investigación es analizar el desempeño y la respuesta de un mortero con propiedades catalíticas ante las partículas contaminantes presentes en el aire. El estudio se estructuró en dos etapas, empleando un enfoque experimental en la primera fase, se fabricaron ocho cilindros de concreto, cuatro convencionales y cuatro enriquecidos con TiO_2 con el propósito de evaluar si este aditivo mejora la resistencia al esfuerzo. Así como en la segunda parte, se produjo el mortero catalítico. Los resultados mostraron que el concreto catalítico experimentó una disminución considerable en su resistencia (32%) en comparación al concreto convencional. Esto sugiere que el uso de TiO_2 debe ser implementado de manera diferente. Además, se observó que el concreto catalítico alcanzó su resistencia máxima después de 14 días, mientras que el concreto común alcanzo a los siete días. Se analizaron las gráficas obtenidas donde se pudo observar que la reducción de los componentes NO y NO_x fue más significativa durante las horas cercanas al mediodía (de 9 am a 12 pm) donde hay una mayor exposición solar.

2.1.2 A nivel nacional

(Cañari, 2019) Manifiesta en su tesis que su objetivo fue evaluar cómo influye la adición de fibras de polipropileno en la propiedad mecánica de la mezcla asfáltica en caliente adicionada mediante el proceso por vía seca, la población de estudio fueron las mezclas asfálticas producidas en caliente con Pen 60/70, el muestreo se dio por conveniencia con un total de 80 unidades de testigos de mezcla asfáltica en caliente común y adicionada con fibras de polipropileno, el tipo de investigación fue correlacional – explicativa, el método de investigación fue deductivo con orientación aplicada, enfoque cuantitativo, con método de recolección retrolectivo y el diseño de estudio fue experimental los resultados obtenidos fueron un C.A. de 5.5 %. La estabilidad sin adición es de 1251 kg y de la mezcla modificada con adición de 0.2 % de fibra de polipropileno es de 1750.3 kg, el flujo fue de 3.41 mm y la adicionada con adición de 0.2 % de fibra de polipropileno es de 3.37 mm. La TSR de la mezcla asfáltica común fue de 0.90 Mpa, así como la adicionada con 0.2 % de fibra de polipropileno fue de 1.28 Mpa, finalmente se concluye que al adicionar 0.2 % de fibras con polipropileno se adquiere un mejor funcionamiento mecánico en comparación con otras proporciones.

(Rivera, 2022). Manifiesta que su objetivo fue determinar las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfaltado modificado con dióxido de titanio, la muestra en mención es de 24 especímenes para ensayos de estabilidad, flujo y rodamin B. El tipo de investigación es aplicada con diseño experimental y su enfoque cuantitativo. Los datos alcanzados de C.A. es del 5.8% donde concluye lo siguiente: La estabilidad y flujo en un 2% de TiO_2 mejora las propiedades mecánicas, pero las demás adiciones

con 4%,8 % de TiO_2 aumentaron su estabilidad en 1529.4 kg,1528.3 kg respectivamente superando a la muestra patrón con una resistencia de 1207 kg, sin embargo a partir del 8 % su resistencia desciende aun así cumple con lo especificado, las propiedades fotocatalíticas con 0% de TiO_2 nos muestran un R4 - R26 de 3.37 % - 6.47 % respectivamente, en un 8 % de TiO_2 presenta un R4 de 11.76 % y para R26 una degradación de 28.49 %. Concluye que con ninguna adición de TiO_2 logro cumplir con lo especificado en la norma UNI 11259 donde establece que R4 debe ser mayor a 20 % y R26 mayor a 50 % para considerarse como material fotocatalítico.

(Carazas, 2020) Manifiesta que su objetivo es determinar el comportamiento mecánico y fotocatalítico del mortero aplicando relación A/C 0.85 modificando con TiO_2 en proporciones de 3 %,5 % y 7 %, su muestra fue por conveniencia con un total de 95 briquetas en 4 muestras; 35 briquetas para resistencia a la compresión, 21 briquetas para absorción, 21 briquetas para autolimpieza y 19 briquetas para degradación de dióxido de nitrógeno. Su enfoque fue cuantitativo, nivel descriptivo con implicancias en relación, método hipotético - deductivo y diseño pre experimental. Datos obtenidos se concluye que para los ensayos mecánicos hubo un aumento a la resistencia a la compresión adicionando un 7% de TiO_2 , en cuanto a la autolimpieza alcanzada degradada de la rodamina B del mortero modificado con TiO_2 para valores R4 y R26 cumple con lo estipulado, donde se alcanzó mayores datos para R26 con 72.78%, 85,36% y 90.63% con porcentajes de 3 % 5 % y 7 % versus el patrón con resultados del 15.28%, según la degradación del NO_2 obtenida, los valores de R4 y R26 cumplen con la norma UNI11259, donde existe incrementos para el factor R26 con 23.12 % , 27.93 % y 36.81 %.

(Coral, 2022). Manifiesta que su objetivo fue determinar el comportamiento fotocatalítico y mecánico del pavimento rígido agregando dióxido de titanio, el muestreo fue por conveniencia teniendo un total de 160 especímenes, su nivel de investigación es explicativo, su tipo de investigación es aplicada y su diseño es experimental. Concluye que la adición del TiO_2 en el concreto hidráulico influye parcialmente en el esfuerzo a compresión aumentado se su valor frente a las muestras de concreto sin TiO_2 en un 24.38% ,25.78% y 81.64% en adiciones de adición de 3%, 6% y 9%. La modificación con TiO_2 influyo parcialmente aumentado su módulo de rotura en 23.27%, 31.54% y 48.55% para los porcentajes de 3%, 6% y 9% respectivamente. Para los factores de degradación influye con 6% - 9 % en R4 - R24 los valores son mayores a 25 y 50% respectivamente.

(Chávez, 2020) Manifiesta en su estudio que su objetivo es analizar el comportamiento autolimpiable y mecánica del mortero tipo I adicionado con dióxido de titanio, su muestra es por conveniencia donde se realizó 22 probetas rectangulares con volúmenes prismáticos con dimensiones de 5 cm por cada lado para llevar a cabo pruebas de fluidez, su método fue con enfoque cuantitativo. Durante la prueba de fluidez, se pudo observar que la inclusión de distintas proporciones de TiO_2 impacta la fluidez del mortero, así como en un 5% de TiO_2 se ubicó rangos de consistencia media, para lo cual sugiere que una mezcla con esta proporción sería más manejable. No obstante, la adición del fotocatalizador generó una disminución en la resistencia del mortero. Las adiciones en el mortero en un 5%, 7% donde resultaron ensayos a compresión de 118.38 kg/cm – 105.36 kg/cm respectivamente a los 28 días de curado se determinaron que las resistencias disminuían. En términos de actividad

fotocatalítica los porcentajes de adición del 5%, 7.5% y 10% no se consideraron rangos adecuados, siendo el 10% el que mostró el mejor índice de actividad del 84.19%, junto con una mayor capacidad autolimpiante.

(Vasquez, 2016) Manifiesta que su objetivo fue verificar los efectos del fotocatalizador como capacidad autolimpiante y la resistencia a la compresión de un hormigón con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se utilizaron 144 probetas cilíndricas para ensayos de compresión y 48 probetas prismáticas rectangulares para ensayos de coloración todas fabricadas con concreto que contiene dióxido de titanio, la información fue recolectada mediante un enfoque cuantitativo. Los resultados revelaron que el único tratamiento que no mostró propiedades fotocatalíticas ni autolimpiantes fue aquel que carecía de TiO_2 . Este tratamiento no cumplió con los valores mínimos requeridos en las pruebas de rodamina R4 y R26. En contraste, el resto de los tratamientos sí demostraron ser fotocatalíticos y autolimpiables donde se pudo concluir que el tratamiento más adecuado se encuentra en el intervalo del 3% al 6% de TiO_2 .

(Villavicencio, 2018) Manifiesta que su objetivo fue determinar los efectos de la mezcla bituminosa con adición de Noxer con fines de reducir los gases contaminantes en la calle los álamos, su nivel de estudio fue correlacional con enfoque cualitativo. Los datos, así como conclusiones de la investigación revelaron que la utilización de la mezcla bituminosa Noxer tiene un impacto significativo en la disminución de la huella de carbono y mejora de la calidad del aire. Tras realizar el análisis, se estableció que al emplear la mezcla bituminosa Noxer en la totalidad de las radiaciones de CO_2 redujo en un 70% alrededor de 11,592 543.50 kg donde se logró eliminar un total de 8,114,780.45 kg de emisiones. Estos hallazgos evidencian que el Noxer, como aditivo

utilizado en la calle los álamos en el distrito de Pachacútec, Callao en el año 2018, desempeña un papel positivo al reducir y mitigar la calidad del aire mejorando la calidad presente en la atmosfera.

(Adauto, 2022) Manifiesta en su estudio la cual tuvo como objetivo optimizar el comportamiento mecánico del bitumen conocido donde adicióno ceniza de caña de maíz, se logró metodologías probables para dar soluciones a deficiencias de disgregaciones prematuras o desplazamientos tempranos. Sus características alcanzadas del material, ceniza y bitumen donde se logró un diseño patrón y con modificaciones de caña de maíz en 0.19%, 0.5%, 1.5%, 2.5%, 3.5% y 4.5%, bajo la metodología Marshall donde evalúan su propiedad mediante prácticas de desempeño y caracterización. Los ensayos son de estabilidad, flujo, resistencia a la tracción indirecta, así como de formación permanente ensayos según establecidos en norma con condiciones de temperatura adecuadas. Su metodología es correlacional, su método deductivo y con enfoque cuantitativo. Los resultados demostraron incrementos en la propiedad mecánica del bitumen adicionada hasta un 1.5% de ceniza, la ceniza de caña de maíz si es puzolánico. En tanto la modificación de 0.5% de ceniza incrementa la tracción indirecta en 6.1% frente a la mezcla asfáltica patrón, se presentó decrementos levemente en la capacidad de deformación y por último la gradación presenta finos.

(Soncco, 2021) Manifiesta que su objetivo principal fue analizar los comportamientos fotocatalíticos con agentes externos de dióxido de titanio para disminuir los agentes contaminantes en el aire, los morteros por cemento, su muestreo fue por conveniencia donde se elaboraron probetas de sección (25 cm x 30 cm x 4 cm)

dando un total de 95 muestras para todos los ensayos. Su metodología empleada es de analítico con enfoque cuantitativo y alcance correlacional. Los resultados muestran que las adiciones con TiO_2 adquiere una mayor degradación de agentes contaminantes, así como la rodamina B en cuanto se agregue más porcentaje de TiO_2 , sus propiedades mecánicas, así como las propiedades físicas; absorción y permeable, la evidencia disminuye TiO_2 sin embargo los especímenes adquieren baja plasticidad a partir del 7% de TiO_2 . Se concluye que con el 5% de TiO_2 existe resultados óptimos donde no afecta sus propiedades mecánicas y físicas, donde la degradación no está de acorde a los parámetros.

2.1.3 A nivel regional y local

Todavía no se hicieron investigaciones sobre la manera que influye el dióxido de titanio con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas en mezclas asfálticas en caliente.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Diseño de pavimento asfáltico

Diseñar una mezcla con asfalto involucra la proporción y categorización de los insumos con el fin de alcanzar las características ambicionadas de dicho producto. El cemento asfáltico está diseñado desde fabrica para ser resistente a la formación de fatiga, agrietamiento, disminución de la temperatura, ahuellamiento y otros daños más serios con relación a los pavimentos flexibles, las grietas suelen formarse a temperaturas bajas e intermedias y lo que es la deformación permanente suelen formarse a temperaturas relativamente altas. Estos tipos de fallas disminuyen su vida útil de las carpetas asfálticas además de elevar los costos de restauración.

El cemento asfáltico tiende a unir las partículas del agregado donde adhiere para una mejor estabilidad y adquiere una resistencia a la deformación, así como el cizallamiento incita al tensionamiento. (Granados, 2017, pág. 15)

El rendimiento de las mezclas asfálticas está ligada a los agregados pétreos, al cemento asfáltico y a sus propiedades volumétricas. Últimamente se ha registrado un aumento en la utilización de aditivos para mezclas asfálticas todo ello con fines de mejorar sus características mecánicas. Las carpetas asfálticas se denotan como capas superpuestas de asfaltos construidas sobre una base granular, sin embargo, la estructura del pavimento se defleca por las cargas que producen los vehículos en ese caso el pavimento flexible se fragmenta en 3 capas subbase, base (superficie de la carretera) y la carpeta asfáltica. (Granados, 2017, pág. 15)

La rigidez del cemento asfáltico debe ser elevada para tener la capacidad de resistir a las deformaciones permanentes. No obstante, las mezclas asfálticas deberían presentar suficiente tensión en la parte inferior de la carpeta asfáltica con el propósito de ser resistentes a los agrietamientos por fatiga después de ser sometidos a cargas vivas. El propósito principal de diseñar mezclas asfálticas para pavimentación es evaluar la gradación adecuada y obtener una mezcla económica donde el porcentaje óptimo de asfalto se hará con fines de saber cuál es el ligante necesario para tener una carpeta asfáltica duradera, suficiente, con % de vacíos, suficiente estabilidad, suficiente trabajabilidad permitiendo una eficaz colocación de la mezcla sin presentar segregación. (Granados, 2017, pág. 16)

Debido a un aumento de necesidad de vías asfaltadas con diseños comunes las cuales son susceptibles a reducir su comportamiento mecánico debido a que la

vías asfaltadas tienden a fallar en su estructura, donde el cemento asfáltico es uno de los insumos principales de la mezcla asfáltica, lo cual tiene rangos limitados en sus propiedades reológicas así como la durabilidad lo que conlleva a fallar en el pavimento, según antecedentes se busca modificaciones en el cemento asfáltico (Granados, 2017, pág. 17)

2.2.1.1. Características de la mezcla asfáltica

Según el (Instituto del Asfalto, 1992) las mezclas asfálticas son elaboradas en laboratorio, para después ser analizadas con el fin de evaluar su comportamiento de la mezcla bituminosa, teniendo como características fundamentales son los vacíos, rice y el cemento asfáltico apto.

2.2.1.2. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas

(Instituto del Asfalto, 1992) Establece para un comportamiento adecuado la calidad es fundamental para la mezcla asfáltica, el diseño óptimo es producido y colocado con cuidado donde se pretende lograr sus mejores propiedades en el pavimento; hay muchas propiedades que lograr una adecuada calidad de un pavimento con bitumen en caliente donde la durabilidad, estabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia al deslizamiento y la resistencia a la fatiga.

La meta fundamental del diseño de mezclas asfálticas es de asegurar que la pavimentación adquiere propiedades descritas anteriormente, para lo cual el concepto de cada una de ellas es necesario conocer en términos del comportamiento mecánico.

2.2.1.3. Pavimento flexible de cemento asfáltico en caliente

El pavimento flexible es: “La composición con agregados, material bituminoso y si es el caso aditivo” (Glosario de términos MTC, 2018, p.21)

Su definición de la mezcla asfáltica es: “Mezcla procesada, compuesta por material bituminoso, agregados gruesos, y finos de ser apto se adiciona aditivo para aumentar sus propiedades de comportamiento. Se utiliza como capa de base o de rodadura y es parte de la estructura del pavimento” (Glosario de términos MTC, 2018, p.8)

2.2.1.4. Ensayos utilizados para determinar las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente

2.2.1.4.1. Método de diseño de mezcla asfáltica convencional ensayo Marshall

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones el método nos permite:” Elaborar especímenes de cemento asfáltico de 102 mm de diámetro y 64 mm de altura donde se calcula el diseño óptimo de bitumen, así como calcular sus distintos comportamientos por la prensa Marshall” (MTC E 504, p.583)

De acuerdo a las gradaciones se selecciona el agregado, el bitumen con un porcentaje de cemento asfáltico, los especímenes son elaborados en laboratorio con el diseño básico para colocar en un pavimento final donde los porcentajes al combinar se harán de acuerdo a las propiedades adecuadas.

a) Procedimiento de determinación el comportamiento de la resistencia a la deformación de mezcla asfáltica según el ensayo Marshall.

Este procedimiento se desarrolla según el MTC E 504 para la obtención de los especímenes se prepara y se compacta esto es netamente con el fin de lograr una pavimentación, donde se obtiene el diseño óptimo de cemento asfáltico para después verificar su comportamiento mecánico. Marshall tiene sus parámetros que son evaluados en el transcurso del proceso constructivo las cuales son: Estabilidad, fluidez, etc.; se sigue los siguientes pasos:

Preparación de agregados: El secado del agregado se hace en la estufa a 105°C y 110°C, se seca el agregado y luego se procede a gradar con tamices para obtener los porcentajes retenidos que deben estar dentro de los rangos permisibles que se presentan a continuación:

25mm a 19 mm	(1" a 3/4")
19mm a 12,5 mm	(3/4" a 1/2")
12,5mm a 9,5 mm	(1/2" a 3/8")
9,5mm a 4,75 mm	(3/8" a No.4)
4,75mm a 2,36 mm	(No.4 a No.8)
2,36 mm	(pasante la No.8)

- La temperatura, así como la compactación de la mezcla se sigue con el procedimiento establecido de acuerdo con la MTC E 504 ítem 6.1.2
- Elaboración de la mezcla: La elaboración se efectúa conforme al procedimiento establecido incluyendo tanto el proceso de mezclado como el de compactación según la norma MTC E 504 ítem 6.1.3

- Compactación de las muestras: La compactación del material en los moldes se lleva a cabo mediante el uso del martillo Marshall, un dispositivo de acero utilizado para este propósito, compuesto por una plataforma plana y diametral de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro, dotado de un peso de 4.54 kg (10 Lb) y diseñado para lograr una altura por gravedad de 454.2 mm (18"). Es necesario someter las probetas a una compactación de 75 golpes por cara.
- Prueba de estabilidad y flujo: Características primordiales que se evalúan en la metodología Marshall para diseñar mezclas asfálticas las cuales son la estabilidad donde nos dará como resultado la resistencia máxima a la deformación a una carga de 50 mm/min. En tanto que la característica del flujo se refiere a alcanzar la deformación de la mezcla asfáltica, esto se obtiene a partir de la prueba de estabilidad.

2.2.1.4.2. Ensayo de Resistencia a Compresión Diametral

Implica someter un espécimen circular de mezcla asfáltica en caliente a una deformación por compresión diametral cuyo método de ensayo permite identificar el parámetro para caracterizar la mezcla asfáltica donde contribuye a la optimización del asfalto, donde se evalúa la cohesión y la capacidad de resistencia al esfuerzo cortante. El ensayo es seguro para la calidad de la mezcla asfáltica en caliente fabricada in situ, así como en el proceso constructivo de una vía. Se sigue bajo lo normado NLT 346/90 (Ensayo brasileño).

a) Práctica para determinar el comportamiento de la resistencia a tracción indirecta de mezcla asfáltica mediante el ensayo de Resistencia a Compresión diametral.

La pavimentación de vías es necesario practicar pruebas in situ de tracción indirecta donde debemos practicar según a la norma correspondiente NLT-346/90 – Resistencia a compresión diametral de mezclas bituminosas.

El ensayo se basa en superponer una carga al espécimen circular elaborado bajo la metodología Marshall con 101.6 mm de diámetro y 63.5 mm de altura, la carga donde aplicamos por compresión diametral es generada por dos fuerzas que van perpendicularmente al espécimen. La falla que ocasiona se genera en su plano diametral donde se repite el esfuerzo a tracción bastante uniforme hasta que haya alcanzado su máxima rotura y así obtener la carga máxima aplicada al espécimen.

Para llevar a cabo la prueba, se utiliza el equipo Marshall aplicando una carga con velocidad de deformación del 50.8 mm/min, la maquina debe estar equipada principalmente con el dispositivo Lotman este dispositivo posibilita colocar la probeta con sus 2 generatrices opuestas, en contacto con los mismos especímenes para su respectiva aplicación de cargas.

El cálculo es el mismo para obtener la resistencia a compresión diametral de cualquier espécimen de figura circular, su fórmula es la siguiente:

$$R_t = \frac{2P}{\pi dh}$$

Donde:

Rt = Resistencia a compresión diametral, Mpa.

P = Carga máxima de aplicación, N.

D = Diámetro del espécimen, mm.

H = Altura del espécimen, mm.

2.2.1.4.3. Ensayo de Cántabro

Cántabro un ensayo que mide el valor de la perdida adquirida por fatiga de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de los Ángeles. La aplicación es estrictamente en mezclas porosas o gradaciones abiertas, donde el agregado tiene tamaño máximo de 25 mm, los especímenes se fabrican bajo los criterios de la metodología Marshall, se determina la cohesión, desgaste y la resistencia donde se disgrega la mezcla asfáltica ante las cargas abrasivas que se producen por las cargas puntuales de los ejes equivalentes.

2.2.2. Dióxido de titanio

(Peñafiel&Navarrete, 2019, pág. 31) Es un compuesto químico empleado como semiconductor en los procedimientos de oxidación avanzada, debido a su capacidad de absorber y reaccionar ante la luz ultravioleta de los rayos del sol lo que provoca una autolimpieza en la superficie del material que lo recubre.

(Peñafiel&Navarrete, 2019, pág. 31) El titanio vendría hacer el noveno compuesto más habido constituyendo cerca al 0.63 % de la composición de la corteza terrestre del planeta tierra, William Gregor descubrió este metal en el año 1971. La

producción de titanio se obtiene a través de depósitos primarios y secundarios, los cuales se encuentran en las playas o en sus proximidades en cantidades explotables. El dióxido de titanio es un sólido de tonalidad blanca perteneciente a la familia de los óxidos metálicos en estado de transición. Se puede hallar en 3 configuraciones cristalinas: rutilo (tetragonal), brookita (ortorrómbica), anatasa (tetragonal); (Mendez V. , 2020), descubriéndose que la forma anastasa sería más estable termodinámicamente. No obstante, presenta configuraciones que adquieren relevancia sociable de ellas tenemos el rutilo y anastasa donde este último idóneo para procesos que involucran fotocatalísis.

(Vallejo&Arboleda, 2016, pág.3) En la actualidad el TiO_2 se utiliza en la fabricación de una amplia gama de productos que incluyen desde bloqueadores UV hasta instrumentos electrónicos como las celdas fotovoltaicas, degradadores de contaminantes, purificación de agua o entre otras cosas, esto se debe porque es un material con notabilidad estabilidad química, una mayor frecuencia fotocatalítica, carece de toxicidad y tiene un costo reducido.

2.2.3. Fotocatálisis

La fotocatalísis se describe como una reacción fotoquímica que ocurre en presencia del oxígeno, transformando la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador o sustrato que está elaborado a partir de un material semiconductor cuya función es acelerar la reacción del catalizador, durante esta etapa se generan alteraciones de oxidación y reducción, durante los cuales los agentes contaminados suspendidos en el ambiente son atrapados y transformados en agentes sin alteraciones. (Terreros, 2012, pág. 37)

Mediante la fotosíntesis las plantas utilizan unos poros que se encuentran en sus hojas conocidos como estomas en la cual mediante esos poros absorben el CO_2 , lo mismo ocurre con la fotocatalisis quien también absorbe otros contaminantes del aire como el "NOx (óxido de nitrógeno), SOx (óxido de azufre), lo cual es mencionado en el reporte del Ministerio en Chile.

Para eliminar debe absorber el agente contaminante NO_x, CO₂ en la parte más superficial del material donde se convierte en compuestos inertes, así como nitratos, por la lluvia se genera un arrastre y se presenta el material fotocatalítico. Los semiconductores se producen por la fotocatalisis donde ha adquirido mayor énfasis en estudios para tratar la contaminación del agua, desde el aire se hizo estudios desde el siglo XX para poder hacer sus aplicaciones. (De la Cruz, 2019)

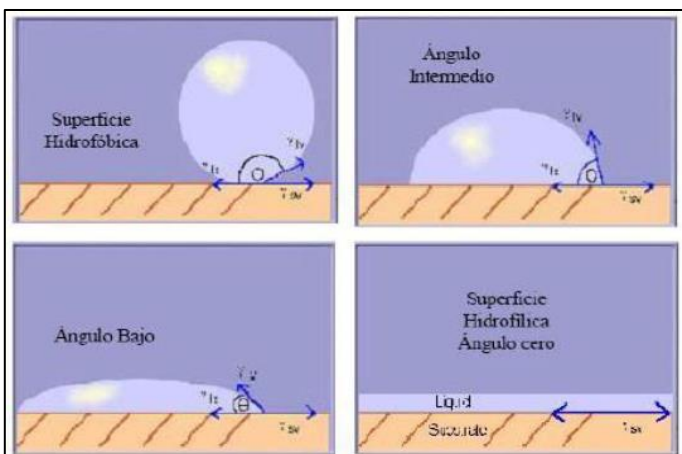
2.2.3.1 Propiedades fotocatalíticas

2.2.3.1.1 Comportamiento hidrofílico

Accidentalmente se descubrió en 1995 que, al adicionar un pequeño porcentaje de dióxido de silicio (SiO_2) en las láminas delgadas de dióxido de titanio (TiO_2), se generaban propiedades superhidrofílicas, donde los pares electrón - hueco son generados normalmente donde su variación es únicamente la reacción, donde se expulsa células de oxígeno, así como aberturas electrónicas donde se ocupan por agua, se produce pares OH que absorben hidrofilia en la superficie. (Lopez A. , 2019, pág. 48)

Figura 1

Superficie expuesta en contacto con gotas de agua



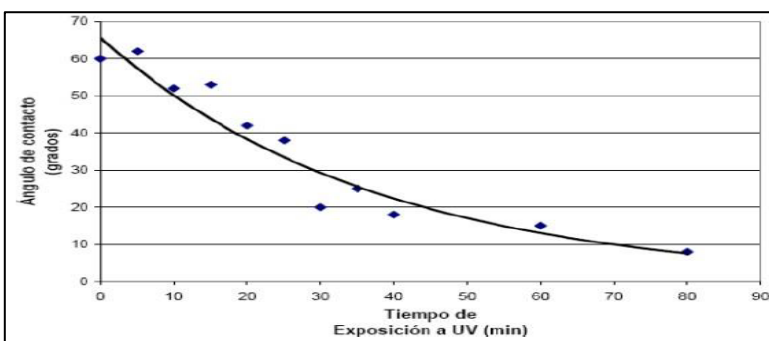
Nota: Hidrofílica

Fuente: (Lopez A. , 2019, pág. 48)

Se forma laminas en las superficies debido a las precipitaciones como gotas. El ángulo de contacto con las precipitaciones a mayor radiación UV presenta medidas de reducción.

Figura 2

El ángulo de contacto en función del tiempo de radiación U.V.



Nota: El ángulo de contacto se aproxima a cero al llegar a una media hora de exposición.

Fuente: (Abella, 2019, pág. 72)

2.2.3.1.2 Efecto autolimpiante

Se expone la superficie a la intemperie donde se genera agentes orgánicos desde la pigmentación debido a los gases que generan los vehículos, los orgánicos contaminantes vienen desde hechos domésticos, así como industriales. Debido a una fotocatalisis se genera una acción para eliminar agentes colorantes que nos permite reducir la suciedad que es generado por agentes solidos e inorgánicos. La adherencia de partículas en la superficie se degrada y después se elimina la mayoría de agentes restantes con las precipitaciones. (Abellan, 2019, pág. 23)

2.2.3.1.3 Efecto descontaminante

Al crear una modificación con TiO_2 de cualquier material los contaminantes en estado gaseoso se adhieren a estas modificaciones. Se genera efectos de oxidación y reducción producto que la fotocatalisis transforma el óxido de nitrógeno en agentes químicos como es el nitrato de calcio que se eliminaran paulatinamente debido a las precipitaciones pluviales. (Abellan, 2019, pág. 23)

2.2.3.2 Componentes necesarios para el proceso de fotocatalisis

2.2.3.2.1 El fotocatalizador

El fotocatalizador es un material semiconductor en el cual conduce por la temperatura y acelera a grandes rasgos los efectos de oxidación que se generan en la superficie. (Lisbona, 2016, pág. 30)

Los fotocatalizadores están formados por semiconductores de amplitud moderada donde al añadir TiO_2 producen pares “hueco – electrón” esto es generado para mineralizar el fuerte oxidante y anular los agentes contaminantes orgánicos, así como inorgánicos.

2.2.3.2 Luz ultravioleta

Los rayos del sol y la luz artificial generan la fotocatalisis, donde la ventaja de utilizarse es como onda UV de amplitud. El semiconductor es generado a partir de trabajo donde es necesario la luz solar para catalizar y acelerar la reacción química de la fotocatalisis. A grandes rasgos acelera la fotorreacción por la luz que es una energía hecha para activar una reacción química. (Lisbona, 2016, pág. 32)

2.2.3.3 Materiales con propiedades fotocatalíticas

Sus propiedades son fundamentales de los materiales para generar fotocatalisis, su uso es más común. Las aplicaciones más comunes en procesos constructivos según (Coral, 2022) son:

- ✓ Mezclas bituminosas drenantes penetrantes con lechadas fotocatalíticas: Se refiere a una capa de rodadura de 4cm de espesor, conformada por unas mezclas asfálticas drenantes.
- ✓ Atomizadores fotocatalíticos enfocados a la pavimentación de calles y veredas: para disminuir su contaminación se trata con fotocatalisis en la superficie.
- ✓ Losas en avenidas: Son losas que descontaminan su material que es de hormigón, donde es parte de la estructura del pavimento.
- ✓ Revestimiento exterior con cerámica.
- ✓ Revestimiento exterior con aglutinante fotocatalítico: Aglutinante modificado para generar la fotocatalisis.
- ✓ Impermeabilizantes para cubrir las láminas asfálticas.

2.2.3 Rodamina B

Son aminos que se derivan del xanteno la cual se emplean como colorante en la industria textil y papelera, marcadores de flujos utilizados en investigaciones sobre contaminación de aguas residuales, su principal aplicación se encuentra en el ámbito de la química analítica como reactivo fluorescímico y colorimétrico. (Peñafiel&Navarrete, 2019, pág. 20)

La rodamina B presenta una serie de características la cual es elegida para el ensayo colorimétrico porque:

- Tiene poca sensibilidad a la luz solar
- Estabilidad fuerte por el medio alcalino
- Sensibilidad colorimétrica mucho mayor
- Ampliamente empleado en procesos fotocatalíticos

2.2.3.1 Medición de la degradación de la rodamina B

La rodamina B es uno de los principales colorantes que sirven para poder evaluar el comportamiento fotocatalítico de los especímenes hechos a base de asfalto u otros materiales como lechadas asfálticas, esto se da cuando estos son irradiados a por luz en forma natural o artificial, por medio de la degradación colorimétrica se comprobara la degradación de diversos contaminantes que pululen en la atmosfera donde se pueden usar también métodos de coloración como espectrofotometría, espectroscopia debido a que son absolutamente estables con iluminaciones de rayos ultravioleta, la rodamina B es usado en la norma UNI 11259. (Soncco, 2021, pág. 46)

2.2.4 Norma Unificación Italiana Nacional

La Unificación Italiana Nacional (UNI) es aquella asociación que está conformada por organizaciones públicas y privadas otorgadas con reconocimiento legal, es miembro de la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y del Comité Europeo de Normalización (CEN). Esta entidad proporciona estándares técnicos en distintos ámbitos industriales, comerciales y terciarios.

La norma UNI 11259 cuyo objetivo es llevar a cabo la monitorización de la fotodegradación del colorante rodamina B sobre las muestras agregadas con TiO₂, las cuales se encuentran expuestas de manera constante a la radiación UV. Este procedimiento posibilita supervisar los cambios colorimétricos a lo largo del tiempo hasta las 26 horas esto es a través de mecanismos que utilizan el sistema CIEL*a*b. (UNI, 2016)

El método detallado en la norma UNI 11259 indica que la muestra debe tener forma prismática o circular y previo a exponerla a la radiación ultravioleta de la lámpara es necesario medir el parámetro a* de forma instantánea t₀ (0h), seguidamente se prenden las lámparas ultravioletas para dar iniciado la radiación, pasada las 4 horas se tomaron los datos de a*(4h) y para finalizar se hace la tercera medida a las 26 horas a*(26 h) con los datos que se obtuvieron se calculan las siguientes ecuaciones:

Degradación de rodamina B a las 4 horas

$$E_1 = R_4 = \frac{a^*(0h) - a^*(4h)}{a^*(0h)} * 100 > 20 \%$$

Degradación de Rodamina B a las 26 horas

$$E_2 = R_{26} = \frac{a^*(0h) - a^*(26h)}{a^*(0h)} * 100 > 50 \%$$

2.2.4.1 Sistema de color CIE L*a*b

El sistema de color CIE L*a*b fue creado con el objetivo de obtener una representación más precisa del color, la cual emplea un modelo cromático desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). El espacio colorimétrico CIELAB se presenta como un sistema de coordenadas cartesianas definidas mediante tres coordenadas colorimétricas adimensionales según: (Soncco, 2021, pág. 48)

Donde las componentes L*a*b corresponden a:

L*: Es la luminosidad o claridad del color (L=0 significa negro y L =100 significa blanco).

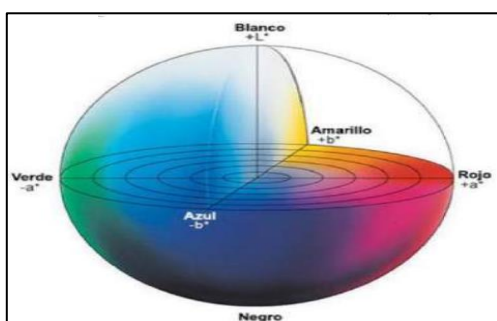
a*: Es la desviación de color donde los valores positivos corresponden al rojo ($a^* > 0$) y los negativos al verde ($a^* < 0$).

b*: Es la desviación de color donde los valores positivos corresponden al amarillo ($b^* > 0$) y los negativos al azul ($b^* < 0$).

Los valores a* y b* solo dos componentes cromáticos cuyos valores van desde -120 a 120.

Figura 3

*Sistema de color CIE L*a*b (3D)*



Nota: Representación de distintas muestras de color.

Fuente: (Soncco, 2021, pág. 48)

Los resultados obtenidos de cálculos de E_1 y E_2 concluirán si la muestra es fotocatalítica o no, si cumplen las siguientes condiciones:

$$R_4 > 20 \%$$

$$R_{26} > 50 \%$$

Donde:

- $a^*(0\text{ h})$: Valor de la coordenada de color en el tiempo cero
- $a^*(4\text{ h})$: Valor de la coordenada de color después de 4 horas de radiación ultravioleta
- $a^*(26\text{ h})$: Valor de la coordenada de color después de 24 horas de radiación ultravioleta

2.3 Marco Conceptual

- **Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas se refieren a las características que describen cómo un material responde a las fuerzas que actúan sobre él. Estas propiedades son de suma importancia al seleccionar el material adecuado para la construcción de un objeto específico, ya que determinan su comportamiento bajo diferentes cargas y condiciones. (Paye, 2017, pág. 21)

- **Dióxido de titanio**

El dióxido de titanio funciona como un agente fotocatalizador que se activa con los rayos ultravioleta, acelerando los procesos de descomposición de agentes

presentes en el medio ambiente, convirtiéndolos en sales inofensivas que se pueden eliminar fácilmente de las superficies. (Chavez, 2020, pág. 45)

- **Fotocatálisis**

Es un proceso fotoquímico en la cual la energía producida por la energía del sol mediante un proceso se convierte energía catalogada como química en superficies de un catalizador. Este catalizador es un tipo de material semiconductor acelerante de velocidades de reacción durante estos procesos ocurren reacciones oxidativas como la reducción. (Vasquez, 2016, pág. 62)

- **Dióxido de carbono**

El dióxido de carbono es una sustancia compuesta por átomos de carbono y oxígeno, que se encuentra en estado gaseoso, pero carece de color bajo condiciones de temperatura y presión estándar. Tiene una estrecha vinculación con el fenómeno del efecto invernadero. (Abellan, 2019, pág. 31)

- **Asfalto**

Material aglutinante, de color marrón oscuro a negro, compuesto mayoritariamente por betún de origen natural o derivado del refinado del petróleo. “El asfalto está presente en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos” (Glosario de términos MTC, 2018, p.4)

- **Mezcla asfáltica en caliente**

Una mezcla asfáltica en caliente es un tipo de combinación asfáltica elaborada y aplicada a temperaturas elevadas. Esta mezcla se compone principalmente de

agregados (tanto gruesos como finos), material bituminoso y, en algunas instancias de aditivos, se diseña tomando en cuenta las especificaciones técnicas. Es ampliamente utilizada como la superficie de rodamiento formando parte de la estructura del pavimento flexible. (Rosales, 2022, p.18)

- **Estabilidad o Resistencia a la deformación permanente**

Capacidad de una mezcla asfáltica compactada para soportar las cargas generadas por el tráfico vehicular sin experimentar deformaciones permanentes. Esta propiedad depende en gran medida de la cohesión de la mezcla y del rozamiento interno entre las partículas del agregado pétreo. (Garnica, 2005)

- **Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas**

La finalidad de la prueba es evaluar la capacidad de las mezclas asfálticas en caliente para resistir la deformación plástica, llevando a cabo la fabricación y ruptura de probetas mediante el uso del equipo Marshall. (Garnica, 2005)

- **Propiedades fotocatalíticas**

Atributos conferidos a un material como resultado de la actividad fotocatalítica provocada por la presencia de compuestos que le otorgan dichas características. (Hurtado, 2012)

- **Grava**

Las gravas trituradas son materiales pétreos, provenientes del canto rodado es un tipo de grava que se obtiene mediante la trituración de cantos rodados mediante chancadoras tipo cónicas. Los cantos rodados son piedras redondeadas y lisas que

han sido naturalmente desgastadas por la acción del agua, así como otros agentes atmosféricos a lo largo del tiempo. (Martinez, 2009)

- **Autolimpieza**

La autolimpieza implica la capacidad inherente de un sistema, dispositivo, mecanismo o material para eliminar de manera autónoma cualquier suciedad o contaminante de su superficie externa prescindiendo de la necesidad de intervención externa. (Abellan, 2019, pág. 40)

- **Degradación**

Se trata de un procedimiento que implica la eliminación o disminución de contaminantes químicos utilizando radiación solar ultravioleta o lámparas de luz, así como catalizadores. Esto tiene como resultado la formación de radicales hidroxilos, los cuales oxidan los contaminantes químicos. (Abellan, 2019, pág. 39)

- **Rayos UV**

La radiación ultravioleta (UV) es un tipo de radiación electromagnética que posee longitudes de onda más cercanas que la luz donde abarca un rango de 10 a 400 nm, pero son más extensas que los rayos X. Se ubica en el espectro electromagnético entre los rayos X y la luz visible dado que sus longitudes de onda son pequeñas. La luz visible, así como la radiación UV es imperceptible para el ojo humano. (Ramos, 2020, pág. 6)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Hipótesis

(Hernandez & Sampieri, 2014) Enuncia que, las hipótesis son guías que se efectúan en un proyecto de investigación o estudio científico en la que nos muestra lo que pretendemos constatar y se demarcan como probables argumentaciones de un fenómeno a explorar. En términos básicos son posibles respuestas a lo que se está estudiando y determinar si es veraz o no a través de proposiciones.

(Del Rio, 2018) Sustenta que, las hipótesis tienen el punto de comienzo que es la formulación del problema como también de los objetivos en la investigación, estas nacen de una serie de indagaciones teóricas ya que estas tienen como respaldo los antecedentes de estudio y su correspondiente marco teórico. Entrelazándose una estrecha relación entre la formulación del problema, objetivos, la literatura y sus respectivas bases teóricas.

3.1.1 Hipótesis general

El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac, 2023.

3.1.2 Hipótesis específicas

a. El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall.

b. El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral.

c. El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro.

d. El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en el grado de auto limpieza de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de rodamina B.

e. El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en la degradación del CO₂ de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de autolimpieza con rayos U.V.

3.2 Método

El método es deductivo donde se aplicó procedimientos de observación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas por la adición de TiO₂, de la cual se construyó una hipótesis para describir los acontecimientos y luego se dedujo conclusiones para verificar la hipótesis.

(Bisquerra, 2019) Sustenta que, el método deductivo es el periodo completo de un método de deducción e inducción.

3.3 Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva – correlacional porque verificará el grado de influencia del dióxido de titanio con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente.

Según (Hernandez & Sampieri, 2014) La investigación es correlacional cuando debe haber un nexo entre las variables, así como haber un por qué entre ellas. Para poder entenderlas y dar una posible respuesta tentativa a lo que se hacen midiendo su interconexión entre dos o más variables las cuales se deberán someter a hipótesis.

3.4 Nivel de investigación

El nivel es explicativo ya que se determinó si el uso de dióxido de titanio como adición influye significativamente en la propiedad mecánica y fotocatalítica. Se trata de buscar una relación causa – efecto a causa de una adición en función de la mezcla asfáltica común.

Según (Del Rio, 2018) Se busca encontrar la causa entre las variables, así como plantear soluciones considerando el problema planteado porque debe existir una relación causal donde la intención es describir el problema planteado en la investigación.

3.5 Diseño de investigación

El diseño es experimental porque se dispuso cambiar las propiedades de la carpeta asfáltica en los pavimentos flexibles, a través de ensayos de laboratorio con

adiciones de TiO_2 en 3%, 5%, 7% donde se comparó los resultados obtenidos de las mezclas asfálticas comunes frente a las mezclas asfálticas adicionadas de manera que no pierda sus propiedades mecánicas y a si aumentar sus propiedades fotocatalíticas.

(QuestionPro, 2021) Afirma que el diseño experimental se utiliza para establecer relaciones causales en contexto. Investigar, observar el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes.

3.6 Operacionalización de variables

(Arias, 2006). Manifiesta que, la operacionalización es un sucesión de operaciones en la que se enlazan determinadas variables la cual cuyo fin es dar significado a estas, las cuales se podrán medir luego de realizar algunos desarrollos, al medir las variables estas se modifican a otras que se pueda medir de forma más empírica posible, una dimensión se podría estimar como una variable autónoma, en otras palabras la dimensión también es otra variable, un indicador es un indicio, la cual puede ser una señal de medida que facilita el estudio de una variable o sus dimensiones.

VI: Dióxido de titanio

VD: Propiedades mecánicas y fotocatalíticas.

Tabla 1

Operacionalización de variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INDICE	ESCALA DE MEDICION
Dióxido de titanio	(Peñafiel&Navarrete,2019, p.12) Es un compuesto químico empleado como semiconductor en los procedimientos de oxidación avanzada, debido a su capacidad de absorber y reaccionar ante la luz ultravioleta de los rayos del sol lo que provoca una autolimpieza en la superficie del material que lo recubre.	La utilización del dióxido de titanio ha tenido poca aplicación en el Perú, principalmente se ha llevado a cabo en proyectos internacionales. Sin embargo, ha demostrado resultados muy favorables. Este enfoque surge como respuesta a la preventiva y mitigación ambiental, especialmente en áreas urbanas con alto tráfico. Estas emisiones de dióxido de carbono afectan tanto a las paredes y fachadas de los edificios como a sus habitantes.	Aditivo dióxido de titanio	Porcentaje (%)	3%	Ordinal
					5 %	
					7 %	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES O NIVEL	INDICADORES	INDICES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	HERRAMIENTAS
Propiedad mecánica de las mezclas asfálticas en caliente	Las propiedades mecánicas se refieren a las características que describen cómo un material responde a las fuerzas que actúan sobre él. Estas propiedades son de suma importancia al seleccionar el material adecuado para la construcción de un objeto específico, ya que determinan su comportamiento bajo diferentes cargas y condiciones. (Paye, 2017, pág. 21)	Para poder obtener las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas se harán los siguientes ensayos como son los ensayos de estabilidad, flujo e índice de rigidez mediante el método Marshall, ensayos de resistencia a la tracción indirecta y % de pérdida por desgaste.		Estabilidad		Kg	Formatos del MTC	
			Resistencia a la deformación	Flujo	Deformación	mm	Formatos del MTC	MTC E 504 (Ensayo Marshall)
				Índice de rigidez		Kg/cm	Formatos del MTC	
			Resistencia a la tracción indirecta	Resistencia a la tracción indirecta	Rotura por esfuerzo a la tensión	Mpa	Formatos ASTM	NLT-346/90 (Ensayo brasileño)
Propiedad fotocatalítica de las mezclas asfálticas en caliente	Según (Lisbona, 2016). La capacidad fotocatalítica se produce cuando el dióxido de titanio, al ser expuesto a la radiación solar, libera electrones que convierten el oxígeno en iones "O ₂ ". Estos iones, al interactuar con el agua (H ₂ O), generan iones hidroxilo "-OH", los cuales se combinan con diversos compuestos y eliminan la suciedad de las carpetas asfálticas.	Para poder obtener el grado de autolimpieza se utilizará el colorante Rodamina B mediante rayos UV artificiales y para hallar la degradación del CO ₂ se contaminará las probetas con los contaminantes de los vehículos después serán expuestos a los rayos UV durante 24 horas para su lectura correspondiente.	Resistencia al desgaste	% de pérdida de masa asfáltica por desgaste	% de desgaste	%	Formatos MTC	MTC E 515 (Ensayo de Cántabro)
			Grado de autolimpieza	Rodamina B-Factor de fotodegradación del color	Rodamina B Factor de fotodegradación del color	%	Formatos UNI	UNI 11259 (Ensayo de Rodamina B)
			Degradación de CO ₂	Agente contaminante CO ₂ -Factor de fotodegradación del color	Variación colorimétrica	%	Formatos UNI	UNI 11259 (Ensayo de autolimpieza)

Fuente: Elaboración propia

3.7 Población y muestra

3.7.1. Población

Para este estudio la población es constituida por la mezcla asfáltica común y la modificada con dióxido de titanio. La determinación para la población se aplicó los criterios siguientes:

- Criterio de inclusión: Las mezclas asfálticas en caliente hechas con PEN 60/70 que se usa en las carpetas asfálticas.
- Criterio de exclusión: Toda población que no se ha hecho con PEN 60/70 en la realización de mezclas asfálticas.

Es la agrupación de todos los elementos con características pertenecientes a un área común en la que queremos estudiar con el fin de recolectar datos específicos. (Baptista, 2010)

3.7.2. Muestra

Una muestra es un subconjunto de una población, para que una parte de un conjunto sea considerada muestra, los elementos son del conjunto. Si varios objetos de la muestra no son del conjunto entonces no son muestras. (Valle, 2020, pág. 138)

La muestra es por conveniencia cuya técnica es utilizada frecuentemente de acuerdo a distintas investigaciones realizadas, el manual EG – 2013 ratificada por el ente correspondiente que es el MTC por lo cual se presentan las siguientes muestras de estudio:

Tabla 3*Cantidad de muestras para el ensayo Marshall – MTC E 504*

Mezcla asfáltica con adición	% de TiO ₂				Cantidad de muestras
Ensayo Marshall	0%	3%	5%	7%	
	3	3	3	3	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4*Cantidad de muestras para el ensayo de tracción indirecta – NLT 346/90*

Mezcla asfáltica con adición	% de TiO ₂				Cantidad de muestras
TSR	0%	3%	5%	7%	
	3	3	3	3	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5*Cantidad de muestras para el ensayo de cántabro – MTC E 515*

Mezcla asfáltica con adición	% de TiO ₂				Cantidad de muestras
Perdida por desgaste	0%	3%	5%	7%	
	4	4	4	4	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6*Cantidad de muestras para el ensayo de rodamina B – UNI 11259*

Mezcla asfáltica con adición	% de TiO ₂				Cantidad de muestras
Decoloración	0%	3%	5%	7%	
	4	4	4	4	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Cantidad de muestras para el ensayo de autolimpieza con rayos UV – UNI 11259

Mezcla asfáltica con adición	% de TiO ₂				Cantidad de muestras
	0%	3%	5%	7%	
Degradación de CO ₂	4	4	4	4	16

Fuente: Elaboración propia

La suma total es de 72 especímenes de asfalto común y modificado para la presente tesis.

3.8 Técnicas e instrumentos

3.8.1 Técnica

En este estudio se utilizó la observación directa, esta se basa en el registro sistemático, valido y certero de destrezas. Mediante esta técnica el investigador puede observar y recopilar datos mediante su propia observación (Fernandez C. , 2006, pág. 316), para lo cual se observa los distintos ensayos a la mezcla asfáltica en caliente adicionando dióxido de titanio (prueba de fluidez, prueba la compresión, prueba de desgaste, prueba de decoloración de rodamina B y prueba de degradación de CO₂).

3.8.2. Instrumento

(Baptista, 2010) Manifiesta que, la recopilación de datos debe ser planificado minuciosamente encaminándonos a apilar los datos con un fin determinado.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su manual de ensayo de materiales contemplan formatos estándares ya establecidos bajos criterios de normas nacionales, así como internacionales donde se utilizó estos formatos para registrar todos los resultados obtenidos donde se determinó las propiedades mecánicas y fotocatalíticas.

3.9 Consideraciones éticas

(UTEA, 2021). Según el artículo 10 de la Universidad tecnológica de los Andes establece que los derechos, la vida, la intimidad, así como la dignidad en la que participan en una investigación deben ser protegidos y no plagiados de acuerdo a los principios éticos de la normativa nacional. Teniendo en cuenta el cumplimiento de la normativa de la propiedad intelectual.

La tesis en mención se hizo cumpliendo el respeto, deberes, normas, valores en función a la ética donde se llegó a los objetivos planteados en la tesis cumpliendo los principios deontológicos.

3.10 Procedimiento estadístico

Existen diversas pruebas de hipótesis la prueba estadística que se empleó es la prueba de análisis de varianza (ANOVA) y para poder diferenciar de mejor manera las medias se empleó TUKEY que se complementan con el análisis de varianza, los valores obtenidos se procesaron bajo el software SPSS, Excel etc.

Si un caso se determina una alta significancia se usará las técnicas estadísticas de Duncan y Tukey. (Villalpando, 2001)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo Marshall

a) Cemento asfáltico

El tipo de cemento asfáltico es PEN 60/70, su procedencia es de Repsol, sus especificaciones técnicas se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla 8

Especificaciones técnicas de cemento asfáltico PEN 60/70.

Ensayos	Método		Especificación		
	AST/MTC	UND.	Mín.	Máx.	Resultado
Penetración	D-5 / E304	dmm	60	70	61
Ductibilidad a 25 °C	D-113/ E306	cm	100	-	>105
Punto de inflamación	D-92/E312	°C	232	-	279.0
Solubilidad en tricloroetileno		%	99	-	99.89
Punto de ablandamiento	D-36	-	-	-	51.3
Viscosidad cinemática a 100 °C	D-445	cSt	-	-	4917

Viscosidad cinemática a 135 °C	D-2170	cSt	200	-	533
Perdida por calentamiento	D-1754	%	-	0.8	0.26
Ensayo de la mancha	AAHSTO T102	-	-	-	20%

Fuente: Reporte de análisis de cemento asfáltico – Repsol

b) Agregados

Para el diseño de la mezcla asfáltica seleccionamos los agregados, tanto la grava chancada y agregado fino cuya procedencia es de la planta de concreto - planta de mezcla asfáltica de la vía de evitamiento, los ensayos de caracterización son hechos por los tesistas, así como se complementaron con laboratorios externos para lograr todos los ensayos según norma.

Los materiales deben estar contemplados dentro de la norma donde especifica en el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG - 2013, Subsección 415.02(a), ya que agregados a emplear deben contemplar los parámetros establecidos en las tablas 423.01 y 423.02 para agregados destinados para mezclas asfálticas en caliente.

b.1) Agregado grueso

Cumplirá con los parámetros necesarios según norma:

Tabla 9

Parámetros para el agregado grueso

Ensayos	MTC	Norma ASTM - AAHSTO	Requerimiento ≤ 3000 (msnm)
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C – 88	18% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	AASTM C – 131	40% máx.

Adherencia	MTC E 517	ASTM D 1664	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	-	35% min.
Partículas chatas y alargadas	-	ASTM 4791	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	ASTM D 5821	85/50
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	ASTM C 118	1.0% máx.

Fuente: EG - 2013

En la presente investigación el agregado grueso es de procedencia de la planta de concreto - planta asfáltica de la cantera vía de evitamiento, la cual es de 100% grava triturada.

Tabla 10

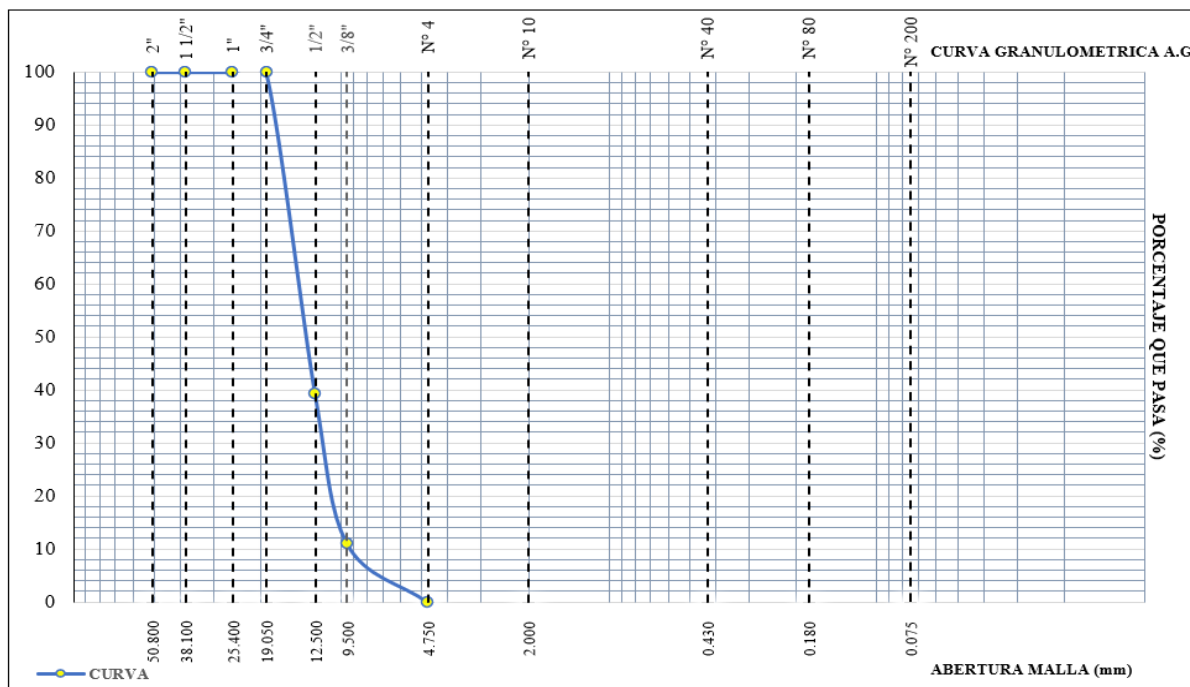
Gradación del agregado grueso TM 3/4"

Tamiz		PESO	%RET.	%RET.	% PASA
ASTM	mm	RET.	PARC.	ACUM.	
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.0
1/2"	12.70	1246.9	60.7	60.7	39.3
3/8"	9.50	579.4	28.2	89.0	11.0
# 4	4.75	226.4	11.0	100.0	
# 10	2.00				
# 40	0.43				
FONDO	0.00	0.00	0.00	100.0	0.0
TOTAL		2052.70	100.00		

Fuente: Reporte de análisis granulométrico.

Figura 4

Gradación del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Aceptación de la caracterización del agregado grueso

Ensayo	Norma	Requerimiento	Resultado	Rango de aceptación
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	4.47	Si cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	21.45	Si cumple
Adherencia	MTC E 517	+95	+96	Si cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	--	--
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	10% máx.	9.1	Si cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	39.7/60.3	Si cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	--	--
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	0.50	Si cumple

Fuente: Reporte de análisis granulométrico

b.2) Agregado fino

Cumplirá con los parámetros necesarios según norma:

Tabla 12*Parámetros para el agregado fino*

Ensayos	Norma		Requerimiento
	MTC	ASTM - AAHSTO	≤ 3000 (msnm)
Equivalente de arena	MTC E 114	ASTM 2419	60% min.
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	-	30% min.
Índice de plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C 88	-
Índice de durabilidad	MTC E 214	-	35% min.
Índice de plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	ASTM D 4318	4% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción **	MTC E 205	AAHSTO T - 84	1.0% máx.

Fuente: EG - 2013

En la presente investigación el agregado fino es de procedencia de la planta de concreto - planta asfáltica de la cantera vía de evitamiento, la cual es de 100% arena chancada.

Tabla 13*Gradación del agregado fino*

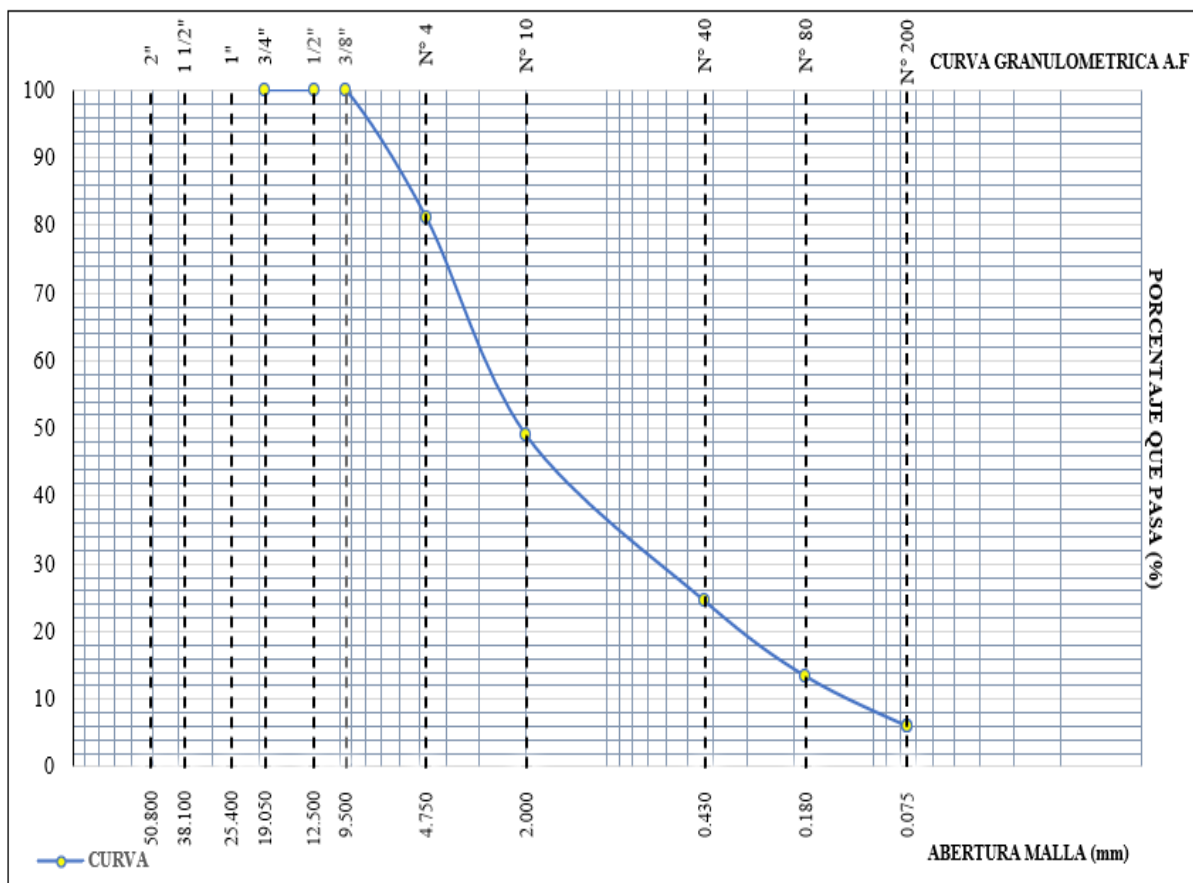
Tamiz		PESO	%RET.	%RET.	% PASA
ASTM	mm	RET.	PARC.	ACUM.	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.0
# 4	4.75	318.00	18.80	18.8	81.2

# 10	2.00	546.00	32.30	51.0	49.0
# 40	0.43	414.00	24.50	75.5	24.5
# 80	0.18	188.00	11.10	86.6	13.4
# 200	0.075	125.00	7.4	94.0	6.0
FONDO	0.00	102.00	6.0	100.0	
TOTAL		1693.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

Figura 5

Gradación del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14*Aceptación de la caracterización del agregado fino*

Ensayo	Norma	Requerimiento	Resultado	Rango de aceptación
Equivalente de arena	MTC E 114	60% min.	63.89	Si cumple
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30% min.	52.5	Si cumple
Índice de plasticidad (malla N°. 40)	MTC E 111	N.P.	N.P.	Si cumple
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	1.1	Si cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% min.	--	--
Índice de plasticidad (malla N°. 200)	MTC E 111	4% máx.	N.P.	Si cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	--	--
Absorción **	MTC E 205	1.0% máx.	0.49	Si cumple

Fuente: Reporte de análisis granulométrico

b.3) Combinación de agregados

Para la combinación de agregados se usó el MAC – 1 para usos de diseño de mezcla asfáltica. Se dispuso de cemento asfáltico PEN 60/70, para lo cual se obtuvo la siguiente dosificación:

Tabla 15*Dosificación en porcentajes de los agregados según diseño de Huso MAC – 1*

Agregados	%
Grava chancada < 3/4" – 1/2" - Cantera vía de evitamiento	34.00%
Arena chancada < 3/8" - Cantera vía de evitamiento	66.00%

Total	100.00%
-------	---------

Fuente: Elaboración propia.

Según diseño de grafico para obtener el diseño óptimo de contenido de asfalto se tiene un 5.95% según reporte de laboratorio, agregados son 100% de la vía de evitamiento. En cuanto al porcentaje de vacíos este dentro de los rangos establecidos en la norma correspondiente, obteniendo un valor de 4.92 %.

Teniendo los valores óptimos de la combinación teórica se procede a realizar la combinación física de la mezcla para lo cual se combinó proporciones de agregados según diseño y con cemento asfaltico optimo. En ese entonces se procede a obtener los siguientes resultados:

Tabla 16

Combinación optima de agregados según MAC – 1

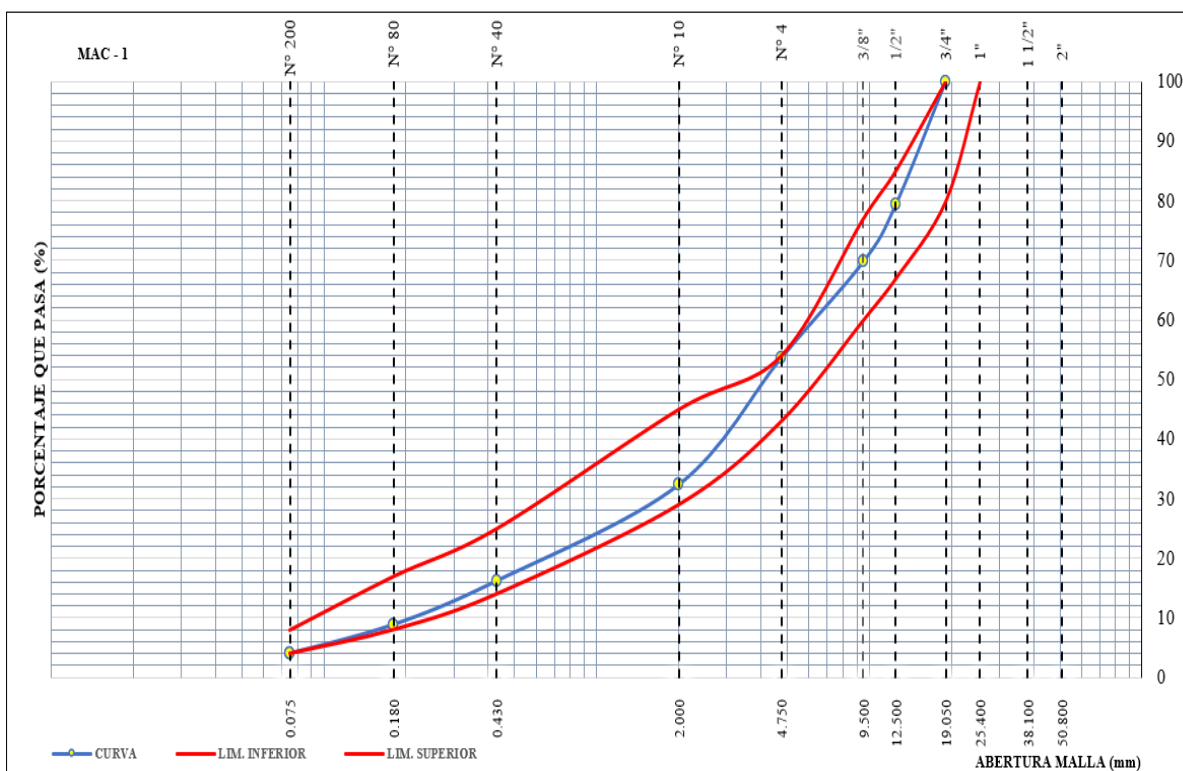
Tamiz		Grava	Arena	Mezcla MAC - 1			CHEQUEO
		chancada	chancada	Comb.			
		Vía de evitamiento		Teórica	Huso MAC – 1		
		< 3/4"	< 3/8"				
		34.00%	66.00%				
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100	100	OK
3/4"	19.05	100.00	100.00	100.00	80	100	OK
1/2"	12.50	39.3	100.00	79.3	67	85	OK
3/8"	9.50	11.0	100.00	69.7	60	77	OK
# 4	4.75	0.00	81.2	53.6	43	54	OK

# 10	2.00	0.00	49.00	32.3	29	45	OK
# 40	0.43	0.00	24.50	16.2	14	25	OK
# 80	0.18	0.00	13.4	8.8	8	17	OK
# 200	0.075	0.00	6.00	4.0	4	8	OK

Fuente: Reporte de laboratorio

Figura 6

Gradación de los agregados en combinación



Fuente: Reporte de laboratorio

La figura 6, nos muestra la gradación de la curva donde está dentro de los Husos según diseño MAC – 1 por lo tanto, cumple con los requisitos establecidos.

c) Dióxido de Titanio

El dióxido de titanio seleccionada en esta investigación es fabricado por Insuquímica SAC, la denominación en mención es TITANIUM DIOXIDE CR – 828 su fabricación es para la descontaminación del dióxido de carbono, así como aumenta su comportamiento físico en la mezcla asfáltica en caliente según antecedentes.

Tabla 17

Ficha técnica del dióxido de titanio

Características	Und	Norma	Valor
TiO ₂ content	%		95
Specific gravity	-		4.1
Bulk	Kg/l	ASTM D – 476	0.8
Oil absorption	-	ISO 591-1	18
pH	-		7.5
Specific Resistance	Kohms – cm		8
Average particle size ²	Um		0.19

Fuente: Ficha técnica – Insuquímica SAC

Metodología de diseño de mezclas asfálticas usuales para el ensayo

Marshall

Para diseñar el asfalto es mediante el MTC E 504 – Resistencia de mezclas asfálticas empleando el equipo Marshall, según el manual de carreteras EG – 2013,

para poder determinar los requerimientos contemplados en esta norma se establecen contenidos óptimos de asfalto para mezclas asfálticas.

De acuerdo al contenido apto del asfalto de las mezclas asfálticas comunes, elaboramos diferentes porcentajes que van desde 4.0 %, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0 %. Los requerimientos de Marshall de cada probeta fabricada se determinan de acuerdo a la norma establecido en el manual EG 2013, los datos obtenidos de las pruebas se muestran en la tabla 18.

Tabla 18

Resultado de diseño Marshall de MAC -1

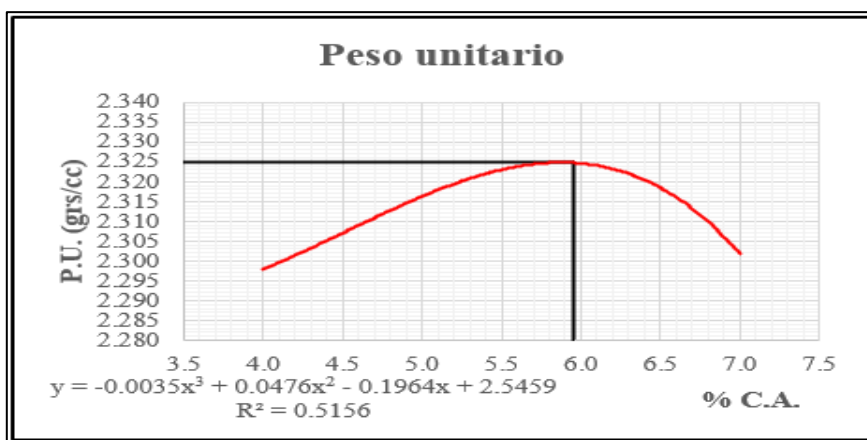
Parámetro	Und.	Resultados obtenidos						
		4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
PEN 60/70	%	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Peso unitario	gr/c.c.	2.296	2.314	2.311	2.314	2.343	2.307	2.305
Vacíos	%	8.81	7.90	7.56	4.40	4.80	5.90	5.90
V.M. A	%	19.58	19.37	19.88	20.90	20.40	22.00	22.50
V.F. A	%	54.98	59.77	62.03	79.30	76.80	73.20	74.30
Flujo	Mm	2.70	2.53	3.18	3.60	4.30	4.70	4.90
Estabilidad	Kg	852.40	851.11	1131.26	1122.70	1407.70	1497.30	907.90
Índice de rigidez	Kg/cm	3249	3369	3571.33	3129	3300	3259	1880

Fuente: Resultados de diseño Marshall – Elaboración propia

Los resultados obtenidos según parámetros Marshall de mezclas asfálticas comunes se obtienen gráficos descritos en la tabla, el peso unitario, vacíos, V.M.A, V.F.A, flujo, estabilidad y índice de rigidez. Las figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 se presentan a continuación:

Figura 7

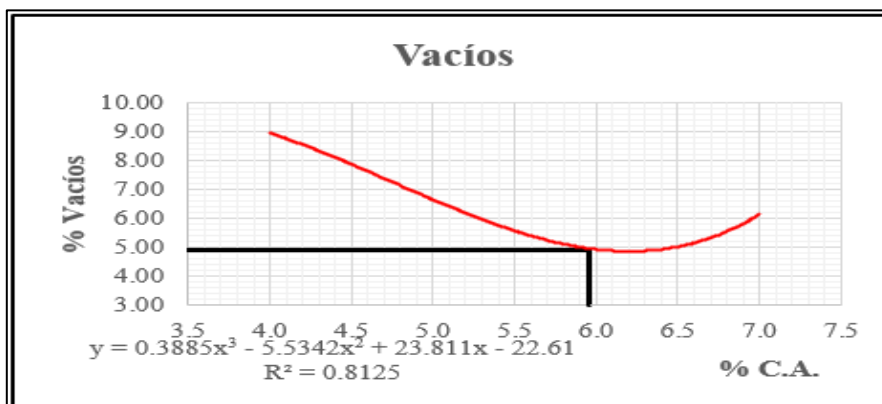
Datos de peso unitario frente al %C.A.



Fuente: Reporte de diseño Marshall

Figura 8

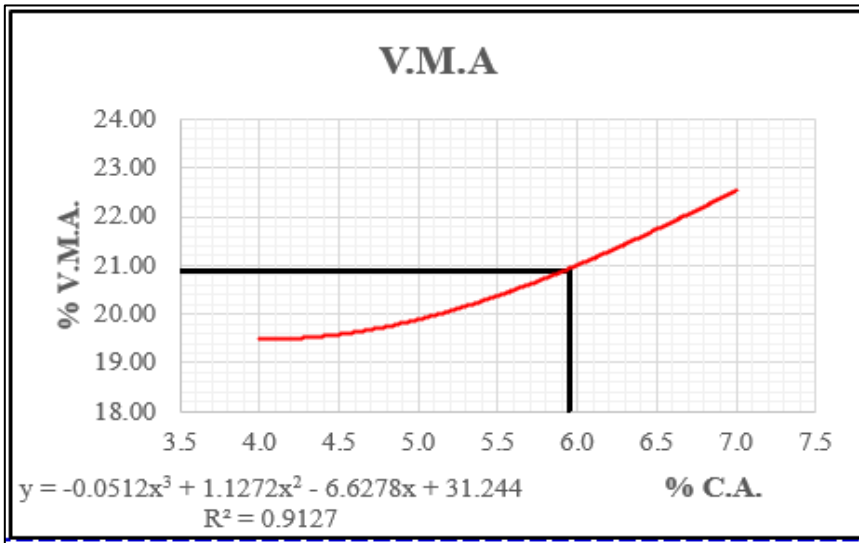
Datos de vacíos frente al %C.A.



Fuente: Reporte de diseño Marshall

Figura 9

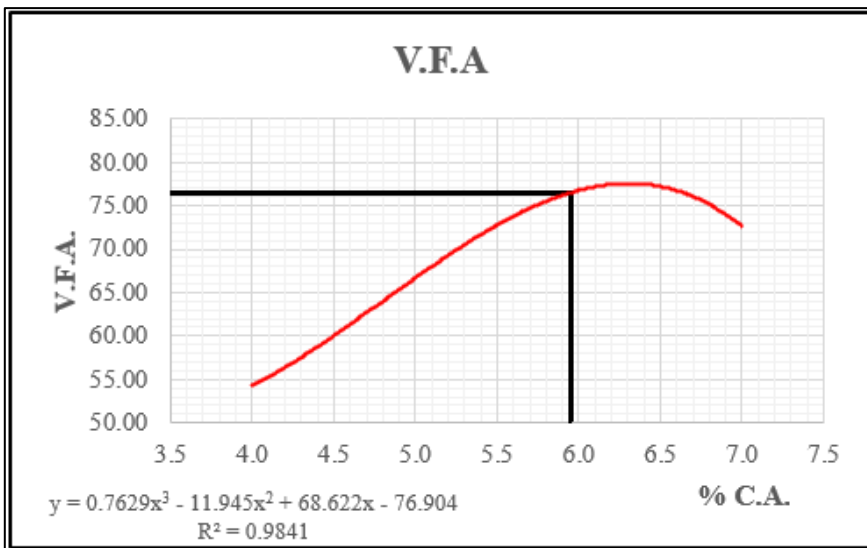
Datos de V. M. A. frente al %C.A.



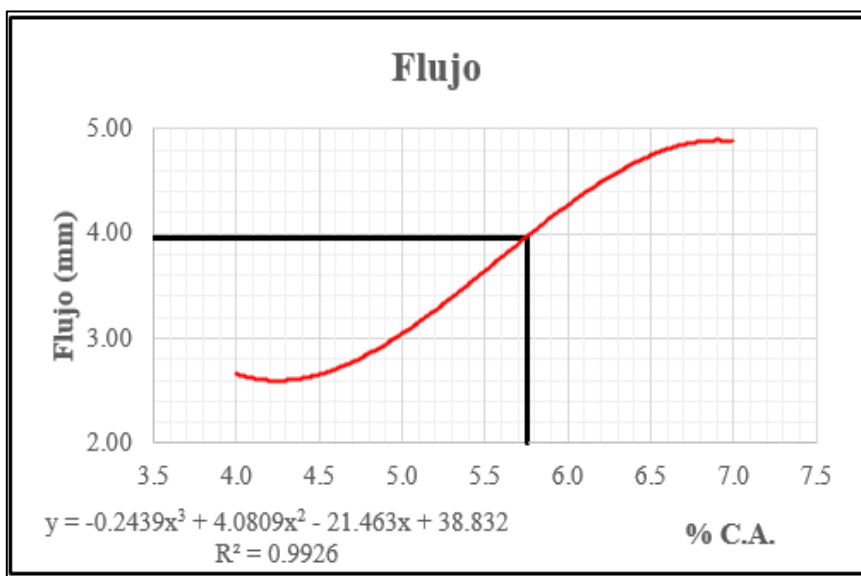
Fuente: Reporte de diseño Marshall

Figura 10

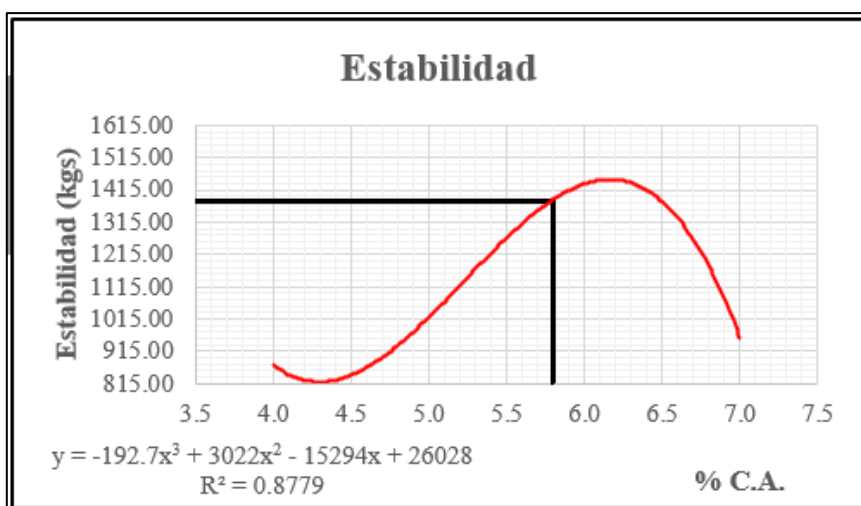
Datos de V. F. A. frente al %C.A.



Fuente: Reporte de diseño Marshall

Figura 11*Datos de flujo frente al %C.A.*

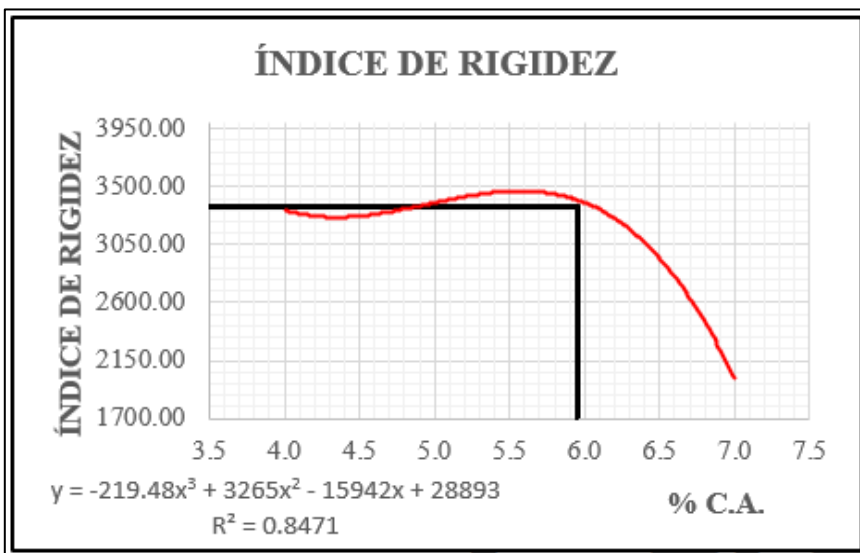
Fuente: Reporte de diseño Marshall

Figura 12*Datos de estabilidad frente al %C.A.*

Fuente: Reporte de diseño Marshall

Figura 13

Datos de índice de rigidez frente al %C.A.



Fuente: Reporte de diseño Marshall

Para determinar apto el contenido de asfalto en mezclas asfálticas comunes, se determina trazando unas tangentes a las curvas polinómicas de tercer grado, así como se traza en la tangencia una recta hacia el %C.A. y se determina el %C.A.

Los parámetros obtenidos desde vacíos, peso unitario, V.M.A, V.F.A, estabilidad, flujo y/o índice de rigidez deben estar contemplados dentro de los parámetros que indica la norma EG – 2013, para lo cual se muestra a continuación en la tabla 19.

Tabla 19

Parámetros óptimos y resultados de diseño Marshall

Resumen de resultados

Descripción	Und.	Optimo % C. A	Especificaciones	Cumple
Golpes por lado	und	75	75	SI
Cemento asfáltico	%	5.95	Optimo	SI
Peso unitario	gr/cm ³	2.32	-	SI
Vacíos	%	4.92	3% - 5%	SI
V.M. A	%	20.98	Min 14	SI
V.F. A	%	76.50	-	SI
Flujo	mm	3.95	2 - 4	SI
Estabilidad	kg	1379.20	Min 815	SI
Índice de rigidez	kg/cm	3340	1700 – 4000	SI

Fuente: Resultados diseño Marshall – Elaboración propia

Metodología de diseño de mezclas asfálticas comunes modificadas adicionando dióxido de titanio para la prueba Marshall

El diseño de mezcla asfáltica común adicionada con dióxido de titanio sigue el mismo procedimiento que la mezcla asfáltica común, para lo cual el proceso de compactación de las probetas es el mismo y se determina igual todos los parámetros de diseño para el ensayo Marshall.

Probablemente se determina si influye el dióxido de titanio adicionando a la mezcla asfáltica común y así elaborar la mezcla asfáltica adicionada. Para adicionar dióxido de titanio la técnica empleada es reemplazar al agregado fino en la malla < #

200 según granulometría en pequeños porcentajes de 3%, 5% y 7%, para elaborar los especímenes de asfalto con respecto al agregado fino como reemplazo.

Figura 14

Adicionando TiO_2 al diseño optimo



Fuente: Elaboración propia

Pasos para elaborar los especímenes de mezcla asfáltica común con la adición de dióxido de titanio:

Se debe seguir de acuerdo a los pasos para elaborar los especímenes de mezcla asfáltica común no existe alguna diferencia de variación al elaborar los especímenes adicionados, se sigue el procedimiento para realizar la elaboración de él espécimen Marshall.

1. Establecemos el porcentaje de TiO_2 con respecto al peso total de diseño optimo esto se adiciona como reemplazo del agregado fino, su temperatura debe estar entre 115 – 145 °C.

2. Combinamos ambos porcentajes de agregado grueso y agregado fino de acuerdo al uso óptimo de asfalto. El cemento asfáltico a utilizar fue 5.95 % sumado esto el agregado fino y grueso, así como reemplazo de la adición en el agregado fino todo esto con fin de lograr las dimensiones correctas del espécimen a realizar y compactar a una misma temperatura.
3. Los agregados a usar, así como los moldes se proceden a calentar en la estufa a temperatura de mezclado. Determinamos en peso del aditivo de dióxido de titanio para proceder a mezclar en cada uno de los especímenes, se tiene que establecer una misma temperatura para todos los especímenes.
4. Una vez alcanzada su temperatura, adicionamos los agregados calientes, así como la adición de dióxido de titanio luego se procede a mezclar paulatinamente hasta obtener la adherencia > 95%.
5. Terminamos de mezclar los agregados con el aditivo se procede a verter el cemento asfáltico determinado anteriormente en función del peso total de diseño del espécimen, así como lograr una adherencia total del agregado con el cemento asfáltico.
6. Una vez calentados los moldes Marshall, así como su pedestal y su maso se vierte la mezcla combinada a una temperatura medida de 145 °C para luego con una espátula pequeña tratar de que no haya desperdicios para así luego recién compactar por ambas caras de 75 golpes en cada espécimen.

7. El espécimen se mantendrá en el molde hasta que alcance su temperatura de ambiente, luego de obtener la temperatura de ambiente se procede a utilizar el extractor para poder retirar el espécimen del molde Marshall.

Diseño Marshall con contenido óptimo de asfalto y porcentaje optimo del dióxido de titanio

El óptimo porcentaje de asfalto, así como los porcentajes determinados de dióxido de titanio para elaboración de mezclas asfálticas en caliente para poder emplear la metodología Marshall en función del manual del MTC E 504 – Resistencia de mezcla asfáltica empleando el equipo Marshall establecida en el EG – 2013, la elaboración de especímenes es en función de lo descrito anteriormente. Elaboramos el diseño de mezcla con las adiciones de 3%, 5%, 7% de dióxido de titanio en la mezcla asfáltica común con un apto óptimo de asfalto en 5.95%.

a) Diseño Marshall de la mezcla asfáltica en caliente con 3.0% de adición de dióxido de titanio

La mezcla asfáltica modificada con 3.0% de dióxido de titanio, se elaboraron probetas con el contenido óptimo de asfalto de 5.95%, a una temperatura de 145 °C, la compactación es de 75 golpes por cara del espécimen aplicando el maso de Marshall, los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla 20.

Tabla 20*Resultados de diseño Marshall con 3.0 % de dióxido de titanio*

Diseño Marshall con 3.0% de dióxido de titanio							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5.95	5.95	5.95	5.95	%	SI
Compactación		75	75	75	75	und	SI
Flujo		4.0	4.20	8.0	5.40	mm	NO
Estabilidad sin corregir		2247.1	1271.1	1349.4	-	kg	SI
Factor de estabilidad	+/- 3.0%	0.88	0.89	0.87	-	K	-
Estabilidad corregida		1972.6	1124.9	1174.0	1423.9	kg	SI
Índice de rigidez		4916.0	2668.0	1477.0	3020.33	Kg/ cm	SI

Fuente: Reporte Metroasphalt – Elaboración propia

Los resultados alcanzados del diseño Marshall modificada con adición de TiO₂ se obtuvieron el flujo, la estabilidad, factores para estabilidad, estabilidad corregida y el índice de rigidez.

Figura 15

Baño maría a 60 °C - Espécimen en Marshall



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos del ensayo Marshall de la mezcla modificada con adición de dióxido de titanio en un 3.0% nos indican que los datos de estabilidad así como índice de rigidez están dentro de los parámetros según norma del EG – 2013, mas no el flujo que debe estar contemplado entre 2 – 4 mm, cuyo valor de fluencia tenemos de 5.40 mm este valor esta fuera de los criterios de la norma permitida por lo cual el aditivo como adición no contempla sus parámetros de deformación de la mezcla asfáltica en caliente con adición.

b) Diseño Marshall de la mezcla asfáltica en caliente con 5.0% de adición de dióxido de titanio

La mezcla asfáltica modificada con 5.0% de dióxido de titanio, se elaboraron probetas con el contenido óptimo de asfalto de 5.95%, a una temperatura de 145 °C, la compactación es de 75 golpes por cara del espécimen aplicando el maso de Marshall, los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla 21.

Tabla 21

Resultados de diseño Marshall con 5.0 % de dióxido de titanio

Diseño Marshall con 5.0% de dióxido de titanio							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5.95	5.95	5.95	5.95	%	SI
Compactación		75	75	75	75	und	SI
Flujo		8.5	5.4	8.2	7.4	mm	NO
Estabilidad sin corregir		1364.7	1551.3	1452.6	-	kg	SI
Factor de estabilidad	+/- 5.0%	0.89	0.88	0.87	-	K	-
Estabilidad corregida		1214.6	1365.1	1263.8	1281.2	kg	SI
Índice de rigidez		1428.0	2524.0	1536.0	1829.33	Kg/ cm	SI

Fuente: Reporte Metroasphalt – Elaboración propia

Los resultados alcanzados del diseño Marshall modificada adicionada con dióxido de titanio se obtuvieron el flujo, la estabilidad, factores para estabilidad, estabilidad corregida y el índice de rigidez.

Figura 16

Rotura espécimen en Marshall



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos del ensayo Marshall de la mezcla adicionada con dióxido de titanio en un 5.0% nos indican que los valores de estabilidad así como índice de rigidez están dentro de los parámetros según norma del EG – 2013, mas no el flujo que debe estar contemplado entre 2 – 4 mm, cuyo valor de fluencia tenemos de 7.40 mm este valor esta fuera de los criterios de la norma permitida por lo cual el aditivo como adición no contempla sus parámetros de deformación de la mezcla asfáltica en caliente con adición.

Diseño Marshall de la mezcla asfáltica en caliente con 7.0% de adición de dióxido de titanio

La mezcla asfáltica modificada con 7.0% de dióxido de titanio, se elaboraron probetas con el contenido óptimo de asfalto de 5.95%, a una temperatura de 145 °C, la compactación es de 75 golpes por cara del espécimen aplicando el maso de Marshall, los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla 22.

Tabla 22

Resultados de diseño Marshall con 7.0 % de dióxido de titanio

Diseño Marshall con 7.0% de dióxido de titanio							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5.95	5.95	5.95	5.95	%	SI
Compactación		75	75	75	75	und	SI
Flujo		6.9	7.5	8.0	7.43	mm	NO
Estabilidad corregir	sin +/- 7.0%	2260.5	1779.6	2032.6	-	kg	SI
Factor de estabilidad		0.88	0.89	0.90	-	K	-
Estabilidad corregida		1989.2	1583.8	1829.3	1800.81	kg	SI

Índice de rigidez	2901.0	2114.0	2301.0	2438.67	Kg/	Sl
						cm

Fuente: Reporte Metroasphalt – Elaboración propia

Los datos obtenidos del diseño Marshall adicionada con dióxido de titanio, se obtuvieron el flujo, la estabilidad, factores para estabilidad, estabilidad corregida y el índice de rigidez.

Figura 17

Rotura espécimen en Marshall



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos del ensayo Marshall de la mezcla modificada con adición de dióxido de titanio en un 7.0% nos indican que los datos de estabilidad así como índice de rigidez están dentro de los parámetros según norma del EG – 2013, mas no el flujo que debe estar contemplado entre 2 – 4 mm, cuyo valor de fluencia tenemos

de 7.43 mm este valor esta fuera de los criterios de la norma permitida por lo cual el aditivo como adición no contempla su deformación de la mezcla asfáltica en caliente con adición.

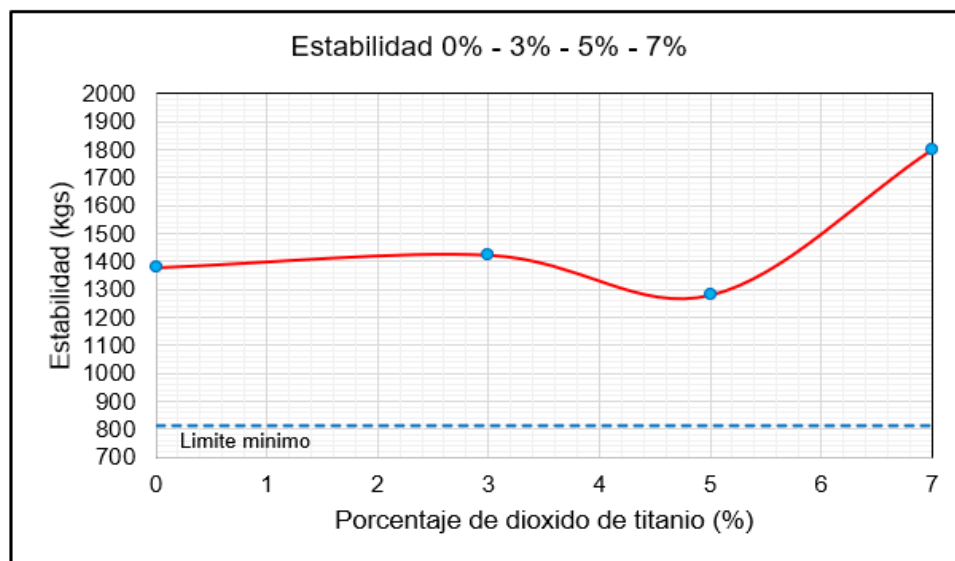
Resultados del diseño de mezclas asfálticas mediante el ensayo Marshall

Los resultados obtenidos después de realizar el ensayo Marshall de la mezcla asfáltica común y la adicionada con dióxido de titanio, analizamos los parámetros más fundamentales desde la estabilidad, el flujo y el índice de rigidez en función a la adición de dióxido de titanio, sus propiedades mecánicas se presentan a continuación:

a) Estabilidad

Figura 18

Variación de estabilidad frente al % de dióxido de titanio



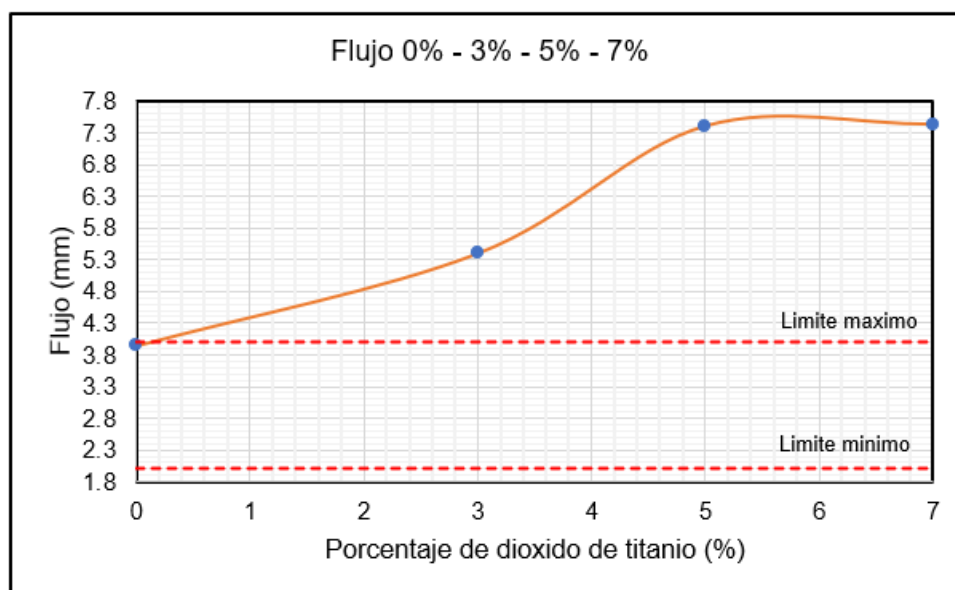
Fuente: Elaboración propia

En la figura 18, se presenta la estabilidad de mezclas asfálticas lo cual demuestra un incremento positivo y ligeramente superior al límite mínimo de acuerdo a los requerimientos del ensayo Marshall según el EG – 2013.

b) *Flujo*

Figura 19

Variación de flujo frente al % de dióxido de titanio



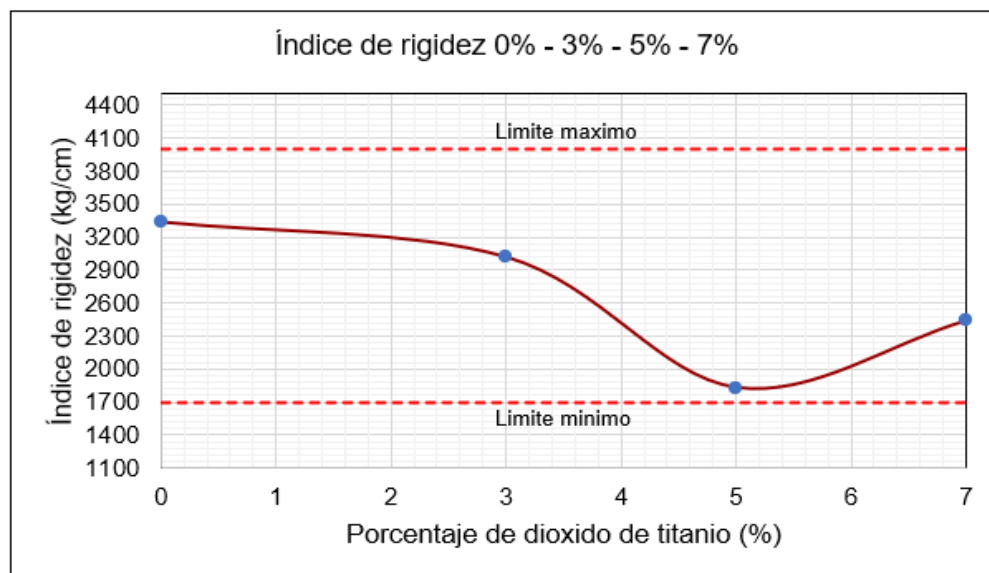
Fuente: Elaboración propia

En la figura 19, se presenta el flujo de mezclas asfálticas lo cual demuestra un incremento, pero la adicionada no está dentro de los parámetros óptimos según norma EG – 2013, por lo tanto, solo cumple la mezcla asfáltica patrón en relación con el dióxido de titanio.

c) Índice de rigidez

Figura 20

Variación de índice de rigidez frente al % de dióxido de titanio



Fuente: Elaboración propia

En la figura 20, se presenta el índice de rigidez de mezclas asfálticas lo cual demuestra un decremento del dióxido de titanio versus el patrón, sin embargo, está dentro de los parámetros óptimos según norma EG – 2013, por lo tanto, si bien con la adición está dentro de los requisitos no presenta un incremento positivo si no un decremento en función de la mezcla asfáltica patrón.

En la siguiente tabla 23, se presenta un resumen de datos practicados mediante el ensayo Marshall con adición del TiO_2 al 0%, 3%, 5% y 7%.

Tabla 23*Resumen de resultados*

Ensayo Marshall con adición de dióxido de titanio al 0% - 3% - 5% - 7%					
Contenido óptimo de asfalto (PEN 60/70) - 5.95%					
Ensayos	0%	3%	5%	7%	Condición
Estabilidad	1379.20	1423.9	1281.2	1800.81	815 kg mín.
Flujo	3.95	5.4	7.4	7.43	2 – 4 mm
Índice de rigidez	3340	3020.33	1829.33	2438.67	1700 – 4000 kg/cm

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Resistencia a la tracción indirecta de las mezclas asfálticas mediante el ensayo de resistencia a compresión diametral

La tracción indirecta donde se obtiene la resistencia permite ensayar en la mezcla asfáltica en caliente, dispuesto por la norma NLT – 346 / 90 ensayo brasileño de mezclas bituminosas.

Para ensayar, se hizo los especímenes bajo la metodología Marshall se prepararon especímenes con adición de dióxido de titanio en 0.0 %, 3.0%, 5.0% y 7.0% a una temperatura de 140 +/- 5 °C, mediante un vernier se miden las dimensiones del espécimen altura y diámetro, así como se pesan en una balanza con aproximación +/- 0.1 gr estos datos nos sirven para poder determinar la resistencia en el espécimen.

Ensayamos con el equipo Marshall, pero cambiamos por el cabezal Lotman para realizar la resistencia a compresión diametral, las muestras realizadas varían en

porcentajes del dióxido de titanio 0%, 3%, 5% y 7% de las mezclas asfálticas comunes, aplicamos una velocidad baja para la carga de rotura con el cabezal Lotman con el equipo Marshall, la máxima carga aplicada de rotura en N establece un valor para poder aplicar la fórmula y así determinar la resistencia a compresión diametral. Es la misma fórmula que se aplica en briquetas de concreto cuando se someten a compresión para obtener la máxima resistencia a compresión que puedan presentar los objetos de estudio.

Los datos obtenidos de la tracción indirecta en diferentes adiciones de dióxido de titanio se muestran en la tabla 24, las diferentes gradaciones usadas el MAC - 1 común y el MAC -1 modificado de la mezcla asfáltica en caliente se muestra a continuación:

Tabla 24

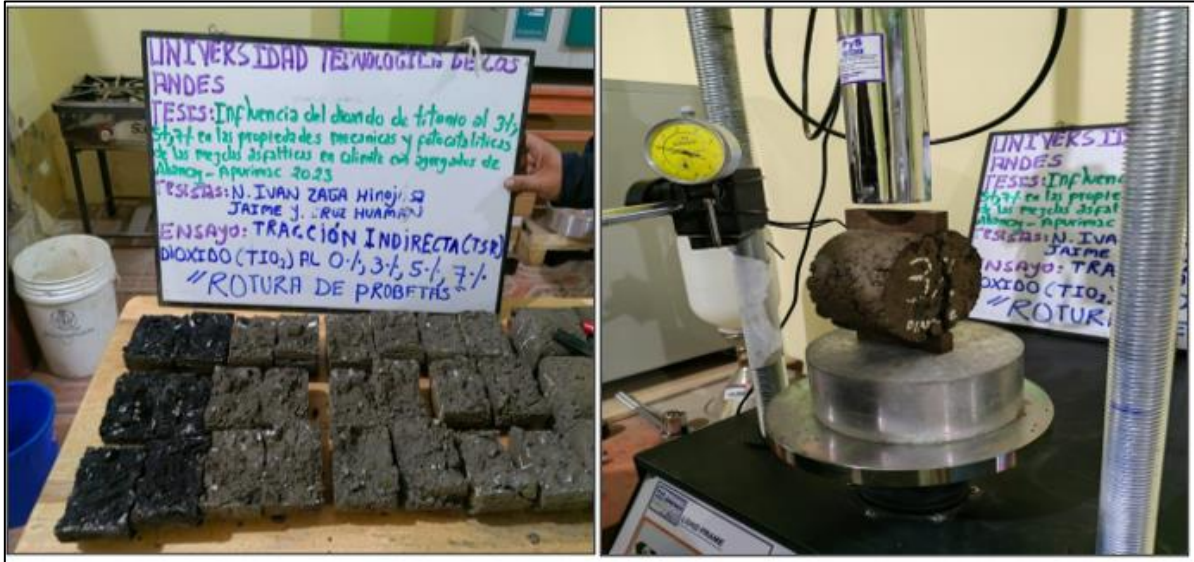
Resultados del ensayo de resistencia a compresión diametral

Mezcla	T°	T´	Resistencia a compresión diametral		
	Digestión	Digestión	Mpa	Kg/cm ²	Variación
	(°C)	(hr)			
MAC + 0%	0	0	1.45	14.50	0.0%
MAC + 3% TiO ₂	60	2	1.58	15.83	9.17%
MAC + 5% TiO ₂	60	2	0.83	8.33	-42.55%
MAC + 7% TiO ₂	60	2	1.95	19.57	35.0%

Fuente: Reporte Metroasphalt – Elaboración propia

Figura 21

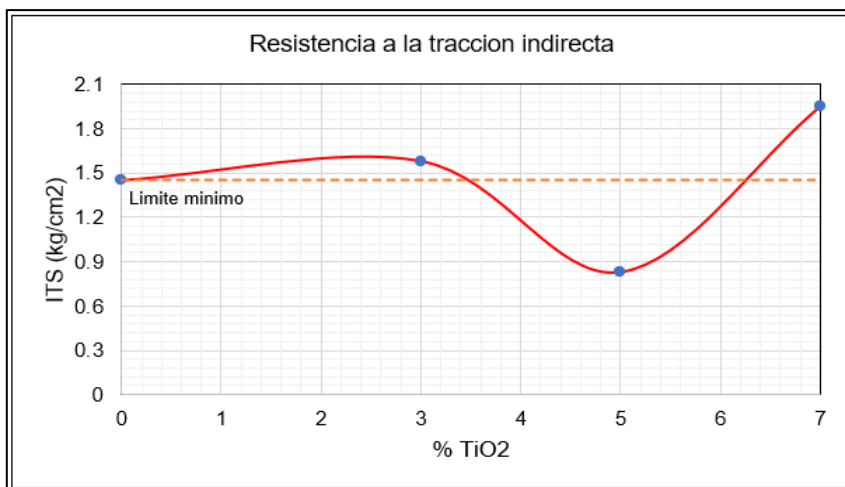
Ensayos de tracción indirecta



Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Variación de la resistencia a la tracción indirecta

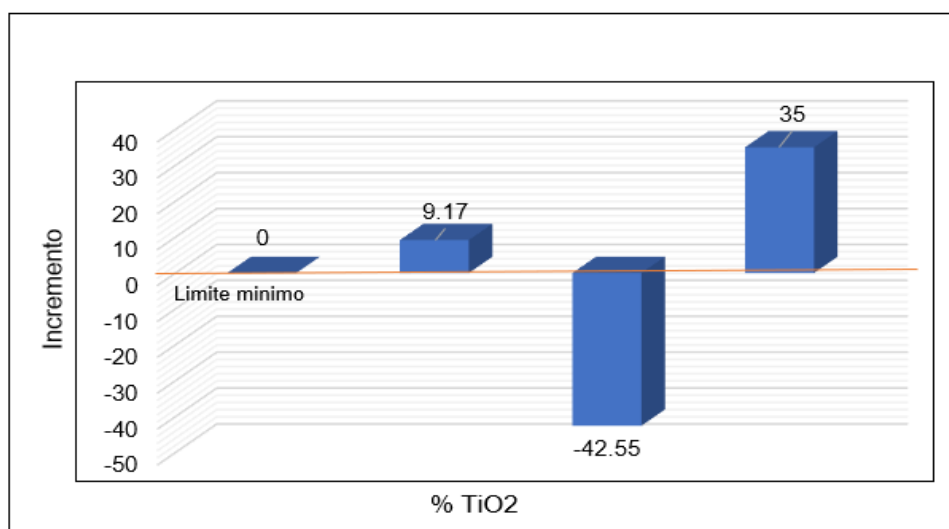


Fuente: Elaboración propia

La figura 22 nos presenta los incrementos positivos, así como decrementos de la mezcla asfáltica modificada en función a la mezcla asfáltica común nos indica que existe una mayor resistencia al esfuerzo cortante y cohesión de la mezcla asfáltica.

Figura 23

Variación de la resistencia a la tracción indirecta



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica mediante el ensayo de cántabro

Según el MTC E – 515 nos permite determinar la pérdida a la fatiga de la mezcla asfáltica común.

Se aplicó la prueba en una mezcla asfáltica en caliente común y modificada, este ensayo generalmente se aplica en mezclas asfálticas abiertas a pesar de ello con la finalidad de lograr directamente o indirectamente la pérdida al desgaste, como bien sabemos el tráfico genera efectos abrasivos.

Los especímenes elaborados para el ensayo de cántabro solo se siguió el procedimiento bajo la metodología Marshall, se puso a disposición 4 muestras que contemplan cada uno 4 muestras en total se usaron 16 especímenes 4 sin adición y 12 con adición de dióxido de titanio en diferentes porcentajes.

Para realizar el ensayo se sigue un procedimiento que el espécimen se encuentre a temperatura de ambiente a 25 °C durante un tiempo corto de 1 hora, después de eso se pesa cada espécimen para tener un primer peso (P1). Seguidamente cada espécimen se pone dentro del tambor sin esferas, después se programa el tambor para que de una revolución de 30 a 33 rpm según el MTC E – 515 para que así logre alrededor de 300 vueltas. Después de que pase alrededor de 8 minutos y haya lograda las 300 vueltas se retira el espécimen y se vuelve a pesar obteniendo como valor (P2), los datos obtenidos se muestran en la tabla 25.

Tabla 25

Resultados del ensayo de cántabro

Mezcla	T° ensayo (°C)	Adición de TiO ₂ (%)	Perdida por desgaste (%)
MAC – 1	25 °C	0.0	- 6.48 %
MAC + 3.0% de TiO ₂	25 °C	3.0	- 7.68%
MAC + 5.0% de TiO ₂	25 °C	5.0	- 7.83%
MAC + 7.0% de TiO ₂	25 °C	7.0	- 17.32 %

Fuente: Reporte de LF – Elaboración propia

Los valores de pérdida por desgaste se presentan a lo cual a mayor adición de dióxido de titanio nos demuestra un alto desgaste en los especímenes.

Figura 24

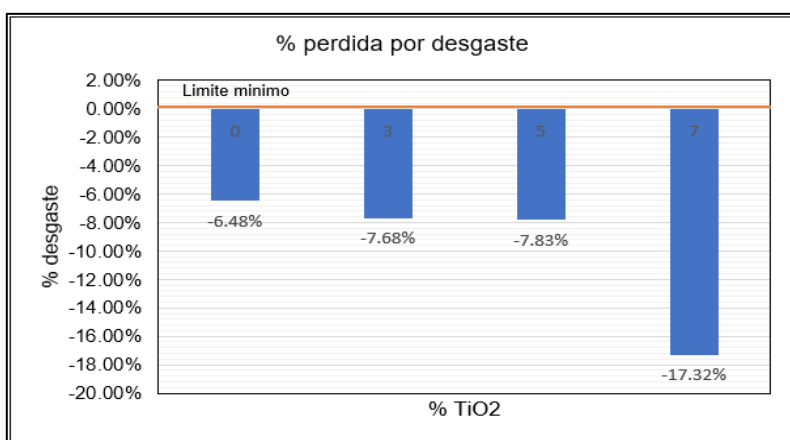
Ensayo de desgaste



Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Perdida por desgaste según ensayo cántabro

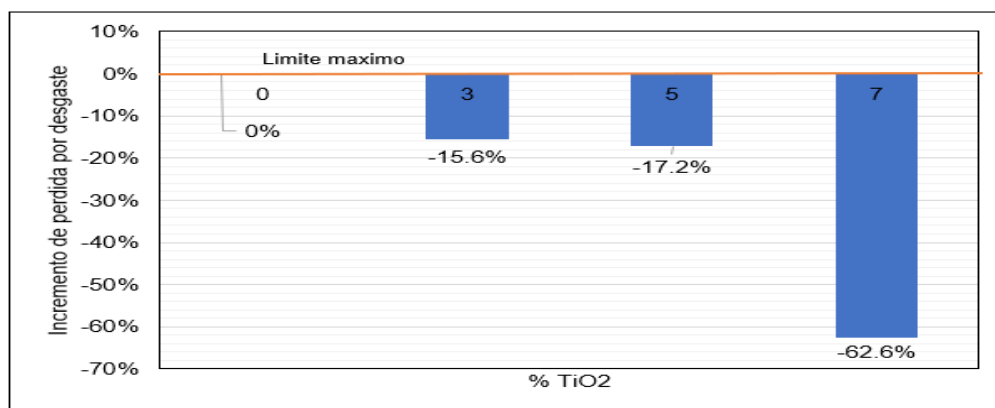


Fuente: Elaboración propia

En función a la figura 25 presenta mayor adición de TiO_2 donde ocurre mayor desgaste por el ensayo de cántabro para mezclas asfálticas con adición en comparación con mezclas asfálticas comunes.

Figura 26

Perdida por desgaste según ensayo cántabro



Fuente: Elaboración propia

Observamos en la figura 26, que se presenta porcentajes que varían considerablemente por pérdida por desgaste por la modificación con dióxido de titanio en comparación de la mezcla asfáltica común, para lo cual ambas combinaciones son parecidas a la cohesión sin embargo presentan bastante pérdida por desgaste debido al tráfico vehicular que trae efectos abrasivos.

4.1.4. Grado de autolimpieza de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de rodamina B

La norma Unificación Nacional Italiana UNI 11259 establece como factor la fotodegradación para medir la autolimpieza activando fotocatalisis en las mezclas

asfálticas que al poner la rodamina B y estando con radiación UV se genera autolimpieza. Para medir establece parámetros de CIEL*a*b donde el eje de L es en función de negro a blanco, de rojo a verde varía el eje a y de azul a amarillo es para el eje b.

Se mide a las 0 horas, 4 horas y 26 horas para lo cual se presenta dos ecuaciones a continuación:

Degradación de rodamina B a las 4 horas

$$E_1 = R_4 = \frac{a^*(0h) - a^*(4h)}{a^*(0h)} * 100 > 20\%$$

Degradación de rodamina B a las 26 horas

$$E_2 = R_{26} = \frac{a^*(0h) - a^*(26h)}{a^*(0h)} * 100 > 50\%$$

- **a*(0h):** Factor de color a las cero horas
- **a*(4h):** Factor de color a las cuatro horas
- **a*(26h):** Factor de color a las veintiséis horas

Tabla 26

Características físico – químicas y microbiológicas

Descripción	Und	Parámetros
Aspecto	-	Polvo
Color	-	Verde oscuro
Olor	-	Inodoro

Pureza	%	85 % min.
Materia insoluble en agua	%	0.2% máx.
Materiales pesados (como Plomo)	ppm	40 ppm máx.
Arsénico (As)	ppm	3 ppm máx.
Plomo (Pb)	ppm	2 ppm máx.

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el ensayo se sigue con el siguiente procedimiento:

- Pesar aproximadamente 1 gr de rodamina B.

Figura 27

Rodamina B



Fuente: Elaboración propia

- Para disolver se coloca 1 litro de agua destilada en una probeta y 1 gr de rodamina B para proceder a batir para una mezcla homogénea.

Figura 28

Colocación de la rodamina B dentro de la probeta



Fuente: Elaboración propia

- Con la ayuda de una pipeta se coloca 0.5 ml de rodamina B en el área circular del espécimen.

Figura 29

Colocación de solución rodamina B a los especímenes



Fuente: Elaboración propia

- Después del secado se empieza a capturar la primera medición en las óptimas condiciones.

- Para crear un sitio con luz UV-A es necesario tener los materiales para cerrar todas las aberturas posibles donde estarán los 16 especímenes de mezcla asfáltica adicionada y sin adición en un tiempo de 26 horas. Con 3 focos fluorescentes de radiación UV se procede a estar a una altura adecuada para que la luz llegue a las caras más óptimas posibles.

Figura 30

Rayos UV en los especímenes dentro de 26 horas



Fuente: Elaboración propia

















- Los tiempos indicados para la obtención de la fotodegradación se hacen capturas para luego ser procesadas con el software ImageJ donde se obtiene los datos en el espacio RGB los cuales son anotados.
- Con el ASPOSE software en línea se convierte las coordenadas RGB para que tengan las mismas coordenadas con el software en mención.

Los tiempos de 0, 4 y 26 horas donde se hizo las capturas mediante una cámara se empezó a dar distintas nomenclaturas para poder diferenciar en el software ImageJ,

las figuras 31, 32, 33 son capturas de todos los especímenes practicados para este ensayo.

Figura 31













Ensayo de degradación de la rodamina B a las 0 horas

RECOLECCION DE DATOS A LAS 0 HORAS 8:24 am (04/01/2024)				
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
PATRON+ 0% TiO ₂				
PATRON + 3 % DE TiO ₂				
PATRON + 5 % DE TiO ₂				
PATRON + 7 % DE TiO ₂				

Fuente: Elaboración propia

Figura 32

















Ensayo de degradación de la rodamina B a las 4 horas

RECOLECCIÓN DE DATOS A LAS 4 HORAS 12:24 pm (04/01/2024)				
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
PATRON + 0 % TiO ₂				
PATRON + 3 % DETiO ₂				
PATRON + 5 % DETiO ₂				
PATRON + 7 % DETiO ₂				

Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Ensayo de degradación de la rodamina B a las 26 horas

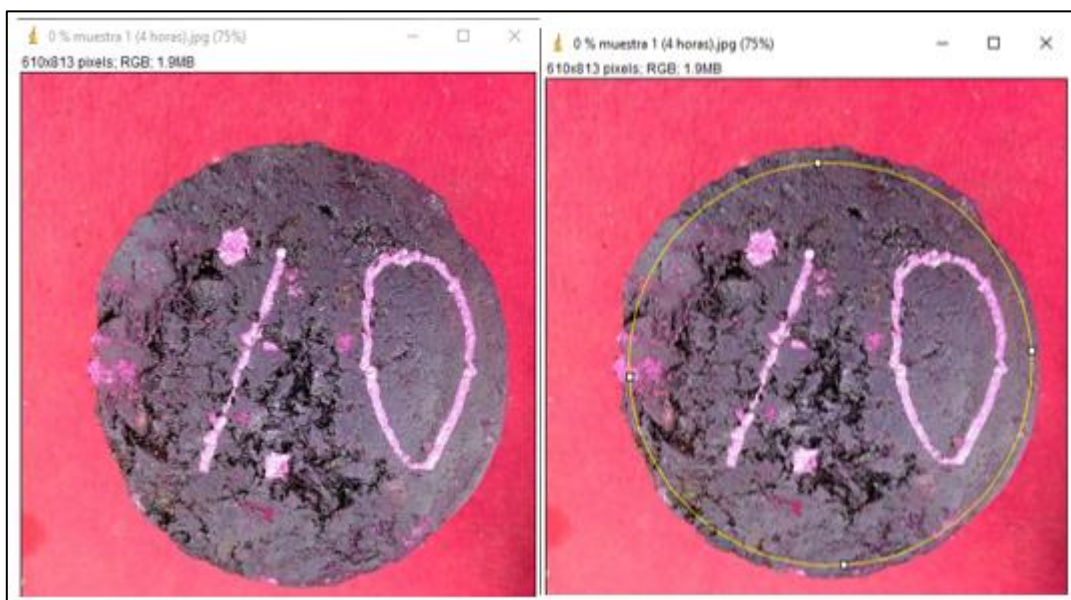
RECOLECCION DE DATOS A LAS 26 HORAS 10:24 am (05/01/2024)				
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
PATRON + 0 % TiO ₂				
PATRON + 3 % DETiO ₂				
PATRON + 5 % DETiO ₂				
PATRON + 7 % DETiO ₂				

Fuente: Elaboración propia

Se procedió a usar el software ImageJ los pasos fueron para ingresar la fotografía: File/Open/Seleccionar fotografía /Abrir y la fotografía donde aparece un cuadro aparte mostrado en la figura 33. Seguidamente se tiene otra ventana abierta de herramientas donde una carpeta indico “eliptical or brush selections” donde se dibuja una longitud de curva sobre el diámetro de la figura 34, se define la muestra de figura para obtener las coordenadas RGB.

Figura 34

Software ImageJ

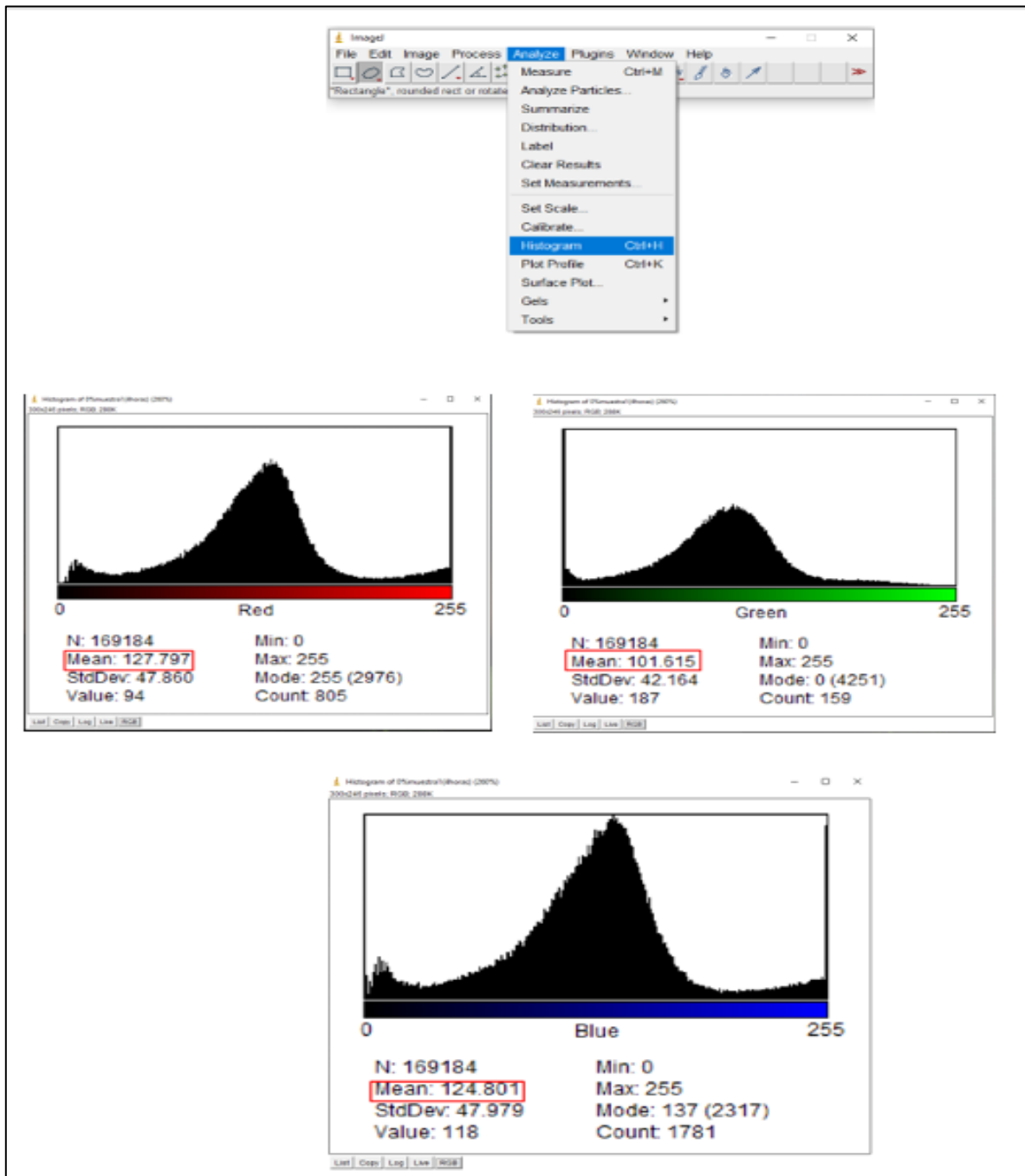


Fuente: ImageJ – Elaboración propia

Después de determinar el área se regresa a la ventana de herramientas y se sigue con la siguiente secuencia: Analyze / Histogram / RGB (3 veces), donde se ubica los espacios Red, Green y Blue. “Mean” será la denominación para los valores.

Figura 35

Extracción de coordenadas RGB



Fuente: ImageJ – Elaboración propia

Para trabajar con las mismas coordenadas L^*a^*b se convierte las coordenadas RGB en el software online ASPOSE donde se convierte los valores y se anota para “a” en un sistema LAB como se presenta en la figura 36.

Figura 36

*Conversión de coordenadas RGB a L^*a^*b*

Convert RGB to LAB - C#

Input

Color Model: RGB

R 127.797 G 101.615 B 124.801

Output

HEX	#80667d	copy	HSL	hsl(306.923, 11%, 45%)	copy
RGB	rgb(128, 102, 125)	copy	HWB	hwb(306.923, 40%, 50%)	copy
NCOL	M12, 40%, 50%	copy	LAB	lab(46.407%, 11.118%, -6.983%)	copy
CMYK	cmyk(0%, 20%, 2%, 50%)	copy	OKLAB	oklab(54.4%, 10.25%, -6%)	copy
HSV	hsv(306.923, 23%, 45%)	copy	LCH	lch(46.407%, 10.941%, 327.867%)	copy
XYZ	xyz(17.4%, 15.6%, 21.5%)	copy	OKLCH	oklch(54.4%, 11.75%, 330.058%)	copy

Fuente: RGB to LAB – Elaboración propia

Los valores de A fueron introducidos en una hoja Excel como “a” las 0,4,26 horas para posteriormente obtener R4 y R26 con la formula descrita anteriormente para hallar rodamina B.

Los datos alcanzaos de la prueba de degradación con rodamina B en especímenes con asfalto adicionados y sin adición de TiO_2 expuestos a rayos UV en

un tiempo de 4 horas, se sigue de acuerdo al procedimiento de la norma UNI 11259 donde se llega si el espécimen es fotocatalítico o no.

Tabla 27

Fotodegradación de la rodamina B + 0% TiO₂

Medición de la fotodegradación de rodamina B - Muestras patrón 0 % M1, M2, M3, M4 (UNI 11259)											
0%	RGB			RGB			CIELAB		R4 %	R4 %	C u m p l e
	R	G	B	R	G	B	a*(0h) 8:24 am (04/01/2024)	a*(4h) 12:24 pm (04/01/2024)			
	0 (h)			4(h)							
M1	127.7	101.6	128.8	127.80	101.62	124.80	11.604	11.118	4.19		
M2	117.8	105.9	118.7	110.12	97.65	106.35	5.434	4.891	9.99	6.23	N
M3	132.5	110.6	121.9	119.34	100.14	114.17	8.326	7.852	5.69		O
M4	127.8	106.7	124.7	130.63	111.97	132.37	8.871	8.422	5.06		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Fotodegradación de la rodamina B + 3% TiO₂

Medición de la fotodegradación de rodamina B - Muestras patrón 3 % (TiO ₂) M1, M2, M3, M4 (UNI 11259)											
3%	RGB			RGB			CIELAB		R4 %	R4 %	C u m p l e
	R	G	B	R	G	B	a*(0h) 8:24 am (04/01/2024)	a*(4h) 12:24 pm (04/01/2024)			
	0 (h)			4(h)							
M5	165.6	107.0	129.2	187.91	135.72	151.09	21.219	17.709	16.54		
M6	165.7	110.5	144.0	169.87	120.25	132.36	20.954	17.167	18.07	24.01	SI
M7	171.3	104.0	130.9	190.44	140.59	149.44	24.207	16.041	33.73		
M8	172.8	110.4	145.5	193.39	143.07	159.27	23.58	17.046	27.71		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29*Fotodegradación de la rodamina B + 5% TiO₂*

Medición de la fotodegradación de rodamina B - Muestras patrón 5 % (TiO ₂) M1, M2, M3, M4 (UNI 11259)											
5%	RGB			RGB			CIELAB		R4 %	R4 %	C u m p l e
	R	G	B	R	G	B	a*(0h) 8:24 am (04/01/2024)	a*(4h) 12:24 pm (04/01/2024)			
	0 (h)			4(h)							
M9	156.7	108.1	131.1	180.22	143.29	155.98	18.186	12.775	29.75		
M10	164.3	110.5	138.7	184.03	140.59	155.67	19.842	14.847	25.17	26.	SI
M11	160.6	107.5	133.4	175.85	131.79	147.59	20.054	15.42	23.11	56	
M12	158.1	107.9	135.9	174.80	134.78	145.96	18.998	13.637	28.22		

Fuente: Elaboración propia

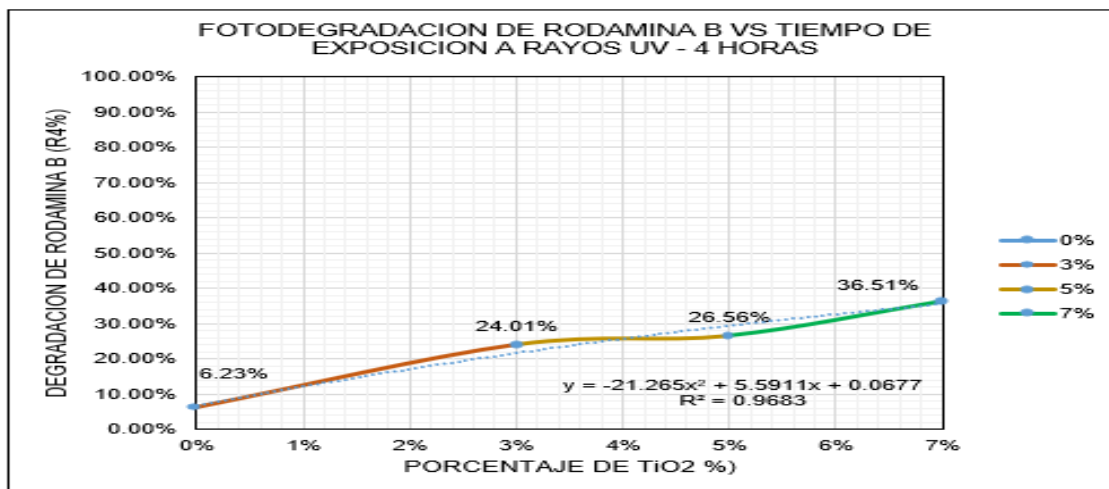
Tabla 30*Fotodegradación de la rodamina B + 7% TiO₂*

Medición de la fotodegradación de rodamina B - Muestras patrón 7% (TiO ₂) M1, M2, M3, M4 (UNI 11259)											
7%	RGB			RGB			CIELAB		R4 %	R4 %	C u m p l e
	R	G	B	R	G	B	a*(0h) 8:24 am (04/01/2024)	a*(4h) 12:24 pm (04/01/2024)			
	0 (h)			4(h)							
M13	169.3	111.1	137.9	168.61	139.58	143.48	21.272	9.338	56.10		
M14	171.7	113.8	142.3	162.90	120.00	137.48	21.29	15.447	27.44	36.51	SI
M15	166.3	111.9	135.2	159.48	119.25	130.18	19.636	13.933	29.04		
M16	170.9	109.1	135.9	161.86	121.48	140.17	22.546	15.006	33.44		

Fuente: Elaboración propia

Figura 37

Rodamina B factor degradación con TiO_2



Fuente: Elaboración propia

La mezcla asfáltica sin adición de TiO_2 , no presenta actividad fotocatalítica por lo cual nos demuestra que R4 es menor al 20%, donde se obtuvo un 6.23% a las 4 horas de exposición a UV, es decir que no existe actividad fotocatalítica, después se observa en el gráfico que al aumentar la adición de TiO_2 hasta el 7% esta presenta la mayor actividad fotocatalítica que fue del 36.51 %. Los tratamientos con 3% y 5% contaron con presencia fotocatalítica adecuada para la autolimpieza por ser mayores al 20% después de ser expuestos a los U.V. a las 4 horas.

Los datos alcanzados de la prueba de degradación con rodamina B de la mezcla asfáltica común y adicionadas con TiO_2 donde se expuso a rayos UV en un tiempo de 26 horas, los resultados obtenidos se calcularon mediante la norma UNI 11259 el cual nos indica si una mezcla asfáltica presenta o no actividad fotocatalítica.

Tabla 31**Fotodegradación de la rodamina B + 0% TiO₂**

Medición de la fotodegradación de rodamina B - Muestras patrón sin dióxido de titanio (TiO ₂) M1, M2, M3, M4 (UNI 11259)												
0%	RGB			RGB			CIELAB			R26 %	R26 %	C u m p l e
	R	G	B	R	G	B	a*(0h)	a*(26h)				
	0 (h)			4(h)			8:24 am (04/01/2024)	10:24 am (05/01/2024)				
M1	127.71	101.61	128.85	125.76	101.07	124.61	11.604	10.943	5.70			
M2	117.83	105.89	118.67	91.59	83.24	91.77	5.434	4.157	23.50	12.64	N	
M3	132.54	110.55	121.92	126.52	109.23	122.00	8.326	7.305	12.26		O	
M4	127.79	106.68	124.67	105.51	87.56	104.68	8.871	8.062	9.12			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32**Fotodegradación de la rodamina B + 3% TiO₂**

Medición de la fotodegradación de rodamina B - Muestras patrón 3 % (TiO ₂) M1, M2, M3, M4 (UNI 11259)												
3%	RGB			RGB			CIELAB			R26 %	R26 %	C u m p l e
	R	G	B	R	G	B	a*(0h)	a*(26h)				
	0 (h)			26(h)			8:24 am (04/01/2024)	10:24 am (05/01/2024)				
M5	165.63	107.05	129.24	146.76	134.12	141.82	21.22	4.94	76.72			
M6	165.67	110.51	144.03	162.10	121.67	132.68	20.95	13.87	33.79	55.53	S	
M7	171.30	103.98	130.93	142.64	120.10	127.26	24.21	8.10	66.56		I	
M8	172.84	110.45	145.45	164.55	127.28	135.53	23.58	12.96	45.06			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33*Fotodegradación de la rodamina B + 5% TiO₂*

Medición de la fotodegradación de rodamina B - Muestras patrón 5 % (TiO ₂) M1, M2, M3, M4 (UNI 11259)											
	RGB			RGB			CIELAB		R26 %	R26 %	C u r r p l e
	R	G	B	R	G	B	a*(0h) 8:24 am (04/01/2024)	a*(26h) 10:24 am (05/01/2024)			
5%	0 (h)			26(h)							
M9	156.70	108.10	131.06	157.29	135.37	141.05	18.186	7.508	58.72		
M10	164.32	110.54	138.69	161.75	134.09	140.30	19.842	9.401	52.62	56.52	S
M11	160.64	107.48	133.45	138.72	115.36	125.04	20.054	10.53	47.49		I
M12	158.06	107.87	135.86	132.5	115.95	122.50	18.998	6.224	67.24		

Fuente: Elaboración propia

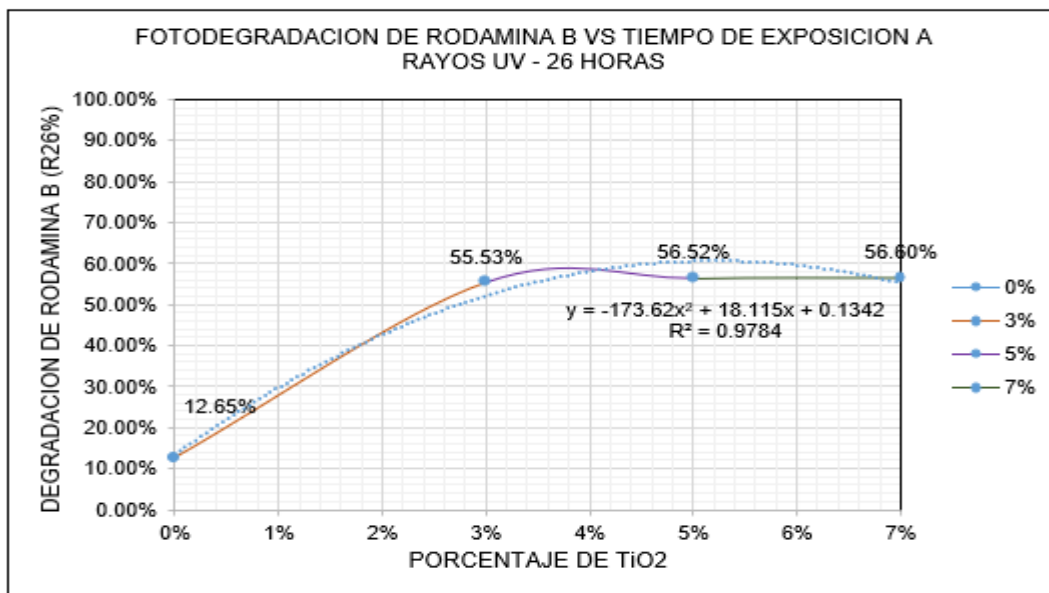
Tabla 34*Fotodegradación de la rodamina B + 7% TiO₂*

Medición de la fotodegradación de rodamina B - Muestras patrón 7 % (TiO ₂) M1, M2, M3, M4 (UNI 11259)											
	RGB			RGB			CIELAB		R26 %	R26 %	C u r r p l e
	R	G	B	R	G	B	a*(0h) 8:24 am (04/01/2024)	a*(26h) 10:24 am (05/01/2024)			
7%	0 (h)			26(h)							
M13	169.29	111.08	137.86	157.93	121.42	128.2	21.272	12.553	40.99		
M14	171.69	113.81	142.25	144.92	125.79	131.19	21.29	6.546	69.25	56.60	S
M15	166.34	111.91	135.24	143.3	121.64	123.85	19.636	6.905	64.83		I
M16	170.86	109.13	135.89	152.27	119.78	127.38	22.546	10.971	51.34		

Fuente: Elaboración propia

Figura 38

Rodamina B factor degradación con TiO_2



Fuente: Elaboración propia

La figura 38 nos muestra que el espécimen patrón no presenta actividad fotocatalítica con respecto a la degradación de rodamina B en un tiempo de 26 horas, donde se obtuvo un 22.17% que es menor al 50%, es decir no presenta actividad fotocatalítica para autolimpiarse. Sin embargo, con el 7% de TiO_2 es donde se alcanza una mayor actividad fotocatalítica del 56.60%.

Sin embargo, las adiciones de 3% y 5% también presentaron actividad fotocatalítica donde los valores alcanzados son mayores al 50% por lo cual esta dentro de lo requerido según norma UNI 11259.

Tabla 35*Resumen de resultados*

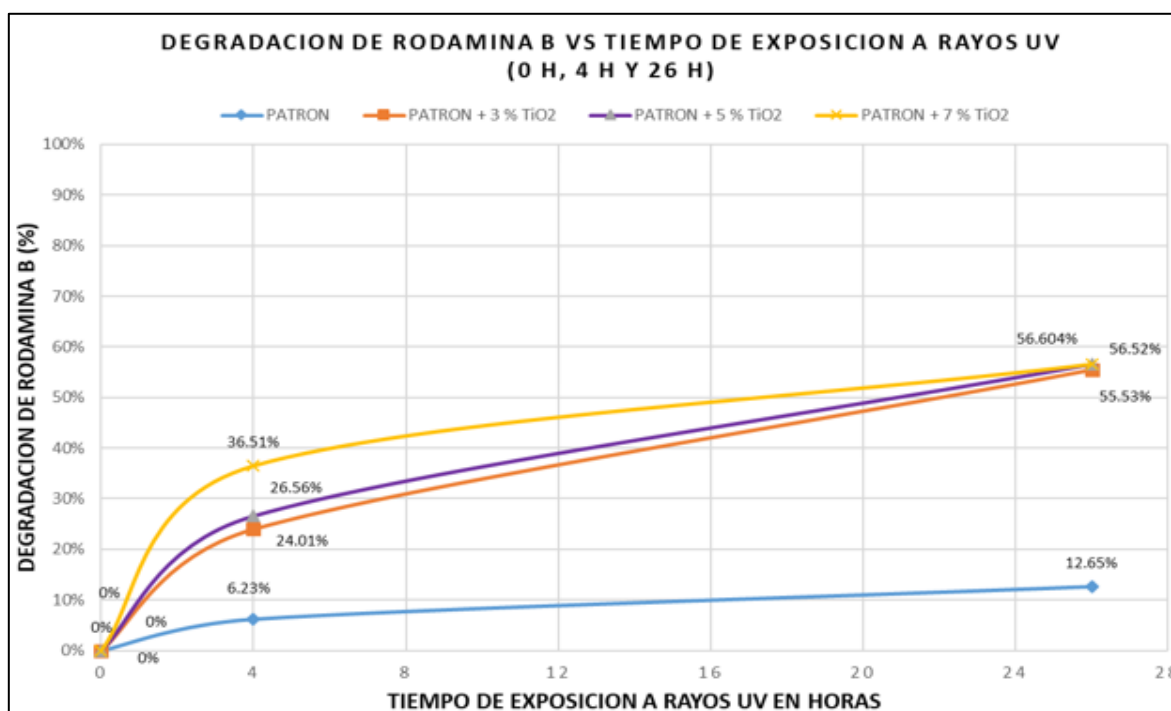
Resumen de resultados de degradación de rodamina B, promedio R4 y R26 de las muestras patrón 3%, 5% y 7% de dióxido de titanio (TiO₂)

Dióxido de titanio %	Resultados		Especificaciones	Resultados	
	Promedio %R4	Promedio %R26	UNI 11259 Min	R4	R26
Muestra patrón sin (TiO ₂)	6.23	12.645	R4> 20%	X	X
Muestra 3 % con (TiO ₂)	24.01	55.532	R26>50 %	✓	✓
Muestra 5 % con (TiO ₂)	26.56	56.517		✓	✓
Muestra 7 % con (TiO ₂)	36.51	56.604		✓	✓

Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Degradación de rodamina B contra el tiempo de exposición a rayos UV



Fuente: Elaboración propia

Alrededor de 4 horas expuestos con rayos UV se obtuvieron medias muy dispersas, la adición de 7% de TiO_2 alcanzo una mejor degradación de 36.51%, el 3% y 5% alcanzaron valores de 24.01%, 26.56% respectivamente, pero el espécimen sin adición no existe actividad fotocatalítica.

Alrededor de 26 horas expuestos con rayos UV se obtuvieron medias muy dispersas, la adición de 7% de TiO_2 alcanzo una mejor degradación de 56.604%, el 3% y 5% alcanzaron valores de 55.53%, 56.52% respectivamente, pero el espécimen sin adición no existe actividad fotocatalítica.

4.1.5. Degradación del CO_2 de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de autolimpieza con rayos U.V

Con la presencia de dióxido de carbono como agente contaminante es uno de los pilares en el deterioro de la capa de ozono, así como afectar la calidad del aire, por lo cual es un agente considerado. Se encuentra partículas volátiles en el aire por este agente químico donde es producido por el propio ser humano al usar sus vehículos diariamente. Sus problemas tienen efectos con problemas respiratorios, asma, bronquitis y demás enfermedades. Al contener un alto poder hidrofílico el dióxido de titanio degrada este contaminante donde al contacto con el agua la superficie arrastra la suciedad. Se hacen gotas de agua con el contacto de la superficie para ser limpiables y autolimpiables con las precipitaciones generadas por las lluvias.

Para realizar el ensayo se sigue el siguiente procedimiento:

- Primeramente, se realizó un registro fotográfico de las 16 probetas antes de ser expuestas a la contaminación.

Figura 40

Especímenes antes de realizar el ensayo de autolimpieza



Fuente: Elaboración propia

- Después se realizó la exposición de las 16 probetas hacia los agentes contaminantes (CO_2 , NO_2) que son producidos por los vehículos ligeros y pesados que transitan en la panamericana (semáforo), cruce de intersecciones entre la Av. panamericana y la Av. Villa sol, se eligió esta zona ya que existe un alto tráfico vehicular, así como deficiencias en su carpeta asfáltica donde está enfocada el planteamiento del problema de nuestra investigación.

Figura 41

Especímenes en contacto con la contaminación CO₂



Fuente: Elaboración propia

- Para acelerar la contaminación del CO₂ y acelerar el proceso se contaminaron las muestras con el tubo de escape de un vehículo en mal estado que desprendía humo de color negro.

Figura 42

Aceleración de contaminación con CO₂



Fuente: Elaboración propia

- Al alcanzar un color oscuro en todos los especímenes se hace una toma de fotografía a las 0 horas, en un tiempo de 24 horas se deja reposar que al estar expuesta a los rayos del sol y factores ambientales se contaminan.
- Después de 24 horas donde no hay presencia de precipitaciones se vierte agua reciclada de la lluvia sobre los especímenes para simular la lluvia y dar proceso al proceso de autolimpieza.

Figura 43

Autolimpieza de los especímenes



Fuente: Elaboración propia

- Las muestras están bajo un tiempo al sol para secarse y así poder capturar las fotos correspondientes.
- Mediante el software ImageJ se procesó las fotografías obtenidas donde se obtendrá la intensidad ponderada.

- Seguidamente se resta el valor inicial al final, donde se obtiene el valor que varía en función a la colorimetría.

Procedimiento típico para obtener la intensidad ponderada

A las 0 horas y 24 horas las fotografías tomadas de los especímenes se proceden a dar una nomenclatura distinta a cada espécimen para poder procesar en el software ImageJ.

Figura 44


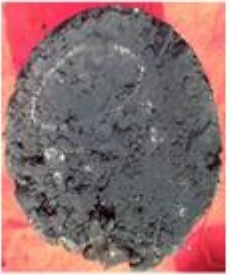














Degradación de partículas volátiles contaminantes antes de la exposición CO_2



Fuente: Elaboración propia

Figura 45

















Degradación a las 0 horas de especímenes

RECOLECCIÓN DE DATOS MOMENTO DE LA CONTAMINACION (0 HORAS) 02: 30 PM (06/01/2024)				
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
PATRÓN + 0 % TiO ₂				
PATRÓN + 3 % DETiO ₂				
PATRÓN + 5 % DETiO ₂				
PATRÓN + 7 % DETiO ₂				

Fuente: Elaboración propia

Figura 46

Degradación a las 24 horas de especímenes

RECOLECCION DE DATOS A LAS 24 H DESPUES DE SER SOMETIDOS A LOS RAYOS UV 02:30 PM (07/01/2024)				
	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
PATRON + 0 % TiO ₂				
PATRON + 3 % DETiO ₂				
PATRON + 5 % DETiO ₂				
PATRON + 7 % DETiO ₂				

Fuente: Elaboración propia

Se procede a iniciar el software ImageJ, el procedimiento es ingresar una fotografía: fue: File/Open/Seleccionar fotografía/abrir, aparece en una ventana adicional. Después se mantiene otra ventana abierta de herramientas donde se busca “eliptical o brush selections” esto nos permite dibujar una longitud de curva sobre el diámetro de la figura, se define el área para extraer las coordenadas RGB.

Figura 47

Fotografías introducidas al software Image J

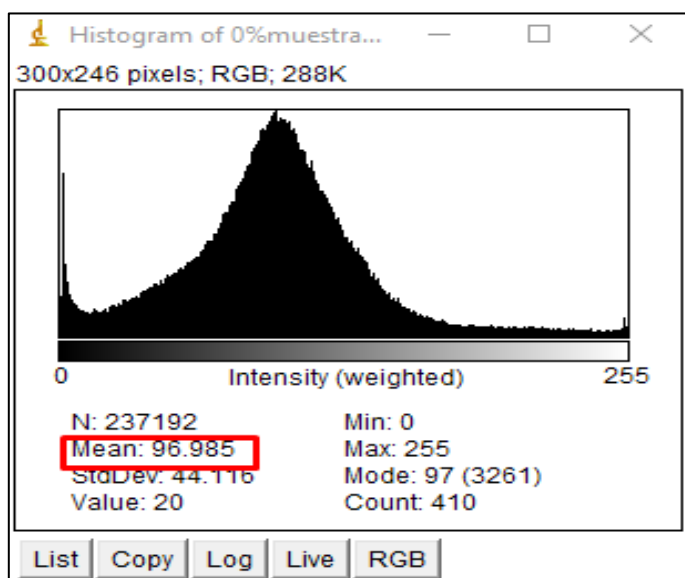


Fuente: Elaboración propia

Después de definir el área circular se vuelve a la barra de herramientas y se procede así: Analyze /Histograma/RGB (1vez). Donde está el espacio “intensity weighted”. “Mean” serán los valores a utilizar.

Figura 48

Extracción del valor de intensidad ponderada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 36

Medición colorimétrica de los especímenes a 0 horas y 24 horas

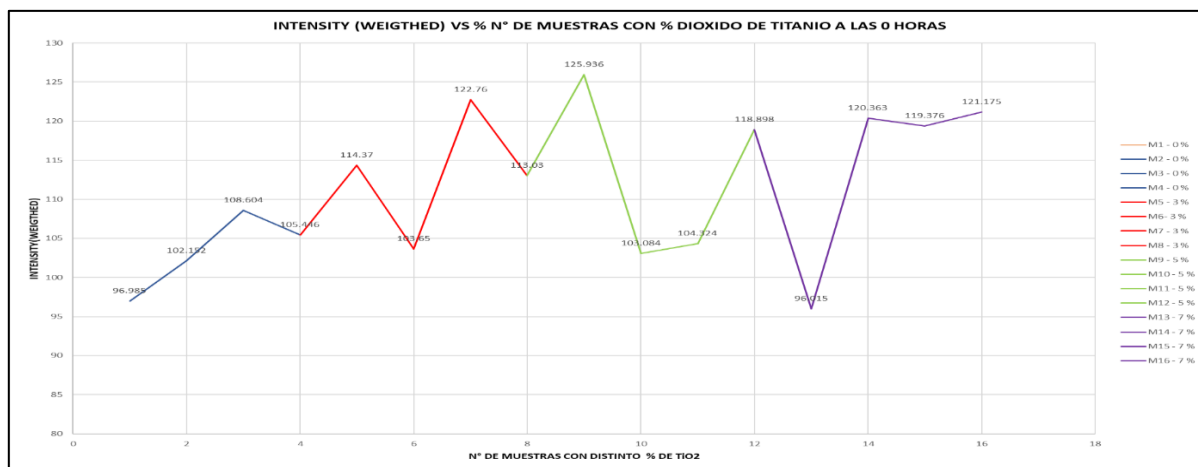
Medición colorimétrica de los moldes - factor de fotodegradación del CO ₂ (Norma UNI 11259)					
ESP - (TiO ₂)	INTENSITY (WEIGHTED)		Diferencia	%Variación	%Variación promedio
	0 HORAS	24H			
	02:30 PM(O6/01/2024)	02:30 PM(O7/01/2024)			
M1 - 0 %	96.985	99.98	2.995	3.09	
M2 - 0 %	102.152	104.156	2.004	1.96	2.06
M3 - 0 %	108.604	109.668	1.064	0.98	
M4 - 0 %	105.446	107.76	2.314	2.19	
M5 - 3 %	114.37	137.52	23.15	20.24	
M6 - 3 %	103.65	118.19	14.54	14.03	14.74
M7 - 3 %	122.76	144.36	21.6	17.60	
M8 - 3 %	113.03	121.07	8.04	7.11	
M9 - 5 %	125.936	134.845	8.909	7.07	
M10 - 5 %	103.084	126.767	23.683	22.97	15.28
M11 - 5 %	104.324	119.503	15.179	14.55	

M12 - 5 %	118.898	138.549	19.651	16.53	
M13 - 7 %	96.015	127.339	31.324	32.62	
M14 - 7 %	120.363	147.245	26.882	22.33	21.30
M15 - 7 %	119.376	139.335	19.959	16.72	
M16 - 7 %	121.175	137.547	16.372	13.51	

Fuente: Elaboración propia

Figura 49

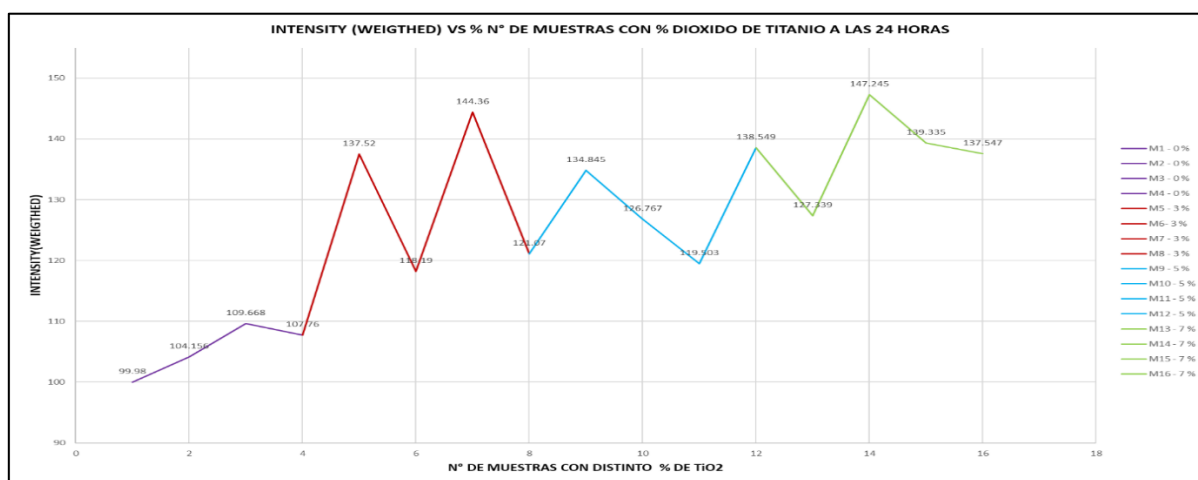
Medición de la intensidad según los % de TiO₂ a 0 horas



Fuente: Elaboración propia

Figura 50

Medición de la intensidad según los % de TiO₂ a 24 horas



Fuente: Elaboración propia

Los resultados alcanzados en diferentes % de TiO_2 presentan variaciones en función al grado de autolimpieza que van desde 14.74% hasta 21.30%, estos grados están en función de la adición de TiO_2 en las mezclas asfálticas adicionadas frente a la mezcla sin adición que presenta una ligera variación de 2.06% pero no hay mucha diferencia en las mezclas asfálticas comunes.

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Discusión de resultados

Con los resultados obtenidos en esta tesis empezaremos a discutir con antecedentes de investigaciones, para lo cual contrastaremos y compararemos para así discutir sobre los datos obtenidos si difieren o no difieren:

- a) La estabilidad y flujo parámetros del ensayo Marshall con adiciones de 3% de TiO_2 adquieren mejor comportamiento en la deformación de la mezcla asfáltica frente al 5% de TiO_2 ya que esta adición presenta decremento en función de la mezcla asfáltica patrón.

El diseño de mezcla asfáltica común presenta una estabilidad de 1379.2 kg en tanto la mezcla asfáltica adicionada con 3% de TiO_2 presentan valores de estabilidad de 1423.83 kg en ese caso son valores superiores a la mezcla asfáltica de diseño común en 44.63 kg – 3.24% por lo tanto se genera incrementos de la mezcla asfáltica adicionada frente a la mezcla asfáltica común.

El diseño de mezcla asfáltica común presenta un flujo de 3.95 mm, mientras que la mezcla asfáltica adicionada con adición de 3%,5%,7% de TiO_2 presentan flujos de 5.4 mm, 7.40 mm y 7.43 mm valores que están fuera de los criterios según el EG – 2013 que nos indica que los valores de flujo deben estar comprendidos entre 2 - 4 mm, en ese caso si bien no están dentro de los criterios permitidos según norma el TiO_2 mejora los valores en la estabilidad mas no en el flujo.

Según (Rivera, 2022) manifiesta que los parámetros Marshall determinados en su investigación que con la adición de TiO_2 al 2% presenta mejores resultados en la estabilidad de 17.44% respecto a la mezcla asfáltica común. En tanto en el flujo registra un aumento de 6.49% respecto a la mezcla asfáltica común cuyos datos están dentro de los rangos establecidos en la norma.

La comparación de ambas investigaciones demuestra que no existen coincidencias de valores obtenidos debido a que son diferentes % de TiO_2 , además de ello existe bastante diferencia en la calidad de agregados usados en los presentes diseños de mezclas asfálticas en caliente, así como determinamos que el uso en la adición del TiO_2 en la mezcla asfáltica común mejora su resistencia a la deformación.

- b) El ensayo de resistencia a compresión diametral nos demuestra valores obtenidos de la mezcla asfáltica común de 1.45 Mpa en comparación a la mezcla asfáltica adicionada que presenta 1.58 Mpa con 3% de TiO_2 lo cual

existe un incremento de 0.13 Mpa que representa un 9%, valores de la mezcla asfáltica adicionada frente a la mezcla asfáltica común.

Estudios con adición de TiO_2 en mezclas asfálticas mediante el ensayo de resistencia a compresión diametral no se han encontrados investigaciones mediante este ensayo. El ensayo nos permite definir si la mezcla asfáltica es susceptible o no a las condiciones de saturación por aguas superficiales.

- c) El desgaste determinado por el ensayo de cántabro de la mezcla asfáltica común presenta valores de 6.48% frente a la mezcla asfáltica adicionada que presentan valores de 7.68%, 7.83% y 17.32% por lo tanto, al añadir más TiO_2 presenta mayor desgaste ya que presentan incrementos frente a la mezcla asfáltica común.

También no se han encontrado investigaciones similares con la resistencia de pérdida por desgaste de mezclas asfálticas adicionadas con TiO_2 , es necesario y fundamental hacer este ensayo ya que se puede analizar cuanto desgaste se genera a un mayor tráfico producido por el flujo de vehículos.

- d) La adición a partir del 3% de TiO_2 se determinó que al utilizar mayor cantidades de TiO_2 sus propiedades fotocatalíticas aumentan y se logra cumplir con los parámetros que exige la norma UNI 11259, los valores alcanzados de 3%, 5%, 7% con TiO_2 en R4 así como en R26 del ensayo de rodamina B fueron de 24.01%, 26.56%, 36.51% en R4 y en R26 fueron de 55.53%, 56.52%, 56.60% estos valores obtenidos están dentro de los

parámetros exigidos en la norma UNI 11259 que indica que $R4 > 20\%$ y $R26 > 50\%$ por lo tanto se logró cumplir con los parámetros exigidos de la norma. Según (Rivera, 2022) manifiesta que los valores obtenidos en su investigación fueron de 8% de TiO_2 para R4 es 11.76% y en R26 es de 28.49% valores que no están dentro de lo exigido en la norma UNI 11259. La comparación de ambas investigaciones demuestra que no existen coincidencias en los valores obtenidos ya que son diferentes % de TiO_2 además de ello los agregados son de diferente calidad y el diseño óptimo de contenido de asfalto alcanzo diferentes valores para lo cual se utilizó una combinación Mac distinta a la usada en esa tesis en mención, debido a ello en esta investigación si se logró cumplir con las exigencias de la norma en comparación a la investigación de (Rivera, 2022) cuyos valores no alcanzan los exigidos según norma.

- e) Los valores obtenidos mediante el ensayo de autolimpieza con rayos U.V. de la mezcla asfáltica en caliente común presenta valores de 2.06% frente a la mezcla asfáltica adicionada con TiO_2 de 3% es de 14.74%, de 5% es de 15.28%, de 7% es de 21.30% por lo tanto al adicionar más TiO_2 se genera una mayor degradación de CO_2 en la mezcla asfáltica adicionada frente a la mezcla asfáltica común.

También no se han encontrado investigaciones similares sobre la degradación de CO_2 de mezclas asfálticas adicionadas con TiO_2 .

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Contrastación de hipótesis

Hipótesis general

El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac, 2023.

Hipótesis específicas

a. Hipótesis específica 01

El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall.

Para la contrastación estadística de la hipótesis se emplea ANOVA (análisis de varianza) para más de 2 muestras independientes, teniendo en consideración que tengo 3 muestras independientes en diferentes porcentajes de TiO_2 .

Según los parámetros Marshall contrastaremos la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica común, así como de la mezcla asfáltica adicionada.

Se presentan los valores de estabilidad de la mezcla asfáltica común es de 1379.20 kg, con TiO_2 de 3% es de 1423.83 kg, con TiO_2 de 5% es de 1281.17 kg y con TiO_2 de 7% es de 1800.77 kg. Los flujos presentados de la mezcla asfáltica común, así como de la mezcla asfáltica adicionada con TiO_2 son de 0% - 3.95 mm, 3% - 5.4 mm, 5% - 7.40 mm y 7% - 7.43 mm.

Formulación de hipótesis

H₀: La adición de 3%, 5% y 7% de TiO₂ no existe diferencia significativa entre las medias de estabilidad y flujo, con respecto a la mezcla asfáltica común.

H₁: La adición de 3%, 5% y 7% de TiO₂ existe diferencia significativa entre las medias de estabilidad y flujo, con respecto a la mezcla asfáltica común.

Para lo cual todos los parámetros requeridos son según el EG – 2013 del ministerio de transportes y comunicaciones.

- Si el valor de $F >$ valor crítico para F , se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $F <$ valor crítico para F , se acepta la hipótesis nula.

y/o

- Si el valor de $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $p > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 37

Resultados de estabilidad de TiO₂

Resumen de estabilidad (kg)			
0% - TiO ₂	3% - TiO ₂	5% - TiO ₂	7% - TiO ₂
(M-1) – 1444.3	(M-4) – 1972.6	(M-7) – 1214.6	(M-10) – 1989.2
(M-2) – 1340.3	(M-5) – 1124.9	(M-8) – 1365.1	(M-11) - 1583.8
(M-3) – 1438.2	(M-6) - 1174	(M-9) – 1263.8	(M-12) - 1829.3

Fuente: Elaboración propia

a) Estadísticos descriptivos

Tabla 38*Valores estadísticos*

TiO ₂	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	1379.2	58.36	4.23%	1056.96	1758.24
3 %	3	1423.83	475.88	33.42%	1073.19	1774.48
5 %	3	1281.17	76.74	5.99%	930.52	1631.81
7 %	3	1800.77	204.2	11.34%	1450.12	2151.41

Fuente: Elaboración propia

b) Análisis de varianza

Tabla 39*Análisis de varianza de la estabilidad con TiO₂*

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	452434.21	3	150811.40	2.174	0.1689	4.066
Within groups	554908.56	8	69363.57			
Total	1007342.8	11	91576.62			

Fuente: Elaboración propia

Se afirma a un 95 % de confianza que el F calculado < valor crítico para F por lo tanto no se rechaza Ho – hipótesis nula en la estabilidad mas no en la hipótesis

planteada en esta hipótesis específica porque depende de 2 parámetros según el EG – 2013. Para una mejor verificación de que hay diferencias significativas utilizaremos Tukey.

Tabla 40

Diferencias de medias de estabilidad con TiO₂

Tukey						
TiO ₂		mean	std err	p - value	95 % trust	
					Lower	Upper
	3 %	16.23	152.06	0.9998	-672.43	704.90
0 %	5 %	126.43	152.06	0.9329	-562.23	815.09
	7 %	393.17	152.06	0.3281	-295.50	1081.83
	0 %	16.23	152.06	0.9998	-672.43	704.90
3 %	5 %	142.67	152.06	0.9079	-545.99	831.33
	7 %	376.93	152.06	0.3597	-311.73	1065.60
	0%	126.43	152.06	0.9329	-562.23	815.09
5%	3%	142.67	152.06	0.9079	-545.99	831.33
	7%	719.60	152.06	0.1510	-169.06	1208.26
	0%	393.17	152.06	0.3281	-295.50	1081.83
7 %	3%	376.93	152.06	0.3597	-311.73	1065.60
	5%	519.60	152.06	0.1510	-169.06	1208.26

Fuente: Elaboración propia

Se muestra que la comparación múltiple de medias el p – value > 0.05 por lo tanto no se rechaza H_0 – hipótesis nula en la estabilidad, entonces no existe diferencia significativa entre las medias de los diferentes porcentajes de TiO_2 .

Tabla 41

Resultados de flujo de TiO_2

Resumen de flujo (mm)			
0% - TiO_2	3% - TiO_2	5% - TiO_2	7% - TiO_2
(M-1) – 3.95	(M-4) – 4	(M-7) – 8.5	(M-10) – 6.9
(M-2) – 3.95	(M-5) – 4.2	(M-8) – 5.4	(M-11) – 7.5
(M-3) – 3.95	(M-6) – 8	(M-9) – 8.2	(M-12) - 8

Fuente: Elaboración propia

c) Estadísticos descriptivos

Tabla 42

Valores estadísticos

TiO_2	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	3.95	5.44E-16	0.00%	2.031	5.87
3 %	3	5.40	2.25	41.74%	3.48	7.32
5 %	3	7.40	1.709	23.11%	5.45	9.29

7 %	3	7.43	0.55	7.41%	5.55	9.39
-----	---	------	------	-------	------	------

Fuente: Elaboración propia

d) Análisis de varianza

Tabla 43

Análisis de varianza de flujo con TiO₂

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	25.719	3	8.573	4.128	0.048	4.066
Within groups	16.61	8	2.0767			
Total	42.33	11	3.848			

Fuente: Elaboración propia

Se afirma a un 95 % de confianza que el F calculado > valor crítico para F por lo tanto se rechaza el H₀ – hipótesis nula en el flujo mas no en la hipótesis planteada en esta hipótesis especifica porque depende de 2 parámetros según el EG – 2013. Para una mejor verificación de que hay diferencias significativas utilizaremos Tukey.

Tabla 44

Diferencias de medias de estabilidad con TiO₂

Tukey					
TiO ₂	mean	std err	p - value	95 % trust	
				Lower	Upper
3 %	1.45	0.83	0.626	-2.318	5.218

0 %	5 %	3.417	0.83	0.076	-0.351	7.185
	7 %	3.517	0.83	0.047	-0.251	7.285
	0 %	1.45	0.83	0.626	-2.318	5.218
3 %	5 %	1.967	0.83	0.396	-1.801	5.735
	7 %	2.067	0.83	0.3581	-1.701	5.835
	0%	3.417	0.83	0.076	-0.351	7.185
5%	3%	1.967	0.83	0.396	-1.801	5.735
	7%	0.10	0.83	0.999	-3.668	3.868
	0%	3.517	0.83	0.047	-0.251	7.285
7 %	3%	2.067	0.83	0.3581	-1.701	5.835
	5%	0.10	0.83	0.999	-3.668	3.868

Fuente: Elaboración propia

Se muestra que la comparación múltiple de medias el p – value < 0.05 por lo tanto se rechaza H_0 – hipótesis nula en el flujo, entonces si existe diferencia significativa entre las medias de los diferentes porcentajes de TiO_2 .

Los valores de estabilidad están contemplados según parámetros del EG – 2013 sin embargo, el flujo con adición de TiO_2 no contempla sus valores dentro de los parámetros del EG – 2013. Si bien es sabido que la estabilidad mínima permitida es de 815 kg según norma si contempla los datos con mucha mayor estabilidad expresado en kg de la mezcla asfáltica adicionada frente a la mezcla asfáltica común.

b. Hipótesis específica 02

El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral.

El ensayo de la tracción indirecta de la mezcla asfáltica común es de 1.45 Mpa, pero de la mezcla adicionada con 3% es de 1.58 Mpa, del 5% presenta de 0.83 Mpa y del 7% es de 1.96 Mpa. Resultados obtenidos presentan un incremento, así como un decremento medianamente significativo con respecto de la mezcla asfáltica adicionada de la mezcla asfáltica común.

Formulación de hipótesis

H₀: La adición de 3%, 5% y 7% de TiO₂ a la mezcla asfáltica adicionada, no existe diferencia significativa entre las 3 medias de tracción indirecta respecto a la mezcla asfáltica común.

H₁: La adición de 3%, 5% y 7% de TiO₂ a la mezcla asfáltica adicionada, si existe diferencia significativa entre las 3 medias de tracción indirecta respecto a la mezcla asfáltica común.

Para lo cual todos los parámetros requeridos son según el EG – 2013 del ministerio de transportes y comunicaciones.

- Si el valor de $F >$ valor crítico para F , se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $F <$ valor crítico para F , se acepta la hipótesis nula.

y/o

- Si el valor de $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $p > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 45*Resultados de tracción indirecta de TiO₂*

Resumen de tracción indirecta (Mpa)			
0% - TiO ₂	3% - TiO ₂	5% - TiO ₂	7% - TiO ₂
(M-1) – 1.93	(M-4) – 1.49	(M-7) – 0.67	(M-10) – 2.18
(M-2) – 1.86	(M-5) – 1.59	(M-8) – 0.63	(M-11) – 1.64
(M-3) – 0.56	(M-6) – 1.67	(M-9) – 1.2	(M-12) – 2.05

Fuente: Elaboración propia

e) Estadísticos descriptivos

Tabla 46*Valores estadísticos*

TiO ₂	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	1.45	0.77	53.21%	0.86	2.04
3 %	3	1.58	0.09	5.70%	0.99	2.17
5 %	3	0.83	0.32	38.18%	0.24	1.42

7 %	3	1.96	0.28	14.4%	1.37	2.55
-----	---	------	------	-------	------	------

Fuente: Elaboración propia

f) Análisis de varianza

Tabla 47

Análisis de varianza de TSR con TiO₂

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	1.96	3	0.654	3.339	0.07	4.066
Within groups	1.57	8	0.196			
Total	3.53	11	0.32			

Fuente: Elaboración propia

Se afirma a un 95 % de confianza que el F calculado < valor crítico para F por lo tanto no se rechaza el H₀ – hipótesis nula en el TSR. Para una mejor verificación de que hay diferencias significativas utilizaremos Tukey.

Tabla 48

Diferencias de medias de TSR con TiO₂

Tukey - TSR						
TiO ₂		mean	std err	p - value	95 % trust	
					Lower	Upper
3 %		0.13	0.26	0.98	-1.02	1.29
0 %	5 %	0.62	0.26	0.38	-0.54	1.77

	7 %	0.51	0.26	0.53	-0.65	1.66
	0 %	0.13	0.26	0.98	-1.02	1.29
3 %	5 %	0.75	0.26	0.24	-0.41	1.91
	7 %	0.37	0.26	0.74	-0.78	1.53
	0%	0.617	0.26	0.38	-0.54	1.77
5%	3%	0.75	0.26	0.24	-0.41	1.91
	7%	1.12	0.26	0.06	-0.03	2.28
	0%	0.507	0.26	0.53	-0.65	1.66
7 %	3%	0.37	0.26	0.74	-0.78	1.53
	5%	1.12	0.26	0.06	-0.03	2.28

Fuente: Elaboración propia

Se muestra que la comparación múltiple de medias el p – value > 0.05 por lo tanto no se rechaza H_0 – hipótesis nula en el TSR, entonces no existe diferencia significativa entre las medias de los diferentes porcentajes de TiO_2 .

c. Hipótesis específica 03

El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro.

Los valores obtenidos de la resistencia al desgaste con adición de TiO_2 de 3% es de 7.68%, de 5% es de 7.83%, de 7% es de 17.32 y de la mezcla asfáltica común es de 6.48%. Estos valores presentan que al adicionar más TiO_2 se genera un mayor desgaste.

Formulación de hipótesis

H₀: La adición de 3%, 5% y 7% de TiO₂ a la mezcla asfáltica adicionada, no existe diferencia significativa entre las 3 medias de la resistencia al desgaste respecto a la mezcla asfáltica común.

H₁: La adición de 3%, 5% y 7% de TiO₂ a la mezcla asfáltica adicionada, si existe diferencia significativa entre las 3 medias de la resistencia al desgaste con respecto a la mezcla asfáltica común.

Para lo cual todos los parámetros requeridos son según el EG – 2013 del ministerio de transportes y comunicaciones.

- Si el valor de $F >$ valor crítico para F , se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $F <$ valor crítico para F , se acepta la hipótesis nula.

y/o

- Si el valor de $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $p > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 49

Resultados de pérdida por desgaste de TiO₂

Resumen de pérdida por desgaste (%)			
0% - TiO ₂	3% - TiO ₂	5% - TiO ₂	7% - TiO ₂
(P-1) – 3.16	(P-5) – 12.23	(P-9) – 5.63	(P-13) – N. P
(P-2) – 12.10	(P-6) – 6.72	(P-10) – 10.47	(P-14) – 12.14

(P-3) – 4.17	(P-7) – 6.56	(P-11) – 6.04	(P-15) – 22.49
(P-4) – N. P	(P-8) – 5.23	(P-12) – 9.20	(P-16) – N. P

Fuente: Elaboración propia

g) Estadísticos descriptivos

Tabla 50

Resultados de pérdida por desgaste de TiO₂

TiO ₂	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	6.48	4.89	75.6%	1.19	11.76
3 %	4	7.69	3.10	40.37%	3.11	12.26
5 %	4	7.84	2.37	30.28%	3.26	12.41
7 %	2	17.32	7.32	42.27%	10.84	23.79

Fuente: Elaboración propia

h) Análisis de varianza

Tabla 51

Análisis de varianza de la pérdida por desgaste con TiO₂

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	169.67	3	56.56	3.46	0.064	3.86
Within groups	147.28	9	16.36			

Total	316.94	12	26.41
-------	--------	----	-------

Fuente: Elaboración propia

Se afirma a un 95 % de confianza que el F calculado < valor crítico para F por lo tanto no se rechaza el H_0 – hipótesis nula la perdida por desgaste. Para una mejor verificación de que hay diferencias significativas utilizaremos Tukey.

Tabla 52

Diferencias de medias de TSR con TiO_2

Tukey						
TiO_2		mean	std err	p - value	95 % trust	
					Lower	Upper
	3 %	1.208	2.18	0.98	-8.43	10.85
0 %	5 %	1.358	2.18	0.97	-8.28	11
	7 %	10.838	2.61	0.066	-0.69	22.37
	0 %	1.208	2.18	0.98	-8.43	10.85
3 %	5 %	0.150	2.02	0.99	-8.78	9.1
	7 %	9.63	2.48	0.08	-1.31	20.57
	0%	1.358	2.18	0.97	-8.29	11
5%	3%	0.150	2.02	0.99	-8.78	9.1
	7%	9.48	2.48	0.09	-1.46	20.42
	0%	10.838	2.61	0.06	-0.69	22.37
7 %	3%	9.630	2.48	0.09	-1.31	20.57
	5%	9.480	2.48	0.09	-1.46	20.42

Fuente: Elaboración propia

Se muestra que la comparación múltiple de medias el p – value > 0.05 por lo tanto no se rechaza H_0 – hipótesis nula en la pérdida por desgaste, entonces no existe diferencia significativa entre las medias de los diferentes porcentajes de TiO_2 .

d. Hipótesis específica 04

El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en el grado de auto limpieza de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de rodamina B.

Los valores obtenidos de la degradación de rodamina B con adición de TiO_2 a las 4 horas es de 3% es de 24.01 %, de 5% es de 26.56%, de 7% es de 36.51 y de la mezcla asfáltica común es de 6.23%. Estos valores presentan que al adicionar más TiO_2 se genera una mayor degradación.

Formulación de hipótesis

H_0 : La adición de 3%, 5% y 7% de TiO_2 en la mezcla asfáltica adicionada, no existe diferencia significativa entre las 3 medias en el grado de autolimpieza respecto a la mezcla asfáltica común.

H_1 : La adición de 3%, 5% y 7% de TiO_2 en la mezcla asfáltica adicionada, si existe diferencia significativa entre las 3 medias en el grado de autolimpieza respecto a la mezcla asfáltica común.

- Si el valor de $F >$ valor crítico para F , se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $F <$ valor crítico para F , se acepta la hipótesis nula.

y/o

- Si el valor de $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $p > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 53*Resumen de resultados de ensayo de rodamina B*

Resumen de resultados de ensayo rodamina B (%)			
Especímenes	TiO ₂	4 horas	26 horas
M-1	0%	4.19	5.7
M-2	0%	9.99	23.5
M-3	0%	5.69	12.26
M-4	0%	5.06	9.12
M-5	3%	16.54	76.72
M-6	3%	18.07	33.79
M-7	3%	33.73	66.56
M-8	3%	27.71	45.06
M-9	5%	29.75	58.72
M-10	5%	25.17	52.62
M-11	5%	23.11	47.49
M-12	5%	28.22	67.24
M-13	7%	56.1	40.99
M-14	7%	27.44	69.25
M-15	7%	29.04	64.83
M-16	7%	33.44	51.34

Fuente: Elaboración propia

i) Estadísticos descriptivos

Tabla 54*Valores estadísticos*

4h						
TiO ₂	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	4	6.23	2.58	41.39%	-2.54	15
3 %	4	24.01	8.15	33.94%	15.24	32.78
5 %	4	26.56	2.99	11.25%	17.79	35.33
7 %	4	36.51	13.31	36.45%	27.73	45.27

26h						
TiO ₂	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	4	12.65	7.72	61.02%	-1.58	26.87
3 %	4	55.53	19.60	35.30%	41.30	69.76
5 %	4	56.51	8.50	15.03%	42.29	70.75
7 %	4	56.60	12.90	22.79%	42.37	70.83

Fuente: Elaboración propia

j) Análisis de varianza

Tabla 55*Análisis de varianza del ensayo de rodamina B con TiO₂*

ANOVA - 4h	
------------	--

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	1907.28	3	635.76	9.82	0.002	3.49
Within groups	777.24	12	64.77			
Total	2684.52	15	178.97			

ANOVA - 26 h

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	5698.52	3	1899.51	11.13	0.000	3.49
Within groups	2047.17	12	170.60			
Total	7745.69	15	516.38			

Fuente: Elaboración propia

Se afirma a un 95 % de confianza que el F calculado > valor crítico para F por lo tanto se rechaza el H_0 – hipótesis nula en la degradación de la rodamina B. Para una mejor verificación de que hay diferencias significativas utilizaremos Tukey.

Tabla 56

Diferencias de medias de rodamina B con TiO_2

Tukey – 4h						
TiO_2	mean	std err	p - value	95 % trust		
				Lower	Upper	
3 %	17.78	4.02	0.038	0.88	34.68	
0 %	5 %	20.33	4.02	3.43	37.23	
	7 %	30.27	4.02	13.38	47.17	
	0 %	17.78	4.02	0.88	34.68	

3 %	5 %	2.55	4.02	0.97	-14.35	19.45
	7 %	12.49	4.02	0.179	-4.40	29.39
	0%	20.33	4.02	0.02	3.43	37.23
5%	3%	2.55	4.02	0.97	-14.35	19.45
	7%	9.94	4.02	0.34	-6.95	26.84
	0%	30.27	4.02	0.00	13.38	47.17
7 %	3%	12.49	4.02	0.179	-4.404	29.39
	5%	9.94	4.02	0.34	-6.95	26.84

Tukey – 26h

TiO ₂		mean	std err	p - value	95 % trust	
					Lower	Upper
	3 %	42.88	6.53	0.00	15.47	70.31
0 %	5 %	43.87	6.53	0.00	16.45	71.29
	7 %	43.96	6.53	0.00	16.54	71.38
	0 %	42.88	6.53	0.00	15.47	70.31
3 %	5 %	0.98	6.53	0.99	-26.44	28.41
	7 %	1.07	6.53	0.99	-26.35	28.49
	0%	43.87	6.53	0.00	16.45	71.29
5%	3%	0.98	6.53	0.99	-26.44	28.41
	7%	0.08	6.53	0.99	-27.34	27.50
	0%	43.96	6.53	0.00	16.54	71.38
7 %	3%	1.07	6.53	0.99	-26.35	28.49

5%	0.08	6.53	0.99	-27.34	27.50
----	------	------	------	--------	-------

Fuente: Elaboración propia

Se muestra que la comparación múltiple de medias el p – value < 0.05 por lo tanto se rechaza H_0 – hipótesis nula en la degradación de la rodamina B, entonces si existe diferencia significativa entre las medias de los diferentes porcentajes de TiO_2 .

e. Hipótesis específica 05

El dióxido de titanio al 3%,5%,7% influye en la degradación del CO_2 de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de autolimpieza con rayos U.V.

Los valores obtenidos de la degradación de CO_2 con adición de TiO_2 a las 24 horas es de 3% es de 14.74 %, de 5% es de 15.28%, de 7% es de 21.30 y de la mezcla asfáltica común es de 6%. Estos valores presentan que al adicionar más TiO_2 se genera una mayor degradación.

Formulación de hipótesis

H_0 : La adición de 3%, 5% y 7% de TiO_2 en la mezcla asfáltica adicionada, no existe diferencia significativa entre las 3 medias en el grado de autolimpieza con rayos U.V. respecto a la mezcla asfáltica común.

H_1 : La adición de 3%, 5% y 7% de TiO_2 en la mezcla asfáltica adicionada, si existe diferencia significativa entre las 3 medias en el grado de autolimpieza con rayos U.V. respecto a la mezcla asfáltica común.

- Si el valor de $F >$ valor crítico para F , se rechaza la hipótesis nula.

- Si el valor de $F <$ valor crítico para F , se acepta la hipótesis nula.

y/o

- Si el valor de $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $p > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 57

Resumen de resultados de autolimpieza con rayos UV

Resumen de resultados de autolimpieza con rayos UV (%)			
Especímenes	TiO ₂	0 horas	24 horas
M-1	0%	96.985	99.98
M-2	0%	102.152	104.156
M-3	0%	108.604	109.668
M-4	0%	105.446	107.76
M-5	3%	114.37	137.52
M-6	3%	103.65	118.19
M-7	3%	122.76	144.36
M-8	3%	113.03	121.07
M-9	5%	125.936	134.845
M-10	5%	103.084	126.767
M-11	5%	104.324	119.503
M-12	5%	118.898	138.549
M-13	7%	96.015	127.339
M-14	7%	120.363	147.245
M-15	7%	119.376	139.335
M-16	7%	121.175	137.547

Fuente: Elaboración propia

k) Estadísticos descriptivos

Tabla 58*Valores estadísticos*

0h						
TiO ₂	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	4	103.30	4.96	4.81%	92.97	113.62
3 %	4	113.45	7.83	6.90%	103.13	123.78
5 %	4	113.06	11.19	9.90%	102.74	123.38
7 %	4	114.23	12.17	10.65%	103.91	124.56
24h						
TiO ₂	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	4	105.39	4.27	4.05%	95.67	115.11
3 %	4	130.29	12.67	9.73%	120.57	140.00
5 %	4	129.92	8.51	6.55%	120.20	139.63
7 %	4	137.87	8.19	5.94%	128.15	147.58

Fuente: Elaboración propia

l) Análisis de varianza

Tabla 59*Análisis de varianza del ensayo de autolimpieza con rayos UV con TiO₂*

ANOVA - 0h						
Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	320.22	3	106.74	1.19	0.36	3.49
Within groups	1077.50	12	89.79			
Total	1397.73	15	93.18			
ANOVA - 24 h						
Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	2396.67	3	798.89	10.04	0.001	3.49
Within groups	954.58	12	79.55			
Total	3351.25	15	223.42			

Fuente: Elaboración propia

Se afirma a un 95 % de confianza que el F calculado > valor crítico para F por lo tanto se rechaza el H₀ – hipótesis nula en la autolimpieza con rayos U.V. Para una mejor verificación de que hay diferencias significativas utilizaremos Tukey.

Tabla 60*Diferencias de medias de autolimpieza con rayos U.V. con TiO₂*

Tukey – 0h				
TiO ₂	mean	std err	p - value	95 % trust

					Lower	Upper
	3 %	10.156	4.74	0.46	-9.74	30.05
0 %	5 %	9.764	4.74	0.49	-10.13	29.66
	7 %	10.936	4.74	0.40	-8.96	30.83
	0 %	10.156	4.74	0.46	-9.74	30.05
3 %	5 %	0.392	4.74	0.99	-19.5	20.29
	7 %	0.78	4.74	0.99	-19.11	20.67
	0%	9.76	4.74	0.49	-10.13	29.66
5%	3%	0.39	4.74	0.99	-19.5	20.29
	7%	1.17	4.74	0.99	-18.72	21.01
	0%	10.94	4.74	0.40	-8.96	30.83
7 %	3%	0.78	4.74	0.99	-19.11	20.67
	5%	1.17	4.74	0.99	-18.72	21.01

Tukey – 24h

TiO ₂	mean	std err	p - value	95 % trust		
				Lower	Upper	
3 %	24.89	4.46	0.009	6.17	43.62	
0 %	5 %	24.53	4.46	0.01	5.80	43.25
	7 %	32.48	4.46	0.001	13.75	51.20
	0 %	24.89	4.46	0.009	6.17	43.62
3 %	5 %	0.37	4.46	0.99	-18.36	19.10
	7 %	7.58	4.46	0.64	-11.14	26.31
	0%	24.53	4.46	0.01	5.80	43.25
5%	3%	0.37	4.46	0.99	-18.36	19.10

	7%	7.95	4.46	0.60	-10.77	26.68
	0%	32.48	4.46	0.001	13.75	51.20
7 %	3%	7.58	4.46	0.64	-11.14	26.31
	5%	7.95	4.46	0.60	-10.77	26.68

Fuente: Elaboración propia

Se muestra que la comparación múltiple de medias el p – value < 0.05 por lo tanto se rechaza H_0 – hipótesis nula en la autolimpieza con rayos U.V., entonces si existe diferencia significativa entre las medias de los diferentes porcentajes de TiO_2 .

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pudieron lograr con esta investigación se presentan a continuación.

1. Se logro demostrar parcialmente el objetivo general “Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay”, los valores obtenidos en esta presente tesis no demuestran en su totalidad su afirmación. Las propiedades mecánicas y fotocatalíticas en mezclas asfálticas adicionadas con TiO_2 mejoran parcialmente su propiedad mecánica en la resistencia a la deformación, resistencia a la tracción indirecta y desgaste por cántabro que este último presenta valores negativos por lo cual su influencia parcialmente es negativa, la adición de TiO_2 para la fotocatalisis presenta mejores resultados de degradación.
2. Se logro demostrar parcialmente el objetivo específico 01 “Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall”, los % de TiO_2 adicionados a la mezcla asfáltica común en relación al peso del agregado fino; para lo cual se elaboraron especímenes de asfalto común y adicionada con TiO_2 de acuerdo a los requisitos establecidos por el EG – 2013, que la adición de 3%, presenta mejores comportamientos a la resistencia a la deformación en la estabilidad, cuyos valores logrados se obtienen mediante el ensayo Marshall:

- La estabilidad obtenida de la mezcla asfáltica común fue de 1379.2 kg y la estabilidad con TiO_2 con 3% fue de 1423.83 kg, que representa un incremento de 3.24 %, respectivamente, pero con la adición de TiO_2 al 5% es de 1281.17 kg esto representa un decremento de -7.11%, si bien todos los % añadidos a la mezcla asfáltica común están dentro de los parámetros requeridos según EG – 2013 se logra demostrar parcialmente la influencia del TiO_2 en las mezclas asfálticas comunes.
 - El flujo obtenido de la mezcla asfáltica común fue de 3.95 mm y el flujo con TiO_2 con 3%,5%,7% fue de 5.4 mm, 7.40 mm, 7.43 mm respectivamente estos valores presentan un incremento frente a la mezcla asfáltica común, así como las adiciones de TiO_2 según los parámetros exigidos en norma son de 2 - 4 mm según EG – 2013 por lo tanto no cumplen los requisitos establecidos en la presente norma.
3. Se logro demostrar parcialmente el objetivo específico 02 “Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral”, las adiciones de TiO_2 al 3% presenta mejores resultados de 1.58 Mpa respectivamente, la mezcla asfáltica común que presenta 1.45 Mpa frente a la mezcla asfáltica adicionada que representa un incremento con TiO_2 al 3% es de 9%, entonces la adición de TiO_2 de 5% genero un decremento de 42.76% esto se debe a las condiciones dispersas, además se presentaron valores dispersos en un mismo conjunto de briquetas

pero la dispersión es baja sin embargo el TiO_2 no ha favorecido la pérdida a la resistencia a la tracción indirecta determinado mediante el ensayo de resistencia a compresión diametral (NLT – 346/90), por lo cual la susceptibilidad que presenta la mezcla de diseño común ha presentado poca incidencia.

4. Se logro demostrar parcialmente el objetivo específico 03 “Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro”, los % de TiO_2 adicionados a la mezcla asfáltica común presentan decrementos en el comportamiento a la resistencia al desgaste, en lo cual se elaboraron especímenes cilíndricos de 4” de diámetro y 2 ½” de altura en la mezcla asfáltica común y la mezcla asfáltica adicionada con TiO_2 en 0%, 3%, 5%, 7% con respecto al agregado fino siendo elaborados bajo la metodología Marshall todo esto basado bajo la norma EG – 2013, los resultados obtenidos alcanzados en % TiO_2 al 3%, 5% son de 7.68%, 7.83% que representa un decremento respectivamente ya que adquieren menor desgaste al efecto abrasivo sin embargo la adición de TiO_2 al 7% es de 17.32% presenta mayor desgaste al efecto abrasivo esto es debido que a mayor % de TiO_2 se va perdiendo las propiedades mecánicas ya que la adición es en función al agregado fino.
5. Se logro demostrar parcialmente el objetivo específico 04 “Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto al grado de auto limpieza de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de rodamina B” la influencia que presenta es significativa, los % de TiO_2 adicionados a la mezcla

asfáltica común lograron resultados sumamente contundentes con respecto a la degradación que adquiere la mezcla asfáltica adicionada ya que presenta valores de degradación de rodamina B alrededor de las 4 horas que son de 24.01%, 26.56%, 36.51% respectivamente con TiO_2 al 3%,5%,7%, los datos obtenidos de degradación con rodamina B alrededor de las 26 horas son de 55.53%, 56.52%, 56.60% respectivamente con TiO_2 al 3%, 5%, 7%, según norma UNI 11259 establecida con parámetros de degradación en $R_4 > 20\%$ y $R_{26} > 50\%$ con los datos obtenidos la degradación se cumplió en la mezcla asfáltica adicionada con respecto a la mezcla asfáltica común que difiere los valores ya que el asfalto común no es su propiedad la degradación.

6. Se logro demostrar parcialmente el objetivo específico 05 “Determinar la influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a la degradación del CO_2 de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de autolimpieza con rayos UV” la influencia que presenta es significativa, los % de TiO_2 adicionados a la mezcla asfáltica común nos muestran resultados a la degradación de CO_2 en diferentes % de TiO_2 que son 14.74%, 15.28%, 21.30% variaciones promedio obtenidas, por lo cual nos indican que adquieren bastante degradación del CO_2 y cumplen con lo especificado en la norma UNI 11259, entonces a más adición de TiO_2 se logra adquirir una mayor degradación de CO_2 .

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se pudieron lograr con esta investigación se presentan a continuación.

1. Para futuras investigaciones relacionadas al tema o casi iguales se recomienda establecer intervalos de estudio de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3% en relación al dióxido de titanio de esa manera se lograra determinar de mejor manera las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente ya que la presente tesis su objetivo fundamental fue demostrar que al añadir el aditivo en mención mejoraría sus propiedades mecánicas y fotocatalíticas de las mezclas asfálticas en caliente, en posteriores años vamos a sufrir una variación del cambio climático para eso ya debemos estar actuando de alguna manera para poder reducir el CO₂ en las vías actuales de asfalto comúnmente conocidas.
2. Para los ensayos de estabilidad y fluencia se recomienda hacerlo bajo la metodología Marshall de esa manera establecer la resistencia a la deformación de las mezclas asfálticas con adición de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3% de dióxido de titanio en función a la mezcla asfáltica común conocida.
3. Para la resistencia a la tracción indirecta se recomienda usar adiciones de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3% de dióxido de titanio, los especímenes estén moldeadas bajo las mismas condiciones y la dosificación de agregados, así como el cemento asfáltico estén controlados a una misma

temperatura en la producción de los especímenes ya que esto causaría ligeras variaciones en los valores a obtener.

4. Se recomienda agregar pequeños porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3% en función del dióxido titanio para que presente mejores resultados en la mezcla asfáltica adicionada en relación a la mezcla asfáltica común quizás se obtenga resultados positivos en relación al desgaste producido por fatiga.
5. Se recomienda agregar pequeños porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3% en función del dióxido titanio con el fin de mejorar, así como observar su comportamiento fotocatalítico mediante el ensayo de rodamina B y agregar polímeros como fibras de propileno. La resistencia a la deformación, así como la degradación se podrá lograr un equilibrio en la mezcla asfáltica en caliente.
6. Para realizar la degradación del CO₂ con autolimpieza con rayos U.V. se recomienda hacerlo en época de verano donde el sol este a máximo y el tráfico este super poblado para tener una mejor contaminación de CO₂ en los especímenes de asfalto. Así como los estudios a escala real en Abancay previamente con proyectos promovidos por la municipalidad, entidades con la finalidad de obtener resultados más tangibles tales como las desarrolladas en España, como son las islas fotocatalíticas con TiO₂ donde intervienen las áreas exteriores como pavimentos rígidos, carpetas asfálticas, veredas, fachadas, azoteas.

Es la primera tesis de diseño de mezclas asfálticas en caliente realizada en Apurímac bajo la metodología Marshall, para lo cual se recomienda a los futuros investigadores romper la barrera que si se puede realizar tesis en mezclas asfálticas y de esa manera generar un aporte en la rama de infraestructura vial.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellan, M. (2019). *Pavimentos fotocatalíticos para la eliminación de NO₂ de atmosferas urbanas* [Tesis de licenciatura ,Universidad Politecnica de Madrid]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3NgxK8h>
- Adauto, M. (2022). *Ligante asfáltico con nanotubos de carbono de pared múltiple para determinar su caracterización física y reológica* [Tesis de maestría,Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5350/ADAUTO%20BARZOLA%20MARIA%20CRISTINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aguirre, F. (2019). *Estudio de fotocatalizadores nanoestructurados de TiO₂ para la posible eliminación de Cr en efluentes de Teneria* [Tesis de Maestria,Universidad de Ciencia y Tecnologia]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3QVpHAG>
- Almazan, D. (02 de Noviembre de 2015). Cold Air Peru SAC HVAC UVC FOTOCATALISIS [Video]. Youtube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=bXpE7GxgEeo>
- Arias, N. (2006). *Proposito de la operacionalizacion de variables* [Tesis de licenciatura,Universidad Federal de Bogota]. Repositorio Institucional. Obtenido de http://fcaenlinea1.unam.mx/anexos/1349/1349_u2_Act2.pdf

- Automotriz, A. (2022). *Cusco es la cuarta ciudad donde mas vehiculos nuevos se vende*. Cusco: AAP. Obtenido de <https://aap.org.pe/aap-cusco-es-la-cuarta-ciudad-donde-mas-vehiculos-nuevos-se-vende/>
- Baptista, P. (2010). *Medología de la investigación*. Mc Graw Hill. Obtenido de <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
- CIP APURIMAC (2022). *Las fallas estructurales en el pavimento asfaltico en la ciudad de Abancay*. CIP CONSEJO DEPARTAMENTAL APURÍMAC. Obtenido de <https://www.cipapurímac.pe>
- Cañari, C. (2019). *Comportamiento Mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con adición de fibras de polipropileno* [Tesis de Post grado,Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2488>
- Carazas, S. (2020). *Evaluación de las propiedades fisicomecánicas y fotocatalíticas del mortero con respecto al mortero adicionado con dióxido de titanio al 3 %,5 % y 7 %* [Tesis de licenciatura,Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3995>
- Castaño, I. (2017). *Uso de morteros catalíticos sobre paneles para el análisis de la reducción de partículas contaminantes en el aire* [Tesis de licenciatura

,Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional.
doi:<https://bit.ly/38pbuuo>

Chavez, O. (2020). *Evaluación de las propiedades mecánicas y capacidad autolimpiable del mortero c/a 1:5 de cemento portland tipo I modificado con dióxido de titanio (TiO₂)* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional.
doi:<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653673>

Coral, R. (2022). *Desempeño mecánico y fotocatalítico del pavimento de concreto hidráulico con adición de dióxido de titanio* [Tesis de pregrado ,Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5515>

De la Cruz, N. (2019). *Estudios de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante procesos de oxidación avanzados* [Tesis doctoral ,Universidad de Barcelona]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/66864/1/NDLCG_TESIS.pdf

Del Rio, P. (2018). *La hipótesis en la investigación*. *Scielo*, 16(1), 4. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-76962018000100122

DIGESA APURIMAC. (2022). *El problema de la calidad de aire en el distrito de Abancay*. Obtenido de

http://www.digesa.minsa.gob.pe/dcovi/mapas/DIGESA_AIR_MR_MetalesDiario_APURIMAC.html

Fernandez&Hernandez. (2010). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill.

Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Fernandez, C. (2006). *Metodología de la investigación*. Repositorio institucional.

Obtenido de <http://187.191.86.244/rceis/registro/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n%20SAMPLIERI.pdf>

Fernandez, J. (2020). *Degradación de óxidos de Nitrogeno(NOx) mediante la aplicación de pintura fotocatalítica usando nanopartículas de TIO₂ para mejorar la calidad del aire* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3lwKc8l>

Garnica, E. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. *Instituto*

Mexicano del Transporte . Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>

Granados, J. (2017). *Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho mediante proceso por vía seca respecto a la mezcla asfáltica convencional* [Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma].

Repositorio Institucional. Obtenido de

<https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/1572/JLGRANADOSN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Haddadi, H. (2019). *The characteristic of hotmixed asphalt modified by nanosilica* [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencia y Tecnología de Iran]. Iran: Repositorio Institucional. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10916466.2016.1258412>

Hernandez & Sampieri. (2014). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill. Obtenido de <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>

Hurtado, M. (2012). *Inmovilización del TiO_2 sobre polímeros transparentes en el UV-A para la eliminación fotocatalítica del tricloroetileno* [Tesis de doctorado, Escuela técnica superior de ingenieros montes]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://oa.upm.es/14911/1/ROSA_MARIA_CAMARA_HURTADO.pdf

Instituto del asfalto. (1992). Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS-22. *Asphalt Institute*. Obtenido de <https://my.asphaltinstitute.org/Shop/Product-Details?productid=66E0AEB7-301E-E811-80F2-000D3A011CEC>

Lisbona, L. (2016). *Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/38wVJRR>

- Lopez, A. (2019). *Evaluación del ángulo de contacto en formulaciones adhesivas a base de lignina despolimerizada sobre madera* [Tesis de post grado, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo]. Repositorio Institucional. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/1474/1/FITECMA-M-2019-2024.pdf
- Lopez, J. (2018). *Impacto de la contaminación del aire por el parque automotor en la población del area urbana de Arequipa* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa]. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7968/ECMqucaecc.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Mariño, M. (2020). Fotodegradación de compuestos orgánicos volátiles utilizando dióxido de titanio (TiO₂) como catalizador. *DOMINIO DE LAS CIENCIAS*, 6(4), 03-14. Obtenido de <https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1448/2624>
- Melendez, H. (2009). *Efecto del dióxido de itanio soportado sobre una superficie de cemento en la degradación fotocatalítica* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3Nrc350>
- Moreno&Calvo. (2014). Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado. Obtenido de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1231>

- Najar, S. (2021). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas de adoquines para obras de infraestructura vial adicionado con TiO_2* . [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de San Pablo]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3lwLf8h>
- Paye, D. (2017). *Aceleración de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto hidráulico en diferentes relaciones agua-cemento* [Tesis de licenciatura, Universidad Nestor Caceres Velasquez]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3bAlmmh>
- Peñafiel&Navarrete. (2019). *Estudio de las características del fotocatalizador dióxido de titanio en hormigones, según la norma UNI 11259* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/72defa5e-6426-4a2d-aec2-a846869cdfdd>
- QuestionPro. (2021). *Diseño de investigación Software de Encuestas. BUSINESS*. Obtenido de <https://www.questionpro.com>
- Renego, D. (2022). España suspende en la conservación de las carreteras y estado del pavimento. Obtenido de https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-espana-suspende-conservacion-carreteras-y-estado-pavimento-201901230217_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.abc.es%2Fmotor%2Freportajes%2Fabci-espana-suspende-conservacion-carreteras-y-estado-pavimento-201901230217_

Reportarte. (Junio de 2011). *Fotocatalísis:la fotosíntesis de las superficies urbanas.*

Youtube, Inglaterra. Obtenido de
<https://www.youtube.com/watch?v=zz9dc7DFw6w>

Rivera, B. (2022). *Determinación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto adicionado con dióxido de titanio* [Tesis de pregrado,Universidad Cesar Vallejo].

Repositorio Institucional. Obtenido de
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/108354>

Rojas, V. (2020). *Análisis de las concentraciones del PM10 en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Lima* [Tesis de licenciatura,Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].

Obtenido de
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2115/1/T026_47047329_T.pdf

Romanelli, D. (2021). *Cuales son los principales problemas encontrados en los pavimentos de carretera.* Brasil. Obtenido de

<https://www.romanelli.com.br/es/noticias/quais-sao-os-principais-problemas-encontrados-nos-pavimentos-rodoviaros->

Rosales, T. (2022). *Mezcla asfáltica altamente modificada con polímeros elastómero* [Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Intitucional.

Obtenido de
https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5563/T030_20714378_M%20TULIO%20ROSALES%20NAVARRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Soncco, B. (2021). *Evaluación de las propiedades fotocatalíticas adicionando nanopartículas de dióxido de titanio en la disminución de partículas volátiles contaminantes presentes en el aire en morteros de cemento* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16341>
- Terreros, J. (2012). *Análisis de la influencia de la fotocatalisis heterogenea en la concentración de coliformes totales en aguas residuales* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11536/4/IV_FIN_107_TE_Terreros_Castro_2022.pdf
- UTEA. (2021). *Comite de ética de investigación*. Abancay: Resolución del consejo universitario. Obtenido de <https://transparencia.utea.edu.pe/download/>
- Valle, O. (2020). *Pasos para elaborar una tesis de tipo correlacional*. Biblioteca Nacional del Peru . Obtenido de https://cliic.org/2020/Taller-Normas-APA-2020/libro-elaborar-tesis-tipo-correlacional-octubre-19_c.pdf
- Vallejo&Arboleda. (2016). *Estudio de la actividad antimicrobiana de películas delgadas de dióxido de titanio modificado con plata*, 40(154), 3-5. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082016000100008
- Vasquez, M. (2016). *Influencia del fotocatalizador dióxido de titanio en la propiedad autolimpiable del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$* [Tesis de maestro, Universidad

Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1296>

Villalpando, J. (2001). *Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU y Bechhofer para la selección de medias*. *Agrociencia*, 35(1), 79-86. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/302/30235107.pdf>

Villavicencio, L. (2018). *Influencia del pavimento asfáltico ecológico noxer en la calidad del aire de la Av. Los Electricistas* [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional. doi:<https://bit.ly/3wfUS0X>