



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA EN UNA BASE ESTABILIZADA
CON CEMENTO PORTLAND USANDO EMULSIÓN
BITUPRIMER PARA OPTIMIZAR EL ÍNDICE DE
PENETRACIÓN, CARRETERA ARAPA - CAMINACA, 2023**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JHON ALVARO CONDORI ARCE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA EN UNA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND USANDO EMULSIÓN BITUPRIMER PARA OPTIMIZAR EL ÍNDICE DE PENETRACIÓN, CARRETERA ARAPA - CAMINACA, 2023

AUTOR

JHON ALVARO CONDORI ARCE

RECuento de palabras

32438 Words

RECuento de caracteres

172240 Characters

RECuento de páginas

185 Pages

Tamaño del archivo

3.9MB

Fecha de entrega

Sep 26, 2024 10:15 AM GMT-5

Fecha del informe

Sep 26, 2024 10:17 AM GMT-5

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


DR. JWC. SAHUCU HUACUISO CÁRCEZ
DIRECTOR DE TESIS

VºBº:

26/09/2024

Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
SDI - FPK

Resumen



DEDICATORIA

A mis amados padres, Elias y Francisca quienes me dieron la vida y me apoyaron incondicionalmente en los momentos más difíciles, por su amor sincero, consejos y que siempre me inspiraron para lograr este objetivo siendo el motivo y razón para cumplir esta meta tan importante para mi persona.

A mis queridos hermanos Francys y Wladimir, les dedico un agradecimiento por su respaldo en todo momento, la confianza y el gran cariño quienes también me impulsaron a mejorar cada día y con los ánimos brindados durante el proceso para alcanzar este logro académico.

Bach. Jhon Alvaro Condori Arce



AGRADECIMIENTOS

A mi querida escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, por instruirme en conocimiento y valores para poder realizarme como profesional. A los docentes de esta carrera quienes con su enseñanza contribuyeron en la ejecución de este proyecto.

*Agradezco a mi director de tesis. **Dr. Ing. Samuel Huaquisto Cáceres** por brindarme su tiempo, paciencia y experiencia los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este proyecto académico.*

*Agradezco a mis jurados de Tesis **Ing. Emilio Castillo Aroni, Ing Gino Frank Laque Cordova, Ing Guilmer Maguin Sardón Sanchez** por el tiempo que se dieron para evaluar mi trabajo de tesis y realizar las correcciones como también sugerencias necesarias para desarrollar la presente investigación brindándome un apoyo enriquecedor para poder culminar este proyecto académico.*

Bach. Jhon Alvaro Condori Arce



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.2.1. Problema general.....	22
1.2.2. Problemas específicos	22
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.3.1. Hipótesis general	23
1.3.2. Hipótesis específicas	23
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.5.1. Objetivo general	24
1.5.2. Objetivo específico.....	24
1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	24

CAPÍTULO II



REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
2.2.	BASES TEÓRICAS	35
2.2.1.	Consideraciones Teóricas Preliminares	35
2.2.1.1.	Pavimento.....	35
2.2.1.2.	Tipos de pavimento	36
2.2.1.3.	Clasificación de Carreteras por tipo de superficie de rodadura .	36
2.2.1.4.	Carreteras con soluciones básicas	38
2.2.1.5.	Metodología de diseño de pavimentos	40
2.2.1.6.	Modulo resiliente.....	42
2.2.1.7.	Caminos de bajo volumen de transito	43
2.2.1.8.	Tratamientos superficiales.....	44
2.2.1.9.	Capa bituminosa Otta Seal	45
2.2.1.10.	Estabilización química de suelos	46
2.2.1.11.	Material asfáltico de Riego	46
2.2.1.12.	Emulsión asfáltica	47
2.2.1.13.	Clasificación de Emulsión asfáltica	48
2.2.1.14.	Tipos de emulsiones asfálticas	50
2.2.1.15.	Por el tipo carga	50
2.2.1.16.	Por el tipo de rotura.....	51
2.2.1.17.	Especiales	52
2.2.2.	Emulsión Bituprimer	52
2.2.2.1.	Concepto.....	52
2.2.2.2.	Aplicación	53
2.2.2.3.	Índice de penetración	54



2.2.2.4. Profundidad de penetración.....	54
2.2.3. Imprimación Asfáltica en una base estabilizada con cemento	55
2.2.3.1. Cemento	55
2.2.3.2. Componentes del cemento	55
2.2.3.3. Ventajas y desventajas del uso del cemento.....	56
2.2.3.4. Base	56
2.2.3.5. Estabilización de base con cemento portland.....	59
2.2.3.6. Agua	63
2.2.3.7. Suelo.....	63
2.2.3.8. Contenido de cemento.....	64
2.2.4. Diseño de mezcla suelo-cemento	64
2.2.4.1. Método de la Portland Cement Association (PCA)	65
2.2.4.2. Control de resistencia	65
2.2.4.3. Control de humedecimiento y secado	66
2.2.4.4. Requerimiento de suelos	67
2.2.4.5. Mezcla de dos suelos.....	68
2.2.4.6. Método analítico.....	68
2.2.4.7. Método Gráfico	70
2.2.5. Requerimientos de aplicación	76
2.2.5.1. Imprimación asfáltica.....	76
2.2.5.2. Clima para el proceso de imprimación.....	78
2.2.5.3. Temperatura de aplicación de imprimación asfáltica.....	78
2.2.5.4. Tasa de aplicación de imprimación asfáltica.....	79
2.2.5.5. Tiempo de rotura de imprimación asfáltica.....	79
2.2.6. Adherencia	80



2.2.6.1. Ensayo de tracción indirecta	81
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	82
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. MATERIALES.....	85
3.1.1. Cemento	85
3.1.2. Suelo.....	85
3.1.3. Agua	85
3.1.4. Emulsión de imprimación Bituprimer.....	85
3.2. EQUIPOS.....	86
3.3. METODOLOGÍA	86
3.3.1. Enfoque de investigación	86
3.3.2. Tipo de investigación	87
3.3.3. Nivel de investigación.....	87
3.3.4. Diseño de la investigación	87
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	88
3.4.1. Tamaño de la población accesible.....	88
3.4.2. Población.....	89
3.4.3. Muestra.....	89
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	92
3.5.1. Técnicas.....	92
3.5.2. Instrumentos	92
3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO	93
3.6.1. Prueba de normalidad.....	93
3.6.2. Prueba de Shapiro-Wilks.....	93



3.6.3.	Análisis paramétrico.....	94
3.6.3.1.	Prueba de coeficiente de correlación de Pearson	94
3.7.	ÁMBITO DE ESTUDIO.....	95
3.8.	PROCEDIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN	96
3.8.1.	Ensayos de campo	97
3.8.1.1.	Extracción del material de suelo	98
3.8.2.	Ensayos de laboratorio	99
3.8.2.1.	Granulometría.....	99
3.8.2.2.	Humedad natural	104
3.8.2.3.	Límites de consistencia	105
3.8.2.4.	Abrasión de los ángeles.....	107
3.8.2.5.	Ensayo de Proctor modificado	108
3.8.2.6.	Ensayo de relación de soporte CBR.....	110
3.8.2.7.	Diseño de Suelo – Cemento	112
3.8.2.8.	Metodología de moldeo suelo-cemento	121
3.8.2.9.	Metodología de imprimación asfáltica.....	124
3.8.2.10.	Metodología de ensayo de Adherencia	127

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA.....	131
4.2.	INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN EL ÍNDICE DE PENETRACIÓN	131
4.3.	INFLUENCIA DE LOS REQUERIMIENTOS PARA APLICACIÓN	134
4.3.1.	Índice de penetración con relación a la temperatura de aplicación.....	134
4.3.2.	Índice de penetración con relación a la tasa de aplicación.....	139



4.3.3.	Índice de penetración con relación al tiempo de curado	142
4.4.	INFLUENCIA CON LA ADHERENCIA	146
4.5.	CONTRASTE DE HIPÓTESIS	147
4.5.1.	Influencia del porcentaje de contenido de cemento	147
4.5.1.1.	Prueba de normalidad.....	148
4.5.1.2.	Correlación	150
4.5.2.	Influencia con la temperatura de aplicación.....	151
4.5.2.1.	Prueba de normalidad.....	151
4.5.2.2.	Correlación	153
4.5.3.	Influencia con la tasa de aplicación	155
4.5.3.1.	Prueba de normalidad.....	155
4.5.3.2.	Correlación	157
4.5.4.	Influencia con el tiempo de curado	158
4.5.4.1.	Prueba de normalidad.....	159
4.5.4.2.	Correlación	161
4.5.5.	Influencia con la Adherencia	162
4.5.5.1.	Prueba de normalidad.....	162
4.5.5.2.	Correlación	164
4.6.	DISCUSIÓN	166
4.6.1.	Porcentaje de contenido de cemento	166
4.6.2.	Índice de penetración y la temperatura de aplicación.	168
4.6.3.	Índice de penetración y la tasa de aplicación.	169
4.6.4.	Índice de penetración y el tiempo de curado.....	170
4.6.5.	Índice de penetración y la adherencia.	170
V.	CONCLUSIONES	172



VI. RECOMENDACIONES.....	175
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176
ANEXOS.....	183

TEMA: IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA

ÁREA: TRANSPORTES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: TRANSPORTES Y GESTIÓN VIAL

FECHA SUSTENTACIÓN: 02 de octubre de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de las variables.....	25
Tabla 2 Uso granulométrico para base granular	57
Tabla 3 CBR Valor relativo de soporte.....	57
Tabla 4 Requerimientos de agregado grueso	58
Tabla 5 Requerimientos de agregado fino	58
Tabla 6 Parámetro y especificación técnica de estabilizadores	61
Tabla 7 Especificaciones técnicas de estabilizadores y la aplicación según la región	62
Tabla 8 Rango de cemento requerido.	64
Tabla 9 Factores de corrección para la resistencia a compresión	66
Tabla 10 Pérdida de peso de la mezcla compactada	67
Tabla 11 Requerimientos del suelo.....	68
Tabla 12 Granulometría de los suelos A y B	69
Tabla 13 Total de probetas con imprimación asfáltica.	91
Tabla 14 Localización del laboratorio de mecánica de suelos.....	95
Tabla 15 Vértices de la cantera de suelo.....	97
Tabla 16 Puntos de extracción de calicatas.....	98
Tabla 17 Ensayo de Análisis Granulométrico de M-1.....	100
Tabla 18 Especificación de la gradación (A).	101
Tabla 19 Ensayo de Análisis granulométrico de M-2.....	102
Tabla 20 Especificación de la gradación (A).	103
Tabla 21 Resumen de Análisis Granulométrico.	104
Tabla 22 Humedad natural del material.....	104
Tabla 23 Ensayo de límites de consistencia.....	106
Tabla 24 Ensayo de Abrasión los Ángeles.....	108
Tabla 25 Ensayo de Proctor modificado.	109
Tabla 26 Ensayo CBR, compactación y penetración.	111
Tabla 27 CBR al 95% y 100% de carga-penetración del agregado.....	112
Tabla 28 Cuadro de análisis de resultados de la cantera Cáceres	112
Tabla 29 Resistencia a la compresión de mezclas suelo-cemento.	116
Tabla 30 Ensayo de humedecimiento y secado 2.5%	118



Tabla 31	Ensayo de humedecimiento y secado 3.0%	119
Tabla 32	Ensayo Humedecimiento y secado 3.5%	120
Tabla 33	Pérdida de peso de cantera Cáceres	120
Tabla 34	Índice de penetración a 0.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% de cemento.....	132
Tabla 35	Índices de penetración en función a la temperatura (mm).....	135
Tabla 36	Índices de penetración (mm) en función a la temperatura.	135
Tabla 37	Índices de penetración (mm) en función a la temperatura.....	136
Tabla 38	Índices de penetración (mm) en función a la tasa de aplicación.....	139
Tabla 39	Índices de penetración (mm) en función a la tasa de aplicación.....	140
Tabla 40	Índices de penetración (mm) en función a la tasa de aplicación.....	140
Tabla 41	Índices de penetración (mm) en función al tiempo de curado.	143
Tabla 42	Índices de penetración (mm) en función al tiempo de curado.	143
Tabla 43	Índices de penetración (mm) en función al tiempo de curado.	144
Tabla 44	Índices de penetración vs resistencia al corte.	146
Tabla 45	Estadístico de la variable % de contenido de cemento.	148
Tabla 46	Prueba de normalidad de % contenido de cemento	149
Tabla 47	Correlación del % de contenido de cemento y el índice de penetración...	150
Tabla 48	Estadístico de la variable temperatura de aplicación.	152
Tabla 49	Prueba de normalidad de datos de temperatura de aplicación.	152
Tabla 50	Correlación de temperatura de aplicación y el índice de penetración.	154
Tabla 51	Estadístico de la variable tasa de aplicación.	155
Tabla 52	Prueba de normalidad con datos de tasa de aplicación.	156
Tabla 53	Correlación entre la tasa de aplicación y el índice de penetración.	158
Tabla 54	Estadístico de la variable tiempo de curado.....	159
Tabla 55	Prueba de normalidad de datos de tiempo de curado.....	160
Tabla 56	Correlación entre el tiempo de curado y el índice de penetración.	161
Tabla 57	Estadístico de la variable resistencia al corte.....	163
Tabla 58	Prueba de normalidad de datos de resistencia al corte.....	163
Tabla 59	Correlación entre resistencia al corte y el índice de penetración.	165



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Capas de pavimento.....	35
Figura 2 Componentes de un pavimento flexible.	38
Figura 3 Caminos con solución básica.....	40
Figura 4 Coeficiente a2 para bases tratadas con los parámetros de resistencia	43
Figura 5 Emulsión asfáltica	48
Figura 6 Emulsión del tipo aniónica y catiónica.....	51
Figura 7 Esquema que muestra la penetración en la capa base.	54
Figura 8 Distribución de esfuerzo en un pavimento.	60
Figura 9 Método gráfico para determinar de los porcentajes de suelos.....	72
Figura 10 Curva de ensayo Proctor.....	73
Figura 11 Curva Energía vs Densidad	74
Figura 12 Flujograma de diseño suelo-cemento	75
Figura 13 Proceso de conformación de base estabilizada con cemento.	76
Figura 14 Comparación de profundidad de penetración de la emulsión.	78
Figura 15 Estado de esfuerzos en la interfaz de la adherencia.	80
Figura 16 Distribución de tensiones en un pavimento.....	81
Figura 17 Representación gráfica de las probetas.....	92
Figura 18 Ubicación del laboratorio de mecánica de suelos.....	96
Figura 19 Ubicación de la Cantera Cáceres.....	98
Figura 20 Extracción de material de cantera.....	99
Figura 21 Análisis granulométrico del material.....	100
Figura 22 Curva granulométrica que está en huso granulométrico de gradación (A)	101
Figura 23 Curva granulométrica que está en huso granulométrico de gradación (A)	103
Figura 24 Ensayo de límites de consistencia.	105
Figura 25 Limite liquido de la muestra M-1.....	106
Figura 26 Limite liquido de la muestra M-2.....	107
Figura 27 Ensayo de Abrasión de los Ángeles.	107
Figura 28 Ensayo de Proctor modificado.....	109
Figura 29 Curva de compactación.	110



Figura 30	Ensayo de C.B.R.....	111
Figura 31	Ensayo de compactación suelo-cemento.	115
Figura 32	Ensayo de compresión suelo-cemento.....	117
Figura 33	Ensayo de humedecimiento-secado.....	121
Figura 34	Fracción de material fino y grueso.	122
Figura 35	Mezclado de suelo-cemento de 3kg puestas en bolsas herméticas.....	122
Figura 36	Compactación de suelo-cemento.....	123
Figura 37	Cuerpos de prueba con hendiduras en su cara.....	124
Figura 38	Cuerpos de prueba con emulsión Bituprimer.	126
Figura 39	Medición del índice de penetración.....	126
Figura 40	Selección de material árido	127
Figura 41	Colocación de piedra chancada	128
Figura 42	Compactación de capa Otta Seal	128
Figura 43	Probeta con capa otta seal.....	129
Figura 44	Ensayo de resistencia al corte entre dos capas.	129
Figura 45	Probeta después del someter a carga a la capa bituminosa	130
Figura 46	Resultados promedio en función al % contenido de cemento.....	132
Figura 47	Índice de penetración VS % de cemento.....	133
Figura 48	Índice de penetración VS % temperatura de aplicación.....	137
Figura 49	Índice de penetración VS % tasa de aplicación.....	141
Figura 50	Índice de penetración VS % tiempo de curado.	145
Figura 51	Índice de penetración VS % adherencia.....	147
Figura 52	Comparación de índices de penetración respecto al % de cemento.	167



ACRÓNIMOS

CBR:	California Bearing Ratio
ASTM:	American Society for Testing and Materials
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NTP:	Norma Técnica Peruana
LP:	Límite plástico
LL:	Límite líquido
IP:	Índice de plasticidad
Zr:	Desviación estándar normal
R:	Confiabilidad
AASHTO:	American Association Standards Highway Transportation Officials
NTP:	Norma Técnica Peruana
SUCS:	Sistema Unificado de Clasificación de Suelo
MDS	Máxima densidad seca
CP:	Cuerpo de prueba
CBVT:	Carreteras de bajo Volumen de Transito
FHWA:	Federal Highway Administration
RVN:	Red Vial Nacional
RVD:	Red Vial Departamental
RVV:	Red Vial Vecinal



RESUMEN

Por experiencias en obra donde se realiza una imprimación asfáltica convencional en una base estabilizada con cemento los resultados de índices de penetración apreciados fueron bajos e incluso nulos, esta investigación busca alcanzar índices de penetración necesarios con la emulsión Bituprimer que ayuden a mejorar el nivel de servicio, aumentar la vida útil y el confort de los usuarios de esta red vial. Siendo el objetivo general evaluar la imprimación asfáltica con emulsión Bituprimer con la finalidad de verificar los índices de penetración alcanzados en bases estabilizadas con cemento portland, así, la investigación será de un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y de diseño de tipo cuasi-experimental, la población estudiada son las bases estabilizadas con material de la cantera Cáceres y la muestra representada por 84 briquetas de suelo-cemento en las cuales se aplica la emulsión Bituprimer. La cantera Cáceres según AASHTO se clasifica A-1-a (Grava con limo arcilloso con arena). Los resultados de índice de penetración mayores alcanzados fueron de 6.41, 4.22 y 1.98 mm con un % de contenido de cemento de 2.5% ,3.0% y 3.5% respectivamente; con una imprimación a 65°C, 1.2lt/m² y 72 hrs de registro de curado. Siendo estos resultados disminuidos en un 23.15%, 39.73% y 50.38% respecto a la probeta control equivalente a 7.58 mm. Concluyendo que la imprimación con emulsión Bituprimer si llegan a alcanzar resultados dentro de los 5mm a 7mm como establece la normativa peruana, los cuales son necesarios para que exista el puente de adherencia entre la base y la capa bituminosa.

Palabras Clave: Base estabilizada con cemento Portland, Emulsión Bituprimer, Imprimación asfáltica, Índice de penetración.



ABSTRACT

Due to experiences on site where a conventional asphalt primer is made on a cement-stabilized base, the results of penetration rates were low and even zero, this research seeks to achieve the necessary penetration rates with the Bituprimer emulsion that help improve the level of service, increase the useful life and comfort of the users of this road network. The general objective being to evaluate the asphalt primer with Bituprimer emulsion in order to verify the penetration rates achieved in bases stabilized with Portland cement, thus, the research will be of a quantitative approach, descriptive level and quasi-experimental type design, the population studied are the bases stabilized with material from the Cáceres quarry and the sample represented by 84 soil-cement briquettes in which the emulsion is applied Bituprimer. The Cáceres quarry according to AASHTO is A-1-a (Gravel with clay silt with sand). The highest penetration index results achieved were 6.41, 4.22 and 1.98 mm with a % cement content of 2.5%, 3.0% and 3.5% respectively; with a primer at 65°C, 1.2lt/m² and 72 hrs of curing record. These results were decreased by 23.15%, 39.73% and 50.38% compared to the control specimen equivalent to 7.58 mm. Concluding that the primer with Bituprimer emulsion does achieve results within 5mm to 7mm as established by Peruvian regulations, which are necessary for the adhesion bridge between the base and the bituminous layer to exist.

Keywords: Portland cement stabilized base, Bituprimer Emulsion, Asphalt Primer, Penetration Rate.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se tuvo presente la problemática del uso de los asfaltos diluidos, por ello se fue reemplazando en gran parte de los países del primer mundo por el uso emulsiones asfálticas para regular el tema de la contaminación ambiental en construcciones de infraestructuras viales. Considerando además que estos mejoren los procedimientos constructivos, tiempo de vida útil y los niveles de servicio requeridos.

A nivel mundial, Según Chakraborty y Nair (2017) indica que debido al enorme entorno problemas medioambientales que han surgido en las últimas décadas y teniendo en cuenta la llamada idea de proteger el ecosistema. Es necesario utilizar los materiales en su forma natural o con ligeras modificaciones para que se apliquen y aprecien adecuada y convenientemente recursos suficientes y adecuados en la zona de trabajo (estabilidad química del suelo).

Se ha establecido un análisis de la humedad del suelo, la calidad del suelo, el tipo de imprimación y la temperatura de dosificación como parte del proceso de aplicación de imprimaciones sobre bases granulares. Este procedimiento se ha desarrollado a nivel internacional, con una tecnología más desarrollada que la norteamericana. Ha habido una serie de patologías que se han producido en las carreteras que se construyeron en los años 90 como consecuencia del problema con el ligante asfáltico. Esto se debe a que la aplicación de líquidos que no eran tan densos significaba que la base granular no estaba completamente impermeabilizada. Esto se debe a que en estas regiones existe una capa



freática y, mediante el proceso de capilaridad, el agua sube a la superficie, lo que provoca un fallo estructural (efecto de la temperatura).

Ouyang et al. (2021) afirma que la necesidad de automóviles a escala mundial, la exigencia de unir ciudades y la necesidad de construir y restaurar pavimentos son ejemplos de exigencias fundamentales que dan lugar a un consumo considerable de recursos naturales. Cuando se trata de estos proyectos, los áridos pétreos figuran entre los recursos más fiables disponibles, a pesar de que son difíciles de reponer. Esto indica que la oferta de este material es limitada, lo que encarece los costes de fabricación.

En América Latina asegura Rivera (2015), el coste de viajar es menor en las naciones que tienen redes de transporte bien desarrolladas, pero el coste de viajar es mayor en las naciones que tienen carreteras con desvíos permanentes o partes en mal estado. En el caso de que las carreteras de una nación no sean suficientes para satisfacer las necesidades fundamentales de la población, es muy improbable que los habitantes de ese país puedan hacer frente a la crisis económica y reducir los índices de pobreza. Las infraestructuras viarias de Argentina, Chile y Perú presentan carencias que requieren un gasto anual de dos mil millones de dólares.

En el Perú, según el Oficina General de Planeamiento y Presupuesto (2022) señalo que la infraestructura vial estaba conformada por 168,953.9 kilómetros al mes de diciembre del año 2019, correspondiendo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones 27,053.7 kilómetros (16%) del RVN, a los Gobiernos Regionales 27,639.6 kilómetros (16%) del RVD y al RVV 114,60.5 kilómetros (68%). Autoridad de los gobiernos municipales para tomar decisiones. El Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) estima que para el año 2019, el Gobierno Nacional destinaría el 94,5% de su Presupuesto Institucional Modificado (PIM) a la construcción de carreteras nacionales, mientras que



los Gobiernos Regionales destinarán el 48,1% de su asignación a la construcción de carreteras departamentales. (p. 9)

Moreano (2023) menciona: en sus divisiones ejecutoras, que son Provias Nacional y Provias Descentralizado, la administración actual está apoyando la construcción de carreteras. Esto se hace a través del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Una excelente ilustración de ello es el ambicioso plan de la actual administración de construir una doble calzada a lo largo de la carretera Panamericana para conmemorar el año del Bicentenario.

La red vial nacional es un conjunto de vías que conectan las tres regiones del Perú: costa, sierra y selva, en donde esta red de carreteras es de vital importancia para el desarrollo de las distintas actividades económicas del país. Es así como, en las últimas décadas se ha priorizado la investigación al desarrollo sobre temas de la construcción, una de ellas el de carreteras y en particular sobre los materiales asfálticos, asegurando ello solucionar las exigencias de los controles de calidad dados en las especificaciones técnicas para la construcción de las carreteras.

En el ámbito local, Según Salgado & Salgado, (2023), en su investigación realizada en el corredor vial PE-3SQ tramo – Lampa – Palca, realiza un análisis minucioso de la efectividad del tratamiento superficial Otta Seal el cual cuenta como estructura una base estabilizada con cemento y un riego de imprimación el cual desarrollan la obtención de dato PCI, sectorizando y planteando la clase de intervención que sería necesario de acuerdo a la metodología PCI.

El lugar elegido para el estudio es el sector de la carretera Arapa-Caminaca, en el cual se realizó la construcción de pavimento semirrígido, donde tiene como paquete



estructural una base estabilizada con cemento portland y sobre ella una capa de tratamiento superficial Otta Seal, en donde la problemática se da en el uso para riego de imprimación asfáltica convencional que generalmente lo usan en bases granulares. A causa del tipo de imprimación que se usó en la base estabilizada con cemento se obtuvo bajos o nulos índices de penetración, y esto da lugar a que no exista un puente de adherencia óptima entre la base estabilizada con cemento y la capa bituminosa ocasionando fallas funcionales en la carpeta de rodadura, es por ello que en esta investigación se abordó la influencia de la emulsión Bituprimer sobre una base estabilizada con cemento portland, donde los registros de índices de penetración obtenidos son favorables.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es la influencia de la Imprimación asfáltica en una base estabilizada con cemento portland usando emulsión Bituprimer para optimizar el índice de penetración, carretera Arapa – Caminaca, 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia del contenido de cemento en relación al índice de penetración en la imprimación asfáltica en una base estabilizada aplicando emulsión Bituprimer?
- ¿Cuál es la influencia de los requerimientos para la aplicación de la emulsión Bituprimer con el índice de penetración sobre la base estabilizada con cemento portland?



- ¿Cuál es la influencia el índice de penetración aplicando emulsión Bituprimer en la base estabilizada con cemento Portland en relación con la adherencia con una capa bituminosa?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

- La Imprimación asfáltica en una base estabilizada con cemento portland usando emulsión Bituprimer optimiza el índice de penetración, carretera Arapa – Caminaca, 2023.

1.3.2. Hipótesis específicas

- A mayor porcentaje de cemento usado en la base estabilizada decrece el índice de penetración aplicando emulsión Bituprimer.
- Los requerimientos de aplicación de la emulsión Bituprimer influyen directamente en el índice de penetración en una base estabilizada con cemento portland.
- El índice de penetración con emulsión Bituprimer en una base estabilizada con cemento Portland influye directamente con la adherencia de una capa bituminosa

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La justificación teórica pretende que, mediante las teorías ya establecidas sobre el uso de emulsiones asfálticas, se enfatizara sobre el uso de la emulsión Bituprimer como imprimante idóneo para una base estabilizada con cemento en la carretera Arapa - Caminaca, cuyos resultados de índice de penetración registrados servirán a futuras investigaciones similares; por tanto, aportara al conocimiento teórico.



La justificación práctica de la investigación proviene de la necesidad de optimizar el índice de penetración cuando se realiza una imprimación asfáltica, a un problema observado durante la construcción de pavimentos con soluciones básicas. Por tanto, se tiene la finalidad proporcionar a la comunidad científica una propuesta de alternativa como es la emulsión Bituprimer para optimizar el índice de penetración una base estabilizada con cemento y esto mejore la adherencia entre capas.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

- Evaluar la influencia de la imprimación asfáltica en una base estabilizada con cemento portland usando emulsión Bituprimer para optimizar el índice de penetración, carretera Arapa – Caminaca, 2023.

1.5.2. Objetivo específico

- Evaluar la influencia del porcentaje de contenido de cemento usado en la base estabilizada en el índice de penetración aplicando emulsión Bituprimer.
- Evaluar la influencia de los requerimientos de aplicación de emulsión Bituprimer con el índice de penetración sobre la base estabilizada con cemento portland.
- Determinar el efecto del índice de penetración aplicando emulsión Bituprimer en una base estabilizada con cemento Portland en relación con la adherencia entre una capa bituminosa.

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La Tabla 1 se detalla la operacionalización de las variables. Las variables se dividieron en dos categorías variable independiente y variable dependiente.



Tabla 1

Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD
Emulsión Bituprimer	Índice de penetración	Profundidad de penetración	mm
		% contenido de cemento	%
	Diseño suelo-cemento	Durabilidad	Razón
Imprimación asfáltica en una Base estabilizada		Control de resistencia	Kg/cm ²
		Temperatura	°C
	Requerimientos de aplicación	Tasa	Lt/m ²
		Tiempo de rotura	hrs
	Adherencia	Resistencia al corte	Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

INTERNACIONAL

Así, en el mundo: A lo largo de los años los residentes del área de Tampa Bay, Florida, han tenido que lidiar con altas temperaturas, lluvias y huracanes en el verano, pero no han tenido que preocuparse de la durabilidad de algunas carreteras. Después de estar sometidas a los efectos del tráfico y de la madre naturaleza durante más de ocho años, varias calles de subdivisiones de Florida, aparcamientos y ciertas carreteras comarcales que se construyeron con una mezcla de tierra y cemento o unos cimientos tratados con cemento no muestran signos de desgaste. (Association Portland Cement, 2023)

Wang, Yi Wang, & Ning (2017) en su investigación por resolver el motivo de la no adecuada unión entre capas, intentan desarrollar un nuevo tipo de material asfáltico de alto rendimiento para aplicar sobre CTB (base tratada con cemento), a través de pruebas de viscosidad, prueba de presión de exudación, prueba de temperatura y una prueba uniaxial, en donde los autores evalúan los efectos de penetrabilidad y solidificación del nuevo material sobre la superficie el cual vendría a ser el tiempo de curado. Los investigadores en su metodología hacen el uso de una mezcla de resina epóxica soluble en agua y una mezcla emulsionada, que mediante en base a resultados determinan las proporciones optimas. Finalmente concluyendo que, en comparación con la imprimación asfáltica emulsionada normal existente, que esta mezcla puede aportar penetrabilidad en una CTB (base tratada con cemento) y además el rendimiento de unión entre capas de



este nuevo material mejora significativamente y el efecto de cargas de los vehículos es menor a lo esperado.

Mercado (2016) plantea en su estudio revisar el estado actual de la fabricación de emulsión asfálticas y también pretende proporcionar una guía práctica para mejorar su formulación al intentar fabricar una emulsión asfáltica bien especificada para su uso en la infraestructura vial. El investigador refiere que se debe formular el tipo de emulsión para cada tipo de necesidad, y considerar la estabilidad de la emulsión, la viscosidad, el tamaño de gotas y otras variables relacionadas con la composición química del asfalto, etc. Finalmente, el autor en su trabajo de investigación estudia el efecto de formulación sobre la viscosidad y la estabilidad, sustentando que al ser el tamaño de la gota mucho más pequeña mayor estabilidad tendrá la emulsión y de mayor viscosidad para la concentración constante de asfalto. Y de igual manera al aumentar la relación asfalto/agua conduce a una tenencia de mayor estabilidad; y así de acuerdo a la necesidad del material hacer las manipulaciones en las emulsiones asfálticas.

Sapei & González (2014), en su investigación evalúa el impacto del riego de imprimación en la capacidad de adherencia de la interfase, mide la penetración, interpreta el efecto negativo o nulo de la cantidad de emulsión a aplicar en función del tipo de suelo de la capa y evalúa el tipo de emulsión más adecuado. En consecuencia, en muchos casos no se forma una superficie de transición con la nueva capa asfáltica debido a la falta de penetración del riego asfáltico. Como consecuencia, la estructura de la carretera no tiene la vida útil para la que estaba prevista. Con el fin de medir la tensión que debe estar presente para provocar un fallo en la interfaz adherida y calcular la tensión tangencial que existe entre una base imprimada y una mezcla asfáltica de 5 cm, los investigadores utilizaron un enfoque experimental que incluía la utilización de un dispositivo de torsión.



El equipo que se utilizó fue un torquímetro, y los resultados que se obtuvieron utilizando emulsión de imprimación fueron los siguientes: una penetración de tres milímetros para una densidad del cien por cien, y una penetración de seis milímetros para una densidad del noventa por ciento. Utilizando una emulsión rápida con residuo firme como aglutinante, se consiguió un par de 521 kg cm para la densidad descrita anteriormente. En otra muestra se alcanzó un par de 277 a 200 kg cm, que se consiguió sin utilizar un agente adhesivo y utilizando como anclaje el material sobrante del riego de imprimación. En conclusión, los resultados de la investigación revelan que el tipo de base que se utiliza es un factor significativo a la hora de determinar el nivel de penetración que se puede lograr. Para colmo de males, no debería ser necesario un valor de penetración para una base, sino que debería calcularse la penetración que permite la base y evaluar la resistencia de la adherencia junto con la penetración de la emulsión. Este método sugiere que el esfuerzo de cizallamiento que debe aplicarse para garantizar una adhesión satisfactoria se sitúa en un intervalo de 0,4 a 0,6 MPa, como demuestran los experimentos examinados. Este intervalo depende del tipo de base.

Kasthurirathna (2018), el autor menciona que, en el proceso de construcción de carreteras, una de las actividades necesarias es la aplicación de una capa de imprimación. Su objetivo principal es evitar que la humedad migre a la capa de base y a las capas inferiores, sellando los huecos capilares presentes en la superficie de la capa de base donde se aplica. El rendimiento, en cambio, no cumple los criterios previstos. Uno de los aspectos más cruciales a tener en cuenta es la penetración primaria en la base de la carretera. Mediante el uso de un material asfáltico MC-30 y CSS-1, los objetivos de este estudio eran determinar los requisitos de penetración, el tiempo de curado necesario y la tasa de aplicación. Las muestras se compactaron en moldes CBR prescritos por la AASHTO con un determinado grado de compactación y, a continuación, se rociaron a



determinadas tasas en circunstancias que pretendían ser representativas de Sri Lanka. A continuación, se seleccionaron los requisitos de penetración y el tiempo de curado necesario para cada tasa de aplicación y grado de compactación. A continuación, se trazaron los requisitos de penetración para cada tiempo de curado necesario en función de la compactación de base y el índice de aplicación. La penetración necesaria para ambos tipos de asfalto no es significativamente diferente entre sí; sin embargo, el MC-30 ha mostrado una penetración considerablemente mayor para ciertos intervalos de tiempo, lo que sugiere que es la opción más adecuada a elegir en términos de penetración en la base cuando se compara entre estos dos tipos de emulsión que fueron siendo evaluados. Se presentan los requisitos de penetración de MC-30 y CSS-1 a lo largo del tiempo. Estos requisitos pueden utilizarse para emitir juicios sobre el tipo de emulsión más adecuado para su uso en términos de penetración, así como los requisitos de penetración para un tipo concreto de betún con respecto al tiempo de curado.

Chamorro (2019), Con el fin de evaluar si el uso de emulsiones asfálticas mejora o no la capacidad de adherencia en la interfase entre las capas y si su uso es viable o no en nuestro medio, el objetivo general es comparar y analizar el comportamiento de asfaltos diluidos y emulsiones asfálticas para el riego de imprimación. En la aplicación del enfoque a nivel experimental se utilizan la emulsión (Emulprimer), RC-250 y la emulsión asfáltica (CHOVA), que actualmente se utilizan como riego de imprimación en el Ecuador. El riego de imprimación se realiza sobre estructuras de briquetas que tienen una granulometría desarrollada. A la luz de los resultados, podemos afirmar lo siguiente: La aplicación de RC-250 pone de manifiesto que la penetración es escasa, pudiéndose observar que el residuo no ha penetrado completamente, sino que aún se encuentra en la superficie. Como resultado de la aplicación de Emulprimer, podemos ver la producción de una fina capa en la superficie, con una penetración mínima de aproximadamente un



milímetro. CHOVA muestra que se produce la creación de una película de menor espesor que hace que la probeta se separe en el punto de la ruptura. Esto ocurre cuando se aplica CHOVA de emulsión normal. Finalmente, se determina que la emulsión fabricada por EMUULDEC y denominada Emulprimer CSS-1h tuvo el mayor índice de penetración entre las probetas imprimidas. El valor de penetración fue superior a 1 mm. Esto se debe a que este tipo de emulsión tiene una viscosidad más baja y las partículas del compuesto tienen un tamaño cinco veces menor que la emulsión convencional, lo que garantiza su penetración.

NACIONAL

Yana & Coila (2023), “en su investigación fijan como objetivo general demostrar la influencia de las propiedades de bases granulares al usar el riego de imprimación y hacer mediciones de la penetración, empleando una metodología aplicada y un diseño de investigación cuasi experimental. En esta investigación se hicieron 66 unidades de muestra de base granular alterando en su diseño la cantidad de finos en el diseño de la base granular en el cual aplicaron dos tipos de materiales GA1 y GA2 con valores distintos de porcentaje de agregado fino y humedad óptima. El tipo de imprimante usado es un asfalto diluido MC-30 con la tasa de aplicación fue de 1.2 lt/m² y temperatura de 30°C. Los resultados obtenidos fueron de 4.00 mm y 5.95 mm respectivamente. Finalmente, los autores concluyen que las bases granulares compuestas por un mayor de porcentaje de agregado fino presentan una imprimación más desfavorable; humedad óptima presentarán una imprimación más desfavorable. Así mismo, Se llegó a la conclusión con respecto a la imprimación asfáltica, que fue que el aumento de la temperatura, la tasa de aplicación y el tiempo de curado de una imprimación asfáltica produce una mejora considerable”.



Chipioco & Valdivia (2023), “en su investigación plantea como objetivo general verificar la penetración de imprimación asfáltica en bases granulares estabilizadas con cemento con diferentes propiedades físicas, empleado una metodología de investigación cuantitativo y de diseño No experimental. Los autores hacen uso de ensayos de laboratorio de suelos aplicando a una muestra de base estabilizada con cemento, alternado en el diseño los porcentajes de cemento en 2%, 4% y 6%, trabajado con un contenido de humedad óptimo de 8.8% donde los índices de penetración alcanzados fueron de 1.9, 1.7 y 0.8 mm respectivamente. Se usaron para este estudio 45 briquetas de suelo estabilizado con cemento y una imprimación de rotura lenta el cual se aplicó una tasa de imprimación de 1.5 l/m² y una temperatura de 60° C. De los resultados de la investigación a mayor contenido de cemento menor la penetración, a menor contenido de humedad se alcanza una mayor penetración y a mayor temperatura de la base se incrementa la penetración”.

Fernández y Paramo (2019) En su investigación llevaron a cabo un estudio comparativo entre una emulsión de imprimación conocida como IMPRIMA y un asfalto diluido conocido como MC-1, con el objetivo principal de determinar la profundidad de penetración y la duración de la penetración. Se crearon un total de ocho especímenes utilizando moldes Proctor, cuatro de los cuales tenían superficies barridas y cuatro tenían superficies raspadas. El propósito del enfoque que se utilizó fue retratar con precisión las circunstancias del lugar de acuerdo con las características de las bases. El material asfáltico que se utilizó procedía de tres lotes diferentes: 0,8 lt/m², 1,0 lt/m² y 1,2 lt/m². Los resultados se validaron mediante corte para realizar las mediciones una vez finalizado el proceso de desmoldeo. Los resultados indicaron que las dosis de 1,0 lt/m² y 1,2 lt/m² son las más recomendables. Por otro lado, el automóvil confirma que los mayores resultados se obtuvieron en superficies raspadas y no simplemente barridas. Los índices de penetración que se alcanzaron en MC1 e IMPRIMA son comparables, situándose entre



4 mm y 7 mm. Además, muestra que la medida tomada después de 12 horas de curado no es la misma que la medida tomada después de 24 horas de curado, pero es la misma después de 8 meses de curado. Cabe suponer que alcanzó el curado completo en veinticuatro horas.

Lugo (2022) en su investigación donde su objetivo general era verificar la adherencia entre una base tratada con cemento y una capa bituminosa que era el Otta Seal, por medio de uso de una imprimación asfáltica con una emulsión de imprimación EAP, empleando una metodología descriptiva, analítica y experimental. Esta investigación fue desarrollada por ensayos de laboratorio y campo con una muestra de bases estabilizadas con porcentaje de cemento de 1.5 % y 3.0%, con una tasa de aplicación de imprimación asfáltica de 0.8lt/m², 1 lt/m² y 1,2 lt/m² a temperaturas de 60°C y 65°C y un huso granulométrico de gradación media para el material pétreo de Otta Seal. Los resultados alcanzados después de todo lo los ensayos mencionados de imprimación y adherencia demostraron que tienen condiciones óptimas y favorables para adherirse entre la base estabilizada y la capa bituminosa, además demostraron que la imprimación EAP para bases tratados con cemento logra mejores índices de penetración los cuales van de 1mm a 3 mm en promedio.

Benites (2022) desarrollo en su tesis el tema “Efecto de la temperatura de la emulsión catiónica tipo CSS-1H para imprimación de bases granulares”, donde el objetivo general de la investigación esa analizar la influencia de cómo afecta la temperatura al aplicar la emulsión catiónica tipo CSS-1H en una base granular, la metodología es un tipo de investigación aplicada del diseño experimental. Las muestras con las cuales se estudia son 24 briquetas con la mejor dosificación y dos tramos de prueba de 3x3 m². La temperatura que el autor emplea el autor es de 20 °C, 24 °C, 26 °C,



28 °C, 30 °C, 32 °C y 34 °C. Concluyente finalmente que el incremento de temperatura de la emulsión catiónica tipo CSS-1H en una base granular influyen positivamente en la profundidad de penetración, los resultados q muestra la investigación es que a 28° C se alcanza un índice de penetración de 6.00 mm y al aplicarlo a 20 °C alcanza un índice de penetración de 3.12 mm.

Orellana (2021), “en su tesis plantea en su objetivo general evaluar la influencia de aplicación de la emulsión imprimante PRIMETEC en la conservación de las bases granulares Huancayo, donde emplearon una metodología del tipo aplicado y un diseño cuasiexperimental. Las muestras fueron 36 moldes Proctor de material de base granular en las cuales se aplicaron la emulsión en probetas con diferente humedad y el porcentaje de finos. Los resultados que se obtuvieron es que este imprimante PRIMETEC optimizo un 70% las propiedades de la base granular, y logrando obtener resultados óptimos con una tasa de aplicación de 1.2 lt/m² y una temperatura de aplicación de 14%. Por último, se determinó que la emulsión de imprimación PRIMETEC que se utilizó no necesitaba una temperatura elevada. Además, utilizando la dosis adecuada y la temperatura natural, se consiguieron penetraciones aceptables. Estas penetraciones se consiguieron incluso con una base cerrada y una humedad poco beneficiosa. Las penetraciones alcanzaron entre 4 y 5 milímetros”.

Vidalon (2019), en su tesis tiene como objetivo general la evaluación de los efectos de la humedad, la cantidad de finos de la base granular, la influencia de la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica y la profundidad de penetración en la imprimación asfáltica de pavimentos flexibles, empleando una metodología de investigación aplicada de diseño de investigación experimental del tipo pre-experimental, En dicha investigación se emplearon 64 moldes Proctor de 6” variando el % de humedad



y % de finos en el material granular, las temperaturas que se usaron fueron desde los 14 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C, 50 °C y 60 °C. A la vista del hecho de que se lograron penetraciones de imprimación de 0 mm a 16,97 mm en cambios de temperatura de 14°C a 60°C correspondientemente en condiciones de base granular de 0% de finos con 0% de humedad y 8% de finos con 6,5% de humedad, es posible afirmar que existe una relación directa entre ambos. La conclusión que puede extraerse de esta observación es que el aumento de la temperatura a la que se aplica la emulsión asfáltica tiene un efecto beneficioso sobre la profundidad de penetración de la imprimación asfáltica. Es indiferente que la base granular sea favorable o desfavorable. Además, se afirma que el proceso de imprimación asfáltica sufre un impacto negativo cuando se produce un aumento de la humedad y la cantidad de finos.

Angoma Garcia y Mercado Ponce (2023) El objetivo de este estudio es conocer el grado de eficacia mecánica que tiene el contacto entre el micro pavimento y las bases estabilizadas. Los asfaltos en emulsión MC-30, RC-250 y CSS-1H son evaluados en este proyecto de investigación, de carácter experimental, en el que se examina su comportamiento. Los autores quieren saber qué asfalto funciona mejor como interfaz entre el micro firme y la base estabilizada, llegando a la conclusión de que se consiguió una mayor adherencia en la interfaz con el RC-250, donde se pudo obtener una resistencia máxima al cizallamiento de 160,42 kg, respecto a la tracción directa de Lottman, concluyendo que el RC-250 tiene un mejor comportamiento adherente.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Consideraciones Teóricas Preliminares

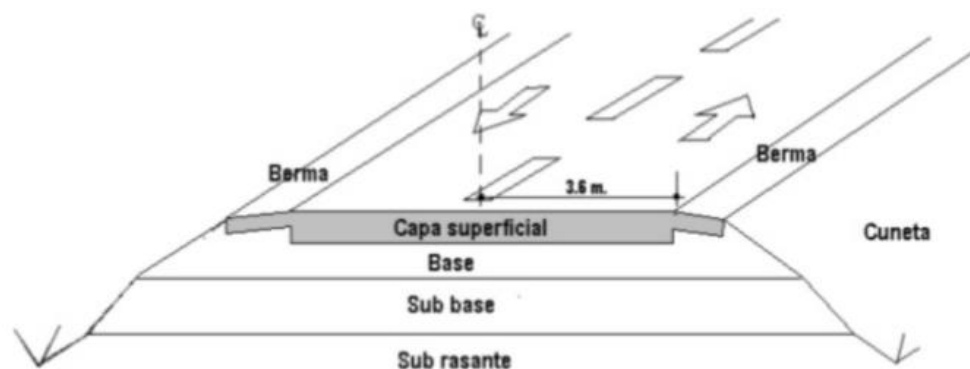
2.2.1.1. Pavimento

“Es una estructura constituida por una serie de capas superpuestas, que se diseñan y constituyen teniendo en cuenta diferentes métodos, normas y especificaciones técnicas para materiales apropiados, que se someten a diferentes procesos constructivos con el fin de obtener una superficie apta que presente la rigidez y durabilidad para el tránsito de vehículo”. (Moncodino Jhonn, 2020).

“El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del terreno de fundación para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por base, subbase y capa de rodadura”. (MTC, 2014).

Figura 1

Capas de pavimento.



Nota: Imagen típica de un pavimento flexible. Adaptado de Kroger & Kroger (2020).



2.2.1.2. Tipos de pavimento

Los siguientes tipos de pavimentos están reconocidos y enumerados en la Sección: Suelos y Pavimentos (MTC, 2014):

- Pavimentos Flexibles
- Pavimentos semirrígidos
- Pavimentos rígidos

2.2.1.3. Clasificación de Carreteras por tipo de superficie de rodadura

“Se define 2 tipos de superficies las cuales se difieren al ser caminos pavimentados y caminos no pavimentados los que se detallan a continuación” (MTC, 2014):

Caminos con superficie de rodadura no pavimentada: Según el Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito MTC (2008) considera básicamente que se utilizaran estos pavimentos con los siguientes materiales mencionados a continuación:

- Caminos de tierra: Hechos de suelo natural y mejorados con grava cuidadosamente elegidos para zarandeo (MTC, 2008).
- Caminos de grava (lastrados): Compuestas por una capa de recubrimiento elegida manualmente de material pétreo natural o por grava con un tamaño de 75 mm (MTC, 2008).
- Caminos Afirmados: Tienen una capa de materiales de cantera que se dosifican de forma natural o mecánica (zarandeo), con una dosificación prescrita, y están formadas por una mezcla adecuada



de tres tipos de materiales diferentes: piedra, arena y finos o arcilla, con un tamaño máximo de 25 mm (MTC, 2008).

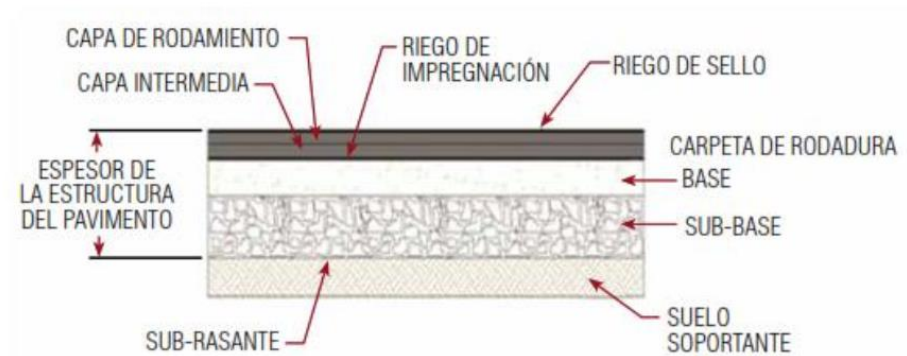
- Caminos afirmados con un área de rodadura estabilizado industrialmente (MTC, 2008):
 - Afirmados con grava que ha sido tratada con sustancias como aditivos químicos, asfalto, cemento y cal, entre otros.
 - Suelos naturales estabilizados mediante una combinación de aditivos químicos, asfalto, cemento, cal, material granular y ligantes finos.

Caminos con superficie de rodadura pavimentada: Según Ministerio de Economía y Finanzas (2015) nos menciona las siguientes carreteras están clasificadas como pavimentadas:

- **Pavimentos flexibles:** “Compuestos por capas granulares (subbase y base drenante) y una superficie de rodadura bituminosa en frío como tratamiento superficial bicapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micropavimento en frío, macadam asfáltico, carpetas de mezclas asfálticas caliente o en frío, etc” (MEF, 2015).

Figura 2

Componentes de un pavimento flexible.



Nota: Adaptado del MEF (2015).

- **Pavimentos semirrígidos:** “Conformados con capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también se considera como pavimento semirrígido, la estructura compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido, también, los pavimentos adoquinados” (MEF, 2015).
- **Pavimentos rígidos:** “Conformados por losa de concreto de cemento hidráulico y una subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa” (MEF, 2015).

2.2.1.4. Carreteras con soluciones básicas

“Los caminos con pavimentos económicos (soluciones básicas), se refiere a alternativas técnicas, económicas y ambientales, consiste en la aplicación de estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos mejorándose la superficie de rodadura para que tenga una mayor vida útil y un mejor nivel de servicio” (MEF, 2015).



“Es posible elegir estas soluciones en función de las características específicas de cada proyecto, teniendo en cuenta elementos como la ubicación del mismo y la composición material predominante en la industria” (MEF, 2015). Cabe mencionar las siguientes soluciones fundamentales:

- **Caminos afirmados estabilizados sin recubrimiento:** “Caminos a nivel de superficie de rodadura compuestos por afirmados estabilizados con productos químicos o caminos a nivel de superficie de rodadura con suelos estabilizados.” (MEF, 2015).
- **Caminos afirmados estabilizados con recubrimiento:** “Caminos a nivel de superficie de rodadura compuestos por afirmados o suelos estabilizados con productos químicos, con una capa de protección bituminosa.” (MEF, 2015).
- **Caminos con soluciones básicas pavimentadas:** “Caminos con pavimentos compuestos por capas granulares y base estabilizada, con una superficie de rodadura bituminosa en frío como: tratamiento superficial monocapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micropavimento en frío, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.” (MEF, 2015).

Figura 3

Caminos con solución básica.



Nota: Carretera de bajo volumen de tránsito Juliaca-Caminaca progresiva 41+800, tomada el 11 de mayo de 2022. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1.5. Metodología de diseño de pavimentos

Según Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas (2015) “mencionan que para el diseño de pavimentos se debe tomar en cuenta la metodología AASHTO que se emplea en muchos países, en el Perú también se rige mediante esa metodología que están representados mediante los siguientes manuales” (MTC, 2015):

- “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos. Aprobado por R.D. N° 10-2014-MTC/14” (MTC, 2015).



- “Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2013). Aprobado por R.D. N° 31-2013-MTC/14 y R.D. N° 019-2014-MTC/14” (MTC, 2015).
- “Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013). Aprobado por R.D. N° 22-2013-MTC/14” (MTC, 2015).
- “Manual de carreteras: Ensayo de Materiales para Carreteras. Aprobado por R.D. N°028-2001-MTC/15.17. Modificatorias: MTC E 1109-2004 Ensayo sobre estabilización química de suelos - caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo (2004)” (MTC, 2015).

Diseño de afirmado: “Para el diseño de este tipo de rodadura se tendrá consideración de que esta capa de material de afirmado tendrá la función de soportar las cargas de tránsito y que a su vez como un supresor de polvo. La metodología que se desarrolla emplea el criterio de la resistencia de la sub rasante y el tránsito estimado para un periodo de diseño. Esto acompañado de los ejes equivalente expresado en la cantidad de vehículos pesados durante el periodo de diseño establecerían el espesor del afirmado” (MTC, 2014).

Diseño de Pavimento flexible: “Para los dimensionamientos, aplicarán metodología de diseño con reconocimiento internacional y de uso actual en nuestro país, como el método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993” (MTC, 2014). Según el manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito señala que



“Típicamente el diseño de los pavimentos es mayormente influenciado por dos parámetros básicos” (MTC, 2008).

- “Las cargas del tráfico vehicular impuestas al pavimento” (MTC, 2008).
- “Las características de la subrasante sobre las que se asienta el pavimento “(MTC, 2008).

2.2.1.6. Modulo resiliente

“Es un parámetro que evalúa la respuesta elástica del suelo, considerando particularidades no lineales. Su aplicación directa se extiende al diseño de pavimentos flexibles” (AASHTO, 1993).

Para realizar un diseño de pavimento se requiere el valor del CBR o el módulo resiliente de diseño

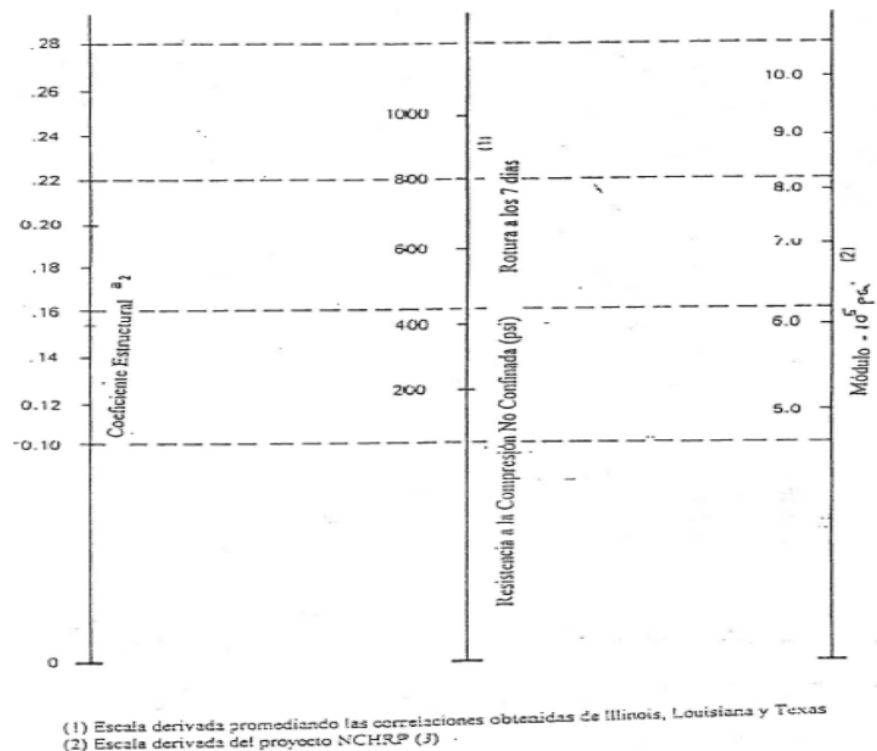
$$M_r = 321 * CBR + 1327 \text{ para material granular CBR } > 80\%$$

$$M_r = 321 * CBR + 1327 \text{ para material granular CBR } > 80\%$$

Es posible establecer una correlación entre la resistencia a la compresión y el número estructural (también conocido como coeficiente estructural (a2) a la hora de diseñar una cimentación suelo-cemento.) según la siguiente Figura 4.

Figura 4

Coefficiente a_2 para bases tratadas con los parámetros de resistencia



Fuente: Guía AASHTO (1993) para diseño de estructura de pavimentos.

2.2.1.7. Caminos de bajo volumen de tránsito

“En este documento recomiendan las siguientes variedades de capa de rodadura asfáltica, cada una de las cuales debe tener un espesor de base granular de al menos 150 milímetros:” (MTC, 2014).

- Tratamiento Superficial Bicapa (TSB).
- Mortero asfáltico o lechada asfáltica (Slurry Seal): 12 mm.
- Micropavimento: 25 mm.
- Carpeta asfáltica en Frío: 50 mm.



2.2.1.8. Tratamientos superficiales

Es un método de pavimentación que se utiliza para mejorar y preservar la superficie de la carretera sin afectar considerablemente a la capacidad estructural de la vía que se está tratando. Esta técnica ha experimentado un importante desarrollo, lo que ha permitido utilizarla no sólo en carreteras con muy poco tráfico, sino también en vías con un mayor volumen de tráfico, como las autopistas. Las siguientes etapas componen el proceso de construcción:

- Dado que la superficie de la capa de base del pavimento, independientemente de si es granular o tratada, ha sido imprimada con material asfáltico y está preparada para recibir la capa de rodadura, se puede proceder a la posterior actividad de colocación de la capa bituminosa.
- Es práctica común transportar áridos o material de grava triturada en camiones volquete cuya carrocería es lisa e impermeable. Además, el material bituminoso de aglomerado asfáltico se transporta en camiones de riego.
- Seguidamente, ya en pista (plataforma a sellar), se riega el material aglutinante después de haberlo colocado en la pista (la plataforma que se va a sellar), se vierten los áridos (utilizando una grava o un esparcidor) y se compacta la combinación (utilizando un rodillo tándem y un rodillo neumático).



Se menciona a continuación de algunos tipos diferentes de tratamientos superficiales o aplicaciones, que se utilizan a menudo en las carreteras con poco tráfico:

- Sellos con riego
 - Sello Neblina / Arena (Fog Sand Seal)
 - Sello de Agregados (Chip Seals)
- Lechadas
 - Lechada Asfáltica (Slurry Seal)
 - Micropavimento
- Otros sellos
 - Cape Seal
 - Otta Seal

2.2.1.9. Capa bituminosa Otta Seal

En las carreteras con poco tráfico se utiliza una superficie asfáltica denominada Otta Seal. El método en cuestión se desarrolló por primera vez en Noruega y ahora se utiliza en nuestra nación, Perú. “En su ejecución, consiste en una capa bituminosa de 16 ó 32 milímetros de espesor (una o dos capas), y su ejecución incluye el rociado de un asfalto blando aplicado en caliente, seguido del rociado de un árido integral que se compacta dentro del asfalto utilizando rodillos tándem y neumáticos, por último, el tratamiento superficial es el paso final del proceso” (Overby, 1999). Cuando se aplica un tratamiento de superficie del tipo Otta Seal sobre una base tratada con suelo-cemento, se debe garantizar la estabilidad.



2.2.1.10. Estabilización química de suelos

Es posible estabilizar una amplia variedad de suelos base de espesores variables mediante el uso del tratamiento químico, que es una estrategia flexible para mejorar el suelo base. Uno de los beneficios más significativos de este método es el hecho de que permite elegir entre distintos tipos de ligantes., cada uno de los cuales tiene una colección distinta de características fisicoquímicas que son beneficiosas para la estabilización del suelo. Debido al hecho de que un ligante puede mostrar sorprendentes mejoras de resistencia en un suelo mientras que tiene efectos perjudiciales en otro, es imperativo que las cualidades del material del suelo y del ligante se investiguen a fondo antes del proceso de estabilización. (Pacheco et al., 2015).

2.2.1.11. Material asfáltico de Riego

La proyección de asfalto es el proceso de proyectar una capa de emulsión asfáltica y, ocasionalmente, asfaltos diluidos sobre una superficie pavimentada. Este procedimiento ofrece diversas ventajas al usuario, como la impermeabilidad, la resistencia al desgaste de la capa asfáltica y la capacidad de mantener pavimentos desgastados o desagregados, entre otras. No es necesario utilizar áridos al realizar estos riegos. Normalmente, estos riegos se llevan a cabo con la ayuda de un camión cisterna, que debe estar equipado con una bomba para garantizar un riego uniforme. (Rivera Lira & Saleh Dawabe, 2014).



Según: Manual de Especificaciones Técnicas generales (2013) ”los tipos de materiales asfálticos usados para riego de liga sobre bases granulares son”:

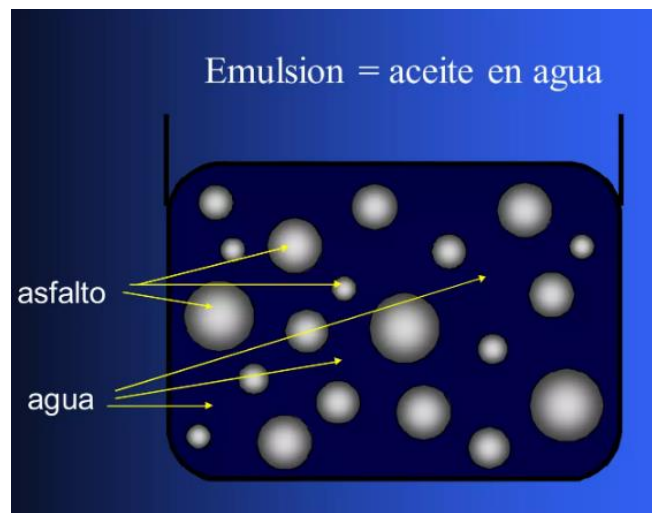
- “Cemento asfáltico 40/50, 60/70, 85/100 o 125/150, según lo requerido” (MTC, 2013).
- “Emulsión catiónica de rotura lenta CSS-1 o CSS-1h, según lo requerido a las especificaciones técnicas” (MTC, 2013).
- “Emulsión catiónica de rotura rápida CRS-1 o CRS-1h, según lo requerido a las especificaciones técnicas” (MTC, 2013).

2.2.1.12. Emulsión asfáltica

Según (Kröger & Kröger, 2018) menciona que una emulsión asfáltica se produce dispersando agua y asfalto en un molino de alto cizallamiento. Esto se debe a que los dos líquidos no se mezclan, sino que se combinan con un agente emulsionante o emulsionante. Un emulsionante es el componente responsable de la disolución y combinación de los dos líquidos, lo que finalmente da lugar a una dispersión estable. Las emulsiones pueden clasificarse como aniónicas, catiónicas o no iónicas en función de la carga de las partículas que aporta el emulsionante. Es esencial señalar que esta clasificación es aplicable. Las emulsiones catiónicas se utilizan con más frecuencia porque son compatibles con los agregados, incluso cuando están húmedos

Figura 5

Emulsión asfáltica



Nota: Composición una emulsión asfáltica Adaptado la Universidad de Cauca (2021).

2.2.1.13. Clasificación de Emulsión asfáltica

En el libro de Mercado y Avendaño (2008) menciona tipos de emulsión en función del tiempo transcurrido desde la rotura o de la cantidad de agua evaporada: Las emulsiones de rotura rápida (RS) son las que más se utilizan durante los riegos de adherencia y los tratamientos superficiales. Como punto de interés adicional, destaca que estas emulsiones presentan una interacción eficaz con el árido, por lo que vuelven al estado asfáltico. Es difícil separar estas emulsiones porque incluyen películas resistentes y grados particulares (RS-2 y CRS-2) que tienen viscosidades altas. Esto garantiza que el revestimiento no se escurra y, una vez generado, no se segregue fácilmente, lo que dificulta su separación. Por ello, son perfectos para actividades como el tratamiento de superficies, el sellado con arena, la reparación de baches y la pulverización. Además de utilizarse en tratamientos superficiales, las emulsiones de rotura media (MS) están pensadas para combinarse con el



árido, ya sea a alta o baja temperatura. Se pueden trabajar en la planta y luego poner en la vía porque tienen la cualidad de no romperse rápidamente al entrar en contacto con el árido. Estas emulsiones se utilizan en mezclas abiertas, reciclado de firmes e incluso mezclas en frío, que son las aplicaciones más frecuentes para ellas.

Además de ello Mercado & Avendaño (2008) Hace referencia a las emulsiones de rotura lenta (SS), que se desarrollaron para operar con el árido durante un periodo de tiempo más largo. Debido a que los áridos son más finos y densos, este periodo garantiza una cobertura suficiente. Por esta razón se utiliza no sólo en la industria de la pavimentación, sino también en otros sectores industriales. Es importante señalar que se puede añadir agua a la mezcla para reducir aún más su viscosidad. Por otro lado, se puede añadir cemento portland o cal hidratada a la mezcla para acelerar su rotura. Las mezclas densas, las lechadas y los sellados de lechada son los usos más frecuentes de este material.

En el mercado industrial según TDM Asfaltos (2012) La base debe prepararse como con un ADP (asfalto de petróleo diluido, MC-30) para poder utilizar una imprimación del tipo PRIME COAT. Esta imprimación se utiliza para proteger la base de los efectos de la intemperie y para servir de puente de unión entre la base y la capa asfáltica. El uso de emulsiones PRIME presenta una serie de ventajas, entre las que destacan las siguientes: no necesita calentarse ni diluirse para una sola aplicación; tiene un alto nivel de penetración en bases granulares; puede aplicarse a temperatura ambiente y con equipos convencionales; tiene poco olor y se



libera en un máximo de doce horas; y su huella de carbono en el medio ambiente es menor.

2.2.1.14. Tipos de emulsiones asfálticas

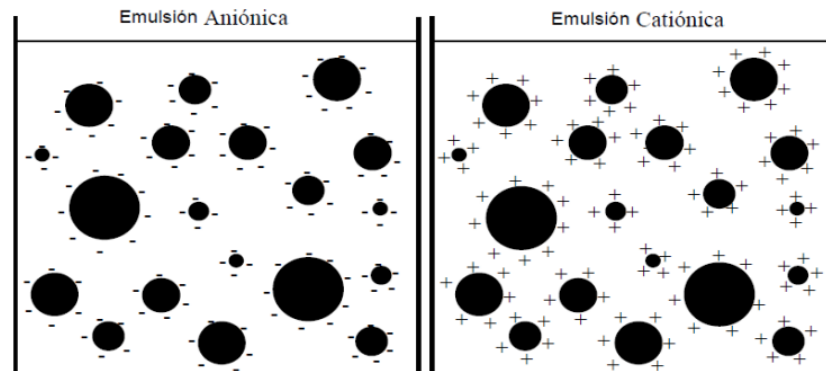
Según el Instituto Mexicano del transporte (2001), A la hora de determinar la clasificación de las emulsiones asfálticas, se tienen en cuenta las siguientes características:

2.2.1.15. Por el tipo carga

- **Emulsiones aniónicas:** “En este tipo de emulsiones el agente emulsificante les confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa” (Talavera et al., 2001).
- **Emulsiones catiónicas:** “En este tipo de emulsiones el agente emulsificante les confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva” (Talavera et al., 2001).
- **Emulsiones no iónicas:** “No hay carga asociada a las partículas de asfalto” (Talavera et al., 2001).

Figura 6

Emulsión del tipo aniónica y catiónica.



Nota: Tipología según su tipo de carga. Fuente: Adaptado del Instituto Mexicano de Transporte.

2.2.1.16. Por el tipo de rotura

- **Rotura rápida:** “Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas” (Talavera et al., 2001).
- **Rotura media:** “Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas” (Talavera et al., 2001).
- **Rotura lenta:** “Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas” (Talavera et al., 2001).

2.2.1.17. Especiales

- **Para impregnación:** “Estas se utilizan para impregnaciones de sub-bases y/o bases hidráulicas” (Talavera et al., 2001).
- **Super estables:** “Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos” (Talavera et al., 2001).

2.2.2. Emulsión Bituprimer

En el Perú en la actualidad en la normativa peruana de Especificaciones Técnicas Generales de construcción no se tiene parámetros de aceptación de trabajos sobre bases que impliquen una imprimación asfáltica estabilizadas con cemento portland, lo que generalmente sucede que ocasiona problemas en aceptación o validación de estos trabajos en los proyectos viales que se tiene en nuestro país donde se hacen este tipo de tratamiento de base para soluciones básicas.

2.2.2.1. Concepto

La emulsión para imprimación BITUPRIMER es un material asfáltico sirve como una capa impermeabilizante de base granular y bases que tengan un tratamiento o estabilización química; además sirve como ligante entre la base granular y la capa de rodadura. Según ficha técnica de (BITUPER, 2018) nos menciona que esta emulsión asfáltica desarrollada por BITUPER cumple con la norma vigente de la Unión Europea (UNE-EN 13808) utilizadas como emulsión de imprimación de alto poder de



penetración y otorga frente a otros productos estas ventajas que se detallan a continuación:

- Producida según norma internacional de la Unión Europea.
- Se aplica utilizando los equipos convencionales.
- Tasas de aplicación entre 0.8 y 1.2 lt/m².
- De uso directo sin necesidad de dilución.
- Alta velocidad de curado, pudiendo llegar a 24 horas como máximo de curado.
- No libera solventes derivados del petróleo, contribuyendo al cuidado del medio ambiente.
- Gran poder de penetración en bases granulares tanto secas como húmedas.
- Dota de una película de protección contra el intemperismo.

2.2.2.2. Aplicación

Según (BITUPER, 2018) nos indica: Las consideraciones para poder aplicar son las mismas que el uso de imprimación convencional, como es el caso de una imprimación de asfalto diluido MC-30, se debe tomar en cuenta que el lugar de almacenamiento se encuentre libre de otros productos que puedan reaccionar negativamente con la emulsión Bituprimer.

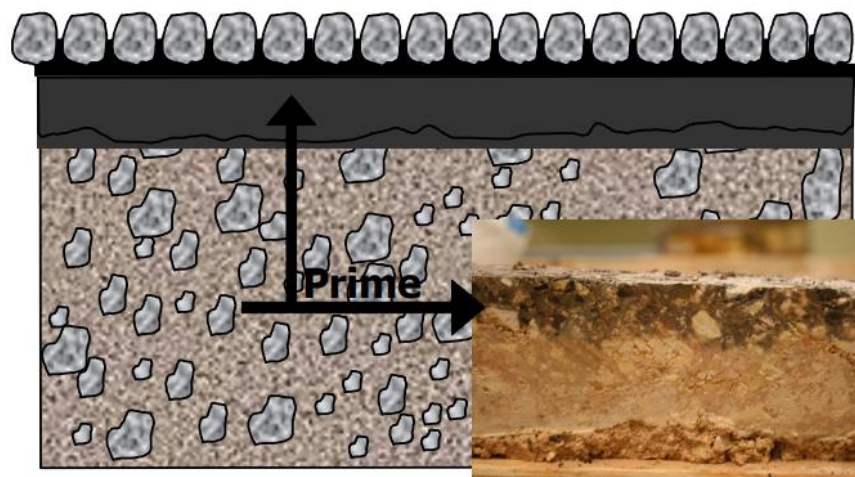
2.2.2.3. Índice de penetración

“Esta profundidad de penetración es la unidad de medida que se utiliza en el proceso de aplicación de una imprimación o emulsión asfáltica para determinar si sirve o no para el fin previsto”. (IngeCivil, 2018)

“La cantidad por m² de material bituminoso, debe estar comprendida entre 0.7 y 1.5 l/m² para una penetración dentro de la capa granular de apoyo de 5mm a 7 mm por lo menos, para el caso de asfaltos diluidos y de 5.0 a 7.5 mm para el caso de emulsiones” (MTC EG, 2013).

Figura 7

Esquema que muestra la penetración en la capa base.



Nota: Adaptado de Senadheera and Vignarajah (2007).

2.2.2.4. Profundidad de penetración

La profundidad de penetración es una característica esencial que debe tenerse en cuenta para garantizar la eficacia y la longevidad de las construcciones asfálticas. Para obtener los resultados deseados en los proyectos de construcción de carreteras, es fundamental elegir



adecuadamente las emulsiones y conocer bien las características del suelo y del entorno.

2.2.3. Imprimación Asfáltica en una base estabilizada con cemento

2.2.3.1. Cemento

“El cemento es un conglomerante hidráulico, el producto es comercial de fácil adquisición, es empleado para la preparación de concretos, morteros, también en la estabilización o mejoramiento de suelos aumentando la resistencia y durabilidad. El cemento es un producto que se obtiene por la pulverización del Clinker adicionando eventualmente el yeso natural, El Clinker portland se forma por la cocción de la piedra caliza y arcilla a temperatura que varían desde 1350 °C y 1450 °C” (Abanto Castillo, 2009).

2.2.3.2. Componentes del cemento

Clinker: “es producido por medio de la calcinación a altas temperaturas, las mezclas que contienen cal, aluminio, fierro y sílice en proporciones determinadas. Esta elaborado a base de piedra caliza y arcilla” (Abanto Castillo, 2009).

Yeso: “El yeso es un mineral que se encuentra en la composición del cemento, para regular la hidratación y el fraguado del cemento” (Abanto Castillo, 2009).



2.2.3.3. Ventajas y desventajas del uso del cemento

Las ventajas del uso del cemento:

- Mejora la resistencia y durabilidad de las mezclas soportando variaciones de temperaturas extremas.
- Es muy versátil, es utilizado en proyectos de edificaciones, carreteras, puentes, pavimentos, etc.
- Es el más económico por ende el más usado

Las desventajas del uso del cemento:

- Es más ligado al tema ambiental, emisiones de polvo y emisiones del CO₂ por el proceso industrial que se requiere para la fabricación del cemento.

2.2.3.4. Base

“Es una capa de materiales granulares que se obtiene de manera natural o procesado con inclusión o no de algún estabilizador o ligante debidamente aprobados, su función principal es de proporcionar un elemento resistente para transmitir las cargas de tránsito a la subbase y a través de esta la subrasante” (MTC,2013)

Los materiales de suelo deben corresponder a las especificaciones de calidad, mencionando a continuación las siguientes consideraciones según el Manual de Especificaciones Técnicas Generales.

Tabla 2*Uso granulométrico para base granular*

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75-95	100	100
9.5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75 mm (N°4)	25-55	30-60	36-65	50-85
2.0 mm (N°10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm (N°40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm (N°200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Adaptado de Especificaciones generales (MTC, 2013). Nota: La gradación A es aplicable si la altitud es superior a 3000 m.s.n.m.

Tabla 3*CBR Valor relativo de soporte*

Valor relativo de Soporte (1)		
Trafico ligero y medio	Trafico en ejes equivalentes ($<10^6$)	Min 80%
Tráfico pesado	Trafico en ejes equivalentes ($\geq 10^6$)	Min 100%

Fuente: Adaptado de Especificaciones generales (MTC, 2013).

Tabla 4*Requerimientos de agregado grueso*

Ensayo	Norma MTC	Requerimientos	
		< 3000 msnm	≥ 3000msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	80% min.	80% min.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	40% min.	50% min.
Abrasión de los Ángeles	MTC E 207	40% min.	40% min.
Partículas chatas y alargadas	-	15% min.	15% min.
Sales solubles	MTC E 219	0.5% min.	0.5% min.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209		18% min.

Fuente: Adaptado de Especificaciones generales (MTC, 2013).

Tabla 5*Requerimientos de agregado fino*

Ensayo	Norma MTC	Requerimientos	
		< 3000 msnm	≥ 3000msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% min.	2% min.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% min.	45% min.
Sales solubles	MTC E 219	0.5% min.	0.5% min.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209		15% min.

Fuente: Adaptado de Especificaciones generales (MTC, 2013).



2.2.3.5. Estabilización de base con cemento portland

“Se define al suelo-cemento como un material elaborado a partir de una mezcla de suelos finos y/o granulares, cemento y agua, la cual se compacta y se cura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas” (Avitia, 1971).

Según Solminihac, Echeverría , & Thenoux, (2019) menciona que consiste en añadir cemento Portland al suelo que ha sido triturado en el pasado, el proceso de estabilización de suelos con cemento implica dejar que la mezcla se solidifique mediante la hidratación del cemento. Este proceso se conoce como proceso de estabilización con cemento. Los principales factores que determinan las características físicas de una mezcla de suelo y cemento son el tipo de suelo, la cantidad de cemento, el grado de mezcla, el tiempo que tarda en fraguar la combinación y la densidad seca de la mezcla una vez compactada. El cemento Portland puede utilizarse para estabilizar una amplia gama de suelos; sin embargo, en comparación con otros aditivos, el método más eficaz y rentable es utilizar cemento Portland para estabilizar arenas y arcillas que tienen una flexibilidad baja o media. Este método es ventajoso, ya que permite una mayor eficacia y economía.

Además, se puede mencionar que:

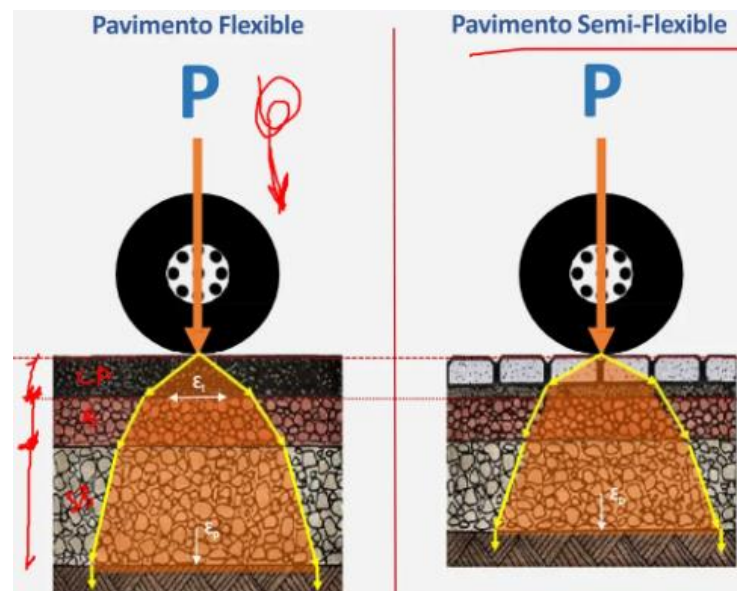
Según (Lugo, 2022) menciona en su investigación los objetivos de la estabilización los cuales se menciona a continuación:

- Incrementa el aporte estructural del pavimento.

- Controlar la expansión.
- Bajar el índice de plasticidad (IP).
- Mejorar la capacidad de soporte CBR (uso de aditivo).
- Mejorar la resistencia.
- Reducir la compresibilidad.
- Reducir la permeabilidad.
- Disminuir la erosionabilidad.

Figura 8

Distribución de esfuerzo en un pavimento.



Nota: Esfuerzos producido por el paso de un eje equivalente. Tomado de libro Bases estabilizadas en condiciones especiales: Costanera, Pacasmayo (2021).

La Tabla 6 indica los requerimientos necesarios para cada tipo de estabilizante, los cuales se tomaron en cuenta en el momento del desarrollo de la presente investigación.

Tabla 6

Parámetro y especificación técnica de estabilizadores

Suelo estabilizado con	Parámetros
Cemento	1. Resistencia UCS 1.8 Mpa mínimo (MTC E 1103)
	2. Humedecimiento y secado (MTC E 1104)
	Para suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A3 pérdida máxima 14%
	Para suelos A-2; A-2-7; A-4; A5 pérdida máxima 10%
Emulsión asfáltica	Para suelos A-6; 1-7 pérdida máxima 7%
	1. Estabilidad Marshall 230 kg mínimo (MTC E 504)
	2. Pérdida de estabilidad después del saturado máximo 50%
Cal	3. % de recubrimiento y trabajabilidad de ñla mezcla debe estar entre 50 a 100%
	1. CBR*= 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132)
Sales	2. Expansión menor igual a 0.5%
	1. CBR*=100% min., CBR no saturado (MTC E 115, MTC E 132)
Productos químicos	1. CBR*=100% (MTC E 115, MTC E 132)
	2. Expansión menor igual a 0.5%

Fuente: Adaptado de soluciones básicas en carreteras no pavimentadas (MTC, 2015).

La Tabla 7 indica las especificaciones técnicas para cada tipo de material, altitud y zona de ubicación para el estabilizante a escoger, los cuales se tomaron en cuenta en el momento del desarrollo de la presente investigación.

Tabla 7

Especificaciones técnicas de estabilizadores y la aplicación según la región

Zona	Materiales o suelos predominantes	Estabilizador de suelos aplicable
Costa a 500 m.s.n.m.	Suelos granulares, de nula a baja plasticidad, clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5	<ul style="list-style-type: none"> - Sales - Cemento portland, Ceniza volcánica, Puzolana - Emulsión asfáltica - Productos químicos (aceites sulfonados, etc.)
Costa a 500 m.s.n.m. a 4800 m.s.n.m.	Suelos granulares de nula a plasticidad media, clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5	<ul style="list-style-type: none"> - Cemento portland, Ceniza volcánica, Puzolana - Emulsión asfáltica - Productos químicos (aceites sulfonados, etc.)
Ceja de selva y selva alta de 400 m.s.n.m. a 1000 m.s.n.m.	Suelos granulares de nula a plasticidad alta, clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7	<ul style="list-style-type: none"> - Cemento portland, Ceniza volcánica, Puzolana - Emulsión asfáltica - Cal - Productos químicos (aceites sulfonados, etc.)
Selva baja menor a 400 m.s.n.m.	Suelos limo-arcillosos, arcillas, arcillas arenosas y arenas predominantemente finas, clasificación AASHTO: A-2-4, A-3, A-6, A-7	<ul style="list-style-type: none"> - Cemento portland, Ceniza volcánica, Puzolana - Emulsión asfáltica - Cal - Productos químicos (aceites sulfonados, etc.)

Fuente: Adaptado de Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas (MTC, 2015).



2.2.3.6. Agua

Según el manual de Especificaciones Técnicas Generales (2013) menciona que:

“El agua deberá ser limpia y estará libre de materia álcalis y otras sustancias deletéreas. Su pH, medido según norma NTP 339.073, deberá estar comprendido entre 5,5 y 8,0 y el contenido de sulfatos, expresado como **SO₄** = y determinado según norma NTP 339.074, no podrá ser superior a 3.000 ppm, determinado según la norma NTP 339.072. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación” (p. 248).

2.2.3.7. Suelo

“Se define como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos. El tamaño máximo de las partículas que pueden clasificarse como suelo no es fijo, pero determina la función en que ellas están implicadas” (García, 2019).

Para el tratamiento de las bases de los pavimentos, el material que se combinará con el cemento Portland deberá estar desprovisto de cualquier materia orgánica u otras impurezas que puedan comprometer la estructura y el aspecto de la capa tratada. Para determinar la calidad del material a utilizar, se realizarán las siguientes pruebas de caracterización del suelo:

- “La granulometría (utilizada para identificar y categorizar el suelo) debe cumplir las normas descritas en EG-2013/ Sección 403.A/Tabla 403.A-01”.

2.2.3.8. Contenido de cemento

El rango requerido para estabilizar un suelo-cemento se muestran las siguientes Tabla 8 (las cuales son referenciales ya que se tiene que desarrollar un estudio para cada tipo de material).

Tabla 8

Rango de cemento requerido.

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3% - 5%
A-1-b	5% - 8%
A-2	5% - 9%
A-3	7% - 11%
A-4	7% - 12%
A-5	8% - 13%
A-6	9% - 15%
A-7	10% - 16%

Fuente: Adaptado de Federal Highway Administration (FHWA).

2.2.4. Diseño de mezcla suelo-cemento

La cantidad de cemento y contenido de agua que permitirá a un suelo alcanzar la capacidad portante necesaria de la capa debe determinarse siempre para el diseño del suelo-cemento. Se aconseja el proceso de diseño de la Portland Cement Association (PCA) (ACI, 1997).



2.2.4.1. Método de la Portland Cement Association (PCA)

Según ACI (1997) “establece que para desarrollar la mezcla de acuerdo con las especificaciones de resistencia y durabilidad (humedecimiento y secado), se deben realizar una serie de experimentos en laboratorio”.

2.2.4.2. Control de resistencia

“Las muestras deben obtenerse in situ, o en la vía, durante la conformación de la cimentación de suelo-cemento para crear los cuerpos de prueba pertinentes y someterlos a un procedimiento de curado de siete días. A continuación, se realizará una prueba de compresión no confinada para determinar la resistencia última de la capa de suelo-cemento. El sector con la capa de suelo-cemento debe cumplir con el valor mínimo necesario de resistencia para ser aprobado”. (INVIAS, 2013).

La sección MTC E 1103 establece que el objetivo de la norma es determinar la resistencia a la compresión de las muestras de suelo-cemento y ofrece dos métodos diferentes para hacerlo:

- MÉTODO A: “En este método se utiliza un cilindro de ensayo que mide 101,6 mm (4”) de diámetro y 116,4 mm (4,584”) de altura. La relación diámetro/altura es de 1,15” (MTC, 2014)
- MÉTODO B: “En esta técnica se utiliza un cilindro de ensayo de 71,1 mm (2,8”) de diámetro y 142,2 mm (5,6”) de altura. La relación entre diámetro y altura es de 2,0” (MTC, 2014).

La mayor carga se divide por el área de la sección transversal para hallar la resistencia a compresión de la probeta. Para el suelo-cemento, el manual de ensayo y materiales del MTC (Nota 4) y la Tabla 10 proporcionan información sobre la corrección de la esbeltez.

Nota 4: “La resistencia a compresión de especímenes del Método A se multiplica por 1.10. Esto convierte la resistencia (h/d de 2,00) a la de una relación (h/d de 1,15) que es comúnmente empleada en ensayos de resistencia de suelo cemento. Los parámetros de resistencia están normados con la esbeltez de 1,15 que sería 18 kg/cm²” (MTC, 2016).

Tabla 9

Factores de corrección para la resistencia a compresión

H/D	FACTOR DE CORRECCIÓN
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.95
1.25	0.94
1.10	0.90
1.00	0.85
0.75	0.70
0.50	0.50

Fuente: Adaptado de Normas de Ensayos Dirección Nacional de Viabilidad Distrito de Buenos aires (2017).

2.2.4.3. Control de humedecimiento y secado

De acuerdo con la categorización del suelo a ser estabilizado en la Tabla 10, la concentración de cemento en este ensayo la máxima pérdida de peso de la mezcla compactada, cuando este expuesta al ensayo de humedecimiento-secado, no exceda lo siguiente:



Tabla 10

Pérdida de peso de la mezcla compactada

Suelo por estabilizar	Perdida Máxima (%)
A-1; A-2-4; A-2-5; A3	14
A-2-6; A-2-7; A-4; A5	10
A-6; A-2-7	7

Fuente: Adaptado de Especificaciones generales (MTC, 2013)

2.2.4.4. Requerimiento de suelos

El Manual de Transportes y Comunicaciones (2013) establece que para fabricar cemento portland se puede utilizar suelo natural de la capa superficial actual o material procedente de la escarificación de la tierra vegetal actual:

- “Excavaciones o zonas de préstamo”.
- “Agregados locales”.
- “Mezclas de ellos”.

Cualquier material que vaya a ser utilizado tiene que estar desprovisto de cualquier material orgánico u otras sustancias. El árido utilizado en la estabilización con cemento portland debe cumplir los siguientes criterios, que se recogen en las normas técnicas de la Tabla 10:

Tabla 11

Requerimientos del suelo.

Ensayos de laboratorio	Requisitos de suelo estabilizado con cemento
Granulometría	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7
Limite liquido	< 40%
Índice de plasticidad	< 18%
Abrasión de los ángeles	< 50%

Fuente: Adaptado de Especificaciones generales (MTC, 2013).

2.2.4.5. Mezcla de dos suelos

“Por lo general, puede utilizarse cualquier suelo para crear suelo-cemento, pero ocasionalmente podría ser necesaria una corrección en función de la granulometría y sus cualidades físicas. Ofrecemos dos correcciones de este tipo: una analítica y otra gráfica”. (Toircac, 2008)

2.2.4.6. Método analítico

A partir de la composición de una combinación de dos suelos, A y B, cuyas granulometrías están determinadas (Tabla 11), crear una mezcla que pase por los tamices 1, 2, 3, ..., k y se encuentre dentro de los intervalos designados, l_1-L_1 , l_2-L_2 , l_3-L_3 , ..., l_k-L_k , con los porcentajes P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_k .

De forma que:



$$l1 \leq P1 \leq L1$$

$$l2 \leq P2 \leq L2$$

$$l3 \leq P3 \leq L3$$

.....

.....

$$lK \leq PK \leq LK$$

Tabla 12

Granulometría de los suelos A y B

Tamiz	% que pasa Suelo A	% que pasa Suelo B	Especificaciones
1	A1	B1	11-L1
2	A2	B2	12-L2
3	A3	B3	13-L3
.	.	.	.
.	.	.	.
K	A4	B4	lk-Lk

Fuente: Adaptado de (El suelo cemento como material de construcción, 2008)

De manera que:

$$lm \leq Pm \leq Lm$$

La siguiente expresión puede utilizarse para obtener el porcentaje de P en el suelo que pasa un tamiz m específico:

$$Pm \leq a.PA + b.PB$$

Donde:

PA, PB = por ciento de los suelos A y B que pasan por un determinado tamiz.

a = Parte del suelo A en la mezcla (% en peso)

b = Parte del suelo A en la mezcla (% en peso)



Para un kg de material puede representarse como:

$$a + b = 1 \text{ kg}$$

Considerando que P_x y P_y fueran los porcentos mínimos y máximos indicados por las especificaciones, se tiene:

$$P_x \leq aP_A + bP_B = P_m \leq P_y$$

Y como $b = 1 - a$: sustituyendo en la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{P_x - P_B}{P_A - P_B} \leq a \leq \frac{P_y - P_B}{P_A - P_B}$$

Los porcentajes de la mezcla M se obtienen sustituyendo los porcentajes conocidos A y B en la ecuación P_m .

2.2.4.7. Método Gráfico

Según Toirac (2008), emplea el método gráfico con dos escalas verticales y dos horizontales. Las cantidades especificadas de suelos A y B se trazan en las escalas horizontales para crear la mezcla prevista M.

La solución gráfica debe seguir lo siguiente:

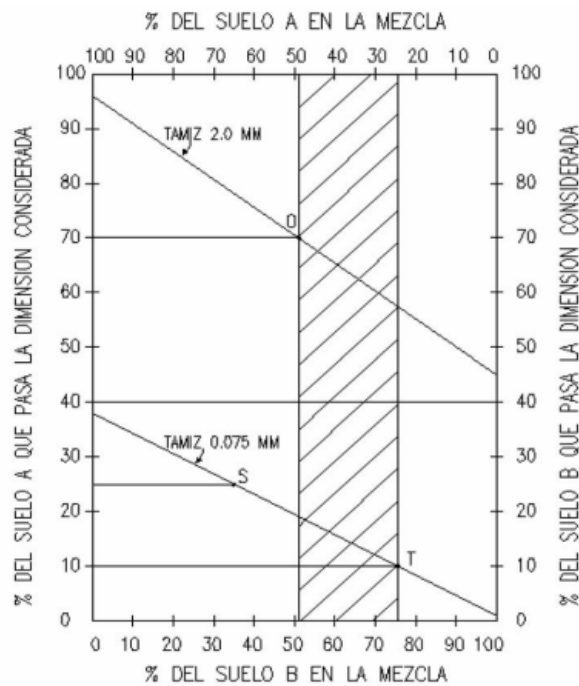
- Para los tamices de 2,0 mm y 0,075 mm, la mezcla de suelos no se ajusta a los criterios exigidos.
- Para cada tamiz, marque los porcentajes de suelo A y suelo B que pasan a través del tamiz de 2,0 mm en las escalas verticales y une los puntos con una línea recta.



- Para los porcentajes del tamiz de 0,075 mm, siga el mismo procedimiento. El comportamiento de ambos suelos para los dos tamices se muestra gráficamente mediante las dos líneas.
- En la escala vertical de la izquierda, traza rectas horizontales con los valores de los requisitos, 70, 40, 25, 10 en ellas. En los puntos O, Q, S y T, estas rectas se cruzarán con las líneas transversales; el punto Q se ignora porque no está en el gráfico. Una vez trazadas las líneas horizontales, se identificará una banda que cumpla ambos requisitos al mismo tiempo. El gráfico mostrará que los valores extremos de la varianza de cada suelo vienen determinados por la anchura de la franja. Es evidente que estos valores pueden alcanzarse trazando dos líneas verticales que unan O y T. En función de la proximidad entre los materiales, el porcentaje ideal para el suelo A se elegirá entre el 24% y el 49% y para el suelo B entre el 51% y el 76%.

Figura 9

Método gráfico para determinar de los porcentajes de suelos.



Nota: Gráfico para mezcla suelo-cemento. Fuente: Obtenido de Toirac (2008) de “El suelo-cemento como material de construcción”. Editorial Ciencia y Sociedad.

En cuanto a la conexión entre energía de compactación, humedad y densidad. Para obtener las resistencias requeridas, la menor absorción de agua y la mayor durabilidad suelo-cemento, estos tres elementos son cruciales.

“El ensayo Proctor esta normalizado para dos energías, llamadas estándar y modificada” (Toircac, 2008):

- Ensayo Proctor Standar 6.0 kg.cm/cm³
- Ensayo Proctor Standar 27.2 kg.cm/cm³

Figura 10

Curva de ensayo Proctor

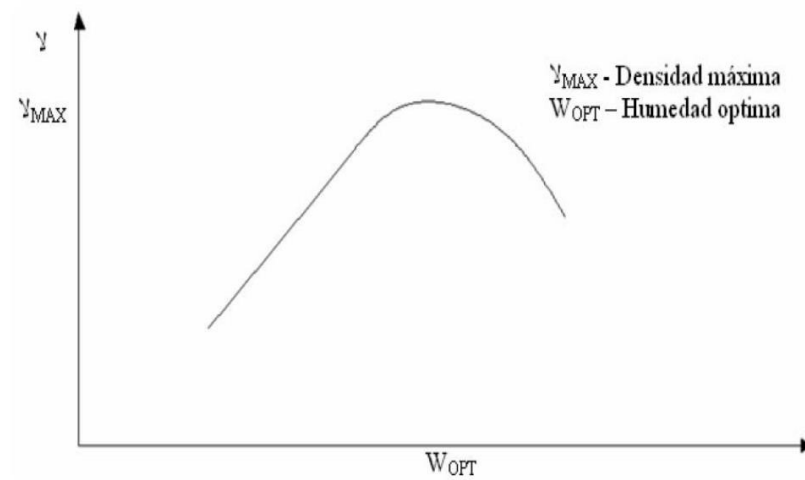


Fig. - 5 Curva del ensayo Proctor

Nota: Obtenido de Toirac (2008) de “El suelo-cemento como material de construcción”. Editorial Ciencia y Sociedad.

Esto se muestra en la Figura 10, que ilustra cómo cambian la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad a medida que varía la cantidad de energía. Esto sigue una curva que está muy bien definida, y es de enorme relevancia en situaciones en las que se utilizan métodos de construcción que no se ajustan al Proctor estándar o al Proctor modificado.

Al calcular la densidad que debe alcanzarse, la energía de compactación es una función que debe tenerse en cuenta. Es posible alcanzar la curva adquirida a partir de dos ensayos Proctor si se dispone de la densidad máxima real. Como la figura 11 siguiente:

Figura 11

Curva Energía vs Densidad

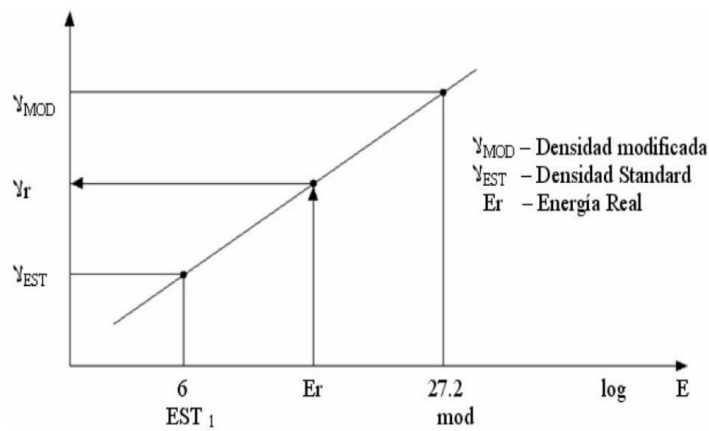


Fig. 6. Curva Energía vs Densidad

Nota: Obtenido de Toirac (2008) de “El suelo-cemento como material de construcción”. Editorial Ciencia y Sociedad.

Utilizando la ecuación siguiente, se puede realizar un tercer ensayo Proctor con una energía superior a la del estándar pero inferior a la del modificado. Esto permitirá obtener una curva que refleje mejor el conjunto.

$$Ee = \frac{N \cdot n \cdot w \cdot h}{V}$$

Donde:

Ee: Energía específica en $\text{kg} \cdot \text{cm}^7 / \text{cm}^3$.

N: Numero de golpes por capa.

N: Números de capas de suelo

W: Peso del pisón (martillo).

h: Altura de caída libre del pisón.

V: Volumen de suelo compactado.

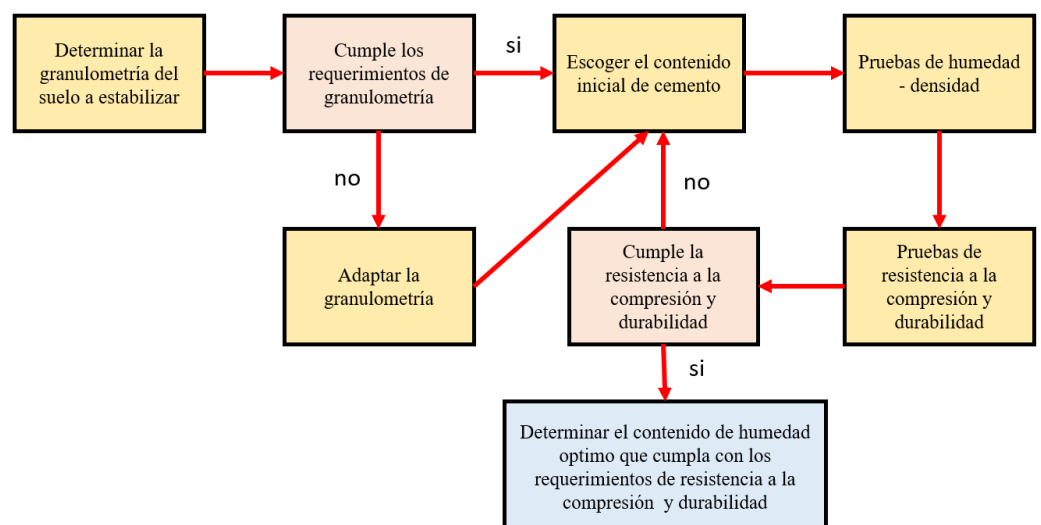
En conclusión, estas tres pruebas Proctor se llevan a cabo siempre que es necesario crear la mezcla de acuerdo con una tecnología particular cuya energía no coincide con los valores Proctor estándar o modificado. El trazado de los resultados de densidad frente a energía permite determinar el valor de densidad más alto que puede alcanzarse con la tecnología de que se dispone actualmente.

Por lo tanto, para determinar el peso óptimo de cemento que debe utilizarse en la mezcla de producción, se crean núcleos de suelo-cemento utilizando la información sobre la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad.

La Figura 12 representa un esquema general para la elaboración del diseño de la mezcla suelo- cemento.

Figura 12

Flujograma de diseño suelo-cemento



Nota: Elaboración propia.

Figura 13

Proceso de conformación de base estabilizada con cemento.



Nota: Mezclado o batido de suelo-cemento con motoniveladora en Ruta PE-3SQ Lampa. Fuente: Tomado el 16 de octubre de 2021. Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. Requerimientos de aplicación

2.2.5.1. Imprimación asfáltica

Según el manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013):

“Consiste en la aplicación de un riego asfáltico sobre la superficie de una base debidamente preparada (normalmente sobre una capa granular), con la finalidad de recibir una capa de pavimento asfáltico o impermeabilización y evitar la disgregación de la base construida, según este pliego y de acuerdo con el proyecto. Dentro de este alcance está el uso de arena siempre que sea necesario”. (p.491)



“Este riego penetra con a la finalidad de cerrar la textura, impermeabilizando, reforzando y endureciendo a la superficie tratada con este bitumen. Finalmente mencionan que esto es favorable para la adherencia entre la base y carpeta de rodadura”. (Rivera et al., 2014)

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) los tipos de materiales asfálticos usados para riego de imprimación sobre bases granulares son:

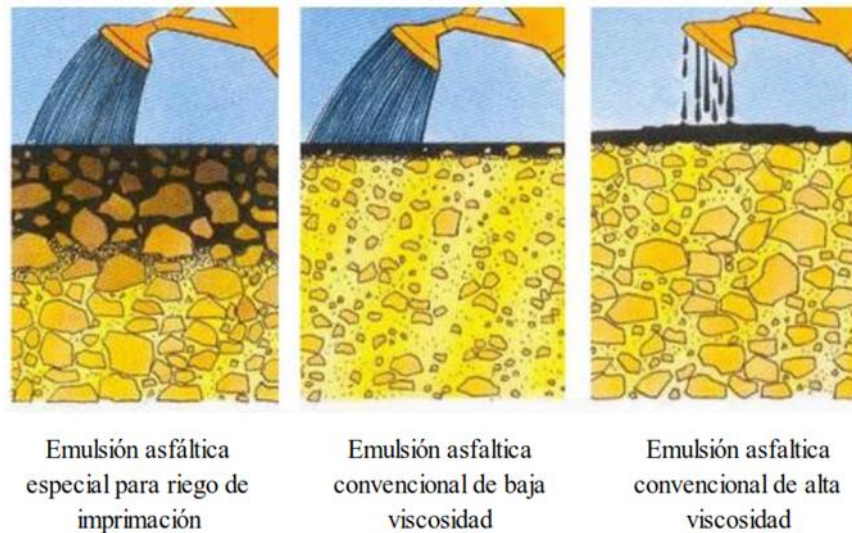
“Emulsiones asfálticas de rotura rápida, rotura media y rotura lenta; Asfaltos diluidos de grados MC-30, MC-70 o MC-250 siempre en cuando cumplan con lo requerido en las especificaciones técnicas.” (p. 491)

Según Fernández y Páramo, (2019) manifiestan que las imprimaciones deben cumplir las siguientes condiciones:

- “Impermeabilizar la superficie “.
- “Adherir las partículas sueltas”.
- “Penetrar en los vacíos de la base granular”.
- “Propiciar la buena adherencia con la capa superior”.

Figura 14

Comparación de profundidad de penetración de la emulsión.



Nota:

Ensayo realizado para la comparativa de profundidad de penetración. Tomado de <https://hicol.in/about-us/>.

2.2.5.2. Clima para el proceso de imprimación

“El proceso de Imprimación debe ser ejecutado cuando la superficie y/o plataforma suelo-cemento se encuentre seca, considerando la temperatura del medio ambiente (mayor a 10°C) y las condiciones climáticas apropiadas sin presencia de precipitaciones” (MTC, 2013).

2.2.5.3. Temperatura de aplicación de imprimación asfáltica

De acuerdo con el manual EG-2013, “las temperaturas de una emulsión MC-30 debe estar comprendida dentro de los 30°C y 70°C, dependiendo de las especificaciones del material asfáltico a emplearse y recomendando temperaturas entre 60°C y 65°C para el caso de emulsiones asfálticas especiales” (MTC, 2013).



2.2.5.4. Tasa de aplicación de imprimación asfáltica

“Se aconseja que la dosis de aplicación se sitúe entre los límites de 0,7 a 1,5 lt/m². La textura de la superficie de la base determinará el resultado.” (MTC, 2013)

2.2.5.5. Tiempo de rotura de imprimación asfáltica

Según (Villa Chaman, 2007) menciona que en presencia de una superficie mineral, las emulsiones depositan una película aglutinante sobre dicha superficie al cabo de un tiempo determinado, y esto ocurre en relación del tipo de emulsión y de la congregación de las partículas. Rotura es el término utilizado para describir este suceso.

Según Rodríguez (2001) indica la carga eléctrica del material pétreo es la responsable de que la emulsión se parta o se rompa. La carga del material pétreo es neutralizada por la carga de las partículas de asfalto de la emulsión, lo que permite a las partículas de asfalto acercarse unas a otras y formar grandes agregados. A continuación, estos agregados se depositan sobre el material pétreo para producir una capa de asfalto. Durante este proceso el agua es eliminada del sistema asfalto-pétreo.

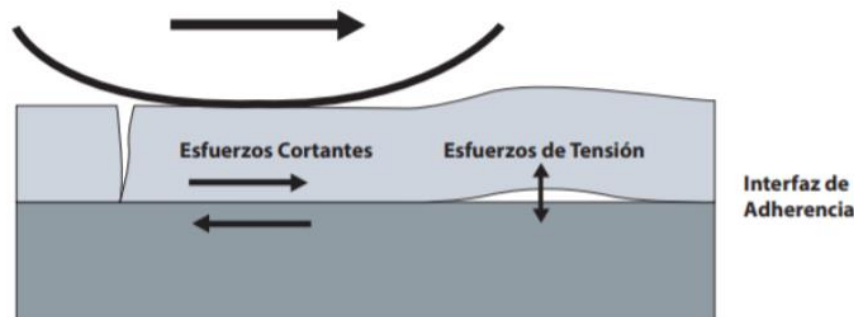
Según la normativa de la EG-2013, “El área imprimada estara libre de tráfico por un periodo de curado 24hrs, y si el clima es frio o si el material de imprimación no ha penetrado completamente la superficie de la base, más largo de tiempo podrá ser necesario” (MTC, 2013).

2.2.6. Adherencia

“Es la capacidad de pegar o mejorar el agarre entre capas granular o una capa bituminosa, es aplicada sobre una capa tratada con conglomerantes hidráulicos o ligantes hidrocarbonados, porque la imprimación penetra y cierra los huecos endureciendo la superficie y colabora con adherencia de la capa asfáltica al colocarla encima” (Yepes Piqueras, 2013). “Refiere a la relación física que existe entre las capas de un pavimento, una base granular y la capa de rodadura. Esta adherencia se consigue mediante la aplicación de emulsión asfáltica o bituminosa diluida, que permite que estas capas colaboren entre sí durante su vida útil” (Costa et al 2020).

Figura 15

Estado de esfuerzos en la interfaz de la adherencia.



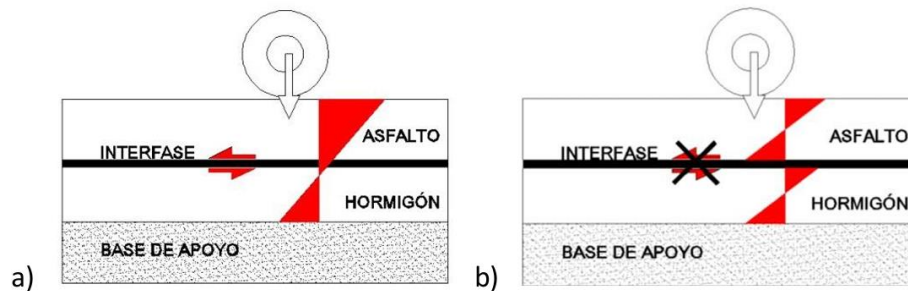
Nota: Esfuerzo cortante producido por el paso de un eje de un neumático. Fuente: Optimization of Tack Coat for HMA Placement, Mohammad, et. Al (2012).

Según la norma española NLT-382 (Norma del Laboratorio del Transporte), “Para garantizar se establece que los ensayos de adherencia deben demostrar que la resistencia al esfuerzo cortante supera valores específicos (0,60 MPa para capas de rodadura y 0,40 MPa para otras capas) que validara la resistencia al cizallamiento” (Sapei & González, 2014).

La adherencia entre capas garantiza el buen desempeño de un paquete estructural, haciendo que este trabaje monólicamente.

Figura 16

Distribución de tensiones en un pavimento



Nota: a) bien adherido, b) sin adherir. Fuente: Adaptado de Geosynthetics (2018).

2.2.6.1. Ensayo de tracción indirecta

Roberts et al. (1996) muestra que el estado de las tensiones en la fibra inferior de la capa asfáltica, también conocida como zona de tracción, es el objetivo principal de este ensayo de tracción indirecta. Las características de las mezclas bituminosas o la determinación del fallo inducido por las tensiones de tracción pueden llevarse a cabo de forma directa y sencilla utilizando este método. El procedimiento consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a lo largo de dos generatrices opuestas a una probeta cilíndrica idéntica a la prescrita para el ensayo Marshall. Es precisamente este esfuerzo de tracción el que provoca el agotamiento de la probeta y, en última instancia, el fallo en el plano diametral.

“Durante el ensayo, también es posible determinar el desplazamiento vertical y la deformación horizontal del diámetro de la



probeta. Esto sólo es posible si se dispone de los sistemas necesarios para las extracciones del pavimento” (Roberts et al., 1996).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Cemento portland: “Combinado con áridos y agua, el cemento Portland es un aglutinante hidráulico que, como característica principal, es capaz de producir masas pétreas resistentes y duraderas. Transcurrido un cierto tiempo desde la combinación de los ingredientes, la mezcla comenzará a volverse más rígida. Debido a sus características principales, que incluyen la capacidad de ser moldeado, la resistencia y la durabilidad, los productos de cemento tienen una amplia gama de aplicaciones en la construcción de estructuras y obras públicas”. (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2014)

Estabilización de suelos: De acuerdo a (MTC, 2014) en el contexto del suelo, la estabilidad se refiere al acto de mejorar las cualidades físicas del suelo mediante el uso de un proceso mecánico y la acumulación de componentes químicos, sintéticos y naturales. El cemento, la cal, el asfalto, la sal y otros elementos son algunos de los agentes estabilizadores más conocidos. La estabilización del suelo se realiza a menudo en subrasantes que son insuficientes o escasos.

Suelo mejorado o modificado con cemento “Se usa en subrasantes o explanadas y se define como una mezcla de suelo y una cantidad pequeña de cemento, generalmente inferior al 2% en peso, añadida con el fin de mejorar algunas propiedades de los suelos” (FICEM, 2007).

Suelo-cemento “Se define al suelo-cemento como un material elaborado a partir de una mezcla de suelos finos y/o granulares, cemento y agua, la cual se compacta y se



cura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas. El contenido de cemento en peso suele ser del orden del 3 al 7%” (FICEM, 2007).

Bases tratadas “Son bases granulares a las cuales se les ha adicionado asfalto, cal o cemento, para darles mayor aporte estructural y disminuir el espesor de la estructura del pavimento” (MTC, 2014).

Base granular: “estos pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, con inclusión o no de algún tipo de estabilizador o ligante, debidamente aprobados, que se colocan sobre una subbase, afirmado o subrasante” (MTC, 2014).

Compactación: “Es posible minimizar el volumen total de huecos en suelos, mezclas bituminosas, morteros y hormigones nuevos de cemento Portland mediante una técnica que puede ser manual o mecánica”. (“Glosario de términos del MTC, 2013).

Resistencia a la compresión: “Se expresa en términos de tensión, a menudo en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), megapascales (MPa), y a veces se escribe en libras por pulgada cuadrada (psi). Se define como la capacidad de soportar una carga por unidad de superficie”. (CEMEX Perú).

Curado de suelo-cemento: “Proceso en que la mezcla suelo-cemento, procurando que éste no pierda la humedad óptima de compactación, en un tiempo de 07 días alcanza su resistencia mínima según diseño, que deberá ser verificada mediante el ensayo de compresión no confinada”. (Instituto mexicano de cemento y concreto, 2008)

Material asfáltico: “Dicho de otro modo, son sustancias negras, sólidas o viscosas, dúctiles y que se ablandan con el calor. Estas sustancias incluyen las que proceden del crudo derivado del petróleo, así como las que se producen por la destilación



destruccion de sustancias que proceden de derivados carbonosos del petrleo”.
(Construpedia, construmatica.com).

Asfalto diluido: “Cuando el cemento asfáltico se diluye con un disolvente producido por la destilación del petrleo, los asfaltos resultantes se denominan asfaltos fluidificados o diluidos. Estos asfaltos también se denominan CUT-BACKS. Surgieron para eludir el problema de las altas temperaturas que son necesarias para calentar el betún con el fin de crear viscosidades adecuadas para una manipulaci3n sencilla”. (Velázquez, 1960).

Emulsi3n de imprimante: De acuerdo a (TDM Asfaltos, 2012) Argumenta que una emulsi3n de imprimaci3n es una emulsi3n que se ha dise±ado específicamente con el fin de imprimir bases granulares antes de colocar la mezcla asfáltica. Proporciona una formulaci3n que, desde el punto de vista estructural, permite la penetraci3n de bases que han sido estabilizadas y comprimidas.

Impermeabilidad: “La capacidad de un pavimento asfáltico para desalentar el flujo de aire y agua hacia él o a través de él se denomina resistencia”. (“Glosario de términos” MTC, 2013).

Temperatura: Tal como menciona Cornejo (2014) es la cantidad física a la que se puede medir la temperatura de una emulsi3n, y estos valores cambian según la imprimaci3n que se utilice.

Capa bituminosa: Al mismo tiempo, también es posible caracterizarla como una superficie o capa de rodadura que se compone de áridos pétreos y material bituminoso (caso de tratamientos superficiales).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Se detallan a continuación los materiales y técnicas utilizadas en el presente estudio:

3.1. MATERIALES

3.1.1. Cemento

Para elaborar las probetas de suelo-cemento se ha utilizado un cemento Portland Tipo I con denominación “WARI”, el cual cumple lo señalado en la NTP 334.009: 2023. Especificaciones Técnicas generales para construcción -2013.

3.1.2. Suelo

El suelo a utilizar será proveniente de la cantera Cáceres. El suelo se sometió a pruebas de caracterización para garantizar que el suelo cumple los requerimientos necesarios.

3.1.3. Agua

En el transcurso de la investigación se aprovechó agua potable proporcionada por la Empresa de servicio de Saneamiento Básico de Puno S. A. del municipio de Puno.

3.1.4. Emulsión de imprimación Bituprimer

Se uso emulsión asfáltica desarrollada por BITUPER que cumple con la norma vigente de la Unión Europea (UNE-EN 13808) siendo una imprimación de alto poder de penetración.



3.2. EQUIPOS

Los equipos utilizados en la actual investigación fueron las siguientes:

- Tamices para análisis granulométrico ASTM D422.
- Cuchara de Casagrande ASTM D3418.
- Moldes de Proctor modificado MTC E 1101.
- Pistones de acero maquinado MTC E 1101.
- Varilla compactadora MTC E 1101.
- Cocina a gas o eléctrica.
- Balanza con aproximación a 0,01 gr.
- Termómetro digital.
- Vernier calibrador digital

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación corresponde a cuantitativa. Según (Borja Suarez, 2016) La investigación propone una estructura para evidenciar la realidad a través de la recolección y análisis de datos, los cuales responden a las preguntas e hipótesis de la investigación cuantitativa; para la validación de los datos se utilizó la medición numérica, el conteo y la estadística; siendo el objetivo de la investigación tener un patrón de comportamiento a partir de una muestra seleccionada.



3.3.2. Tipo de investigación

El tipo corresponde a una investigación de tipo aplicada, Según Sánchez y Suarez (2018), es el proceso de producción de conocimientos técnicos que tienen una aplicación muy estrecha a la solución de un problema concreto, y también está relacionado con la investigación fundamental que se basa en conclusiones teóricas.

3.3.3. Nivel de investigación

La investigación corresponde a un nivel explicativo. Según Borja (2016), es una investigación es explicativa porque pretende explicar las causas o razones por las que se produce un determinado fenómeno físico y/o social. Su finalidad es ofrecer una explicación de la circunstancia en que se produce, así como las razones de la existencia de una conexión o cruce entre variables. Se analiza la relación entre las variables que son dependientes y las que son independientes. De acuerdo con Hernández (2014), la presente investigación se considera transversal debido a que se concentra en definir el fenómeno mediante la recolección de datos en un solo instante, momento y/o tiempo. Además, no tiene interés en el desarrollo potencial de los fenómenos.

3.3.4. Diseño de la investigación

La investigación tiene un diseño cuasiexperimental; Según Hernández (2014) “esto se debe a que las muestras no se asignaron aleatoriamente a los grupos, sino que éstos se elaboraron de antemano en función de las pruebas y las unidades de muestreo necesarias. En este diseño cuasiexperimental, esperamos tener control sobre los grupos ya formados”.



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Tamaño de la población accesible

Para el cálculo referido de material existente en la zona y el total de material aprovechable se da de la siguiente manera según el ANEXO 11:

$$\text{Área de cantera} = 35,862\text{m}^2$$

$$\text{Profundidad neta} = 2.10\text{ m}$$

$$\text{Potencia Bruta} = 75,310.20\text{ m}^3$$

$$\text{Top soil} = 0.20\text{m} \times 75,310.20 = 18,827.55\text{ m}^3$$

$$\text{Over} = 0.25 \times 75,310.20 = 15,062.04\text{ m}^3$$

$$\text{Potencia neta} = 75,310.20\text{ m}^3 - 18,827.55\text{ m}^3 - 15,062.04\text{ m}^3$$

$$\text{Potencia neta} = 51,420.61\text{ m}^3$$

En la tabla de frecuencias de ensayos de una base precisada EG-2013 señala realizar un ensayo cada 2000 m³ para el CBR, tomando esa consideración con el cálculo del volumen aprovechable, se estima un total de 25 ensayos.

Según los criterios mencionados, en la presente investigación por criterio económicos se realizará de 2 calicatas representativas de la población para mayor confiabilidad. En la investigación no se encontró variabilidad del tipo, propiedades y comportamiento del material del suelo de la cantera Cáceres.



3.4.2. Población

Según Sánchez et al. (2021). define como la totalidad de los sujetos de la investigación incluidos en la muestra que se elegirá para el análisis y que presentan características recurrentes o cierto grado de particularidad. La población en la investigación comprende el grupo de probetas con la adición de cemento (base estabilizada) con dichos materiales de la cantera Cáceres, puesto que tenemos escasas fuentes de aprovisionamiento para las obras de pavimentación en la carretera Caminaca – Arapa, entre ellos está dicha cantera.

3.4.3. Muestra

La clase de técnica utilizada es muestreo no probabilístico del tipo intencional, a juicio y conveniencia del investigador donde se consideró los criterios siguientes:

- Dado que existe una gran variación en el tipo, las propiedades y el comportamiento del suelo, lo que nos permite representar y generalizar los resultados de la población disponible en general, restringiremos nuestra investigación a la muestra de suelos aptos para base de la Cantera de Cáceres.
- La economía, la obtención de una muestra probabilística exigiría generar una muestra de gran tamaño y realizar un gran número de ensayos, ambas cosas excesivamente caras.



“El número de especímenes de prueba, usualmente son tres o más especímenes y deberán ser moldeados por cada edad y condiciones de prueba”.
(Norma técnica peruana, 2013)

Por otro lado, según la norma ASTM Internacional (2016) según la preparación de especímenes, nos indica que la elaboración de briquetas se debe elaborar a una cantidad no menor de 3 briquetas ni más de 5. Por tal motivo, en este estudio se emplearon 84 probetas (con dosificaciones de cemento) de los cuales se aplicaron imprimación asfáltica con emulsión Bituprimer. La Tabla 13 se muestra el número de probetas imprimadas utilizadas.

Tabla 13

Total de probetas con imprimación asfáltica.

Temperatura de imprimación	Tasa de imprimación	Tiempo de curado	0%	2.5%	3.0%	3.5%
60 °C			3	3	3	3
65 °C	1.2 lt/m2	72 hrs	3*	3**	3***	3****
70 °C			3	3	3	3
	0.8		3	3	3	3
65 °C	1.0	72 hrs	3	3	3	3
	1.2		3*	3**	3***	3****
		24	3	3	3	3
65 °C	1.2	48	3	3	3	3
		72	3*	3**	3***	3****
	Subtotal		21	21	21	21
	Total		84			
Muestra			84 briquetas de bases estabilizadas con cemento			

Nota: Elaboración propia.

*Muestra repetida de 0.00%

**Muestra repetida de 2.50%

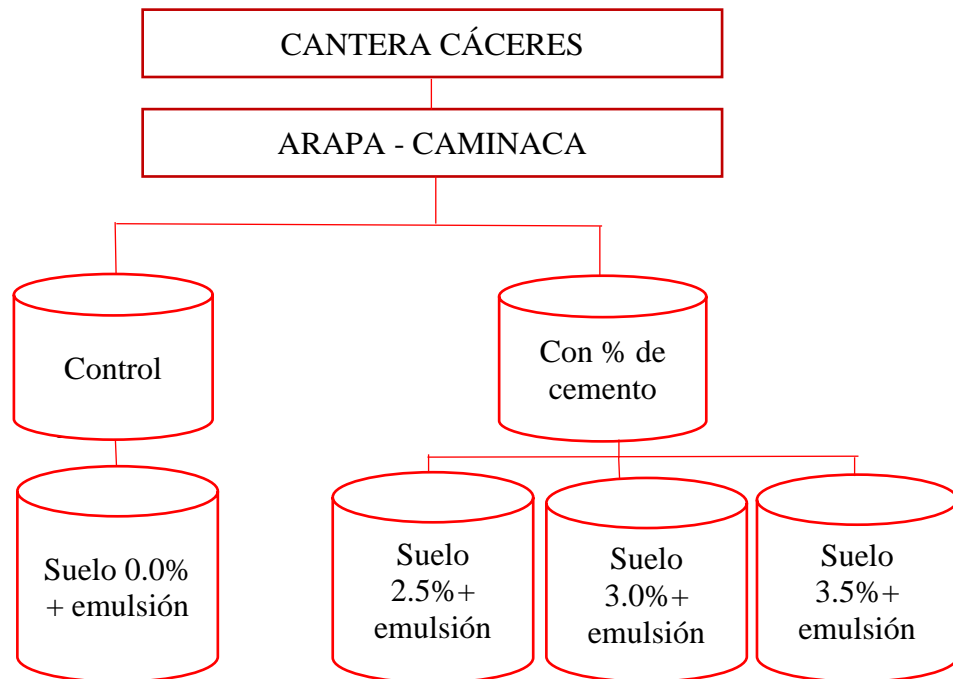
***Muestra repetida de 3.00%

****Muestra repetida de 3.50%

En la figura 17 se representa la agrupación de las muestras formados para la relación de esta investigación.

Figura 17

Representación gráfica de las probetas



Fuente: Elaboración propia.

Además, se realizarán pruebas para caracterizar los materiales que se encuentran en la cantera.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.5.1. Técnicas

- Observación

3.5.2. Instrumentos

- Registros Temporales.
- Registros generales.



3.6. DISEÑO ESTADÍSTICO

3.6.1. Prueba de normalidad

Según Delgado (2004), menciona que la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Kolmogorov-Smirnov son dos de los métodos más eficaces para determinar si los valores de la variable dependiente de la muestra siguen o no una distribución normal. La primera se utiliza para determinar si el tamaño de la muestra es igual o inferior a treinta, mientras que la segunda se utiliza para determinar si el tamaño de la muestra es grande o no. En esta investigación a fin de ejecutar la prueba estadística se optó por utilizar el programa IBM SPSS Statistics.

3.6.2. Prueba de Shapiro-Wilks

“Considera la posibilidad de que los datos de la muestra procedan de una distribución desconocida. En consecuencia, queremos utilizar hipótesis estadísticas para determinar si los datos de la variable dependiente tienen o no una distribución aproximadamente normal”. (Gutiérrez y De la Vara, 2012)

Hipótesis estadísticas

H₀: Los datos no son distintos a la distribución normal.

H₁: Los datos son distintos a la distribución normal.

Regla de decisión

Si p-valor ≤ 0.05 , rechace la hipótesis nula

Si p-valor > 0.05 , no rechace la hipótesis nula

3.6.3. Análisis paramétrico

3.6.3.1. Prueba de coeficiente de correlación de Pearson

Quezada (2010) señala que este test no evalúa la posibilidad de azar, pero nos ayuda a determinar si las variables están o no relacionadas entre sí. Es posible determinar el coeficiente (r) utilizando la ecuación (1):

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Donde:

n: Numero de datos muestrales

x: Valores de x

y: Valores de y

Hernández et. al (2010), Los autores señalan que los valores del coeficiente de correlación r pueden variar entre -1 y 1; también indican que el significado del valor r es el siguiente

- ± 0.90 = “Correlación muy elevada”.
- ± 0.75 = “Correlación elevada”.
- ± 0.50 = “Correlación regular”.
- ± 0.25 = “Correlación baja”.
- ± 0.10 = “Correlación muy baja”.
- ± 0.00 = “No presenta correlación”.



La correlación positiva se indica con el símbolo (+), mientras que la correlación negativa se indica con el signo (-). A efectos de comprobación de hipótesis estadísticas:

Hipótesis estadísticas

H₀: $\rho = 0$ No existe una correlación.

H₁: $\rho \neq 0$ Existe una correlación.

Regla de decisión

Si **p-valor** ≤ 0.05 , rechace la hipótesis nula

Si **p-valor** > 0.05 , no rechace la hipótesis nula

Entonces, si el p-valor es bajo con respecto al nivel de significancia $\alpha = 0.05 = 5\%$, significa que existe una correlación entre variables (Triola, 2018).

3.7. ÁMBITO DE ESTUDIO

La ubicación geográfica del laboratorio utilizado para los ensayos se efectuó en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos en la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno.

Tabla 14

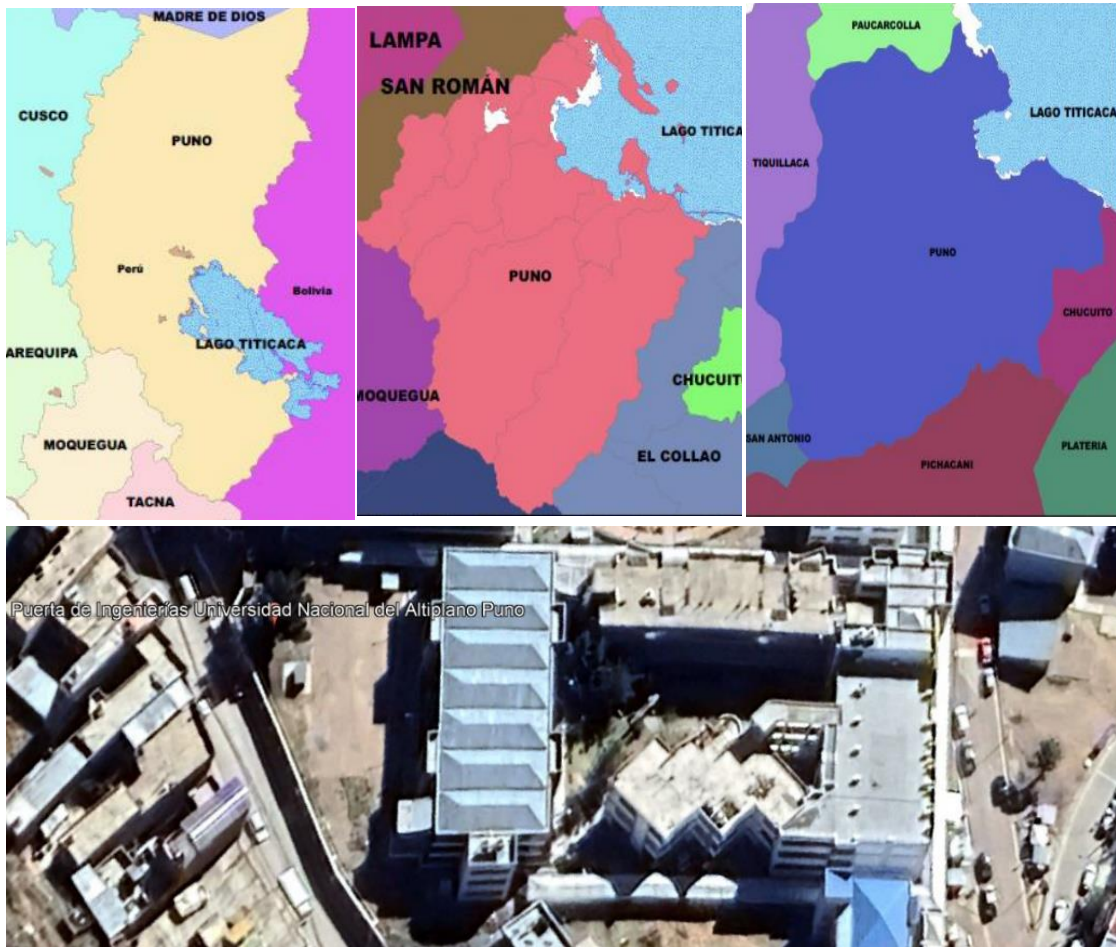
Localización del laboratorio de mecánica de suelos.

Localización		Coordenada UTM	
Dirección	: Av. Floral N° 1153	Norte	: 8'250,265.00
Distrito	: Puno	Este	: 390,944.00
Provincia	: Puno	Altitud	: 3,837.00 msnm
Región	: Puno		

Nota: Elaboración propia.

Figura 18

Ubicación del laboratorio de mecánica de suelos.



Nota: Se realizó ensayos experimentales de la investigación. Fuente: Extraído de Google Earth.

3.8. PROCEDIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN

Los procedimientos adoptados a lo largo del desarrollo de este estudio se hicieron a nivel de laboratorio. Esta investigación describe y analiza los pasos presentados hasta la obtención de resultados. Se dieron en 2 etapas:

Primera etapa:

- Recolección de suelo de cantera.
- Ensayo de laboratorio.
-

Segunda etapa:

- Diseño de base suelo-cemento.
- Ensayo de Imprimación asfáltica.
- Ensayo de adherencia.

3.8.1. Ensayos de campo

El material de suelo fue extraído de la cantera Cáceres ubicada en la progresiva Km 53+800 y a 900 m de la carretera Arapa-Caminaca, el cual es aprovechada para la construcción de caminos aledaños a la zona, la Tabla 15 indica sobre la ubicación del banco de material.

Tabla 15

vértices de la cantera de suelo.

VÉRTICES DE LA DELIMITACIÓN DE LA CANTERA				
vértice	Lado	Distancia	Este	Norte
A	A-B	78.25	385357.03	8308134.48
B	B-C	79.80	385428.744	8308165.15
C	C-D	82.89	385507.508	8308178.14
D	D-E	129.86	385558.23	8308150.75
E	E-F	72.67	385526.23	8308035.41
F	F-G	105.49	385455.749	8308020.22
G	G-A	96.84	3853351.74	83081037.95

Elaboración propia. Véase en ANEXO 11 las coordenadas de los vértices de la cantera Cáceres.

En la Tabla 16 detalla los puntos donde fueron extraídos las dos muestras para caracterización del suelo de cantera Cáceres. Seguidamente la Figura 19 se presenta la delimitación de cantera que se usó para hallar la potencia de la cantera.

Tabla 16

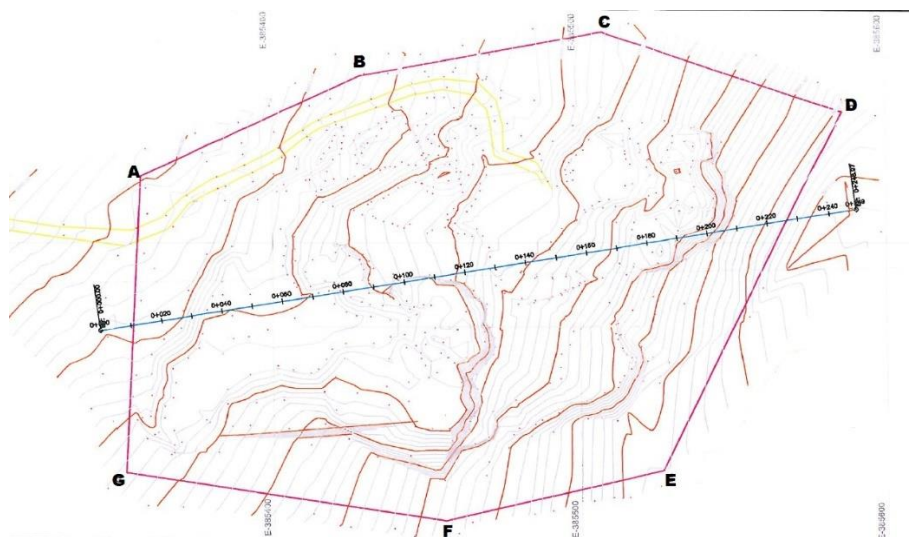
Puntos de extracción de calicatas

Calicata	Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas UTM	
				Este (x)	Norte (y)
M1	Puno	Azángaro	Caminaca	385431.83	8'308,091.53
M2	Puno	Azángaro	Caminaca	385432.16	8'308,073.08

Nota: Se muestra la ubicación con coordenadas UTM el lugar donde fue extraído el material de suelo para elaboración de los cuerpos de prueba. Fuente: Elaboración propia. Véase en ANEXO 11 las coordenadas de los vértices de la cantera Cáceres.

Figura 19

Ubicación de la Cantera Cáceres.



Nota: La zona marcada achurada con roja es la cantera Cáceres. Fuente: Elaboración propia.

3.8.1.1. Extracción del material de suelo

Ubicados en la cantera Cáceres se procedió a hacer el muestreo de suelo para nuestra investigación, que permitirán determinar los respectivos datos con las propiedades de suelo. Se baso en los pasos indicados en la MTC E 105, en donde indica que debe obtenerse muestras representativas de suelo, según el tamaño y tipo de muestra requerida para los ensayos.

Figura 20

Extracción de material de cantera.



Nota: Lugar muestra la cantera de cerro donde se extrajo el suelo. Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Ensayos de laboratorio

El material extraído se realizaron los siguientes ensayos: análisis granulométrico, humedad natural, límites de consistencia, Proctor modificado y CBR. para justificar que el material cumple con los requisitos necesarios señalados en las EG-2013.

3.8.2.1. Granulometría

Se realizó en laboratorio el ensayo de granulometría de suelos por tamizado de acuerdo al MTC E-107, para identificar el tamaño de partículas existentes y de esta manera clasificar el suelo. Estas fueron representadas mediante una curva en el programa Excel, posteriormente realizar su respectiva clasificación utilizando el método AASTHO.

Figura 21

Análisis granulométrico del material.



Nota: Elaboración propia

Tabla 17

Ensayo de Análisis Granulométrico de M-1.

TAMICES	PESO RET. CORREGIDO	% RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%ACUMULADO QUE PASA
3"		0.0	0.0	100.0
2"	12.0	0.5	0.5	99.5
1 1/2"	213.0	9.5	10.1	89.9
1"	273.5	12.2	22.3	77.7
3/4"	150.7	6.7	29.0	71.0
1/2"	144.1	6.4	35.5	64.5
3/8"	98.4	4.4	39.9	66.0
N° 4	220.4	9.9	49.7	50.3
N° 8				
N° 10	9.8	7.3	57.1	42.9
N° 16	0.0	0.0	57.1	42.9
N° 20	9.0	6.7	63.8	36.2
N° 30				
N° 40	12.1	9.0	72.8	27.2
N° 50				
N° 80				
N° 100	14.5	10.8	83.6	16.4
N° 200	7.9	5.9	89.5	10.5
FONDO	14.1	10.5	100.0	0.0

Nota. Elaboración propia

De la Tabla 17 presenta los datos tomados del ensayo de granulometría del suelo de la cantera Cáceres, de acuerdo a ello se tiene la respuesta de la clasificación AASHTO pertenece a un suelo **A-1-a**.

Tabla 18

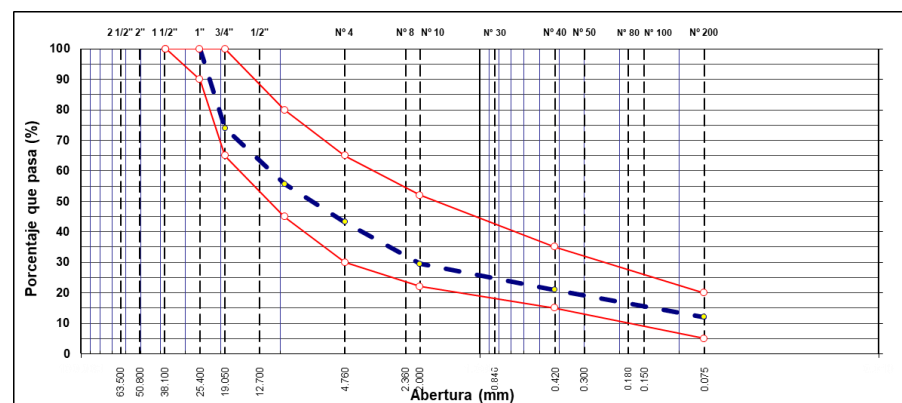
Especificación de la gradación (A).

Tamiz	Abertura	% Pasante			
		M-1	Especificación EG-2013	Cumple	
2"	50 mm	99.5	100	100	si
1"	25 mm	89.9	90	100	si
3/8"	9.5 mm	66	65	100	si
N°4	4.75 mm	60.3	30	65	si
N°10	2.0 mm	42.9	22	52	si
N°40	425 µm	27.2	15	35	si
N°200	75 µm	10.5	5	20	si

Nota. Elaboración propia

Figura 22

Curva granulométrica que está en huso granulométrico de gradación (A)



Nota: Elaboración propia

Tabla 19*Ensayo de Análisis granulométrico de M-2*

TAMICES	PESO RET. CORREGIDO	% RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%ACUMULADO QUE PASA
3"		0.0	0.0	100.0
2"	10.8	0.5	0.5	99.5
1 1/2"	203.3	9.1	9.6	90.4
1"	272.5	12.2	21.8	78.2
3/4"	148.3	6.6	28.4	71.6
1/2"	145.2	6.5	34.9	65.1
3/8"	98.6	4.4	39.3	66.7
Nº 4	218.4	9.8	49.1	50.9
Nº 8				
Nº 10	10.3	8.0	57.1	42.9
Nº 16				
Nº 20	12.4	9.7	66.8	33.2
Nº 30		0.0	66.8	33.2
Nº 40	12.6	9.8	76.6	23.4
Nº 50				
Nº 80				
Nº 100	12.3	9.6	86.2	13.8
Nº 200	6.5	5.1	91.3	8.7
FONDO	11.2	8.7	100.0	0.0

Nota. Elaboración propia

De la Tabla 19 presenta los datos tomados del ensayo de granulometría de la cantera Cáceres, de acuerdo a ello se tiene la respuesta de la clasificación AASHTO pertenece a un suelo **A-1-a**.

Tabla 20

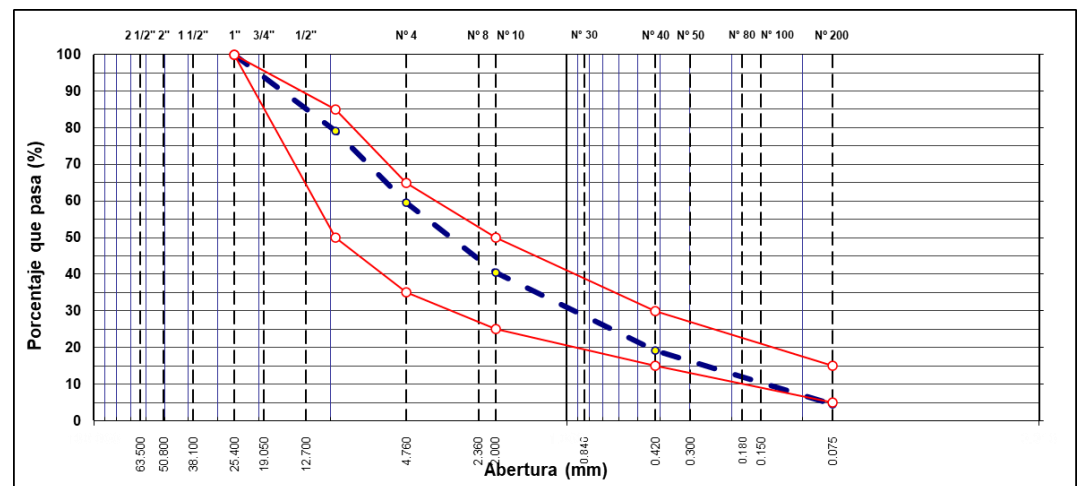
Especificación de la gradación (A).

% Pasante					
Tamiz	Abertura	M-2	Especificación	EG-2013	Cumple
2"	50 mm	99.5	100	100	Si
1"	25 mm	90.4	90	100	Si
3/8"	9.5 mm	66.7	65	100	Si
N°4	4.75 mm	50.9	30	65	Si
N°10	2.0 mm	42.9	22	52	Si
N°40	425 µm	23.4	15	35	Si
N°200	75 µm	8.7	5	20	Si

Nota: Elaboración propia

Figura 23

Curva granulométrica que está en huso granulométrico de gradación (A)



Nota: Elaboración propia

Tabla 21*Resumen de Análisis Granulométrico.*

DESCRIPCIÓN	T-01	T-02	PROMEDIO
%Grava > 2"	1.27	1.40	1.34
%Grava < 2" – N°4	60.70	67.80	64.25
%Arena N°4 – N°200	22.20	16.20	19.20
%Finos	9.60	15.90	12.75
TOTAL	100	100	100
AASTHO	A-1-a	A-1-a	A-1-a

Nota. Elaboración propia

La Tabla 21 se observa la composición de la muestra además se afirma que la gradación del material cumple con los requerido a la SECCIÓN 301.A que indica que el material a estabilizar con cemento portland debe corresponder a los tipos de suelo A-1, A-2, A-5, A-4, A-5, A-6 y A.7.

3.8.2.2. Humedad natural

El ensayo para determinar la humedad natural, cumpliendo con la norma MTC E 108, siendo valor importante para el diseño suelo-cemento de esta investigación.

Tabla 22*Humedad natural del material*

DESCRIPCIÓN	T-01	T-02	T-03	PROMEDIO
Humedad natural M1 (%)	5.68	7.59	5.25	6.17
Humedad natural M2 (%)	4.22	7.99	5.57	5.92

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 22 se tiene los resultados obtenidos de 6.17 % y 5.92% como porcentaje de humedad natural de suelo de la cantera Cáceres

3.8.2.3. Límites de consistencia

Para los este ensayo se siguió los procedimientos del MTC E-111. Para el límite líquido, el objetivo de la prueba era determinar la cantidad de agua presente, que luego se indica como porcentaje en proporción al peso total del suelo seco. Para el límite plástico, que es el punto en el que buscamos que la tierra se rompa al amasarla en barras, buscamos una humedad más baja, que nos permita alcanzar la condición de líquido quieto.

Figura 24

Ensayo de límites de consistencia.



Nota: Muestras para límites de consistencia ensayadas al horno. Elaboración propia.

Tabla 23

Ensayo de límites de consistencia

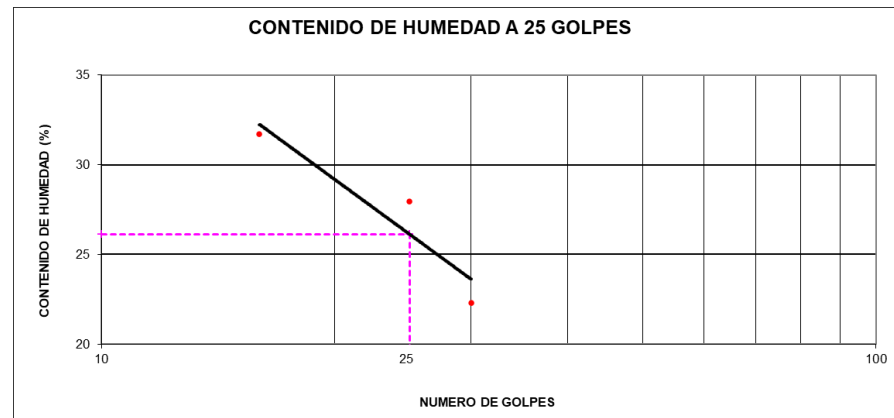
DESCRIPCIÓN	LL	LP	IP
M1	26	20	6
M2	27	21	6
PROMEDIO	27	21	6

Nota. Elaboración propia

La Tabla 23 se observa según ensayos los límites de consistencia del material de suelo lo cual indica que tiene un límite líquido de 27%, un límite plástico de 21% y un índice de plasticidad de 6%. Según la EG-2013 nos indica que un suelo estabilizado con cemento debe tener el límite líquido menor 40 % y un índice de plasticidad (IP) menor 18%; por lo tanto, estos resultados cumplen con la norma mencionada.

Figura 25

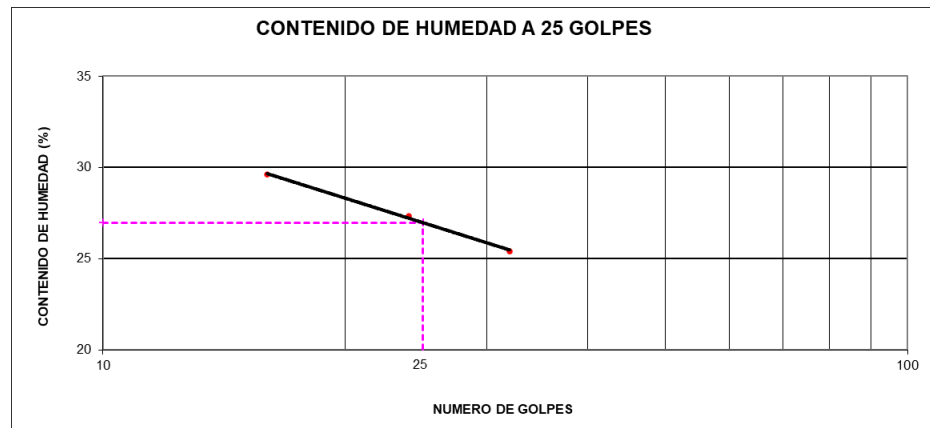
Límite líquido de la muestra M-1.



Nota: Elaboración propia.

Figura 26

Limite liquido de la muestra M-2



Nota: Elaboración propia.

3.8.2.4. Abrasión de los ángeles

Para esta prueba se siguió los procedimientos del MTC E-207.

Figura 27

Ensayo de Abrasión de los Ángeles.



Nota: Elaboración propia



Tabla 24

Ensayo de Abrasión los Ángeles.

Descripción	Abrasión los ángeles (%)
M1	31.2%
M2	27.4%
Promedio	29.30%

Nota. Elaboración propia.

Según la Tabla 24, la muestra ensayada representa un desgaste de 31.2%, por lo cual al revisar el manual EG-2013, SECCIÓN 304.A que el máximo desgaste de material de agregado para soluciones básicas debe de ser menor a 50% por lo tanto afirmamos que la muestra de la cantera Cáceres satisface con los requerimientos de la normativa para la estabilización con cemento.

3.8.2.5. Ensayo de Proctor modificado

Este ensayo nos otorgó el valor de la máxima densidad seca y porcentaje de humedad óptima, se siguió los procedimientos del MTC E-115.

Figura 28

Ensayo de Proctor modificado.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 25

Ensayo de Proctor modificado.

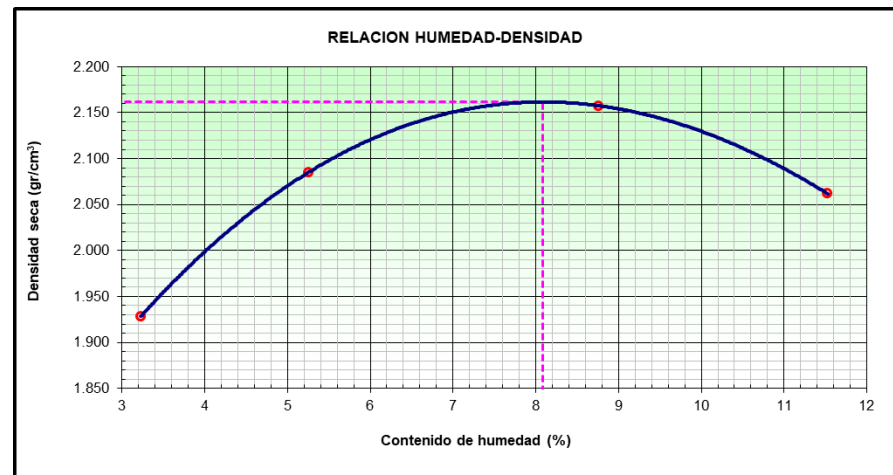
PROCTOR MODIFICADO		
DESCRIPCIÓN	M.D.S (gr/cc)	O.C.H (%)
M1	2.162	8.1
M2	2.157	8.0
PROMEDIO	2.159	8.1

Nota. Elaboración propia

La Tabla 25 se visualiza el ensayo Proctor de la muestra de la cantera Cáceres sin cemento dando como resultado M.D.S. seca de 2.162 g/cm³ con una O.C.H. de 8.1 %.

Figura 29

Curva de compactación.



Fuente: Elaboración propia.

3.8.2.6. Ensayo de relación de soporte CBR

Debido a que es una prueba que se utiliza típicamente para adquirir el índice de resistencia del suelo en la subrasante, material de base o afirmado, se expresa en porcentaje. Siendo la división de la resistencia a la penetración que se requiere para un pistón que tiene un área de tres pulgadas, y se expresa en una relación de la penetración 0,1 pulgadas en un suelo entre mil libras por pulgada cuadrada, que es la resistencia a la penetración de un patrón que es una piedra triturada. Para los este ensayo se siguió los procedimientos del MTC E-132.

Figura 30

Ensayo de C.B.R.



Nota: Elaboración propia.

Tabla 26

Ensayo CBR, compactación y penetración.

COMPACTACIÓN CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)			
Numero de capas	5	5	5
Numero de golpes	55	26	12
Numero de ensayos	1	1	1
	No saturado	No saturado	No saturado
Contenido de humedad (%)	8.10	8.10	8.20
Densidad seca (%)	2.174	2.059	2.002

Nota. Elaboración propia.

Los resultados calculados (véase ANEXO 9) al realizar el ensayo CBR de la cantera Cáceres sin cemento para el 95%.

Tabla 27*CBR al 95% y 100% de carga-penetración del agregado.*

Descripción	CBR	
	95%	100%
M-1	31.20	43.80
M-2	31.80	45.50
Promedio	31.50	44.65

Fuente: Elaboración propia

3.8.2.7. Diseño de Suelo – Cemento**Material proveniente de la cantera Cáceres.****Tabla 28***Cuadro de análisis de resultados de la cantera Cáceres*

Ensayo de laboratorio	Cantera Cáceres	Normativa	Especificaciones >3000 msnm	Cumple
Granulometría	A-1-a	MTC E-107	A-1, A-2, ...	Si
Limite liquido	27%	MTC E-111	40% máx.	Si
Índice de plasticidad	6%	MTC E-111	18% máx.	Si
Abrasión de los ángeles	29.30%	MTC E-207	50% máx.	Si
CBR, sin cemento	44.65%	MTC E-132	80% min.	No
CBR, 2.5% cemento	88.6%	MTC E-132	80% min.	Si
CBR, 3.0% cemento	131.8%	MTC E-132	80% min.	Si
CBR, 3.5% cemento	145.6%	MTC E-132	80% min.	Si

Fuente: Elaboración propia



Dosificación de estabilización de suelo

El manual de carreteras Sección Suelos y Pavimentos (2014) recomienda las dosificaciones según al tipo de suelo. En la presente investigación el tipo de suelo según AASHTO es A-1-a por tanto, se usó las dosificaciones de 0.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% de cemento.

Según el MTC E 1103 se puede usar el método A este procedimiento emplea un molde de 101.6 mm (4") de diámetro y 116.4" (4.5584") de altura. Siendo este el molde de Proctor modificado. Por tanto, se tiene una muestra de 3000 gr.

Humedad natural = 6.17%

Humedad Optima = 8.10%

En la investigación se consideraron porcentajes de cemento de 2.5%, 3.0% y 3.5% para la estabilizar la base con cemento Portland:

Para el diseño Suelo-Cemento de 2.50%

Cantidad de cemento = % de cemento * Peso de suelo

$$\text{Cantidad de cemento} = 0.025 * 3000$$

$$\text{cantidad de cemento} = 75 \text{ gr}$$

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{H.O - H.N.}{100} * \text{Peso de suelo}$$

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{8.09 - 6.17}{100} * 3000$$

Cantidad de agua = 241.1gr

113



Muestra de suelo (gr) : 3000 gr

Cantidad de cemento (gr) : 75 gr

Cantidad de agua (gr) : 241.1 gr

Para el diseño Suelo-Cemento de 3.00%

$$\text{Cantidad de cemento} = 0.03 * 3000$$

$$\text{cantidad de cemento} = 90 \text{ gr}$$

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{H.O - H.N.}{100} * \text{Peso de suelo}$$

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{8.12 - 6.17}{100} * 3000$$

Cantidad de agua = 241.1gr

Muestra de suelo (gr) : 3000 gr

Cantidad de cemento (gr) : 90 gr

Cantidad de agua (gr) : 241.1 gr

Para el diseño Suelo-Cemento de 3.5%

$$\text{Cantidad de cemento} = 0.035 * 3000$$

$$\text{cantidad de cemento} = 105 \text{ gr}$$

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{H.O - H.N.}{100} * \text{Peso de suelo}$$

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{8.24 - 6.17}{100} * 3000$$



Cantidad de agua = 241.1gr

Muestra de suelo (gr) : 3000 gr

Cantidad de cemento (gr) : 90 gr

Cantidad de agua (gr) : 241.1 gr

La óptima cantidad de agua.

Se usará el molde de Proctor estándar, en el cual en nuestro país esta energía esta normalizada para llegar a la máxima densidad seca. Se considera entonces 25 golpes con un pisón de 10 lb a 5 capas; Por tanto, se calculó para cada porcentaje de cemento la humedad.

Figura 31

Ensayo de compactación suelo-cemento.

Gradación	% Grava	Peso total	3000		Proctor Mod.	M.D.S.	2.162	N° Golpes	N° Capas
	% Fino		1800	1200		O.C.H.			
Porcentaje en peso de los materiales									
Cemento (%)		2.5			3.0			3.5	
N° molde	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N° capas	5	5	5	5	5	5	5	5	5
P. cemento (gr)	75	75	75	90	90	90	105	105	105
P. grava (gr)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
P. fino (gr)	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Ensayo de compactación									
P- Mold. + Mat.	5665.00	5731.00	5812.00	5797.00	5821.00	5835.00	5728.00	5817.00	5834.00
P. Molde	3654.00	3654.00	3654.00	3654.00	3654.00	3654.00	3654.00	3654.00	3654.00
P. Material	2011.00	2077.00	2158.00	2143.00	2167.00	2181.00	2074.00	2163.00	2180.00
Volumen molde	943.89	943.89	943.89	943.89	943.89	943.89	943.89	943.89	943.89
Densid. Humed.	2.362	3.322	2.308	2.318	2.323	2.323	2.321	2.308	2.331
M.D.S.	2.15	2.15	2.14	2.15	2.15	2.15	2.15	2.14	2.16
Humedades									
P. Humedo	609	632	655	658	619	593	610	603	638
P.seco	563	585	606	609	573	549	564	558	590
% de humedad	8.17	8.03	8.09	8.1	8.16	8.01	8.14	8.45	8.14

Fuente: Elaboración propia. Véase en el ANEXO 9.

Tabla 29*Resistencia a la compresión de mezclas suelo-cemento.*

Descripción	cemento wari (%)	Carga (KN)	Edad (días)	Resistencia	
				f'c=obtenido (kg/cm ²)	f'c=promedio (kg/cm ²)
P-1	2.5	16.57	7	20.85	
P-2	2.5	17.23	7	21.68	20.78
P-3	2.5	16.45	7	20.70	
P-4	3.0	22.32	7	28.09	
P-5	3.0	21.39	7	26.92	27.87
P-6	3.0	21.97	7	27.65	
P-7	3.5	25.46	7	28.09	
P-8	3.5	25.68	7	26.92	31.98
P-9	3.5	25.36	7	27.65	

Nota: Valores de resistencia a los 7 días para garantizar la propiedades físicas y mecánicas. Fuente: Elaboración propia. Véase en el ANEXO 9.

Según la Tabla 29, se observa que el valor promediado de la resistencia de la probeta 2.5% es de 20.78 kg/cm², a una dosificación de 3.0% se alcanza una resistencia de 27.87 kg/cm² y a una dosificación de 3.5% una resistencia de 31.98 kg/cm². Se sabe que una de las bondades del cemento es incrementar la resistencia del material, según la normativa de suelo-cemento que para validar la base es a través de la resistencia, siendo el valor mínimo a los 7 días de rotura del testigo de 18.35 kg/cm². Todas las dosificaciones usadas en la investigación cumplen con los requerimientos mínimos de resistencia.

Figura 32

Ensayo de compresión suelo-cemento.



Nota: Elaboración propia.

La Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32 se observa resultados de humedecimiento y secado realizados en laboratorio para los porcentajes de 2.5%, 3.0% y 3.5 % de contenido de cemento estabilizado para base.



Tabla 30

Ensayo de humedecimiento y secado 2.5%

Briqueta (2.5% cemento)	Masa saturada (gr)	Peso seco inicial (gr)	Humedad (%)	Masa después del cepillado (gr)	Perdidas (%)
Ciclo 1	2116.00	2100.00	8.80	2091.00	1.91
Ciclo 2	2098.00	2082.00	8.18	2076.00	1.77
Ciclo 3	2080.00	2064.00	8.91	2061.00	1.62
Ciclo 4	2062.00	2046.00	8.29	2046.00	1.48
Ciclo 5	2044.00	2028.00	9.11	2031.00	1.33
Ciclo 6	2026.00	2010.00	8.08	2016.00	1.18
Ciclo 7	2008.00	1992.00	9.01	2001.00	1.03
Ciclo 8	1990.00	1974.00	7.77	1986.00	0.87
Ciclo 9	1972.00	1956.00	7.67	1971.00	0.72
Ciclo 10	1954.00	1938.00	7.57	1956.00	0.56
Ciclo 11	1936.00	1920.00	7.46	1941.00	0.40
Ciclo 12	1918.00	1902.00	7.36	1926.00	0.23

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 31

Ensayo de humedecimiento y secado 3.0%

Briqueta (3.0% cemento)	Masa saturada (gr)	Peso seco inicial (gr)	Humedad (%)	Masa después del cepillado (gr)	Briqueta (2.5% cemento)
Ciclo 1	2004.00	1987.00	8.80	1979.00	1.88
Ciclo 2	1986.00	1969.00	8.18	1964.00	1.73
Ciclo 3	1968.00	1951.00	8.91	1949.00	1.58
Ciclo 4	1950.00	1933.00	8.29	1934.00	1.43
Ciclo 5	1932.00	1915.00	9.11	1919.00	1.27
Ciclo 6	1914.00	1897.00	8.08	1904.00	1.11
Ciclo 7	1896.00	1879.00	9.01	1889.00	0.95
Ciclo 8	1878.00	1861.00	7.77	1874.00	0.78
Ciclo 9	1860.00	1843.00	7.67	1859.00	0.62
Ciclo 10	1842.00	1825.00	7.57	1844.00	0.45
Ciclo 11	1824.00	1807.00	7.46	1829.00	0.27
Ciclo 12	1806.00	1789.00	7.36	1814.00	0.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32*Ensayo Humedecimiento y secado 3.5%*

Briqueta (3.5% cemento)	Masa saturada (gr)	Peso seco inicial 8gr)	Humedad (%)	Masa después del cepillado (gr)	Perdidas (%)
Ciclo 1	2040.00	1987.00	8.80	1979.00	1.88
Ciclo 2	2022.00	1969.00	8.18	1964.00	1.73
Ciclo 3	2004.00	1951.00	8.91	1949.00	1.58
Ciclo 4	1986.00	1933.00	8.29	1934.00	1.43
Ciclo 5	1968.00	1915.00	9.11	1919.00	1.27
Ciclo 6	1950.00	1897.00	8.08	1904.00	1.11
Ciclo 7	1932.00	1879.00	9.01	1889.00	0.95
Ciclo 8	1914.00	1861.00	7.77	1874.00	0.78
Ciclo 9	1896.00	1843.00	7.67	1859.00	0.62
Ciclo 10	1878.00	1825.00	7.57	1844.00	0.45
Ciclo 11	1860.00	1807.00	7.46	1829.00	0.27
Ciclo 12	1842.00	1789.00	7.36	1814.00	0.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Pérdida de peso de cantera Cáceres

% cemento	2.5%	3.0%	3.5%
desgaste	13.09%	12.17%	11.67%

Fuente: Elaboración propia. Véase en el ANEXO 9.

De la tabla 33 cumple con las especificaciones de pérdida de peso compactada al estar sometido al ensayo de durabilidad siendo para el tipo de A-1 como pérdida máxima de 14%. Según los resultados con esos porcentajes de cemento cumple los requerimientos como base estabilizada con cemento portland.

Figura 33

Ensayo de humedecimiento-secado



Fuente: Elaboración propia.

3.8.2.8. Metodología de moldeo suelo-cemento

Moldeo de las probetas mediante compactación del suelo-cemento, según dosificaciones indica en el diseño realizado anteriormente.

- Muestreo de material de la cantera Cáceres se hizo la separación de material en agregado fino (pasante de la malla N° 4) y grueso (retenido en la malla 3/4") con porcentajes de 60 % y 40% respectivamente. Se separo en bolsas herméticas de 3.0kg para el correcto uso de la humedad de compactación.

Figura 34

Fracción de material fino y grueso.



Nota: Elaboración propia.

- Se procedió a realizar una mezcla homogénea de los agregados, cemento y agua según diseño.

Figura 35

Mezclado de suelo-cemento de 3kg puestas en bolsas herméticas.



Nota: Elaboración propia

- Se realizó el moldeado de probetas a 0.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% de contenido de cemento, ejecutando la compactación siguiente el procedimiento del ensayo Proctor modificado.

Figura 36

Compactación de suelo-cemento.



Nota: Elaboración propia.

- Se realizó la extracción de la probeta suelo-cemento.
- Se obtuvo la probeta con su hendidura con el objetivo de realizar la imprimación asfáltica en dicha parte de la hendidura.

Figura 37

Cuerpos de prueba con hendiduras en su cara.



Nota: Elaboración propia.

- Finalmente se hizo el curado de probetas durante 7 días para garantizar la calidad de la conformación y la resistencia mínima requerida según diseño y evitar contracciones por acción del cemento.

3.8.2.9. Metodología de imprimación asfáltica

Luego del curado de las probetas se procedió a la aplicación de la imprimación asfáltica sobre los moldes, teniendo en cuenta las especificaciones de control de calidad en este caso de la limpieza del área de la hendidura a imprimir, no teniendo ninguna partícula fina suelta. En esta investigación se aplicó el material asfáltico considerado los siguiente:

- Temperatura de 60 °C, 65 Y 70°C: Este procedimiento se llevó con el calentamiento del material de imprimación emulsión Bituprimer hasta la temperatura de 60 °C, 65 Y 70°C usando una



cocina convencional, recipiente metálico, bandeja para el recipiente y un termómetro digital para su control respectivo.

- Tasas de aplicación de 0.8 lt/m², 1.0 lt/m² y 1,2 lt/m². Se calentó la emulsión Bituprimer a las temperaturas indicadas y se procedió a colocar el material asfáltico con ayuda de un inyector termorresistente con graduación con medidas de ml con la cantidad calculada para dicha área de aplicación, se aprecia el cálculo en el ANEXO 4.
- Curado de imprimación: Luego de la aplicación de la imprimación asfáltica, estos deben tener un tiempo de curado en el cual el residuo asfáltico logre un índice de penetración en dicho periodo siendo esos de 24, 48 y 72 hrs.
- Después del tiempo de curados mencionados anteriormente de este proceso se procedió correspondiente a cada probeta para su verificación, se tuvo que realizar un corte longitudinal de la sección siendo a la mitad de la probeta mediante el uso del equipo de tracción indirecta y la prensa del laboratorio de mecánica de suelos.

Figura 38

Cuerpos de prueba con emulsión Bituprimer.



Nota: elaboración propia

- Finalmente se realizó la verificación y medición del índice de penetración alcanzado en cada probeta suelo-cemento, mediante el uso de un vernier digital. Se tomaron 3 medidas en el largo del corte longitudinal.

Figura 39

Medición del índice de penetración.



Nota: Elaboración propia

3.8.2.10. Metodología de ensayo de Adherencia

- Se moldeo la probeta suelo-cemento en moldes Proctor modificado.
- Posteriormente se imprimó los 3 moldes que contienen las probetas.
- Se hizo el curado de la emulsión por 72 hrs.
- Se hizo la verificación de índices de penetración alcanzados
- Escoger correctamente los materiales a emplear: áridos (piedra chancada o agregados de río)

Figura 40

Selección de material árido



Nota: Elaboración propia

- Se procedió a la colocación de capa otta Seal

Figura 41

Colocación de piedra chancada



Nota: elaboración propia.

- Se procedió a la compactación de la capa bituminosa para adherirla a la base suelo-cemento.

Figura 42

Compactación de capa Otta Seal



Nota: Elaboración propia.

Figura 43

Probeta con capa otta seal



Nota: Elaboración propia.

- Se realizó el ensayo de tracción indirecta para ver la resistencia de la adherencia entre capas (bituminosa y la base estabilizada).

Figura 44

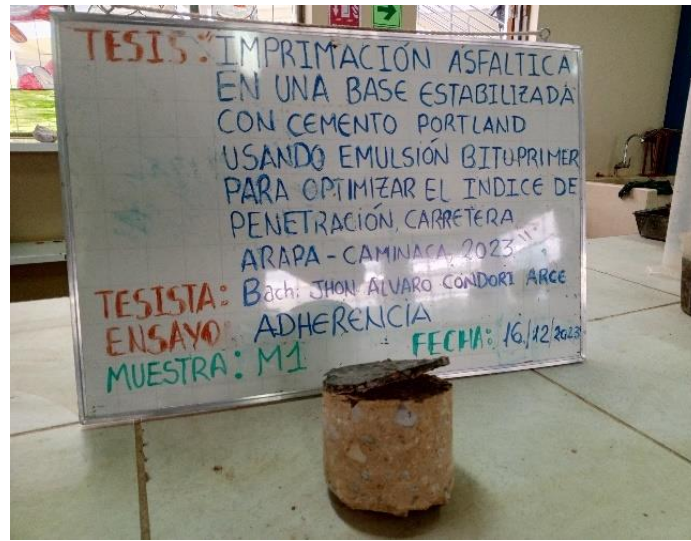
Ensayo de resistencia al corte entre dos capas.



Nota: Elaboración propia.

Figura 45

Probeta después del someter a carga a la capa bituminosa



Nota: Elaboración propia.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA

Los resultados de índice de penetración con el uso de la emulsión Bituprimer en una imprimación asfáltica sobre una base estabilizada con cemento, se elaboró probetas suelo- cemento a 0.0 % patrón y con diseños de 2.5%, 3.0% y 3.5% de cemento Portland sobre las cuales se aplicaron ensayos de imprimación asfáltica. Esto se reflejan en los resultados de los objetivos específicos que llegaron a establecer las conclusiones del objetivo general.

4.2. INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO EN EL ÍNDICE DE PENETRACIÓN

Los resultados de la prueba de imprimación asfáltica, con el objetivo de evaluar la influencia del contenido de cemento de la base estabilizada en el índice de penetración se visualizan la Tabla 34. Para la muestra patrón, con una dosificación de 0.00% de cemento se obtuvo un índice de penetración de 7.58 mm. Sin embargo, al adicionar un 3.5% de cemento el valor se redujo en un índice de penetración de 1.98 mm. Los resultados demuestran que los valores de índice de penetración son susceptibles a disminución al adicionar mayor porcentaje de contenido de cemento al diseño de la base.

Tabla 34

Índice de penetración a 0.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% de cemento.

N° de lectura	Penetración a 0.0% de cemento	Penetración a 2.5% de cemento	Penetración a 3.0% de cemento	Penetración a 3.5% de cemento
1	7.42	6.33	4.23	1.98
2	7.56	6.45	4.23	1.97
3	7.45	6.33	4.23	2.28
4	7.58	6.39	4.28	1.85
5	7.46	6.39	4.32	1.84
6	7.86	6.45	4.32	1.79
7	7.55	6.43	4.15	2.12
8	7.55	6.45	4.1	1.99
9	7.76	6.51	4.1	1.96
Promedio	7.58	6.41	4.22	1.98

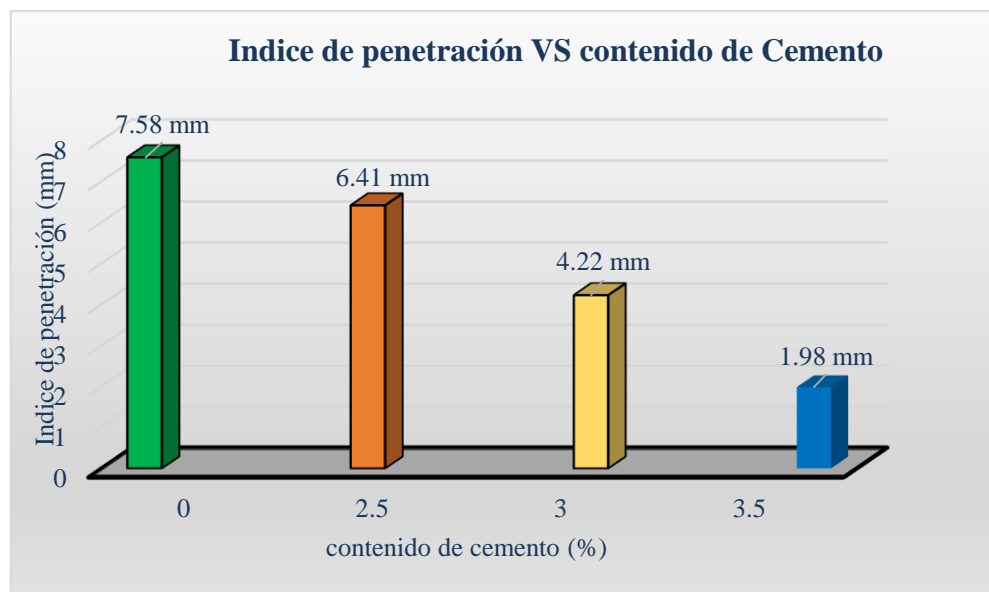
Nota: Estos resultados son promedios de registros de índices de penetración (Véase en el ANEXO 9).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 46 se presenta los índices alcanzados al aumentar el contenido de porcentaje de diseño de suelo-cemento de la base estabilizada

Figura 46

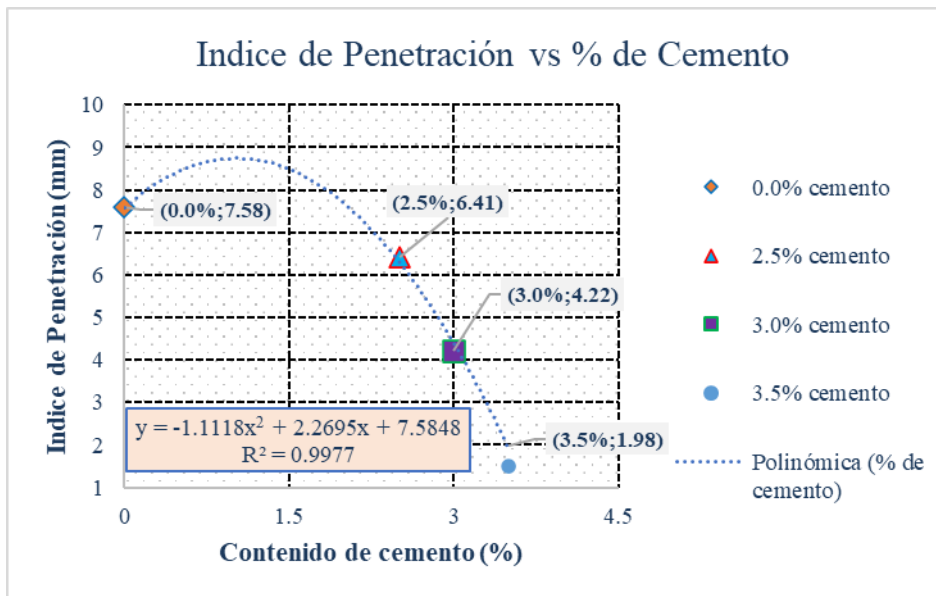
Resultados promedio en función al % contenido de cemento.



Nota: Elaboración propia.

Figura 47

Índice de penetración VS % de cemento.



Nota: la imprimación asfáltica se aplicó a tasa de aplicación de 1.2lt/m², temperatura de 65 °C y 72 horas de curado. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 47 se muestra la curva tendencia de la profundidad de penetración en relación al porcentaje de contenido de cemento usado en el diseño de la base suelo-cemento, para las dosificaciones de diseño suelo cemento de 0.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% deduciendo que tienen una relación inversamente proporcional; donde se alcanzó un índice de penetración óptimo de 6.41 mm respecto al 2.5% de cemento y el valor mínimo registrado es de 1.98 mm a una dosificación de 3.5% de cemento. Además, en función a dichas variables se representa en la curva de la ecuación con el R^2 :

$$y = 1.1118x^2 + 2.2695x + 7.5848 \dots\dots\dots (a)$$

La ecuación (a) descrita servirá para establecer el índice de penetración de imprimación asfáltica en función a la variable el % de contenido de cemento.



4.3. INFLUENCIA DE LOS REQUERIMIENTOS PARA APLICACIÓN

De los resultados para investigar la influencia de los requerimientos de aplicación de emulsión Bituprimer con el índice de penetración se efectuó ensayos donde se manipulo el material asfaltico en su temperatura, tasa de aplicación y tiempo de rotura, el cual se aplicó el ensayo normalizado de imprimación asfáltica en probetas elaboradas con estabilizaciones de 2.5%,3.0% y 3.5 % de cemento Portland. De los cuales se extrajeron los siguientes resultados:

4.3.1. Índice de penetración con relación a la temperatura de aplicación

De los resultados de relacionar el índice de penetración con relación la temperatura de aplicación de la emulsión Bituprimer se determinaron con tres temperaturas las cuales son 60° C, 65° C y 70° C; imprimados a 1.2 ltm/m² de tasa de aplicación y tomados el registro a 72 hrs. La imprimación asfáltica se realizó en probetas suelo-cemento con diseño de 2.5%, 3.0% y 3.5 % de dosificación, el resultado se indica las Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 37.

Tabla 35*Índices de penetración en función a la temperatura (mm).*

Nro. Lectura	Temperatura (°C)		
	60°C	65°C	70°C
1	5.27	6.37	4.11
2	5.22	6.37	4.12
3	5.22	6.42	4.15
4	5.15	6.42	4.16
5	5.21	6.42	4.18
6	5.21	6.37	4.18
7	5.23	6.51	4.16
8	5.25	6.42	4.11
9	5.27	6.42	4.11
Promedio	5.23	6.41	4.14

Nota: Los cuerpos de prueba fueron diseñados a 2.5% de cemento, imprimado a 1.2 lt/m² y curado a 72 hrs. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36*Índices de penetración (mm) en función a la temperatura.*

Nro. Lectura	Temperatura (°C)		
	60°C	65°C	70°C
1	3.65	4.22	3.43
2	3.65	4.25	3.39
3	3.68	4.25	3.37
4	3.81	4.15	3.45
5	3.83	4.18	3.44
6	3.83	4.16	3.42
7	3.86	4.23	3.52
8	3.86	4.23	3.48
9	3.89	4.27	3.51
Promedio	3.78	4.22	3.45

Nota: Los cuerpos de prueba fueron diseñados a 3.0% de cemento, imprimado a 1.2 lt/m² y curado a 72 hrs. Fuente: Elaboración propia



Tabla 37

Índices de penetración (mm) en función a la temperatura

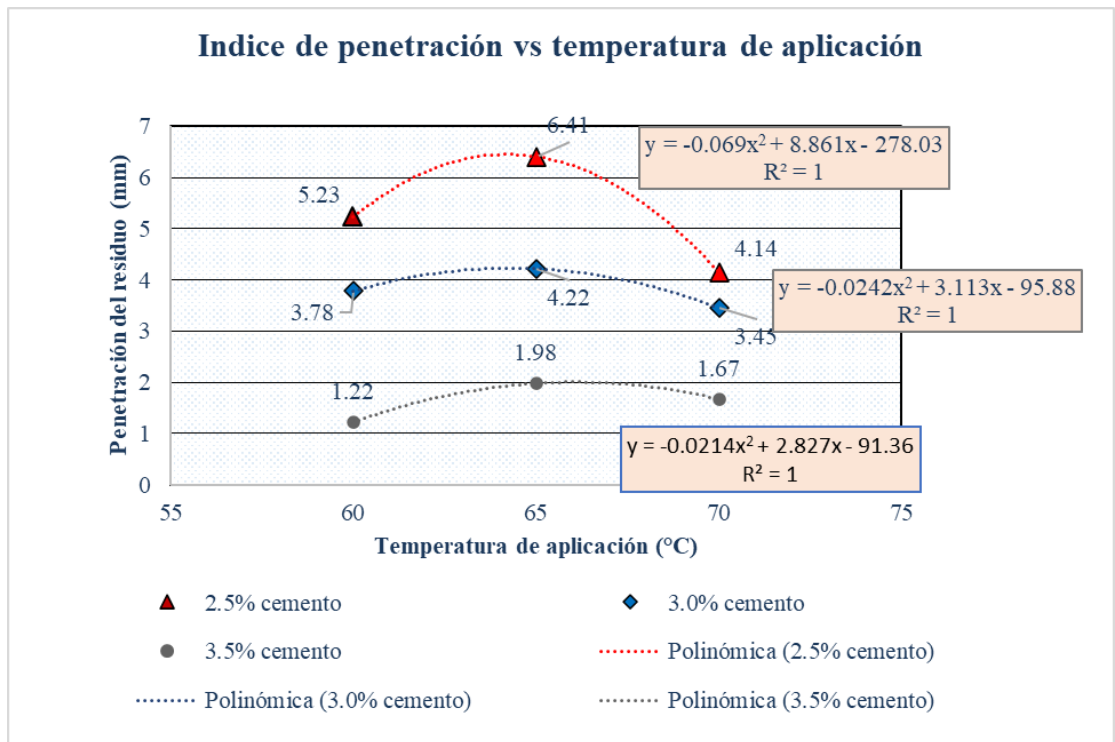
Nro. Lectura	Temperatura (°C)		
	60°C	65°C	70°C
1	1.23	2.15	1.62
2	1.27	2.1	1.74
3	1.22	2.15	1.74
4	1.31	1.85	1.58
5	1.27	1.87	1.58
6	1.17	1.78	1.74
7	1.17	1.95	1.67
8	1.14	1.95	1.658
9	1.17	1.99	1.66
Promedio	1.22	1.98	1.67

Nota: Los cuerpos de prueba fueron diseñados a 3.5% de cemento, imprimado a 1.2 lt/m² y curado a 72 hrs. Fuente: Elaboración propia

Se considero los valores de temperaturas de 60° C, 65° C y 70° C puesto que de acuerdo al MTC (2013) SECCIÓN 401 Imprimación Asfáltica, establece límites de temperatura para el material bituminoso para llegar a su máxima viscosidad cinemática debe comprender entre temperaturas de min. 30 °C y máx. 70°C. Cumpliendo con las especificaciones técnicas de estos lineamientos.

Figura 48

Índice de penetración VS % temperatura de aplicación.



Nota: los cuerpos de prueba fueron elaborados a 2.5%, 3.0 % y 3.5% de contenido de cemento a 1.2 lt/m² de tasa de imprimación y 72 hrs de curado. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 48 muestra la diferencia de resultados que forma la curva del índice de penetración en relación a la temperatura de imprimación, para las dosificaciones de diseño suelo-cemento de 2.5%, 3.0% y 3.5%. Demostrando así que la línea de regresión lineal de 2.5% está por encima de las curvas suelo cemento. Por tanto, respaldando la afirmación del % contenido de cemento con relación al índice de penetración.

De la Figura 51 las probetas se indica que las probetas con diseño suelo cemento de 2.5% de cemento a temperaturas de 60°C, 65°C y 70°C alcanzaron los mejores resultados con profundidades de 5.23 mm, 6.41 mm y 4.14 mm respectivamente. Por ende, a mayor temperatura va alcanzando mejores



resultados. Por otro lado, se tiene que a una temperatura de 70°C en todos los casos de diseño disminuye el alcance del índice de penetración, puesto que en la ejecución del presente trabajo se evidencio que al sobrepasar esta temperatura de 70°C entro en un proceso de ebullición provocando el acelerado proceso de curado y no dejando que desarrolle de manera idónea. Lo mismo con los resultados de probetas con diseño suelo cemento de 3.0% y 3.5% de cemento a temperaturas de 60°C, 65°C y 70°C respectivamente presentan la misma concordancia de resultados.

Por otra parte, de los resultados hallados se estableció la relación que existe entre el índice de penetración de imprimación asfáltica y la temperatura de aplicación, a través de las ecuaciones con el R^2 para cada porcentaje de contenido de cemento:

$$y = -0.0334x^2 + 4.383x - 140.61 \text{ (2.5\% de cemento)..... (a)}$$

$$y = -0.0314x^2 + 4.131x - 133.24 \text{ (3.0\% de cemento)..... (b)}$$

$$y = -0.0214x^2 + 2.827x + 91.36 \text{ (3.5\% de cemento)..... (b)}$$

Las ecuaciones (a), (b) y (c) descritas servirán para determinar el índice de penetración de imprimación asfáltica en función a la variable la temperatura de imprimación asfáltica.

4.3.2. Índice de penetración con relación a la tasa de aplicación

De los resultados de relacionar el índice de penetración con relación la tasa de aplicación de la emulsión Bituprimer se determinaron con tres tasas las cuales son 0.8lt/m², 1.0lt/m² y 1.2lt/m²; imprimados a 65°C de temperatura y tomados el registro a 72 hrs. La imprimación asfáltica se realizó en probetas suelo-cemento con diseño de 2.5%, 3.0% y 3.5 % de dosificación, el resultado se indica la Tabla 38, Tabla 39 y Tabla 40.

Tabla 38

Índices de penetración (mm) en función a la tasa de aplicación.

Nro. Lectura	Tasa de imprimación (lt/m ²)		
	0.8 lt/m ²	1.0 lt/m ²	1.2 lt/m ²
1	4.61	5.27	6.37
2	4.62	5.22	6.37
3	4.62	5.22	6.42
4	4.48	5.25	6.42
5	4.51	5.25	6.42
6	4.51	5.32	6.37
7	4.55	5.29	6.51
8	4.56	5.25	6.42
9	4.55	5.33	6.42
Promedio	4.56	5.27	6.41

Nota: Los cuerpos de prueba fueron elaborados a 2.5% de cemento, imprimado a 65° C curado a 72 hrs. Fuente: Elaboración propia

Tabla 39*Índices de penetración (mm) en función a la tasa de aplicación.*

Nro. Lectura	Tasa de imprimación (lt/m ²)		
	0.8 lt/m ²	1.0 lt/m ²	1.2 lt/m ²
1	2.98	3.51	4.31
2	2.98	3.52	4.25
3	3.12	3.52	4.3
4	3.12	3.62	4.15
5	3.12	3.65	4.18
6	3.14	3.65	4.18
7	3.05	3.55	4.12
8	3.02	3.55	4.2
9	3.51	3.64	4.25
Promedio	3.12	3.58	4.22

Nota: Los cuerpos de prueba fueron elaborados a 3.0% de cemento, imprimado a 65° C curado a 72 hrs. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40*Índices de penetración (mm) en función a la tasa de aplicación.*

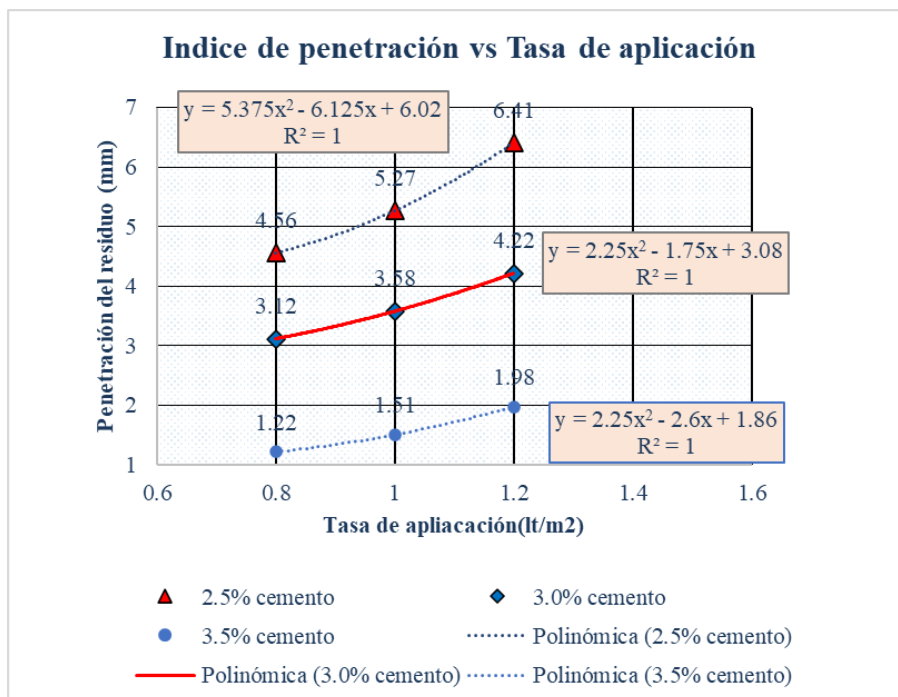
Nro. Lectura	Tasa de imprimación (lt/m ²)		
	0.8 lt/m ²	1.0 lt/m ²	1.2 lt/m ²
1	1.23	1.48	65
2	1.27	1.51	2.15
3	1.22	1.51	2.1
4	1.31	1.39	2.15
5	1.27	1.35	1.85
6	1.17	1.32	1.87
7	1.17	1.67	1.78
8	1.14	1.658	1.95
9	1.17	1.66	1.95
Promedio	1.22	1.51	1.98

Nota: Los cuerpos de prueba fueron elaborados a 3.5% de cemento, imprimado a 65° C curado a 72 hrs. Fuente: Elaboración propia.

Se considero los valores de tasa de aplicación de 0.8lt/m², 1.0lt/m² y 1.2lt/m² puesto que de acuerdo al MTC (2013) SECCIÓN 401 Imprimación Asfáltica, establece que el régimen de cantidad debe comprender entre 0.7 a 1.5 lt/m² que dependerá de cómo se encuentre la temperatura de la superficie de la base. Cumpliendo con las especificaciones técnicas de estos lineamientos.

Figura 49

Índice de penetración VS % tasa de aplicación



Nota: Los cuerpos de prueba fueron elaborados a 2.5%, 3.0 %, 3.5% de contenido de cemento a 65°C de temperatura y 72 hrs de curado. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 49 se muestra la diferencia de los resultados que forman la curva de la profundidad de penetración en relación a la tasa de aplicación de imprimación asfáltica, para dosificaciones de diseño suelo cemento 2.5%, 3.0% y 3.5%. Demostrando así que la línea de regresión lineal de 2.5% de dosificación de cemento se encuentra por encima de la curva de regresión lineal de 3.0% y 3.5% de dosificación de cemento.



De los registros de las probetas con diseño suelo cemento de 2.5% de cemento a tasas de imprimación de 0.8 lt/m², 1.0 lt/m² y 1.2 lt/m² alcanzaron profundidades de 4.56 mm, 5.27 mm y 6.41 mm respectivamente. Afirmando esto con las curvas de dosificaciones de 3.0% y 3.5% que a mayor tasa de imprimación va alcanzando mejores resultados. Se tiene entonces que a una tasa de 1.2 lt/m² de imprimación asfáltica de emulsión Bituprimer alcanzó mejores resultados.

Por otra parte, del gráfico se determinó la relación que existe entre el índice de penetración de imprimación asfáltica y la tasa de imprimación mediante las igualdades con el R^2 para cada caso:

$$y = 3.75x^2 - 6.3x + 5.33 \text{ (2.5\% de cemento) } \dots\dots (a)$$

$$y = 0.5x + 2.01 \quad (3.0\% \text{ de cemento}) \dots\dots (b)$$

$$y = 3.75x^2 - 6.3x + 5.33 \text{ (2.5\% de cemento) } \dots\dots (c)$$

Las ecuaciones (a) y (b) descritas servirán para determinar el índice de penetración de imprimación asfáltica en función de la variable tasa de imprimación asfáltica.

4.3.3. Índice de penetración con relación al tiempo de curado

De los resultados de relacionar el índice de penetración con relación con el tiempo de curado de la emulsión Bituprimer se determinaron con tres tiempos de registro de resultados, las cuales son 24 hrs, 48 hrs y 72 hrs; imprimados a 65°C de temperatura y 1.2 lt/m² de tasa. La imprimación asfáltica se realizó en probetas suelo-cemento con diseño de 2.5%, 3.0% y 3.5 % de dosificación, el resultado se indica las Tabla 41, Tabla 42 y Tabla 43.



Tabla 41

Índices de penetración (mm) en función al tiempo de curado.

Nro. Lectura	Tiempo de curado (hrs)		
	24 hrs	48 hrs	72 hrs
1	4.31	5.12	6.37
2	4.25	5.05	6.37
3	4.3	5.1	6.42
4	4.15	5.07	6.42
5	4.18	5.07	6.42
6	4.18	5.12	6.37
7	4.29	5.11	6.51
8	4.29	5.11	6.42
9	4.27	5.11	6.42
Promedio	4.25	5.10	6.41

Nota: Los cuerpos de prueba son de 2.5% de cemento, imprimado a 1.2 lt/m² y temperatura de 65°C. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42

Índices de penetración (mm) en función al tiempo de curado.

Nro. Lectura	Tiempo de curado (hrs)		
	24 hrs	48 hrs	72 hrs
1	2.98	3.99	4.31
2	2.98	3.85	4.25
3	3.06	3.85	4.3
4	3.11	3.81	4.15
5	3.11	3.88	4.18
6	3.06	3.83	4.18
7	3.05	3.86	4.12
8	3.02	3.86	4.2
9	3.51	3.89	4.25
Promedio	3.10	3.87	4.22

Nota: Los cuerpos de prueba son de 3.0% de cemento, imprimado a 1.2 lt/m² y temperatura de 65°C. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43*Índices de penetración (mm) en función al tiempo de curado.*

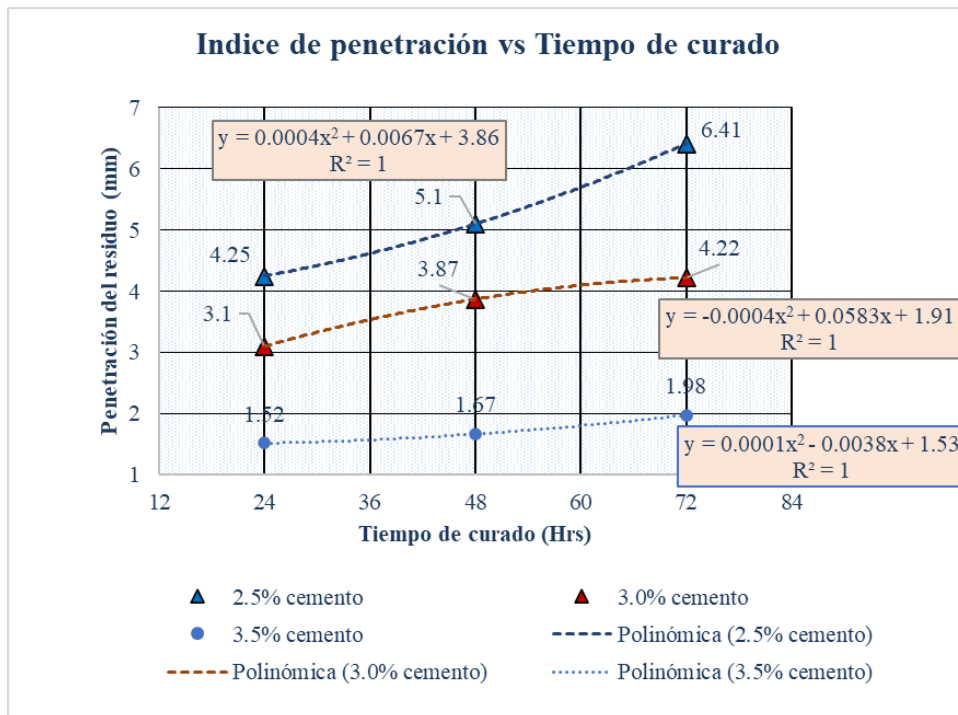
Nro. Lectura	Tiempo de curado (hrs)		
	24 hrs	48 hrs	72 hrs
1	1.48	1.62	2.15
2	1.51	1.63	2.1
3	1.51	1.63	2.15
4	1.39	1.69	1.85
5	1.35	1.75	1.87
6	1.39	1.75	1.78
7	1.67	1.67	1.95
8	1.69	1.65	1.95
9	1.66	1.65	1.99
Promedio	1.52	1.67	1.98

Nota: Los cuerpos de prueba son de 3.5% de cemento, imprimado a 1.2 lt/m² y temperatura de 65°C. Fuente: Elaboración propia.

Se considero los valores del tiempo de curado de 25 hrs, 48 hrs y 72 hrs puesto que de acuerdo al MTC (2013) SECCIÓN 401 Imprimación Asfáltica, establece que debe estar libre de tráfico durante el periodo de curado por un periodo de 24 hrs y si el clima es frio o si el material de imprimación no ha penetrado completamente en la superficie de la base, un periodo más largo de tiempo será necesario. Cumpliendo con las especificaciones técnicas de estos lineamientos.

Figura 50

Índice de penetración VS % tiempo de curado.



Nota: Los cuerpos de prueba son con diseños de 2.5%, 3.0 % y 3.5% de contenido de cemento a 1.2 lt/m² de tasa de imprimación y 65° C de temperatura. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 50 muestra la diferencia de resultados que forman la curva de índice de penetración en relación al tiempo de curado de la imprimación asfáltica, para las dosificaciones de diseño suelo cemento 2.5%, 3.0% y 3.5%.

De lo observado se indica que las probetas con diseño suelo cemento de 2.5% de cemento a tasas de imprimación de 24 hrs, 48 hrs y 72hrs alcanzaron profundidades de 4.25 mm, 5.10 mm y 6.41 mm respectivamente. Observando que a mayor tiempo de curado va desarrollándose mejor el material asfáltico. Lo mismo con los resultados de probetas con diseño suelo cemento de 3.0% y 3.5%. Por ende, a un tiempo de curado de 72 hrs de la imprimación asfáltica con emulsión Bituprimer alcanzamos un resultado óptimo.

Por otra parte, del gráfico se determinó la relación que existe entre el índice de penetración de la imprimación asfáltica y el tiempo de curado mediante las igualdades con el R^2 para cada caso:

$$y = 0.0217x + 1.6 \text{ (2.5\% de cemento) } \dots\dots(a)$$

$$y = 0.0215x + 1.08 \text{ (3.0\% de cemento) } \dots\dots(b)$$

$$y = 0.0215x + 1.08 \text{ (3.0\% de cemento) } \dots\dots(b)$$

Las ecuaciones (a), (b) y (c) descritas servirán para determinar el índice de penetración de imprimación asfáltica en función de la variable de tiempo de curado.

4.4. INFLUENCIA CON LA ADHERENCIA

Para demostrar la relación del índice de penetración y su relación con la adherencia con una capa bituminosa se hizo la prueba de tracción indirecta que mide la resistencia al corte en la interfaz ligada. Se hicieron los ensayos en 3 muestras con dosificaciones de 1.2 lt/m², a temperaturas de 65°C.

Tabla 44

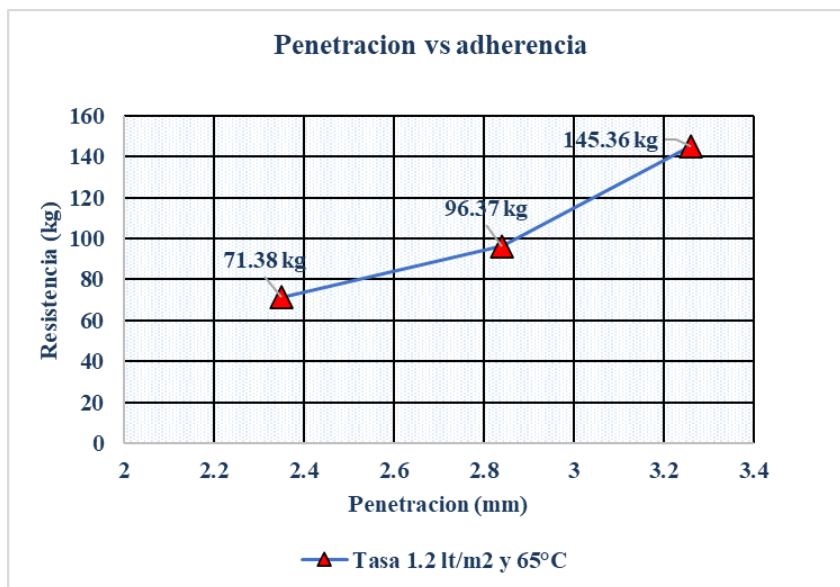
Índices de penetración vs resistencia al corte.

Nro de Lectura	Dosificación (lt/m ²)	Índice de penetración (mm)	Resistencia al corte (kg)
1	1.2	2.58	71.38
2	1.2	2.84	96.37
3	1.2	3.26	145.36
Promedio	1.2	2.89	104.37

Nota: Imprimación aplicada a 65°C y 72 hrs de curado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 51

Índice de penetración VS % adherencia.



Nota: Estos cuerpos de prueba fueron elaborados a una tasa de aplicación de 1.2ltm/2, temperatura de 65°C y curado de 72hrs. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 51 muestra la relación directamente proporcional que se tiene entre el índice de penetración y la adherencia. Con resultados de 3.17 mm de profundidad alcanzamos mayor resistencia al corte entre las capas de base estabilizada con cemento y la capa bituminosa. Esto resultados van según las condiciones de cómo se alcanzaron resultados óptimos de índices de penetración en los anteriores objetivos desarrollados.

4.5. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.5.1. Influencia del porcentaje de contenido de cemento

Se evaluó la siguiente variable y se validó la hipótesis mediante la recogida de datos estadísticos de índices de penetración con diferentes dosificaciones de cemento (diseño suelo-cemento) 0.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% para la elaboración de las probetas de suelo-cemento.

4.5.1.1. Prueba de normalidad

El uso de programa SPSS permitió verificar la normalidad de los datos de los índices de penetración en función al % de contenido de cemento según detalla la Tabla 48, utilizando el test de Kolmogorov – Smirnov, el más adecuado para muestra igual o mayores a 30.

Prueba estadística

Kolmogorov – Smirnov (para muestras $n \geq 30$)

Tabla 45

Estadístico de la variable % de contenido de cemento.

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
84	Cuantitativo	Razón	Shapiro - Wilk

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis estadísticas

H_0 : Si existe distribución normal de los datos

H_1 : No existe distribución normal de los datos

Regla de decisión

Si **P- valor** ≤ 0.05 , rechace la hipótesis nula.

Si **P- valor** > 0.05 , no rechace la hipótesis nula.

Tabla 46

Prueba de normalidad de % contenido de cemento

% contenido de cemento	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	gl	Sig. (p-valor)	
CP-0.0%	0.871	21	0.298*	Distribución normal
CP-2.5%	0.996	21	0.878*	Distribución normal
CP-3.0%	1.000	21	1.000*	Distribución normal
CP-3.5%	1.000	21	1.000*	Distribución normal

Nota: CP=Cuerpo de prueba. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 02). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS. *p-valor >0.05

Interpretación y decisión

- Probetas con 0.0% de contenido de cemento:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.298>0.05).
- Probetas con 2.5% de contenido de cemento:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.878>0.05).
- Probetas con 3.0% de contenido de cemento:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 1.00>0.05).
- Probetas con 3.5% de contenido de cemento:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 1.00>0.05).

Conclusión

La significancia de los datos de la variable porcentaje de cemento de 0.0%, 2.5%, 3.0% y 3.5% son mayores a 0.05 entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , por tanto, los datos si tienen una distribución normal con un nivel de significancia de 5%.

Se determinó la existencia de datos es Paramétrico, por tanto, para la prueba estadística se utilizó la técnica de Pearson

4.5.1.2. Correlación

Mediante la utilización del programa estadístico conocido como SPSS, se utilizó la prueba de correlación para validar el grado de vinculación que existe entre las variables.

H_0 : Hipótesis nula: El porcentaje de contenido de cemento no disminuye el índice de penetración.

H_1 : Hipótesis alterna: El porcentaje de contenido de cemento si disminuye el índice de penetración.

Regla de decisión

Si **P- valor ≤ 0.05** , rechace la hipótesis nula.

Si **P- valor > 0.05** , no rechace la hipótesis nula.

Tabla 47

Correlación del % de contenido de cemento y el índice de penetración.

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
84	-0.988	0.001**	Se rechaza H_0

Nota: Los datos de resultados de laboratorio (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS.

r^a : Correlación de Pearson.

** : P-valor <0.05



Interpretación y decisión

De la tabla 50 considerando la regla de decisión el p- valor se calcula que es menor a 5.00% (0.05) se rechazara la hipótesis nula puesto el nivel significancia (sig.) se da de la siguiente manera:

$$0.001 < 0.05$$

Entonces se acepta la hipótesis alternativa

Conclusión

Según el análisis el porcentaje de contenido de cemento disminuye el índice de penetración de forma inversa con una intensidad alta de -0.998.

4.5.2. Influencia con la temperatura de aplicación

Para la obtención de resultados de este objetivo se relacionó el índice de penetración con la temperatura de aplicación de emulsión Bituprimer.

4.5.2.1. Prueba de normalidad

El uso de Programa SPSS permitió verificar la normalidad de los datos de índice de penetración en función a la temperatura de aplicación según detalla la Tabla 51, utilizando la prueba de Kolmogorov – Smirnov, es más adecuado para muestra igual o mayor a 30.

Prueba estadística

Kolmogorov – Smirnov (para muestras $n \geq 30$)

Tabla 48*Estadístico de la variable temperatura de aplicación.*

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
36	Cuantitativo	Razón	Shapiro - Wilk

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis estadísticas H_0 : Si existe distribución normal de los datos H_1 : No existe distribución normal de los datos**Regla de decisión**Si **P- valor** ≤ 0.05 , rechace la hipótesis nula.Si **P- valor** > 0.05 , no rechace la hipótesis nula.**Tabla 49***Prueba de normalidad de datos de temperatura de aplicación.*

% contenido de cemento	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	gl	Sig. (p-valor)	
CP-0.0%	0.871	9	0.298*	Distribución normal
CP-2.5%	0.996	9	0.878*	Distribución normal
CP-3.0%	1.000	9	1.000*	Distribución normal
CP-3.5%	1.000	9	1.000*	Distribución normal

Nota: CP=Cuerpo de prueba. Los datos son en función a la temperatura de 60°C, 65°C y 70°C (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS. *p-valor >0.05



Interpretación y decisión

- Probetas con 0.0% de contenido de cemento:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.298 > 0.05$).
- Probetas con 2.5% de contenido de cemento:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.878 > 0.05$).
- Probetas con 3.0% de contenido de cemento
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $1.00 > 0.05$).
- Probetas con 3.5% de contenido de cemento:
La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $1.00 > 0.05$).

Conclusión

Los datos de la variable temperatura de aplicación son mayores a 0.05 entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , por tanto, los datos si tienen una distribución normal. un nivel de significancia de 5%.

En consecuencia, se determinó que la existencia de datos es Paramétrico, por tanto, para la prueba estadística se utilizó la técnica de Pearson

4.5.2.2. Correlación

Mediante la utilización del programa estadístico conocido como SPSS, se utilizó la prueba de “correlación” para validar el grado de vinculación que existe entre las variables.

H_0 : Hipótesis nula: La temperatura de aplicación no disminuye el índice de penetración.



H_1 : Hipótesis alterna: La temperatura de aplicación si disminuye el índice de penetración.

Regla de decisión

Si **P- valor ≤ 0.05** , rechace la hipótesis nula.

Si **P- valor > 0.05** , no rechace la hipótesis nula.

Tabla 50

Correlación de temperatura de aplicación y el índice de penetración.

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
36	0.470	0.202**	Se acepta H_0

Nota: Los datos de resultados de laboratorio (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS.

r^a : Correlación de Pearson.

** : P-valor <0.05

Interpretación y decisión

De la tabla anterior considerando la regla de decisión el p- valor se calcula que es menor a 5.00% (0.05) se rechazara la hipótesis nula puesto el nivel significancia (sig.) se da de la siguiente manera:

$$0.202 > 0.05$$

Entonces se acepta la hipótesis nula



Conclusión

Según el análisis la temperatura de aplicación no disminuye el índice de penetración de forma directa con una intensidad regular de 0.470.

4.5.3. Influencia con la tasa de aplicación

Para la obtención de resultados de este objetivo se relacionó el índice de penetración de imprimación asfáltica con la tasa de aplicación de la emulsión Bituprimer.

4.5.3.1. Prueba de normalidad

El uso de Programa SPSS permitió verificar la normalidad de datos de índice de penetración en función de tasa de aplicación según detalla la Tabla 51, utilizando la prueba de Kolmogorov – Smirnov, es más adecuado para muestra igual o mayor a 30.

Prueba estadística

Kolmogorov – Smirnov (para muestras $n \geq 30$)

Tabla 51

Estadístico de la variable tasa de aplicación.

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
36	Cuantitativo	Razón	Shapiro - Wilk

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis estadísticas

H_0 : Si existe distribución normal de los datos

H_1 : No existe distribución normal de los datos

Regla de decisión

Si **P-valor** ≤ 0.05 , se rechaza la hipótesis nula.

Si **P-valor** > 0.05 , no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 52

Prueba de normalidad con datos de tasa de aplicación.

% contenido de cemento	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	gl	Sig. (p-valor)	
CP-0.0%	0.871	9	0.298*	Distribución normal
CP-2.5%	0.996	9	0.878*	Distribución normal
CP-3.0%	1.000	9	1.000*	Distribución normal
CP-3.5%	1.000	9	1.000*	Distribución normal

Nota: CP=Cuerpo de prueba. Los datos son en función a la tasa de aplicación 0.8lt/m², 1.0lt/m² y 1.2lt/m² (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS.

*p-valor > 0.05

Interpretación y decisión

- Probetas con 0.0% de contenido de cemento:

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.298 $>$ 0.05).

- Probetas con 2.5% de contenido de cemento:

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.878 $>$ 0.05).

- Probetas con 3.0% de contenido de cemento:

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 1.00 $>$ 0.05).

- Probetas con 3.5% de contenido de cemento:

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 1.00 $>$ 0.05).



Conclusión

Los datos de la variable tasa de aplicación son mayores a 0.05 entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , por tanto, los datos si tienen una distribución normal. un nivel de significancia de 5%.

En consecuencia, se determinó que la existencia de datos es Paramétrico, por tanto, para la prueba estadística se utilizó la técnica de Pearson.

4.5.3.2. Correlación

Mediante la utilización del programa estadístico conocido como SPSS, se utilizó la prueba de “correlaciónar” para validar el grado de vinculación que existe entre las variables.

H_0 : Hipótesis nula: La temperatura de aplicación no disminuye el índice de penetración.

H_1 : Hipótesis alterna: La temperatura de aplicación si disminuye el índice de penetración.

Regla de decisión

Si **P- valor ≤ 0.05** , rechace la hipótesis nula.

Si **P- valor > 0.05** , no rechace la hipótesis nula.

Tabla 53

Correlación entre la tasa de aplicación y el índice de penetración.

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
36	0.902	0.002**	Se rechaza H_0

Nota: Los datos de resultados de laboratorio (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS.

r^a : Correlación de Pearson.

** : P-valor < 0.05

Interpretación y decisión

De la tabla anterior considerando la regla de decisión el p-valor se calcula que es menor a 5.00% (0.05) se rechazara la hipótesis nula puesto el nivel significancia (sig.) se da de la siguiente manera:

$$0.002 < 0.05$$

Entonces se acepta la hipótesis nula

Conclusión

Según el análisis la tasa de aplicación si disminuye el índice de penetración de forma directa con una intensidad alta de 0.902.

4.5.4. Influencia con el tiempo de curado

Para la obtención de resultados de este objetivo se relacionó el índice de penetración de imprimación asfáltica con el tiempo de curado de emulsión Bituprimer.

4.5.4.1. Prueba de normalidad

El uso de Programa SPSS permitió verificar la normalidad de los datos de los índices de penetración en función al tiempo de curado según detalla la Tabla 57, utilizando la prueba de Kolmogorov – Smirnov, es más adecuado para muestra igual o mayor a 30.

Prueba estadística

Kolmogorov – Smirnov (para muestras $n \geq 30$)

Tabla 54

Estadístico de la variable tiempo de curado

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
9	Cuantitativo	Razón	Shapiro - Wilk

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis estadísticas

H_0 : Si existe distribución normal de los datos

H_1 : No existe distribución normal de los datos

Regla de decisión

Si **P- valor** ≤ 0.05 , rechaza la hipótesis nula.

Si **P- valor** > 0.05 , no se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 55

Prueba de normalidad de datos de tiempo de curado.

% contenido de cemento	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	gl	Sig. (p-valor)	
CP-0.0%	0.871	9	0.298*	Distribución normal
CP-2.5%	0.996	9	0.878*	Distribución normal
CP-3.0%	1.000	9	1.000*	Distribución normal
CP-3.5%	1.000	9	1.000*	Distribución normal

Nota: CP=Cuerpo de prueba. Los datos son en función al tiempo de curado de 24 hrs, 48 hrs y 72 hrs (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS. *p-valor >0.05

Interpretación y decisión

- Probetas con 0.0% de contenido de cemento

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.298>0.05).

- Probetas con 2.5% de contenido de cemento

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 0.878>0.05).

- Probetas con 3.0% de contenido de cemento

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 1.00>0.05).

- Probetas con 3.5% de contenido de cemento

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: 1.00>0.05).

Conclusión

Los datos de la variable tiempo de curado son mayores a 0.05 entonces se rechaza H_1 y se acepta H_0 , por tanto, los datos si tienen una distribución normal. un nivel de significancia de 5%.

En consecuencia, se determinó la existencia de datos es Paramétrico, por tanto, para la prueba estadística se utilizó la técnica de Pearson.

4.5.4.2. Correlación

Mediante la utilización del programa estadístico conocido como SPSS, se utilizó la prueba de “correlación” para validar el grado de vinculación que existe entre las variables.

H_0 : Hipótesis nula: El tiempo de curado no disminuye el índice de penetración.

H_1 : Hipótesis alterna: El tiempo de curado si disminuye el índice de penetración.

Regla de decisión

Si **P- valor ≤ 0.05** , rechace la hipótesis nula.

Si **P- valor > 0.05** , no rechace la hipótesis nula.

Tabla 56

Correlación entre el tiempo de curado y el índice de penetración.

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
36	0.998	0.001**	Se rechaza H_0

Nota: Los datos de resultados de laboratorio (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS.

r^a : Correlación de Pearson.

** : P-valor <0.05



Interpretación y decisión

De la tabla anterior considerando la regla de decisión el p- valor se calcula que es menor a 5.00% (0.05) se rechazara la hipótesis nula puesto el nivel significancia (sig.) se da de la siguiente manera:

$$0.001 < 0.05$$

Entonces se acepta la hipótesis nula

Conclusión

Según el análisis el tiempo de curado no disminuye el índice de penetración de forma directa con intensidad Alta de -0.998.

4.5.5. Influencia con la Adherencia

Para la obtención de los resultados de relacionar la penetración de imprimación asfáltica y la adherencia entre capas se obtuvo valores mediante ensayos de tracción indirecta los cuales se puede observar una unión entre ambas usando la emulsión Bituprimer.

4.5.5.1. Prueba de normalidad

El uso de Programa SPSS permitió verificar la normalidad de los datos de índice de penetración en función a la temperatura de aplicación según detalla la Tabla 51, utilizando la prueba de Kolmogorov – Smirnov, es más adecuado para muestra igual o inferior a 30.

Prueba estadística

Shapiro – Wilk (Para muestras $n < 30$)

Tabla 57*Estadístico de la variable resistencia al corte.*

Muestra	Tipo de variable	Escala	Estadístico
9	Cuantitativo	Razón	Shapiro - Wilk

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis estadísticas H_0 : Si existe distribución normal de los datos H_1 : No existe distribución normal de los datos**Regla de decisión**Si **P- valor** ≤ 0.05 , se rechaza la hipótesis nula.Si **P- valor** > 0.05 , no se rechaza la hipótesis nula.**Tabla 58***Prueba de normalidad de datos de resistencia al corte*

% contenido de cemento	Shapiro-Wilk			Decisión
	Estadístico	gl	Sig. (p-valor)	
CP-2.5%	0.996	9	0.878*	Distribución normal

Nota: CP=Cuerpo de prueba. Los datos de resultados del ensayo de laboratorio (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS. *p-valor > 0.05 **Interpretación y decisión**

- Para la muestra con 2.5% de contenido de cemento

La significancia no es menor de 0.05 (p-valor: $0.878 > 0.05$),



Conclusión

Los datos de la variable adherencia tienen normalidad con un nivel de significancia de 5%.

En consecuencia, a la aceptación de la normalidad, se determinó que la existencia de datos es Paramétrico, para estudio se realizara por la técnica de Pearson.

4.5.5.2. Correlación

Mediante la utilización del programa estadístico conocido como SPSS, se utilizó la prueba de “correlacionar” para validar el grado de vinculación que existe entre las variables.

H_0 : Hipótesis nula: El índice de penetración no disminuye la adherencia.

H_1 : Hipótesis alterna: El índice de penetración si disminuye la adherencia.

Regla de decisión

Si **P- valor ≤ 0.05** , rechace la hipótesis nula.

Si **P- valor > 0.05** , no rechace la hipótesis nula.

Tabla 59

Correlación entre resistencia al corte y el índice de penetración.

N	r^a	Sig. (p-valor)	Decisión
9	0.974	0.146**	Se rechaza H_0

Nota: Los datos de resultados de laboratorio (Véase en el ANEXO 2). Fuente: Extraído del Programa IBM-SPSS.

r^a : Correlación de Pearson.

** : P-valor < 0.05

Interpretación y decisión

De la tabla anterior considerando la regla de decisión el p- valor se calcula que es menor a 5.00% (0.05) se rechazara la hipótesis nula puesto el nivel significancia (sig.) se da de la siguiente manera:

$$0.146 > 0.05$$

Entonces se acepta la hipótesis alternativa

Conclusión

Según el análisis el índice de penetración si disminuye la adherencia de forma directa con una intensidad alta de -0.974.



4.6. DISCUSIÓN

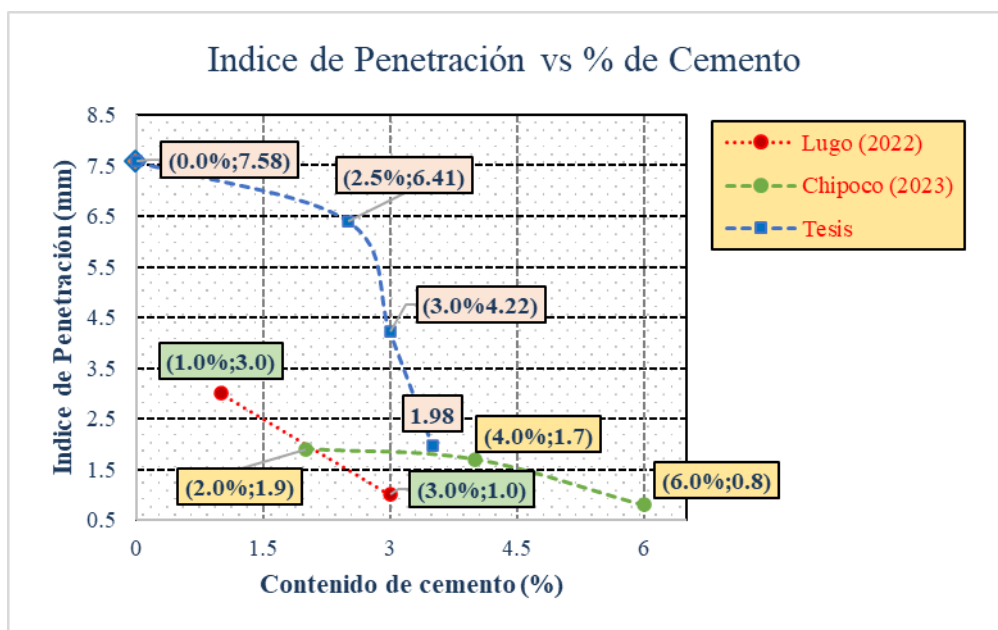
4.6.1. Porcentaje de contenido de cemento

A partir de los resultados, donde se efectuó la estabilización de suelo con cemento portland con diseños suelo-cemento de 2.5%, 3.0% y 3.5%, de los cuales los resultados de índice de penetración son 6.41 mm, 4.22 mm y 1.98 mm en condiciones óptimas. Estos resultados demostraron que, al incrementar el porcentaje de contenido de cemento en el diseño, los índices de penetración disminuyen en 39.73% ,50.38% y 76.1% respecto a la prueba patrón. Por ende, la razón de varianza es la presencia de mayor cantidad de finos en el diseño del suelo estabilizado generando ello una textura superficial de la base cerrada, pero a la vez está mejorando en su propiedad mecánica de la resistencia a la compresión. Estos resultados guardan relación con, Lugo (2022) realizó una imprimación asfáltica usando una emulsión EAP (Asphalt Emulsion Prime) sobre una base suelo - cemento donde concluye que la penetración alcanzados fueron de 3 mm y 1 mm de acuerdo con un diseño de suelo cemento de 1% y 3% respectivamente, con granulometría grava arenosa pobremente graduada (GP) y grava limosa de mediana plasticidad (GM), además el autor concluye que las emulsiones catiónicas con rotura lenta CSS-1 Y CSS-1H, no son idóneos para actividades de imprimación en bases tratadas con algún tipo de estabilizador. Por su parte Chipoco y Valdivia (2023) en su investigación determinan la sensibilidad de la penetración asfáltica en función a la variación del porcentaje de cemento del suelo estabilizado con porcentajes de 2%, 4% y 6% usando una emulsión de rotura lenta, logrando valores de índice de impregnación de 1.9 mm, 1.7 mm y 0.8 mm respectivamente, siendo estos resultados menores a los encontrados en esta

investigación. Por otro lado, la norma americana ASTM D2397 “Standard Specification for Cationic Emulsif Asphalt” establece usar emulsiones catiónicas de rotura lenta como material asfáltico para la imprimación de una superficie granular siendo fabricadas con residuos > 6 micras mas no para bases tratadas. La emulsión Bituprimer según ficha técnica (ANEXO 7) tiene partículas de residuo asfáltico < 5 micras explicando la penetración del material asfáltico en dichas texturas de bases cerradas. En ese sentido se puede deducir que a menor porcentaje de cemento se puede lograr mayores índices de penetración, pero no siendo ajeno a que se garantice una resistencia mínima de 1,8 MPa (18.35kg/cm²) a los 7 días de curado según la normativa MTC 1103.

Figura 52

Comparación de índices de penetración respecto al % de cemento.



Nota: Resultados simultáneos con diferentes % de cemento. Fuente: Elaboración propia.

Se muestra una comparativa de resultados que guardan relación con los que sostiene los autores referidos con la presente investigación.



4.6.2. Índice de penetración y la temperatura de aplicación.

En lo que respecta al índice de penetración y la temperatura de aplicación, según los hallazgos que cuando se adiciona 2.5% de cemento se alcanza un índice de penetración de 6.41 mm a una temperatura de 65°C, en cambio a 60°C y 70°C se alcanza un índice de penetración de 5.23 mm y 4.14 mm respectivamente. Cuando se adiciona 3.0% de cemento se alcanza un índice de penetración de 4.22 mm a una temperatura de 65°C, en cambio a 60°C y 70°C se alcanza un índice de penetración de 3.45 mm y 3.78 mm respectivamente; los resultados con 3.5% de dosificación guardan la misma relación a las anteriores. Estos valores demuestran que la temperatura optima es de 65°C. Se analiza también que a temperatura de 70°C el índice de penetración decrece donde podríamos sustentar q la ebullición causa un proceso de curado prematura; Estos resultados guardan relación con lo mencionado con Mercado et al. (2008) en su libro Emulsiones asfálticas usos - rompimientos indican que las temperaturas elevadas evaporan el agua y crean un aumento excesivo en la viscosidad y formando excesiva nata que inutiliza la emulsión y no aportando el objetivo de alcanzar mayores índices de penetración. Asi mismo, según Vidalon (2019) en su investigación menciona que al aumentar la humedad y la cantidad de agregado finos a una base granular disminuye considerablemente la penetración asfáltica, afirmando que la solución es el incremento de la temperatura para un mayor alcance de penetración, teniendo como resultados con un rango de 0 mm y 16.97 mm de índice de penetración con temperaturas de 14°C hasta los 60°C, el autor emplea una emulsión CSS-1h de rotura lenta. Por otro lado, Coyla (2023) realiza unidades prismáticas de base granular de la cantera Juliaca -Taparachi, según sus resultados de su material de imprimación MC-30 a 1.2 lt/m² de tasa de aplicación y a temperaturas de 20°C,



30°C, 40°C 50°C y 60°C determino profundidades de penetración de 3.39 mm, 4.00 mm, 7.54 mm, 7.66 mm y 9.77 mm respectivamente; concluyendo que la adición de temperatura mejora la profundidad de penetración en bases granulares. Por tanto, siendo directamente proporcional la temperatura con el índice de penetración.

4.6.3. Índice de penetración y la tasa de aplicación.

En lo que respecta al índice de penetración y la tasa de imprimación asfáltica en una base estabilizada con cemento. Estos resultados guardan relación con Coyla (2023) sostiene que el incremento de la tasa de imprimación mejora considerablemente la penetración de imprimación asfáltica, presenta resultados de penetración de 3.01mm, 3.82mm, 4.00mm y 5.82mm ensayadas con tasas de 0.7 lt/m², 1.0 lt/m², 1.2 lt/m² y 1.5 lt/m²; concluyendo finalmente que los mejores índices de penetración se alcanzaron con una tasa de 1.5 lt/m² en la base granular. Así mismo, Fernández y Paramo (2019) en su investigación usa 3 dotaciones de material asfáltico 0.8l t/m², 1.0l t/m² y 1.2lt/m² teniendo como resultados de entre 4 mm a 7 mm afirmando que las dosificaciones 1.0lt/m² y 1.2lt/m² son las más recomendables. En este trabajo de investigación se ensayó en el caso de diseño de 2.5% de cemento con tasas de imprimación de 0.8 lt/m², 1.0 lt/m² y 1.2 lt/m² teniéndose resultados de 4.56 mm, 5.27 mm y 6.41 mm respectivamente. Para el diseño de 3.0% de cemento los resultados fueron de 3.12 mm, 3.58 mm y 4.22 mm con tasas de 0.8 lt/m², 1.0 lt/m² y 1.2 lt/m² respectivamente y para 3.5% de cemento guarda relación con los resultados anteriores. Concluyendo que la relación directamente proporcional que se tiene en estos dos indicadores coincide con los trabajos de antecedentes.



4.6.4. Índice de penetración y el tiempo de curado.

Como tercera manipulación del material asfáltico la investigación se determinó el índice de penetración respecto y el tiempo de curado de la imprimación asfáltica en una base estabilizada con cemento según Coyla (2023) infiere que el curado influye directamente en la imprimación asfáltica en bases granulares de la cantera Taparachi obteniendo los resultados de investigación de 2.19mm, 3.05mm, 5.47mm y 5.95 mm evaluadas en tiempos de curado de 6 hrs, 12 hrs, 24 hrs y 48 hrs; concluyendo que a mayor tiempo la rotura sufre mayor desarrollo. Por su lado Fernández y Paramo (2019) en sus resultados afirma que cuando hizo la medición a las 12 horas de curado no es la misma a las 24 hrs de curado, pero si a los 8 meses, concluyendo 24 hrs alcanzó su curado completo. En este trabajo de investigación para un diseño de 2.5% de cemento se evaluó con tiempo de curados de 24 hrs, 48 hrs y 72 hrs en donde los resultados más óptimos fueron de 4.25 mm, 5.10 mm y 6.41 mm respectivamente. Para un diseño de 3.0% se obtuvo las profundidades de 3.10 mm, 3.87 mm y 4.22 mm con tiempos de curado de 24 hrs, 72 hrs y 48 hrs respectivamente, para un diseño 3.5% los resultados guardan relación con los anteriores; infiriendo con los antecedentes y nuestros resultados mostrados se puede concluir que a menor tiempo la penetración es parcial, mientras va surgiendo más horas se va volviendo en una penetración total del material asfáltico.

4.6.5. Índice de penetración y la adherencia.

Respecto al índice de penetración de imprimación asfáltica y la adherencia entre capas. Según Angoma y Mercado (2023) evalúa la resistencia en la interfase aplicando una carga indirecta a la liga, con el ensayo de tracción indirecta. El autor



en su conclusión afirma que tiene mayor adherencia en el interfaz con el asfalto cortado RC-250 alcanzado una resistencia máxima de 160.42 kg en la adherencia de una base estabilizada y un micropavimento, en esta prueba alcanzo índices de penetración mayores a 5 mm. Por otra parte, Sapei y González (2014) en sus resultados donde alcanzaron 6mm de imprimación alcanzaron una tensión tangencial de 277 a 200 kg.cm además el autor recomienda como rango estos valores de adherencia 0,60 MPa para capas de rodadura y 0,40 MPa para otras capas. En esta investigación se hace el ensayo de tracción indirecta de una base estabilizada usando la emulsión Bituprimer y un tratamiento superficial Otta Seal, obteniéndose índices de penetración de 2.5mm, 2.84 mm y 3.26 mm y resultados de resistencia a la adherencia 71.38 kg, 96.37 kg y 145.36kg respectivamente. Se tiene una relación con los resultados de los autores de los antecedentes afirmando imprimación sirve además como un puente de adherencia entre capas y coincidiendo con los resultados que a mayores índices alcanzados mayores la adherencia de la interfase.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: En esta investigación se analizó una problemática recurrente en carreteras con soluciones básicas donde se emplean este tipo de tratamientos a la base del pavimento, siendo la mayor limitación no alcanzar índices de penetración. Para este propósito no se optó por usar un imprimante convencional, por consiguiente, usamos una emulsión Bituprimer para imprimación asfáltica en material de cantera de la carretera Cáceres entre la carretera Arapa - Caminaca, donde evaluamos sobre una base estabilizada prueba patrón de 0.0% y con porcentajes de cemento de 2.5%, 3.0% y 3.5%. De la investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones específicas.

SEGUNDA: El porcentaje de contenido de cemento influye significativamente en el alcance de la profundidad de penetración, a medida que se adiciono 2.5%, 3.0% y 3.5% de cemento en la mezcla suelo-cemento disminuyo según se muestran los registros de 6.41 mm, 4.22 mm y 1.98 mm respectivamente frente a la prueba patrón equivalente a 7.58 mm. estos resultados alcanzados están en función una temperatura de 65°C, tasa de 1.2 lt/m² y un curado de 72 hrs. Estas consideraciones fueron tomadas de las Especificaciones Técnicas del manual de carreteras MTC (2013). Concluyendo que estos indicadores son inversamente proporcionales, a mayor porcentaje de contenido de cemento menores son los índices de penetración alcanzados.



TERCERA: A su vez, respecto a los requerimientos para la aplicación de la imprimación asfáltica se evidencio que influye significativamente en los índices de penetración. En la experimentación se concluye: Con diseño de 2.5% de cemento a medida que se adicione mayor temperatura de 60°C, 65°C y 70°C dieron lecturas de penetraciones 5.23 mm, 6.41 mm y 4.14 mm respectivamente; a medida que se adicione mayores tasas de imprimación de 0.8lt/m², 1.0lt/m² y 1.2lt/m² dieron lecturas de penetraciones 4.56 mm, 5.27 mm y 6.41mm respectivamente y a medida que se adicione mayor tiempo de curado de 24hrs, 48hrs y 72hrs dieron lecturas de penetraciones mm, 4.25 mm, 5.10 mm y 6.41 mm respectivamente. Con diseño de 3.0% de cemento a medida que se adicione mayor temperatura de 60°C, 65°C y 70°C dieron lecturas de penetraciones 3.78 mm, 4.22 mm y 3.45 mm respectivamente; a medida que se adicione mayores tasas de imprimación de 0.8lt/m², 1.0lt/m² y 1.2lt/m² dieron lecturas de penetraciones 3.12 mm, 3.58 mm y 4.22 mm respectivamente y a medida que se adicione mayor tiempo de curado de 24hrs, 48hrs y 72hrs dieron lecturas de penetraciones mm, 3.10 mm, 3.87 mm y 4.22 mm respectivamente. al 3.5% a medida que se adicione mayor temperatura de 60°C, 65°C y 70°C dieron lecturas de penetraciones 1.22 mm, 1.98 mm y 1.67 mm respectivamente; a medida que se adicione mayores tasas de imprimación de 0.8lt/m², 1.0lt/m² y 1.2lt/m² dieron lecturas de penetraciones 1.22 mm, 1.51 mm y 1.98 mm respectivamente y a medida que se adicione mayor tiempo de curado de 24hrs, 48hrs y 72hrs dieron lecturas de penetraciones mm, 1.52 mm, 1.67 mm y 1.98 mm



respectivamente. Concluyendo que estos indicadores son directamente proporcionales.

CUARTA: Finalmente, se ha mostrado por medio de la tracción indirecta una alternativa para conocer la adherencia mediante la resistencia al corte, que a mayor medida de índices de penetración alcanzados de 2.35mm, 2.84mm y 3.26mm, se obtuvieron valores de resistencia del interfaz de 71.38kg, 96.37kg y 145.36kg, Concluyendo que a mayores índices de penetración aporta una mayor resistencia a la interfaz entre las capas de la base estabilizada con cemento y el tratamiento superficial, habiendo una relación directa en las variables.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda realizar y verificar los índices de penetración de imprimaciones asfálticas realizadas en estabilizaciones químicas (como base estabilizada con cal, base estabilizada con emulsión, base estabilizada con polímeros, etc.) puesto que no se tiene mucha información del comportamiento del material bituminoso en ese tipo de bases.
- SEGUNDA:** Se debería incluir en futuras investigaciones realizar la imprimación asfáltica en distintos tipos de husos granulométricos haciendo la variación del % de agregados finos y agregados gruesos. Además, la imprimación asfáltica ampliando los rangos de variación del % de cemento en el diseño de la base para tener una data que nos acerque mucho más a la realidad
- TERCERA:** Se recomienda realizar y verificar los índices de penetración no solamente en laboratorio ya que esto es as controlado e ideal sino evaluar el comportamiento del pavimento respecto al riego de imprimación en lugares con mayor altitud, donde se presenta temperaturas bajas y congelamientos durante todo el día y se deben ejecutar partidas de imprimación para continuar los trabajos programados.
- CUARTA:** También, se recomienda realizar más ensayos de adherencia que tienen y contemplan las normas europeas y brasileñas ya que no se tiene equipos necesarios para ello,



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Oficina General de Planeamiento y Presupuesto, M. (2022). *INFORME MULTIANUAL DE INVERSIONES EN ASOCIACIONES PUBLICO PRIVADAS 2020-2023*.

Lima.

Alarcon Diaz, F. (2023). *Comparación entre imprimación reforzada con emulsión asfáltica CSS- 1h y MC-30 en la trocha carrozable Payesa, entrada al Bosque de Pómac, Túcume*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12423/6208>

Angoma Garcia, S. K., & Mercado Ponce, A. A. (2023). *Análisis de la efectividad mecánica de la interfaz del riego de liga entre el micro pavimento y bases estabilizadas, constituidas con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados - Huancayo 2021*. Obtenido de

<https://hdl.handle.net/20.500.12394/13124>

Association, P. C. (2023). *America's Cement Association*. Recuperado el 2024, de Florida Cement-Treated Base Says "No" to Cracks:

[https://www.cement.org/cement-concrete/cement-specific-materials/cement-treated-base-\(ctb\)/cement-treated-base-\(ctb\)-case-histories/florida-cement-treated-base-\(ctb\)-says-no-to-cracks](https://www.cement.org/cement-concrete/cement-specific-materials/cement-treated-base-(ctb)/cement-treated-base-(ctb)-case-histories/florida-cement-treated-base-(ctb)-says-no-to-cracks)

Benites Huarcaya , J. (2022). *Efecto de la temperatura de la emulsión catiónica tipo CSS-1H para imprimación de bases granulares*. Universidad Peruana Los Andes. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/5352>

BITUPER. (2018). *Emulsion para imprimacion, BITUPRIMER*. Lima.

Borja Suarez, M. (2016). *Metodologia de la investigacion para ingenieros*.



- Cemento, F. I. (2007). *El Estado del Arte del. Suelocemento en Estructuras de Pavimentos.*
- Chamorro Arellano, V. (2019). *CRITERIOS PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS PARA RIEGO DE IMPRIMACIÓN CUMPLIENDO CON LAS NORMATIVAS VIGENTES EN EL ECUADOR.* Repositorio Universidad San Francisco de Quito. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9010>
- Chipioco Diaz, M., & Valdivia Caceres, C. (2023). *Verificación de efectividad de imprimación asfáltica para la impermeabilización de bases estabilizadas con cemento, carretera Los Ángeles - Yacango, Moquegua, 2023.* Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/114280>
- Comunicaciones, M. d. (2008). *MANUAL PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADS DE BAJO VOLUMNE DE TRANSITO.* Lima, Perú. Obtenido de <https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/manualdedisenodecarreterasnopavimentadasdebajovolumentetransito.pdf>
- Fernández, G., & Páramo, J. (2019). *IMPRIMACION CON EMULSIONES ASFALTICAS.* CONGRESO IBERO LATINOAMERICANO DE ASFALTO. Obtenido de https://www.ateb.es/pdf/Imprimacion_de_emulsiones_asfalticas.pdf
- Freeman, T., Button, J., & Estakhri, C. (2010). *Effective prime coats for compacted pavement bases.* Obtenido de <http://tti.tamu.edu/documents/0-5635-1.pdf>
- G., R. C. (1971). *Suelo-cemento.* Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Ichpas Lima, I. L. (2022). *Efecto de la adición de aceite de palma en la calidad de la imprimación asfáltica aplicada con asfalto diluido MC-30 en bases granulares*



convencionales - Huancayo 2021. Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11452>

Kasthurirathna, A. (2018). *ESTIMATION OF PENETRATION REQUIREMENTS*. University of Moratuwa. Obtenido de <http://dl.lib.mrt.ac.lk/handle/123/13246>

Kröger, I., & Kröger, S. (2018). *Tratamiento superficiales de alto desempeño*. Montevideo: Grupo Bitafal.

Lugo Alvarez, E. (2022). *Imprimación asfáltica con emulsión especial EAP en bases tratadas con cemento portland, para optimizar la adherencia de la capa bituminosa*. Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5503>

Mayta Mendoza, M. E. (2018). *Efecto del % finos de la grava y la temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en la profundidad de penetración de la imprimación en bases granuladas de pavimentos flexibles Huancayo 2017*. Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4657>

Mendez Alvarez, C. E. (2020). *Metodología de la investigación: Diseño y desarrollo del proceso de investigación en ciencias empresariales*. Bogotá: Alpha Editorial S.A.

Mercado, R. (2016). Construction and Building Materials. *Asphalt emulsions formulation: State-of-the-art and dependency of formulation on emulsions properties*, 123, 162-173. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.129

Mercado, R., & Avendaño, J. (2008). *Emulsiones asfálticas - uso y rompimiento*. Mérida: Cuaderno FIRP.

Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodologicas para alternativas técnicas de pavimentos en PIP de carretera*. Lima.



- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Documento Técnico Soluciones Básicas en Carreteras No Pavimentadas*. Lima.
- Moreano, V. (2023). *Emulsiones para imprimación en la construcción de carreteras*. Obtenido de TDM Peru: <https://www.tdm.com.pe/noticias-56-emulsiones-para-imprimacion/>
- Orellana Muñoz, J. (2021). *Aplicación de la emulsión imprimante Primetec en la conservación de la base granular - Huancayo*. Universidad Peruana Los Andes. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/2229>
- Ouyang, J., Meng, Y., Tang, T., Miljkovic, M., & Tanc, Y. (2021). Characterization of the drying behaviour of asphalt emulsion. *Construction and Building Materials*, 274(122090). doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.122090
- Overby, C. (1999). *Guía Para el Uso del Metodo Otta Seal* (Vol. 93). Obtenido de <http://hdl.handle.net/11250/189976>
- Pacheco Torgal, F., Labrincha, J., Leonelli, C., Palomo, A., & Chindaprasirt, P. (2015). *Handbook of alkali-activated Cements, Mortars and concretes*. doi:10.1016/C2013-0-16511-7



- Peseros Aliaga, J. (2022). *Emulsión Asfáltica Catiónica Tipo Css-1p Modificada con Diesel Empleada en Imprimación Asfáltica de Bases Granulares*. Universidad Peruana Los Andes. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4051>
- Piqueras, V. Y. (2013). *Riegos de imprimación y de adherencia*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.
- Rivera Lira, B., & Saleh Dawabe, A. (2014). *Maquinaria pesada y funcionalidades en la construcción de pavimentos asfálticos*. UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago.
- Rivera, J. (2015). “*La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país*”. Recuperado el 25 de 12 de 2023, de Universidad de Piura:
<https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/12/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>
- Salgado Garcia, A. P., & Salgado Garcia, N. (2023). *Evaluación superficial del tratamiento Otta Seal mediante métodos no destructivos en el mejoramiento del corredor vial PE-3SQ tramo Lampa - Palca, 2023*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20951>
- Sanjuán Barbudo, M., & Chinchón Yepes, S. (2014). *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. España: Universidd de Alicante.
- Sapei, J., & Rubén, G. (2014). Infraestructura Vial 2014. *EMULSIONES DE IMPRIMACIÓN, SU APORTE EN LA ADHERENCIA*, 16(33-43). Recuperado el 11 de 01 de 2024, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4782>
- Solminihac, H., Echeverría, G., & Thenoux, G. (2019). Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. Obtenido de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/323>



Structures., A. G. (1993). *AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS*.

Talavera, R. R., Meneses, V. M., & Madrid, M. M. (2001). *Emulsiones Asfálticas*. (I. M. TRANSPORTE, Ed.) Mexico. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/documentotecnico/dt23.pdf>

TDM Asfaltos. (2012). *FICAH TECNICA PRIMETEC*. Lima.

TORO, J. R. (2019). *ESTUDIO DE LA TÉCNICA DE SUELO-CEMENTO PARA LA ESTABILIZACIÓN*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/140c5ce1-5c92-4735-a9fd-69ed64b95d9e/content>

Vidalon Ledesma, J. (2019). *Propiedades negativas de la base granular y temperatura de aplicación de la emulsión asfáltica en profundidad de penetración de la imprimación asfáltica – Huancayo 2018*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5377>

Villa Chaman, V. (2007). *RECICLADO IN SITU EN FRÍO DE PAVIMENTOS EMPLEANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS – APLICACIÓN Colegio FAP Manuel Polo Jiménez, Urb. San Gabino –Santiago de Surco*. Univerdad Peruana de Ciencais Aplicadas, Lima.

Wang, G., Yi Wang, D., & Ning Li, D. (2017). *Construction and Building Materials. Laboratory study and performance evaluation of a new type of prime coat material used on cement treated base, 147, 588-597.*
doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.04.144

Xianping, Z., Jialin Xu, X., Yingchun , C., & Yao , T. (2022). *Applied Sciences. Properties and Preparation of a New High-Permeability Emulsified Asphalt and Its Modification, 12(12730)*. doi:10.3390/app122412730



Yana Sucasaca, H., & Coila Calatayud, C. (2023). *Influencia de propiedades físicas de bases granulares de la cantera taparachi en la penetración de imprimación Asfáltica, Juliaca, Puno, 2023*. Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/114043>



ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia.

ANEXO 2: Resultados de índices de penetración.

ANEXO 3: Instrumentos utilizados.

ANEXO 4: Calculo de cantidad de material asfaltico.

ANEXO 5: Calculo para colocación de capa bituminosa.

ANEXO 6: Ficha técnica del cemento.

ANEXO 7: Ficha técnica de la emulsión

ANEXO 8: Constancia de laboratorio.

ANEXO 9: Certificados de laboratorio.

ANEXO 10: Certificados de calibración.

ANEXO 11: Planos.

ANEXO 12: Panel fotográfico.



ANEXO 13: Declaración jurada de autenticidad de tesis.



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JHON AIVARO CONDORI ARCE
identificado con DNI 70072929 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA CIVIL

Informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA EN UNA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO
PORTLAND USANDO EMULSIÓN BITUPRIMER PARA OPTIMIZAR
EL ÍNDICE DE PENETRACIÓN, CARRETERA ARAPA-CAMINACA, 2023 "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de Septiembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 14: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JUAN ALVARO CONDORI ARCE,
identificado con DNI 70072529 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA EN UNA BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO PORTLAND USANDO EMULSIÓN BITUPRIMER PARA OPTIMIZAR EL ÍNDICE DE PENETRACIÓN, CARRETERA ABAPA - CAMINACA 2023 "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de Septiembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella