

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**UPLA**  
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

**TESIS**

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO  
MECÁNICAS DE LAS BASES GRANULARES  
TRATADAS CON HORMIGON ASFÁLTICO  
REUTILIZADAS EN UNA PAVIMENTACIÓN**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Civil**

**Autor:**

**BACH. BENDEZU ENCISO, Jorge Armando**

**Asesor:**

**ING. NATALY LUCIA CORDOVA ZORRILLA**

**Línea de Investigación Institucional:**

**Nuevas Tecnologías y Procesos**

**Huancayo – Perú**

**2024**

**ASESOR**

**ING. NATALY LUCIA CORDOVA ZORRILLA**

**DEDICATORIA**

*A mi querida familia que es fuente  
de inspiración*

*Dedicado a mi madre Angélica por  
su apoyo incondicional*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis seres queridos que día a día apostaron por mí, brindándome apoyo de forma incondicional.

A los maestros que impartieron en mí nuevos conocimientos, para luego aplicar para el beneficio de la sociedad.

A mi universidad alma mater que me cobijó durante el desarrollo profesional.

## CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0136- FI -2024

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

### ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LAS BASES GRANULARES TRATADAS CON HORMIGON ASFÁLTICO REUTILIZADAS EN UNA PAVIMENTACIÓN

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **BACH. BENDEZU ENCISO JORGE ARMANDO**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) : **ING. CORDOVA ZORRILLA NATALY LUCIA**

Fue analizado con fecha **11/03/2024**; con **106 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

**Excluye Bibliografía.**

X

**Excluye citas.**

X

**Excluye Cadenas hasta 20 palabras.**

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **22** %.

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

Observaciones:

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

Huancayo, 11 de marzo de 2024.



**MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI**

**JEFA**

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

**HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADOS**

---

Presidente

---

JURADO N°01

---

JURADO N°02

---

JURADO N°03

---

Secretario Docente

**INDICE**

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DE TABLA.....</b>	<b>X</b>
<b>INDICE DE FOTOGRAFIA .....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XVII</b>

**CAPÍTULO I****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. Descripción de la realidad Problemática .....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1. Problema general .....	17
1.2.2. Problemas específicos.....	17
1.3. Justificación de la investigación .....	17
1.3.1. Justificación practica .....	17
1.3.2. Justificación científica .....	17
1.3.3. Justificación metodológica .....	18
1.4. Delimitación de la investigación .....	18
1.4.1. Delimitación Espacial.....	18
1.4.2. Delimitación Temporal.....	18
1.5. Limitaciones .....	18
1.5.1. Limitación de espacio .....	18
1.5.2. Limitación de tiempo.....	18
1.6. Objetivos de la investigación.....	18
1.6.1. Objetivo general .....	18
1.6.2. Objetivos específicos.....	18

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	20
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	22
2.2. Bases conceptuales .....	25
2.2.1. Pavimento.....	25
2.2.2. Reciclaje de pavimentos flexibles.....	31
2.2.3. Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en frío .....	37
2.2.4. Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en caliente.....	39
2.2.5. Diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall.....	40
2.2.6. Ensayos de laboratorio .....	44
2.3. Definiciones de términos .....	44
2.4. Formulación de Hipótesis.....	45
2.4.1. Hipótesis general.....	45
2.4.2. Hipótesis específicas .....	45
2.5. Variables .....	45
2.5.1. Definición conceptual de las variables.....	45
2.5.2. Definición operacional de las variables .....	46
2.6. Definición Operacional de variables.....	47

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1. Método de la Investigación.....	48
3.2. Tipo de Investigación .....	48
3.3. Nivel de la Investigación .....	48
3.4. Diseño de la Investigación .....	49
3.5. Población, muestra y el muestreo .....	50
3.5.1. Población.....	50



3.5.2. Muestra.....	50
3.6. Técnicas e instrumentos de investigación.....	52
3.6.1. Técnicas de recolección de datos .....	52
3.6.2. Instrumentos en la recolección de datos .....	52
3.7. Recolección de datos – Ensayos de laboratorio .....	54
3.7.1. Evaluación de la propiedades de los agregados. ....	54
3.7.2. Límites de Atterberg – NTP 339.129 .....	54
3.7.3. Proctor Modificado – ASTM (D-1557).....	56
3.7.4. Valor relativo del Soporte CBR– AASHO T-180 D .....	58
3.7.5. Análisis Mecánico por tamizado NTP 339.128 .....	60

#### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS**

4.1. Análisis Técnico .....	62
4.1.1. Ensayo de Limites de Atterberg (Norma Técnica Peruana NTP 339.129) ..	62
4.1.2. Proctor Modificado (Norma Técnica Peruana NTP 339.141).....	68
4.1.3. C.B.R (Norma Técnica Peruana NTP 339.145).....	71
4.1.4. Análisis Granulométrico por tamizado .....	73
4.1.5. Control de núcleos asfálticos.....	76
4.2. Análisis Estadístico .....	80
4.2.1. Contrastación de hipótesis y coeficientes de correlación. ....	80

#### **CAPITULO IV**

#### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

5.1. Discusión de resultados con antecedentes Internacionales.....	95
5.2. Discusión de resultados con antecedentes Nacionales .....	96

**CONCLUSIONES .....** **98**

**RECOMENDACIONES.....** **99**

**REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....** **100**

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Estructura del pavimento.....	26
<b>Ilustración 2.</b> Cementos Asfálticos por penetración.....	30
<b>Ilustración 3.</b> Maquina fresadora en frio: compactas y grandes. ....	32
<b>Ilustración 4.</b> Planta de asfalto discontinua. ....	33
<b>Ilustración 5.</b> Planta de asfalto Continua. ....	34
<b>Ilustración 6.</b> Reciclaje de recuperación de profundidad. ....	37
<b>Ilustración 7.</b> Esquema del diseño de la investigación ....	49
<b>Ilustración 8.</b> Tabla de precisión y estimación ....	56
<b>Ilustración 9.</b> Comportamiento Porcentual del Limite Liquido.....	63
<b>Ilustración 10.</b> Comportamiento Porcentual del Limite Plástico.....	65
<b>Ilustración 11.</b> Comportamiento Porcentual del Índice de Plasticidad.....	67
<b>Ilustración 12.</b> Variabilidad del optimo contenido de humedad.....	69
<b>Ilustración 13.</b> Variabilidad de la máxima densidad seca ....	71
<b>Ilustración 14.</b> Variabilidad de capacidad de soporte al 100% de la M.D.S.....	72
<b>Ilustración 15.</b> Variabilidad de capacidad de soporte al 100% de la M.D.S.....	72
<b>Ilustración 16.</b> Variabilidad de la combinación granulométrica ....	75
<b>Ilustración 17.</b> Variabilidad del peso específico Bulk.....	77
<b>Ilustración 18.</b> Variación de la estabilidad a la dosificación de hormigón asfáltica. ....	79

## INDICE DE TABLA

<b>Tabla 1.</b> Requerimientos de calidad del agregados grueso .....	28
<b>Tabla 2.</b> Requerimientos de calidad del agregados fino .....	28
<b>Tabla 3.</b> Gradación para mezclas asfálticas en Caliente (MAC).....	29
<b>Tabla 4.</b> Especificaciones Técnicas para cementos asfalticos por penetración.....	29
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de diseño para mezclas bituminosas.....	30

**Tabla 6.** Fresadora WIRTGEN..... 32

**Tabla 7.** Granulometría de los agregados pétreos..... 38

**Tabla 8.** Granulometría de los agregados pétreos (partículas gruesas). ..... 38

**Tabla 9.** Granulometría de los agregados pétreos (partículas finas). ..... 39

**Tabla 10.** Granulometría de la adición de agregados gruesos ..... 40

**Tabla 11.** Granulometría de la adición de agregados finos..... 40

**Tabla 12.** Granulometría de la adición de agregados ..... 43

**Tabla 13.** Diámetro nominal de las partículas..... 60

**Tabla 14.** Valores porcentuales del Limite Liquido. .... 62

**Tabla 15.** Valores porcentuales del Limite Plástico..... 64

**Tabla 16.** Valores porcentuales del Indice de Plasticidad. .... 66

**Tabla 17.** Valores de los óptimos contenidos de Humedad. .... 68

**Tabla 18.** Valores de la Máxima Densidad Seca. .... 70

**Tabla 19.** Valores del CBR. .... 71

**Tabla 20.** Combinación Granulométrica de canteras.( 1.00 BG+ 0.00 HA) ..... 73

**Tabla 21.** Combinación Granulométrica de canteras.( 0.80 BG+ 0.20 HA) ..... 73

**Tabla 22.** Combinación Granulométrica de canteras.( 0.75 BG+ 0.25 HA) ..... 74

**Tabla 23.** Combinación Granulométrica de canteras.( 0.70 BG+ 0.30 HA) ..... 74

**Tabla 24.** Valores del Peso específico Bulk (0.80 BG+ 0.20 HA). .... 76

**Tabla 25.** Valores del Peso específico Bulk (0.75 BG+ 0.25 HA). .... 76

**Tabla 27.** Valores del Peso específico Bulk (0.70 BG+ 0.30 HA). .... 77

**Tabla 27.** Valores del Peso específico Bulk (0.80 BG+ 0.20 HA). .... 78

**Tabla 28.** Valores del Peso específico Bulk (0.75 BG+ 0.25 HA). .... 78

**Tabla 29.** Valores del Peso específico Bulk (0.70 BG+ 0.30 HA). .... 79

**Tabla 30.** Análisis estadístico del Limite Liquido (1.00 BG+ 0.00 HA) ..... 80

**Tabla 31.** Análisis estadístico del Limite Liquido (0.80 BG+ 0.20 HA) ..... 80

**Tabla 32.** Análisis estadístico del Limite Liquido (0.75 BG + 0.25 HA) ..... 81

<b>Tabla 33.</b> Análisis estadístico del Limite Liquido (0.70 BG + 0.30 HA) .....	82
<b>Tabla 34.</b> Prueba de hipótesis sobre el Límite Liquido (0.75 BG + 0.25 HA) .....	83
<b>Tabla 35.</b> Análisis estadístico de la Máxima Densidad seca (1.00 BG+ 0.00 HA) .....	84
<b>Tabla 36.</b> Análisis estadístico de la Máxima Densidad seca (0.80 BG+ 0.20 HA) .....	84
<b>Tabla 37.</b> Análisis estadístico de la Máxima Densidad seca (0.75 BG+ 0.25 HA) .....	85
<b>Tabla 38.</b> Análisis estadístico de la Máxima Densidad seca (0.70 BG+ 0.30 HA) .....	86
<b>Tabla 39.</b> Prueba de hipótesis a la Máxima Densidad Seca (0.75 BG + 0.25 HA) .....	86
<b>Tabla 40.</b> Análisis estadístico del CBR con (1.00 BG+ 0.00 HA) .....	88
<b>Tabla 41.</b> Análisis estadístico del CBR con (0.80 BG + 0.20 HA) .....	88
<b>Tabla 42.</b> Análisis estadístico del CBR con (0.75 BG + 0.25 HA) .....	89
<b>Tabla 43.</b> Análisis estadístico del CBR con (0.70 BG + 0.30 HA) .....	89
<b>Tabla 44.</b> Prueba de hipótesis del CBR al 95% de su M.D.S (0.75 BG + 0.25 HA) .....	90
<b>Tabla 45.</b> Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.80 BG+ 0.20 HA).....	91
<b>Tabla 46.</b> Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.75 BG+ 0.25 HA).....	92
<b>Tabla 47.</b> Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.70 BG+ 0.30 HA).....	93
<b>Tabla 48.</b> Prueba de hipótesis de los Núcleos asfálticos (0.75 BG + 0.25 HA) .....	93

#### **INDICE DE FOTOGRAFIA**

<b>Fotografía 1.</b> Ubicación del laboratorio de ensayos .....	50
<b>Fotografía 2.</b> Vista frontal del laboratorio de Ensayos.....	51
<b>Fotografía 3.</b> Prueba de campo .....	52
<b>Fotografía 4.</b> Límites de Atterberg.....	56
<b>Fotografía 5.</b> Proctor modificado .....	58
<b>Fotografía 6.</b> Prueba en prensa CBR.....	59
<b>Fotografía 7.</b> Ensayo de granulometría de material de base. ....	61
<b>Fotografía 8.</b> Combinación granulométrica. ....	67
<b>Fotografía 9.</b> Combinación granulométrica para análisis. ....	75

## RESUMEN

La tesis titulada: Análisis de las propiedades físico mecánicas de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación, tiene como objetivo el efecto de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación en las propiedades físico – mecánico, obtenido que las bases granulares mezcladas con hormigón asfáltico mejora las propiedades físico mecánicas en proporciones de 20% de volumen total para ello sea aplicado una metodología de tipo aplicada de nivel explicativo y diseño Experimental, se ha considerado una población definida y una muestra a las condiciones de la ciudad de Huancayo, se realizará un análisis más detallado del comportamiento de la mezcla tratada y colocada.

**Palabras claves:** Propiedades, físico-mecánicas, hormigón asfáltico.

## **ABSTRACT**

The thesis entitled: Analysis of the physical-mechanical properties of the granular bases treated with asphalt concrete reused in a pavement, has as its objective the effect of the granular bases treated with asphalt concrete reused in a pavement in the physical-mechanical properties, obtained that the granular bases mixed with asphalt concrete improves the physical-mechanical properties in proportions of 20% of the total volume, for which an applied methodology of explanatory level and Experimental design is applied, a defined population and a sample of the conditions of the city have been considered of Huancayo, a more detailed analysis of the behavior of the mixture treated and placed.

**Keywords:** Properties, physical-mechanical, asphalt concrete.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se llevó a cabo durante los años 2021-2023 con el objetivo de plantear y analizar una alternativa en el proceso constructivo con el fin de poder mejorar las propiedades mecánicas de las bases granulares mezcladas con hormigón asfáltico aumentando la durabilidad del paquete estructural de la vía.

Para el desarrollo de la presente investigación, se llevó a cabo un estudio sobre el tratamiento de bases granulares mezcladas con hormigón asfáltico para mejorar las condiciones del pavimento. Esta investigación se realizó como parte de mi formación académica en la Universidad Peruana los Andes, especializándome en la rama de transportes. La investigación se estructuró en 5 capítulos para facilitar su comprensión:

### **CAPÍTULO I: Planteamiento del Problema de la investigación**

Se da conocer la problemática planteada, los objetivos y las hipótesis planteadas en esta investigación.

### **CAPÍTULO II: Marco Teórico**

Se coloca las bases conceptuales establecidas, los antecedentes internacionales y nacionales, operacionalización de variables.

### **CAPÍTULO III: Metodología de la investigación**

Se define la metodología establecida para el desarrollo de la investigación presentando así el sustento metodológico de lo establecido en esta investigación.

### **CAPÍTULO IV: Análisis de datos e Interpretación de Resultados**

Se presenta los resultados obtenidos en el análisis de la investigación presentada con elementos técnicos y metodológicos justificatorios.

### **CAPÍTULO V: Discusión de Resultados**

Se presenta la contrastación de resultados con la investigaciones evaluadas realizando una discusión de resultados sobre los valores obtenidos.

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad Problemática

A nivel mundial el uso de mezclas asfálticas en caliente para la pavimentación de vías de comunicación ha sido una alternativa muy practicada durante muchos años desde el uso en culturas antiguas como Roma, los griegos logrando implementar cada vez mejor el uso de mezcla asfáltica y logrando consolidar según los estudios realizados por el Instituto de asfalto una dosificación de agregados pétreos y un ligante asfáltico que permitió compenetrar mejor y lograr una superficie uniforme, homogénea y compenetrada.

El diseño de un pavimento flexible tiene un promedio de durabilidad de 20 años siendo este tiempo la vida útil de la vía pavimentada y transcurrido este tiempo sin un buen mantenimiento esta vía queda deteriorada teniendo que realizar un estudio de un recapeo o realizar una construcción nueva, lo cual determina que se necesita tomar en cuenta nuevos recursos como agregados pétreos, ligante asfáltico, material granular estabilizaciones de sub base y bases granulares lo lleva a un costo muy alto realizar una construcción nueva.

Es por ello que ante la dificultad de los escasos recursos se plantea la utilización de ese pavimento desechado sirva para mejorar las propiedades de la base granular realizando un mezclado y analizando la variación de las propiedades físico mecánicas, siendo este un componente que mejoraría la estabilidad de bases granulares, un mejor control de recursos de los agregados.



## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la variación de las propiedades físico mecánicas de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cómo varía los límites de Atterberg de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación?
- b) ¿Cómo varía la capacidad de soporte de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación?
- c) ¿En qué medida varía la deflectometría de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación?

## **1.3. Justificación de la investigación**

### **1.3.1. Justificación práctica**

Se analizó las propiedades del material asfáltico reutilizado con el fin de plantear un proceso sobre el diseño de la mezcla asfáltica caliente con la utilización de asfalto reciclado el cual ha cumplido las diferentes especificaciones y las normativas establecidas.

Sobre el material extraído reciclado envejecido ha analizado e identificado las propiedades y de las características sobre las bases granulares combinadas con el cemento asfáltico reciclado donde la combinación granulométrica es realizada con diferentes porcentajes con materiales granulares obteniendo un mejor comportamiento mecánico para ello se realizó estudios con la corroboración de las propiedades físico mecánicas de las bases granulares modificadas.

### **1.3.2. Justificación científica**

La justificación científica reside dirigida a la población en general, el uso excesivo de recursos naturales que permitirán mejorar su resistencia al desgaste sobre los agentes climáticos.

### **1.3.3. Justificación metodológica**

La metodología es un instrumento que está diseñado y permitió elaborar e recopilar información a través de la observación el cual presentara un esquema el cual evalúa sobre el punto de vista esquematizando mejor la metodología de la investigación planteada.

## **1.4. Delimitación de la investigación**

### **1.4.1. Delimitación Espacial**

La delimitación espacial de la presente investigación fue realizada para las diferentes condiciones climáticas de la ciudad de Huancayo, región Junín.

### **1.4.2. Delimitación Temporal**

La delimitación temporal está definida mes de octubre del 2021 hasta marzo del 2022 haciendo un total de 06 meses.

## **1.5. Limitaciones**

### **1.5.1. Limitación de espacio**

La limitación del espacio son las condiciones climáticas en la región Junín dentro de un margen de densidad vehicular desarrollado en octubre del 2021 hasta marzo del 2022.

### **1.5.2. Limitación de tiempo**

La limitación del tiempo para mi investigación es un periodo de 06 meses.

## **1.6. Objetivos de la investigación**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar las propiedades físico mecánicas de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- a) Evaluar la variación de los límites de Atterberg de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.

- b) Determinar la variación de la capacidad de soporte de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.
- c) Analizar la deflectometría de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### *2.1.1. Antecedentes Internacionales*

Ramos Vásquez & Lozano Gomez (2019), realizo la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos, el cual fija como **objetivo general:** Estudiar las diferentes propiedades físico-mecánicas de un suelo a nivel de la subrasante, mediante el uso de aditivos alternativos como las cenizas de carbón y convencionales (cal), empleando la **metodología:** cualitativa con un diseño de investigación experimental, consiguiendo el **resultado:** Se pudo verificar que a la obtención de resultados mencionados el ensayo de proctor modificado donde se obtuvo un mejor resultado para las condiciones que posee la base del suelo y que con una densidad optima el cual presenta un valor mayor que los obtenidos anteriormente. La humedad propia del material donde se pudo verificar que las muestras de cal y las muestras elaboradas con cenizas presentan un porcentaje óptimo de 15% y 19% para dosificaciones menores de agua en las muestras con cal **concluyendo:** Según los valores obtenidos en las pruebas realizadas para poder estabilizar un suelo con diferentes aditivos alternativos donde las propiedades mecánicas y propiedades físicas presentan resultados diferenciados para las diferentes concentraciones. Con los resultados obtenidos sobre las muestras con Cal realizando una mejor estabilización del suelo clasificándolo como S90-C10 y donde para el mayor esfuerzo que soporta se mantiene una relación entre la calidad y el precio, en el caso de las cenizas para una mejor mezcla se realiza una estabilización del suelo denominándolo S60-CCM40, donde se obtiene una mezcla con mejores

resultados sobre las pruebas realizadas mejorando significativamente sobre la base obteniendo una mejor relación entre la calidad y el precio, además de poder analizar los costos de la estabilización mediante el uso de cal es altamente costoso generando un problema contrario al uso del aditivo de ceniza, donde se recomienda poder realizar estabilizaciones de los suelos con el uso de ceniza ya que reduce el costo y mejora significativamente el suelo.

Gonzales Figuera (2018), realizo la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Estabilización de suelos por medios mecánicos con reutilización de pavimentos modificados, el cual fija como **objetivo general:** Determinar la forma más exacta y mecánica para el estudio sobre la estabilización de suelos, donde se emplea una **metodología:** Cuantitativa con un diseño de investigación experimental, consiguiendo el **resultado:** Los valores obtenidos son muy variables donde se obtiene el valor de CBR, aplicando una mezcla de dosificación de 52,6% del valor de CBR hasta un valor de 91.5% del valor del CBR ya que los valores obtenidos según la grafica presentada del CBR (95%) sobre el grado de compactación, **concluyendo:** Al utilizar cualquiera de las dos arenas tanto la sílice como la azul, ambas obtienen valores muy similares de CBR.

Andia Rodriguez & Buendia Galvez (2019), realizo la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Estabilización de suelos tratando pavimentos reciclados en la ciudad de Bogotá - Colombia, el cual fija como **objetivo general:** Determinar el uso de cal hidratada para poder estabilizar las vías siendo suelos cohesivos, donde se emplea una **metodología:** cuantitativa con un diseño de investigación experimental, consiguiendo el **resultado:** Las diferentes características de los suelos de esta comunidad que son clasificados según HRB, el que propone diferentes concentraciones o diferentes porcentajes de cal para poder lograr una estabilización y poder comparar las diferentes condiciones de un suelo estabilizado y un suelo sin estabilizar de los diferentes suelos cohesivos para esta comunidad, **concluyendo:** Para una dosificación del 9% de cal se obtienen mejores condiciones del suelo que pueda cumplir con la mayor parte sobre las propiedades propuestas, para las propiedades como el hinchamiento o la expansión tienen mayor incidencia en este tipo de suelos el puede lograr a reducir hasta en un 61% de la adición optima de cal sobre las propiedades mecánicas del suelo.

Herrera Cabrejo (2021), realizo la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Verificación mediante el método racional de las alternativas estructurales de pavimentos flexibles para vías con bases granulares modificadas, fijando como **objetivo general:** Verificación del comportamiento estructural de las bases granulares modificadas, donde se emplea una **metodología:** Cuantitativa para un diseño de investigación experimental, consiguiendo el **resultado:** Se encontró que la evolución de las bases granulares modificadas como alternativas estructurales en el pavimento flexible cumplen para combinaciones de hormigón asfáltico variables al sistema climático, **concluyendo:** Las mejores alternativas estructurales para un pavimento flexible es poder combinar la base granular con el hormigón asfáltico reciclado logrando que la asimilación de cargas sea mayor en relación a métodos tradicionales.

Armijos Cuenca (2020), realizo la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Estudio del diseño estructural y constructivo de pavimentos articulados en base a bloques de asfalto, fijando como **objetivo general:** Resolver el problema de la durabilidad de los pavimentos flexibles, donde se emplea una **metodología:** Cuantitativa para un diseño de investigación experimental, consiguiendo el **resultado:** Se determinó que para una base granular con una mezcla de asfalto en caliente se obtiene como alternativa la fabricación de los bloques de asfalto con una relación promedio de 10% mejorando sus propiedades físico mecánicas de la base modificada, **concluyendo:** Se concluyó que las propiedades como el CBR de material aumento en un promedio de 11% lo cual asegura el aumento de las propiedades mecánicas de las bases granulares modificadas, se realiza también la tracción indirecta ITS a los moldes elaborados obteniendo una notable mejoraría en las propiedades.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Hoyle Vega & Rodriguez Lopez (2019), realizo la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Estabilización de las bases granulares del camino carrozable utilizando fibras de raquis de Musa Paradisiaca y el uso de cenizas de hojas Eucaliptus de los diferentes caseríos de Canchas a Colcap – Jimbe – Santa - Áncash en el 2019, fijando como **objetivo general:** Determinar los componentes químicos en las fibras de raquis de musa paradisiaca y ceniza de hojas de eucalipto, donde se emplea una

**metodología:** cuantitativa de un diseño de investigación cuasi experimental, consiguiendo el **resultado:** En las muestras analizadas de las calicatas realizadas, fueron evaluadas en el laboratorio de estudio de suelos donde para la muestra según su clasificación de las partículas en el análisis de la calicata N°01 se obtuvo los resultados de 43% de material gravoso, 37.32% de material arenoso y con un porcentaje de 19.68% clasificando según el sistema SUCS un tipo de suelo SC (arena arcillosa) y según la metodología AASHTO (A-2-6(0)) siendo un material granular con porcentaje de partículas finas, para la calicata N°02 presenta características semejantes que la calicata N°01 caso contrario en la calicata N°03 se obtuvo los resultados de 53.87% de material gravoso 22.49% de material arenoso y con un porcentaje de 22.64% clasificando según el sistema SUCS un tipo de suelo SM-SC (arena arcillosa) y según la metodología AASHTO (A-2-4(0)), **concluyendo:** Las fibras de rasquis de la musa paradisiaca y las cenizas de las hojas de eucalipto es un 10% más efectivas el cual cuenta con una humedad óptima de 10.9% con una densidad máxima de 2.0 gr/cm<sup>3</sup> obteniendo un resultado para el CBR de 11.2% aumentando en un porcentaje de 5.00%.

Molina Quiñonez (2017), realizó la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Estabilización de suelos añadiendo 5% de cenizas de hojas de eucalipto, 1+400km a 1+900km Carretera distrito de Olleros – Huaripampa, fijando como **objetivo general:** Determinar las propiedades mecánicas a una dosificación óptima del 5.00% de cenizas de hojas de eucalipto determinando sus ventajas técnicas, ventajas económicas y ventajas ambientales, donde se emplea una **metodología** cuantitativa con un diseño de investigación experimental nivel explicativo, consiguiendo el **resultado:** Se obtuvieron muestras de los tramos evaluados tomando unas muestras de forma aleatoria de las calicatas y que fueron trasladadas a los laboratorios para los ensayos de proctor modificado, la obtención de la granulometría, el soporte de california (CBR) los límites de atterberg y poder realizar análisis comparativos sobre la muestras con adiciones de ceniza de eucalipto, **concluyendo:** Para esta investigación se toma que el mejor tratamiento de la inestabilidad del suelo con 5.00% de cenizas de eucalipto mejora la estabilización de los suelos de la carretera Ollero del C.P Huaripampa.

Martínez Chavez (2019), realizó la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Estabilización de suelos cohesivos empleando aditivos órganosilanos a nivel de base granular, fijando como **objetivo general:** Evaluar la influencia de los aditivos organosilanos sobre la estabilización un suelo granular de la sub rasante, donde se emplea una **metodología:** cuantitativa con un diseño de investigación experimental y nivel de investigación explicativo, consiguiendo el **resultado:** El uso de aditivo organosilanos produce un aumento en el porcentaje del CBR ya que a mayor uso de aditivos de organosilanos aumenta el valor de CBR determinando así que según el error estándar se obtiene valores menores de 2.00% y un máximo error permitido de CBR de 2.00% para los suelos considerados como finos, **concluyendo:** Los aditivos organosilanos aumentando la expansividad de un suelo cohesivo y que el porcentaje de un testigo evaluado a la expansividad se obtiene un valor de 4.144 +/- 0.033 %, para el testigo N°01 su expansividad se obtiene 2.724 +/- 0.028%, el testigo N°02 su expansividad se obtiene 1.133 +/- 0.037% y por último el testigo N°03 su expansividad se obtiene 0.926 +/- 0.064%

Santa Cruz Veliz (2019), realizó la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Análisis de las mezclas asfálticas calientes empleando material reciclado en las Avenidas Andrés Avelino Cáceres en la provincia de Concepción en el 2020, fijando como **objetivo general:** Evaluar la viabilidad de las mezclas asfálticas en caliente empleando material reciclado en las Avenidas Andrés Avelino Cáceres en la provincia de Concepción en el 2020, empleando la **metodología:** De método de investigación Científico con un nivel de investigación explicativo de Tipo Aplicada y con un diseño de investigación Experimental Puro, consiguiendo el **resultado:** Según los ensayos evaluados se determina que el uso de material reciclado para una mezcla asfáltica caliente es viable para el uso de diferentes vías de comunicación, **concluyendo:** El porcentaje de 40% es óptimo según los resultados sobre las propiedades mecánicas obtenidos con una dosificación óptima de 6.00% de PEN 85/100 considerando que el 40% de material reciclado contribuye un 3.67% del líquido asfáltico a la mezcla asfáltica en caliente.

Aguila Campos (2021), realizó la tesis del nivel de pregrado **Titulado:** Análisis sobre la estabilización con emulsión asfáltica y cemento portland en el mejoramiento de propiedades mecánicas sobre la base granular del pavimento, fijando como



**objetivo general:** Realizar una comparación sobre las propiedades mecánicas de las bases granulares sobre la estructura del pavimento en todo el paquete estructural, empleando la **metodología:** De método de investigación Científico con un nivel de investigación explicativo de Tipo Aplicada y con un diseño de investigación Experimental Puro, consiguiendo el **resultado:** Se realiza el incremento de los porcentajes de una manera significativa de la mezcla final, y presenta una diferencia sobre los resultados obtenidos, **concluyendo:** La temperatura y la variación térmica influyen directamente en el desempeño de las probetas elaboradas para el mejor estudio sobre las bases granulares modificadas.

## **2.2. Bases conceptuales**

Las bases conceptuales están determinadas por conceptos teóricos que ayudan a tener una mejor interpretación de la problemática y la obtención de los resultados.

### **2.2.1. Pavimento**

El pavimento es una estructura vial que está conformada por un conjunto de láminas (capas) superpuestas de manera horizontal que son preparadas con materiales seleccionados y que son diseñadas para poder soportar y distribuir diferentes esfuerzos que son originados por el tráfico vehicular. Son diseñados con la finalidad de poder brindar sobre una superficie una transitabilidad confortable siendo este su objetivo funcional principal. Para las cargas dinámicas originadas por el tráfico vehicular que circulan sobre el paquete estructural hacen que estos provoquen sobre las capas de las interfaces esfuerzos, deformaciones verticales, deformaciones horizontales y efectos de corte. (Rondón y Reyes, 2015).

La estructuración de un pavimento está conformada por las capas:

- Superficie de Rodadura: Es la parte superior del pavimento y que para un pavimento flexible es la parte bituminosa y para un pavimento rígido es una losa de concreto que resisten la carga vehicular.
- Base del Pavimento: Es la capa inmediatamente inferior a la superficie de rodadura siendo la función principal de soportar y poder distribuir las cargas.
- Subbase del pavimento: Es la capa inmediatamente inferior a la base el cual se encarga de soportar las cargas de la base y la superficie de rodadura.

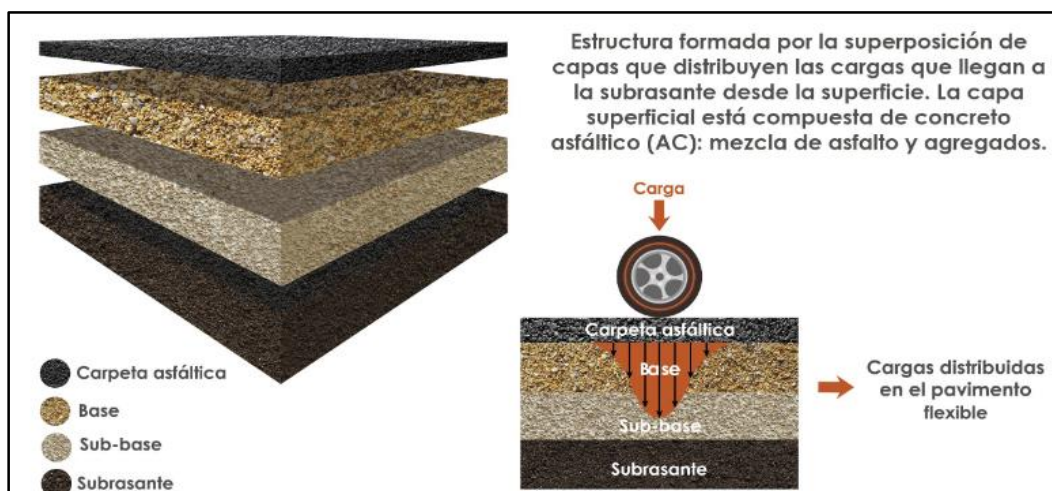
Los diferentes usos de las superficies de rodadura de un pavimento dan comienzo a la existencia de los tipos de pavimento

- Pavimento Flexible (Mezcla asfáltica)
- Pavimento Rígido (Mezcla de concreto)
- Pavimento Compuesto (Mezcla de concreto / Mezcla asfáltica)

### 2.2.1.1. Pavimento flexible

La estructura vial de un pavimento flexible esta determinado por capas (Rodadura, base y subbase) el cual esta constituida por material bituminoso que contiene conglomerantes, agregados aridos y aditivos. Para los esfuerzos que se producen con el transito vehicular son transmitidos a cada capa del paquete estructural desde la superficie de rodadura hasta la subrasante siendo la resistencia mecánicas de los suelos las que puedan soportar los esfuerzos sin poder lograr deformaciones en el pavimento, para la carpeta asfáltica clasificada estructuralmente esta debe de resistir los daños producidos por la fatiga y las diferentes acumulaciones de las deformaciones permanentes y que adicionalmente tiene que cumplir con la impermeabilización de la superficie con el fin de poder evitar el ingreso de aguas hacia las capas inferiores granulares, siendo de vital importancia que este diseñada para que los usuarios tengan seguridad y confort en toda su vida útil. (Rondón y Reyes, 2015).

**Ilustración 1.** Estructuración de un pavimento.



**Fuente:** <https://twitter.com/Igloria27/status/1081985022947667968/photo/1> (2015,p.255)

### **a. Pavimento de concreto asfáltico en frío**

La mezcla asfáltica en caliente en unión con los agregados pétreos y el ligante bituminoso al ser mezclado son un material que se puede extender y compactar a una temperatura adecuada, ya que estas mezclas asfálticas se utilizan directamente por tener un elemento altamente ligante bituminoso con menor viscosidad el cual al ser comparado con otras mezclas asfáltica calientes, Estas mezclas se pueden elaborar directamente a pie de obra. (Rodríguez y Rodríguez, 2004).

### **b. Pavimento de concreto asfáltico en caliente**

Son las uniones del agregado grueso, el agregado fino y el ligante bituminoso que en su generalidad se comporta como cemento asfaltico ya que esos materiales al ser combinados mediante una planta mezcladora puede producir una mezcla homogénea. (Rodríguez y Rodríguez, 2004) Ya que en lo general la mezcla asfáltica presenta los siguientes materiales:

#### **– Los Agregados pétreos:**

Son una combinación de partículas como gravas, arenas y partículas finas que pueden obtenerse de manera natural y manera artificial como el triturado, las dimensiones de las partículas son de 6.4 cm a una dimensión mínima de 2.00 mm conocidos como gravas y las que se encuentran fuera de este rango menor hasta 0.075 mm son denominadas arenas.

Sobre la mezcla asfáltica los agregados pétreos están conformados por casi el 96% de total de masa y siendo el 75% del total de volumen de la mezcla, siendo que la carpeta de rodadura conformada por los agregados pétreos soporta mayor carga y transmiten en menor proporción las cargas hacia la parte inferior de la carpeta de rodadura.

Los diferentes agregados pétreos deberían de poseer una granulometría con un huso adecuado los cuales deberían de cumplir los requerimientos mínimos sobre la calidad del material para las normas vigentes. (Rondón y Reyes, 2015).

**Tabla 1. Requerimientos de calidad (agregado grueso)**

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

Fuente: Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.561)

**Tabla 2. Requerimientos de calidad (agregados fino)**

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 205	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.561)

Las dimensiones de los agregados pétreos según los husos normados para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente clasificados como MAC-1, MAC-2 y MAC-3 especificadas en el manual de especificaciones técnicas (EG-213 - 2013, p. 561), presentando una curva granulométrica donde se estipula parámetros de control y las zonas delimitadas, siendo así que la curva generada tiene que pasar por la zona delimitada.

**Tabla 3. Gradación para mezclas asfálticas Calientes (MAC)**

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80-100	100	-
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	-
9,5 mm (3/8")	60-77	78-88	100
4,75 mm (4")	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (10")	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

**Fuente:** Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.562)

– **Cemento asfáltico:**

“Todo material bituminoso que es aglomerante, presenta una consistencia sólida, y que al utilizarlo en la elaboración de mezclas asfálticas calientes se obtiene buenos resultados.” (Manual de carreteras, 2013 p.678)

La clasificación del cemento asfáltico es de acuerdo a la consistencia los cuales pueden ser calculados mediante ensayo de la viscosidad y el ensayo a la penetración lo cual a diferencia de otros países con un alto desarrollo científico estas evaluaciones son determinadas mediante su grado de desempeño.

En el país de Perú, los diferentes cementos asfálticos se pueden clasificar mediante su grado de penetración obteniendo así la siguiente tabla.

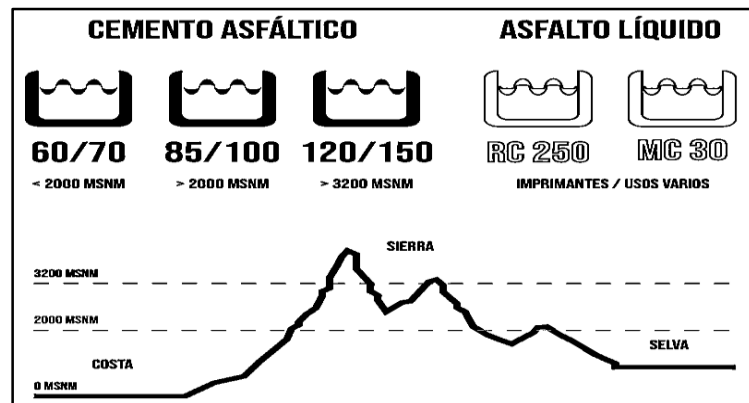
En Perú, a la fecha del presente trabajo de investigación, los cementos asfálticos se clasifican de acuerdo al grado de penetración.

**Tabla 4. Especificaciones Técnicas para cementos asfálticos por penetración**

PEN 40 -50	Cemento Asfáltico con penetración 40 a 50 décimas de milímetro
PEN 60 -70	Cemento Asfáltico con penetración 60 a 70 décimas de milímetro
PEN 85 -100	Cemento Asfáltico con penetración 85 a 100 décimas de milímetro
PEN 120 -150	Cemento Asfáltico con penetración 120 a 150 décimas de milímetro
PEN 200 -300	Cemento Asfáltico con penetración 200 a 300 décimas de milímetro

**Fuente:** <https://twitter.com/Igloria27/status/1081985022947667968/photo/1> (2015,p.255)

**Ilustración 2. Cementos Asfálticos por penetración.**



Fuente: <https://www.asfalto peru.com/cuales-son-los-tipos-de-asfalto-y-en-que-se-diferencian/>

– **El uso de Filler:**

“Para la utilización de filler en la mezclas asfálticas con el fin poder complementar granulometrías que no cumplen las características de los agregados finos el uso de filler regulariza ciertos parámetros.” (Manual de carreteras, 2013 p. 659).

El uso de cemento Portland, cal, polvo de rocas, polvos de escoria o ceniza muy fina pueden ser empleados como fillers siendo la cantidad que puede definir según el diseño obtenido del ensayo del método de Marshall el cual debe cumplir las especificaciones técnicas requeridas según las normativas vigentes.

**Tabla 5. Parámetros de diseño para mezclas bituminosas**

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 423-10		
<b>Inmersión - compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm) (3)	1700-4000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 mín.		

Fuente: Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.575)

### **2.2.2. Reciclaje de pavimentos flexibles.**

El reciclaje sobre la reutilización de pavimentos flexibles, son materiales que han cumplido un periodo sobre su vida útil siendo un material propio del pavimento que ha logrado cumplir su finalidad se podría volver a reutilizar y poder realizar la fabricación de una nuevas mezclas asfálticas que pueden ser de mejor calidad que las mezclas asfálticas en caliente y que también pueden mejorar las capas granulares o ser empleadas como bases estabilizantes. (Tafur, 2005)

Según (Montejo, 1997), los principales factores que aportan son:

- El aumento de precios sobre los productos que son derivados del petróleo.
- Se escasea las fuentes de los agregados pétreos aumentando el costo de los materiales y aumentando el flete para la adquisición de agregados.
- La conservación y cuidado del medio ambiente es un factor muy importante por lo cual en países del primer mundo estos optan por reciclar material asfáltico, caso contrario de la explotación sin control de las canteras y así logrando contaminar nuestro medio ambiente.
- La indiferencia sobre el uso de materiales en la reconstrucción y rehabilitación de vías que existen y que han obligado a poder buscar alternativas técnicas que puedan mejorar el mantenimiento y que representen un costo más económico obteniendo un comportamiento que es similar a las diferentes técnicas de rehabilitación.

#### **2.2.2.1. Tipos de reciclaje:**

Según lo establecido por el ARRA “Asociación de Reciclado y/o Recuperación de Asfalto”, menciona que existen (05) tipos de reciclado:

##### **a. Fresado en frío (Cold Planning):**

Este proceso consiste en poder triturar controladamente a una temperatura fría la superficie de rodadura del pavimento envejecido hasta una profundidad determinando según el paquete estructural sondeado de forma así que sea una forma rápida y sencilla para su reestructuración que están establecidas en los manuales para poder ser utilizados en un fresado de la

carpeta asfáltica que empiezan a acopiar y poder reciclar pavimentos flexibles para ser reutilizados.

**Ilustración 3. Maquina fresadora: compactas y grandes.**



**Fuente:** <https://maquinter.es/tipos-de-fresadoras-en-frio-compactas-y-grandes/>

El reciclado de un pavimento es realizado con una maquina fresadora el cual presenta un tambor giratorio que es autopropulsado, estando equipado con dientes que son reemplazables y que están diseñadas con dientes que puedan demoler y triturar el pavimento envejecido.

Una maquina fresadora se ajusta a los lineamientos requeridos siendo un tipo de producción que depende necesariamente del modelo y la marca siendo la de mejor rendimiento la marca Wirtgen que llega a fresar un ancho de 4.40 metros y con una profundidad tope de 25 cm.

**Tabla 6.** Fresadora WIRTGEN

<b>La serie WR convierte todo el espectro de aplicaciones de reciclaje en frío.</b>			
	<b>WR 200 / WR 200i</b>	<b>WR 240 / WR 240i</b>	<b>WR 250 / WR 250i</b>
<b>Rango de rendimiento ideal</b>	Hasta 800 m <sup>2</sup> /h	Hasta 1000 m <sup>2</sup> /h	Hasta 1200 m <sup>2</sup> /h
<b>Espesor de asfalto reciclable</b>	10 - 15 cm	15 - 20 cm	20 - 25 cm

**Fuente:** (WIRTGEN, 2018).

Según (Fernández, 2012), para el fresado se presentan varias ventajas dentro del fresado en frío:



- Se elimina todas las ondulaciones y las superficies que están envejecidas de la superficie de rodadura.
- Separar el pavimento fundado por períodos para rehabilitar su elevación original.
- Almacenar la energía en balance de nuevas metodologías de restauración.

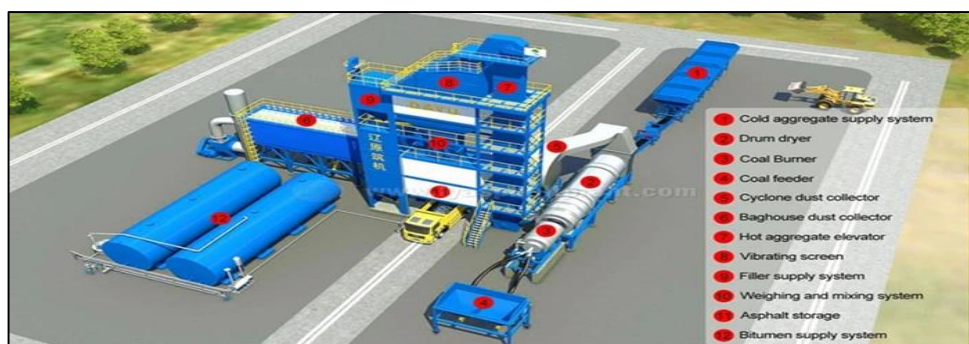
**b. Reciclado en caliente:**

El proceso que combina sobre el material reciclado innato (agregados, cemento asfáltico) deberán de ser necesarios para agentes rejuvenecedores según se plantee la necesidad, el proceso de reciclado del asfalto en caliente se realiza mediante la transferencia de calor para poder dilatar y mezclar el material del pavimento.

Sobre la cantidad de material obtenido reciclado se adiciona a la mezcla asfáltica es dependiente de las características primogénitas del material fresado tales como la gradación y las propiedades físico mecánicas del pavimento a reciclar, con ello existen varias limitaciones sobre que tipo de planta se podría emplear en la producción, ya que en países desarrollados con Norteamérica la producción de mezclas asfálticas se logra obtener hasta un 90% de material reciclado y es optimo utilizar en dosificaciones de 15 al 25 porciento para plantas discontinuas ya que a diferencia de otros lugares se puede reutilizar hasta el 50% de material reciclado.

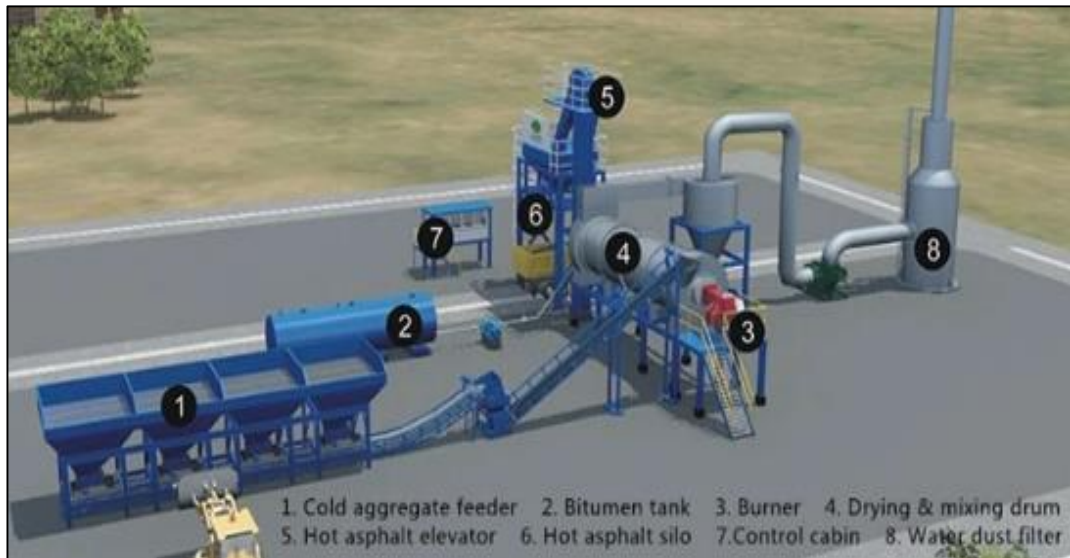
. (Fernández, 2012).

**Ilustración 4. Planta de asfalto discontinua.**



**Fuente:** <https://www.lyroad.com/es/planta-de-asfalto-discontinua-vs-planta-de-asfalto-continua.html>

### **Ilustración 5.** Planta de asfalto Continua.



**Fuente:** <https://www.lyroad.com/es/planta-de-asfalto-discontinua-vs-planta-de-asfalto-continua.html>

Según (Fernández, 2012), el reciclado en caliente presenta varias ventajas las son:

- Se deberá de corregir las malas gradaciones del material reciclado adecuando la recuperación de los agregados (nuevo).
- Mejorar el rendimiento de los pavimentos convencionales en relación a los pavimentos con asfalto reciclado
- Poder conservar los diferentes recursos que no son renovables.
- Poder conservar la energía en relación a otras técnicas de recuperación.
- Obtener un alto ahorro económico.

#### **c. Reciclado en caliente material In-Situ:**

La calefacción y el ablandamiento de un pavimento flexible que puede ser molido y que es escarificado a una profundidad planteada que son típicamente desde los 2.00 cm hasta los 7.50 cm aplicando una técnica que nos permite utilizar hasta el 100% del material del pavimento flexible obtenido y poder agregar a material nuevo mejorando así sea necesario la colocación de un agente rejuvenecedor a la máquina.

Segun (Tafur, 2005), la presencia de deficiencias de un pavimento flexible existente sobre la capa de rodadura y presente una base estable puede tener una rehabilitación aplicando técnicas de reciclado in-situ.

Se presentan 3 métodos para la obtención de material reciclado en caliente:

– **Escarificación con calentador:**

Es un proceso donde se ablanda la superficie del pavimento y mediante un proceso de transferencia de calor se realiza el ablandamiento y posteriormente se realiza el escarificado mediante una variabilidad de picas que al proporcionar un agente rejuvenecedor si fuera necesario, con una pavimentadora empieza a mezclas ambos materiales y con un proceso de compactación normal se empieza a compactar.

– **Repavimentación:**

Mediante un proceso que es similar a la escarificadora mediante un proceso de calentador la capa superior es removida y posteriormente recubre varias capas en la nueva superficie.

– **Remezclado:**

El proceso de remezclado se obtiene cuando se calienta el pavimento flexible y se logra ablandar escarificando añadiendo materiales propios como el agregado pétreo y el cemento asfáltico, siendo necesario añadir un agente rejuvenecedor para posteriormente colocar una nueva superficie siendo pavimentada con rodillos vibratorios, ya que en el remezclado pueden ir de 1 o varas capas que tiene el fin de poder mejorar las características primogénitas de nueva pavimento lo cual implica que la cantidad de material nuevo en combinación con el material reciclado se mantengan en proporciones diferentes.

Según (Fernández, 2012), el material reciclado en caliente de manera insitu puede presentar ciertas ventajas las cuales son:

- Sostenimiento de la energía y optimización de los recursos no renovables en el pavimento flexible.

- Disminución de los camiones de carga.
- Progreso sobre la eficacia del asfalto.
- Se conserva la elevación del asfalto originario.
- Se reprende la progresión granulométrica de los agregados pétreos.
- Reinicié del circulación inmediata.
- Conservación financiero.

**d. Reciclado en frío In-Situ:**

Se realiza la rehabilitación del pavimento asfáltico que esta envejecido a una profundidad que para ello el material fresado y con un tamaño adecuado es escarificado y ser mezclado con emulsión asfáltica y que con un porcentaje de material nuevo corrige la gradación final de la mezcla asfáltica en caliente. (Montejo, 1997).

Las diferentes ventajas que se tiene al utilizar este método son muy significativas en relación a los métodos iniciales o tradicionales. El material reciclado frío reduce el costo inicial de una rehabilitación de la superficie de rodadura y que por otro lado la reutilización de los materiales inicial que permitieron la preservación de los agregados con el cemento asfáltico nuevo, para que finalmente este proceso realiza una reducción en la contaminación de los gases tóxicos y que debido a estos materiales que no son recalentado posterior a su colocación y que de acuerdo a lo manifestado por (Tafur, 2005), estos pavimentos son muy drenantes y son rehabilitados fácilmente.

**e. Recuperación a profundidad (Full-Depth):**

Mediante este método se puede obtener hasta un 100% de la capa de rodadura y que en un determinando espesor de material granular que es utilizado como base, subbase o subrasante, el cual al ser mezclado puede proporcionar un material homogéneo y que a una profundidad este material puede ser colocado hasta en espesores de 0.10 metros hasta 0.30 metros, según sea la necesidad de la superficie de rodadura.

Sobre la recuperación de la superficie de rodadura sobre los materiales granulares que se encuentran en la parte inferior del pavimento produce que en la capa granular pueda mejorar con la adición del aditivo rejuvenecedor logrando obtener un material estabilizado, ya que estos aditivos presentan una característica que el material estructural pueda recuperar sus propiedades mecánicas capas de poder soportar cargas ya que en el mercado existe una diversidad de aditivos que pueden mejorar las características iniciales del pavimento todo esto según sea la necesidad del proyecto al cual sea aplicado. (Fernández, 2012)

**Ilustración 6.** Reciclaje de recuperación de profundidad.



**Fuente:** [https://hmong.es/wiki/Full\\_depth\\_recycling](https://hmong.es/wiki/Full_depth_recycling)

Las diferentes dimensiones del material recuperado que pueda controlar según sea el equipo del avance del recuperador y la velocidad de la rotación de un tambor pulverizador – mezclador sea direccionado a la puerta en la salida.

**2.2.3. Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en frío**

El pavimento que es resultado de la optimización de las propiedades de las mezclas asfálticas en frío y que por medio de la reutilización de los materiales durante el proceso de fresado del pavimento viejo y con la adición de emulsiones asfálticas con rejuvenecedores asfálticos hacen que la mezcla mejore las condiciones iniciales del pavimento.

Las mezclas asfálticas son colocadas a una temperatura de ambiente según (Rondón y Reyes, 2015) estipulado en el manual de especificaciones del 2013 .

### 2.2.3.1. Agregados pétreos

Los materiales obtenidos del fresado del pavimento flexible deberán de cumplir con la siguiente granulometría.

**Tabla 7.** *Granulometría de los agregados pétreos.*

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	
37,5 mm	1 1/2"	100
25,0 mm	1"	75-100
19,0 mm	3/4"	65-100
9,5 mm	3/8"	45-75
4,75 mm	N.º 4	30-60
2,00 mm	N.º 10	20-45
425 µm	N.º 40	10-30
75 µm	N.º 200	5-20

**Fuente:** Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.575)

Al adicionar material pétreo nuevo se obtiene una mejor gradación el cual deberá de cumplir los siguientes requisitos de calidad.

**Tabla 8.** *Granulometría de los agregados pétreos (partículas gruesas).*

	Ensayo	Requerimiento según tipo de tráfico (millones de ejes equivalentes)		
		≤ 0,3	> 0,3-3	> 3
Desgaste de los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	40% máx.	40% máx.
Desgaste Micro – Deval	ASTM D 7428	-	30% máx.	25% máx.
10% de finos (kN)	Seco	-	-	75 mín.
	Relación Húmedo/Seco	-	-	75% mín.
Durabilidad al Sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx.	18% máx.	18% máx.
Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso) % mínimo 1 cara/2 caras	MTC E 210	50/-	50/-	50/-
Partículas planas y alargadas	MTC E 221	10% máx.	10% máx.	10% máx.

**Fuente:** Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.772)

**Tabla 9.** Granulometría de los agregados pétreos (partículas finas).

	Ensayo	Requerimiento según tipo de tráfico (millones de ejes equivalentes)		
		≤ 0,3	> 0,3-3	> 3
Durabilidad al Sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx.	18% máx.	18% máx.
Angularidad	ASTM D 1252	35% mín.	35% mín.	35% mín.
Índice de plasticidad	MTC E 111	N.P.	N.P.	N.P.
Equivalente de arena	MTC E 114	30% mín.	30% mín.	30% mín.
Sales Soluble Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.	0,5% máx.

**Fuente:** Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.773)

#### **2.2.4. Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en caliente**

Las mezclas equivalentes al asfalto con mezclas asfálticas que han sido recicladas en frío, siendo el ligante el actuante como cemento asfáltico el cual se deberá de avivar la mixtura asfáltica reutilizando el material reconsiderado, ya que con adición de los materiales nuevos, ya que sea el caso de poder mejorar las propiedades iniciales de la mezcla, es necesario el manejo de rejuvenecedores.

Las mezclas se elaboran mediante un estudio (método Marshall - AASHTO T 245), los razonamientos sobre el diseño son los propios que se detallan para las mixturas asfálticas en caliente iniciales ya que en ningún argumento el material reciclado formará más del 40% de la aglomeración total de la mixtura asfáltica.

Según (MET, 2013) hace la recomendación que el agregado adicionado deberá de tener características mineralógicas como agregado nativo con el fin de poder evitar que el bitumen sea muy diferentes a la adhesividad entre los componentes ya que por otro lado los mínimos requisitos que deberá de cumplir en relación a la calidad se presentan a continuación.



**Tabla 10.** Granulometría de la adición de agregados gruesos con mezclas asfálticas recicladas.

	Ensayo	Requerimiento según tipo de tráfico (millones de ejes equivalentes)		
		≤ 0,3	> 0,3-3	> 3
Desgaste de los Ángeles	MTC E 207	25% máx.	25% máx.	25% máx.
	ASTM D			
Desgaste Micro - Deval	7428	-	25% máx.	20% máx.
10% de finos (kN)	Seco	-	-	110 mín.
	Relación Húmedo/Seco	-	-	75% mín.
Durabilidad al Sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx.	18% máx.	18% máx.
Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso) % mínimo 1 cara/2 caras	MTC E 210	75 / --	75 / 60	75 / 70
Coefficiente de resistencia al deslizamiento	ASTM E 303	0,45 mín.	0,45 mín.	0,45 mín.
Partículas planas y alargadas	MTC E 221	10% máx.	10% máx.	10% máx.

Fuente: Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.756)

**Tabla 11.** Granulometría de la adición de agregados finos con mezclas asfálticas recicladas.

	Ensayo	Requerimiento según tipo de tráfico (millones de ejes equivalentes)		
		≤ 0,3	> 0,3-3	> 3
Durabilidad al Sulfato de magnesio	MTC E 209	18% máx.	18% máx.	18% máx.
Angularidad	ASTM D 1252	40% mín.	45% mín.	45% mín.
Índice de plasticidad	MTC E 111	N.P.	N.P.	N.P.
Equivalente de arena	MTC E 114	50% mín.	50% mín.	50% mín.
Sales Soluble Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.756)

### 2.2.5. Diseño de mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall

Para diseño de mezclas asfálticas en caliente se utiliza el método Marshalla que fue formulado Bruce Marshall simultáneamente con el organismo de ingenieros



de Estados Unidos de Norteamérica y que de años de investigación los estudios de reciprocidad, se ha logrado desarrollar mejores criterios de diseño de mezcla.

El procedimiento original Marshall para mixturas asfálticas calientes únicamente permiten ser utilizados en agregados con dimensión máxima de 25 mm (1") o mínima, consecutivamente se desarrolló un método transformado para agregados de dimensión máximo por encima de 38 mm (1.5").

Este procedimiento deliberado para el diseño de laboratorio y inspección en campo de mixturas asfálticas calientes con proporción tupida. (Instituto Mexicano del Transporte, 2004) Este procedimiento se fundamenta en el ensayo MTC E-504 de resistencia de mixturas bituminosas manejando el aparato Marshall. Para poder establecer la proporción óptima del cemento asfáltico, se elaboran recipientes cilíndricos con diferentes proporciones del contenido de asfáltico que alteran cada uno en 0.50% del ajeno. (Rengifo y Vargas, 2017).

#### **2.2.5.1. Características y comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente**

Las mezclas asfálticas que son preparadas en laboratorio son analizadas y determinan un comportamiento sobre la carpeta asfáltica, presentando 4 características principales:

##### **a. Porcentaje de cemento asfáltico óptimo:**

Depende de las particularidades del agregado pétreo como son la capacidad de hidratación (habilidad para calar asfalto) y la gradación, esto quiere decir, entre más pequeño aguante la mixtura mayor es la cuantía de cemento asfáltico solicitada para poder cobijar todas las partículas. Por otra parte, las mixturas que aguanten mayor cantidad de agregado pétreo requieren menos porcentaje de cemento asfáltico debido al mínima área superficial para envolver. (Asphalt Institute MS-22 p.57).

##### **b. Densidad:**

La densidad está definida como el peso unitario con características principales de obtener una alta densidad de la carpeta asfáltica y poder obtener altos rendimientos durables.

**c. Vacíos de aire:**

Los espacios mínimos o pequeños que se encuentran entre los agregados que fueron revestidos en la mezcla asfáltica compactada y que las mezclas asfálticas deberían de tener un porcentaje mínimo de aire para que pueda permitir una pequeña compactación adicional que debido al tráfico vehicular serán reacomodadas en el transcurso del tiempo, teniendo en consideración que a mayor porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica este causa que el agua ingrese a estos poros causando que el porcentaje de vacíos sea menor con respecto a la exudación del asfalto.

El contenido de aire y la densidad están relacionadas directamente ya que mientras la densidad sea mayor el porcentaje de vacíos será menor y viceversa. (Carrasco, 2004)

**d. Vacíos en el agregado mineral (VMA):**

Los espacios de aire existentes entre las partículas de los agregados que es compactada el cual incluye necesariamente a los espacios generados rellenos con cemento asfáltico.

Cuando sea mayor el valor de VMA se concluirá que se presenta mayor espacio para las películas de asfalto, siendo los valores mínimos del VMA que puedan garantizar un espesor considerable de la película de asfalto ya que por otra parte el aumento de densidad en la gradación del agregado se obtiene valores del VMA que se encuentren debajo de lo mínimo establecido o especificado puede que este afecte sobre la durabilidad de la mezcla asfáltica en caliente por lo cual es muy perjudicial con el fin disminuir los porcentajes de VMA. (Carrasco, 2004).

**Tabla 12.** Granulometría de la adición de agregados finos con mezclas asfálticas recicladas.

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

**Fuente:** Manual de especificaciones técnicas - Carreteras (2013,p.756)

#### e. Estabilidad

La estabilidad representa la resistencia a la deformación aplicado por una constante carga y que mediante una magnitud el cual varia según el tipo y la gradación del agregado pétreo con el cemento asfáltico a una cantidad requerida según el (Manual de ensayos de materiales MTC, 2016 p.583) Para lo cual mayor sea la estabilidad del pavimento este será mas rígido y por ende mas resistente a las cargas.

#### f. Flujo

El flujo esta relacionado con la estabilidad de la mezclas asfáltica ya que este mide la falla de la briqueta en el proceso de ensayo Marshall el cual mide la deformación que se produce sobre la mezcla asfáltica y los valores de fluencia son mayores cuando se encuentre en un estado plástico y presenta una capacidad de deformarse con facilidad antes de entrar al proceso de falla, siendo por otro lado que el valor de la fluencia es muy bajo entonces la carpeta presentara fallas frágiles. (Rengifo y Vargas, 2017)

#### g. Índice de rigidez

Es la correlación, entre la estabilidad y flujo que se deduce mediante el método Marshall. Cuando el índice de rigidez presenta un valor muy alto, la

carpeta asfáltica será muy flexible y frágil, y en caso el índice de rigidez es muy bajo, la carpeta asfáltica presentará y será muy flexible deformándose con mucha facilidad. (Rengifo y Vargas, 2017).

### **2.2.6. Ensayos de laboratorio**

Según el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG 2013) se prefirió en ejecutar cuatro ensayos, para colocar a experimento el procedimiento mecánico de las mixturas y se manifiestan los resultados conseguidos en el actual estudio.

- La resistencia de las mezclas bituminosas con el aparato Marshall (MTC E 504).
- La caracterización de las mezclas bituminosas mediante el ensayo de cántabro (MTC E 515).
- Prueba de la resistencia a la compresión en mezclas bituminosas (MTC E 503).
- Prueba de resistencia a las mezclas bituminosas compactadas inducidos al daño húmedo (MTC E 522).

### **2.3. Definiciones de términos**

Las bases conceptuales que a continuación se detallan son recopiladas del “Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vías del Ministerio de Transportes y Comunicaciones” (agosto 2008), a continuación, se detalla:

- a. C.B.R:** Es la relación expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm. de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min. (Chang Chang, 2015, pág. 04)
- b. Densidad Máxima Compactada Seca:** Corresponde a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima. (Cárdenas Piucol & Donoso Montero, 2008, pág. 04)

**c. Estabilidad:** La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material. (Cárdenas Piucol & Donoso Montero, 2008, pág. 04)

**d. Humedad de Mezclado:** Es un factor importante en suelos finos y debe controlarse debidamente. (Chang Chang, 2015, pág. 18)

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### ***2.4.1. Hipótesis general***

Las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico mejorarían las propiedades físico mecánicas al ser reutilizadas en una pavimentación.

### ***2.4.2. Hipótesis específicas***

- a) Los límites de Atterberg de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico disminuirían al ser reutilizadas en una pavimentación.
- b) La capacidad de soporte aumentaría en las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.
- c) La deflectometría de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico disminuiría al ser reutilizadas en una pavimentación.

## **2.5. Variables**

### ***2.5.1. Definición conceptual de las variables***

**Variable independiente (X):**

#### **Hormigón asfáltico**

Según (Bonifacio Vergara & Sánchez Bernilla, 2015).El hormigón asfáltico (también conocido como hormigón bituminoso mezcla asfáltica, concreto bituminoso o agregado asfáltico) es un material compuesto comúnmente utilizado para pavimentar carreteras, estacionamientos, aeropuertos y el núcleo de las represas. Está compuesto por áridos, como piedra triturada y arena, y relleno mezclado con asfalto de petróleo.

**Variable dependiente (Y):**

**Propiedades físico mecánicas de las bases granulares**

Según (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2008), El comportamiento de los materiales granulares bajo las cargas del tráfico es complicado. Un elemento de la estructura del firme está sujeto a pulsos de esfuerzos. Cada uno de estos pulsos consta de una componente vertical, una horizontal y una componente de corte.

**2.5.2. Definición operacional de las variables**

$$y=F(x)$$

**Variable Independiente (X): Hormigón asfáltico.** – Es una composición de sustancia pegajosa de color negro que se obtiene tras un proceso de destilación del petróleo. Estos materiales se generan cuando un pavimento asfáltico retirado para su rehabilitación o reconstrucción es utilizado como agregado manteniendo las propiedades ligantes del asfalto.

**Variable dependiente (Y): Propiedades físico mecánicas de las bases granulares.** – En las capas de materiales granulares sueltos los esfuerzos verticales y horizontales son positivos mientras que los esfuerzos de corte se invierten cuando pasa la carga, causando una rotación de los ejes principales de esfuerzos.

## 2.6. Definición Operacional de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA				
						1	2	3	4	5
1: Variable Independiente Hormigón asfáltico	El hormigón asfáltico (también conocido como hormigón bituminoso mezcla asfáltica, concreto bituminoso o agregado asfáltico) es un material compuesto comúnmente utilizado para pavimentar carreteras, estacionamientos, aeropuertos y el núcleo de las represas. Está compuesto por áridos, como piedra triturada y arena, y relleno mezclado con asfalto de petróleo.	Es una composición de sustancia pegajosa de color negro que se obtiene tras un proceso de destilación del petróleo. Estos materiales se generan cuando un pavimento asfáltico retirado para su rehabilitación o reconstrucción es utilizado como agregado manteniendo las propiedades ligantes del asfalto.	Análisis Granulométrico	MTC E 107	Tamices		X			
			Ligante asfáltico	MTC E 302	Líquido Tricloroetileno		X			
			Lavado asfáltico	MTC E 302	Centrifuga		X			
2: Variable Dependiente Propiedades físico mecánicas de las bases granulares	El comportamiento de los materiales granulares bajo las cargas del tráfico es complicado. Un elemento de la estructura del firme está sujeto a pulsos de esfuerzos. Cada uno de estos pulsos consta de una componente vertical, una horizontal y una componente de corte.	En las capas de materiales granulares sueltos los esfuerzos verticales y horizontales son positivos mientras que los esfuerzos de corte se invierten cuando pasa la carga, causando una rotación de los ejes principales de esfuerzos.	Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	MTC E 214	Desgaste por humedad		X			
			Limites Atteberg	MTC E 112	Comportamiento de los finos		X			
			CBR	MTC E 132	Capacidad de soporte		X			
			Núcleos asfálticos	MTC E 1002	Estabilidad		X			

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Método de la Investigación**

La presente investigación propone obtener conocimientos a través de ensayos con fin de poder obtener resultados que puedan tratar de explicar un fenómeno a través de la deducción y poder controlar a través de estos resultados una correlación sobre los valores obtenidos manteniendo una investigación Científica.

#### **3.2. Tipo de Investigación**

Según Carrasco, (2005), menciona: *“Ella trata de comprender y resolver el problema, así mismo como esta genera mejora y afianza a la gestión del recurso”*.

La presente investigación es del Tipo Aplicado por que resuelve el problema planteado de una manera mas practica y puede concretar utilizando conocimientos con sustentación técnica, ya que al poder manipular los datos se obtiene diferentes ensayos sobre el comportamiento de las bases granulares dosificando hormigón asfáltico para la reutilización de la misma. Según (Calderón, 2013 p.186), el tipo de investigación es Aplicada ya que se elige en relación de los objetivos planteados a través de recursos y problemas planteados.

#### **3.3. Nivel de la Investigación**

Según (Sabino Muñoz, Ledesma (2008, p. 19), *“Permite describir las manifestaciones de las variables y aplicar un nuevo modelo, sistema para mejorar la situación problemática”*.



La investigación es de Nivel explicativo ya que se asocia a través de las variables pretendiendo un comportamiento a causa de los diferentes fenómenos. (Según Hernández, Fernández y Baptista, 2010)

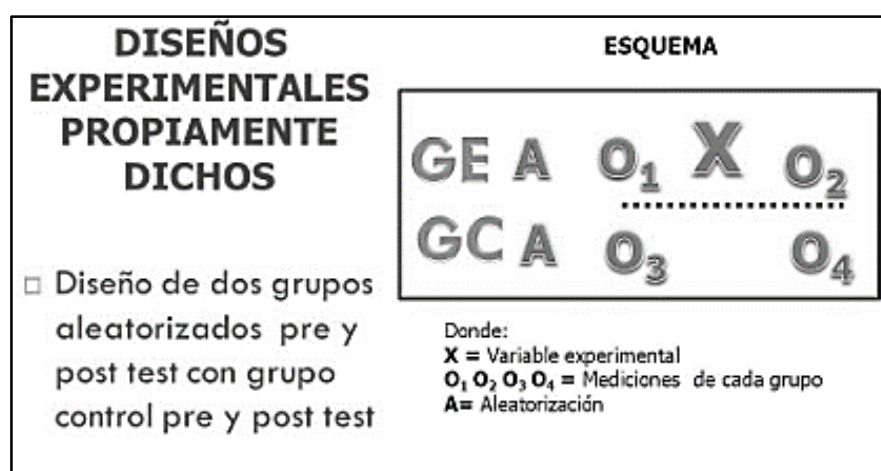
### 3.4. Diseño de la Investigación

Según (Hernández Fernández y Bonilla, 2010, pág. 120) menciona: *“El método de exploración experimental es aquella en donde se puede manejar las inconstantes, ya que se fundamenta en las investigaciones de los desiguales fenómenos en un argumento nativo para poder ser examinados en un tiempo largo”.*

En la presente investigación es de diseño Experimental ya que (Según Hernández, Fernández y Baptista, 2010) se realiza la manipulación de la variable independiente para poder determinar las condiciones experimentales, pretendiendo a través de una sustentación técnicas ( ensayos de laboratorio ) evaluar el comportamiento de la variable dependiente, realizando una variación de las dosificaciones de hormigón asfáltico reciclado logrando medir obtener un grupo de muestras con hormigón asfáltico (grupo experimental) y un grupo sin hormigón asfáltico (grupo nativo), logrando evaluar así la variación de las propiedades mediante un sistema de resultados que puedan aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

Siendo el diseño esquematizado explicado de la siguiente manera:

**Ilustración 7.** Esquema del diseño de la investigación



Fuente: (Ezequiel, 1984)

### 3.5. Población, muestra y el muestreo

En la presente investigación lo he desarrollado con los siguientes lineamientos de población y muestra.

#### 3.5.1. Población

Según Hernández Sampieri, (2014), define que: *“Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”*.

La población de la presente investigación es el total de las moldes realizados que según las características semejantes o en común en un tiempo determinado.

Se realizaron un total de 48 moldes con características similares y realizadas bajo condiciones similares.

**Fotografía 1.** *Ubicación del laboratorio de ensayos*



#### 3.5.2. Muestra

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 125) mencionan: *“La muestra es un subgrupo de la población o también denominado*

*un subconjunto de todos los elementos utilizados con características similares al que se ha denominado población”.*

La muestra analizada fue realizada mediante el tipo de muestreo no probabilístico o dirigida ya que en la elección de los elementos no son dependientes de la probabilidad, sino referido a causas con características de la investigación con el fin de poder conformar grupos.

MUESTRA	BASE GRANULAR	HORMIGÓN ASFÁLTICO	RELACIÓN
1	100.00 %	0.00 %	1.00 BG+ 0.00 HA
2	80.00 %	20.00 %	0.80 BG+ 0.20 HA
3	75.00 %	25.00 %	0.75 BG+ 0.25 HA
4	70.00 %	30.00 %	0.70 BG+ 0.30 HA

**Fotografía 2.** *Vista frontal del laboratorio de Ensayos.*





### 3.6. Técnicas e instrumentos de investigación

#### 3.6.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos se emplea para sustentar los criterios que se han tomado en la investigación, para esta investigación se a utilizado la Observación sistemática ya que se elabora datos sobre las condiciones controladas por el tesista, los ensayos realizados fueron para poder medir las dimensiones de cada variable (independiente)y posteriormente para la obtención e interpretación y contrastación de las hipótesis.

#### 3.6.2. Instrumentos en la recolección de datos

Los instrumentos utilizados en esta investigación son fichas técnicas realizadas en el laboratorio, siendo posteriormente la utilización de estos datos a ser procesados bajo la normativa sobre la incidencia del hormigón asfáltico sobre las propiedades de las bases granulares aplicando el software SPSS y Ms. Excel como medida de que verificación sobre el procesamiento de la información.

**Fotografía 3. Prueba de campo**





### C) Características de la zona

Según su posición se presenta un clima cálido ya que al ubicarse a una altitud de 3327 m.s.n.m este presenta un clima templado húmedo con lo cual causa que las variaciones del clima sea muy inestable durante todo el año y que presenta variaciones desde temperaturas de 28 °C hasta -5°C por horarios nocturnos.

**Ilustración 9. Parámetros climáticos**

Parámetros climáticos promedio													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. media (°C)	19	18	17	16	16	16	25	29	20	17	18	20	19.3
Temp. media (°C)	12.6	12.5	12.3	12.2	11.4	10.3	10.2	11.3	12.5	13.1	13.1	12.7	12
Temp. mín. media (°C)	9	9	9	7	5	2	3	2	5	6	8	10	6.3
Precipitación total (mm)				76	36	0.6	0.9	3.6	46	71			936.1

Fuente: Wikipedia

### 3.7. Recolección de datos – Ensayos de laboratorio

#### 3.7.1. Evaluación de la propiedades de los agregados.

La realización de los ensayos fue iniciada el 28 de octubre del 2021.

#### 3.7.2. Límites de Atterberg – NTP 339.129

##### 3.7.2.1. Límites Líquido (L.P) – MTC E 110

###### a. Objetivo

Para la determinación del límite líquido de un material, se ha designado el contenido de humedad óptimo y abriendo un surco a lo largo del platillo con una distancia promedio de 13 mm (1/2”) y con 25 golpes a una altura de 1 cm.

###### b. Finalidad

Sirve para poder caracterizar las fracciones de dimensión pequeña (granos finos) es para poder obtener el comportamiento ingenieril como la compresibilidad, resistencia al corte.

### **c. Muestra**

Se obtiene una muestra de 150 gramos a 200 gramos de material pasante el tamiz 425  $\mu\text{m}$  (N°40). Las muestras analizadas pueden ser disminuir en el proceso de cuarteo o las divisiones de la muestra, las muestras cohesivas deberán ser batidas con una espátula o material de la masa extrayéndola con una cuchara por dos veces.

### **d. Cálculos**

Para poder determinar el límite líquido de la muestra el contenido de humedad empleando las siguientes ecuaciones:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL = kW^n$$

## **3.7.2.2. Límites Plástico (L.P) – MTC E 111**

### **a. Objetivo**

Determinar el valor del límite plástico para calcular el índice de plasticidad (.I.P) ya conociendo el valor del límite líquido.

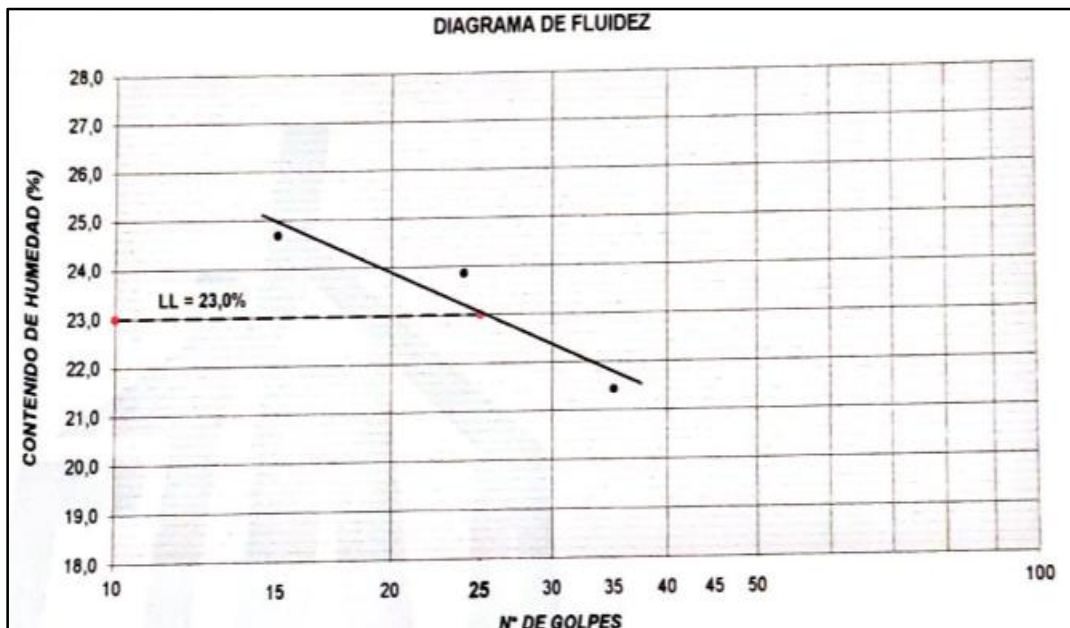
### **b. Finalidad**

Este ensayo nos permite caracterizar y poder clasificar los diferentes suelos para poder especificar según sus clasificaciones en relación a la fracción del grano y logrando especificar las propiedades del suelo.

### **c. Muestra**

Para poder determinar el L.P se tiene una muestra de 20 gramos pasante del tamiz 426 mm (N°40), el cual es amasado con el agua destilada formándose una esfera con el suelo en proporciones de 1.5 gramos a 2.0 gramos en ejecución del ensayo.

**Fotografía 4. Límites de Atterberg**



**d. Cálculos**

Calcular el promedio de los contenidos de humedad según la tabla:

**Ilustración 10. Tabla de precisión y estimación**

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
<b>Precisión de un operador simple</b>		
Límite Plástico	0,9	2,6
<b>Precisión Multilaboratorio</b>		
Límite Plástico	3,7	10,6

**3.7.3. Proctor Modificado – ASTM (D-1557)**

**a. Objetivo**

El método de ensayo para la evaluación de la compactación del suelo en el laboratorio se utiliza una energía modificada de (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>)).

**b. Finalidad**

Para la finalidad de este ensayo se utilizará 3 métodos siendo que la elección en relación a la gradación del material analizado.



- Método "A"
- Método "B"
- Método "C"

**c. Muestra**

Para la elección de la muestra por el método "A" y "B" se utilizará aproximadamente 16 kg de muestra representativa, para el empleo del método "C" se utilizará 29 kg de muestra seca, y para muestras húmedas por el método "A" y "B" se utilizará aproximadamente 23 kg de muestra representativa, para el empleo del método "C" se utilizará 45 kg de muestra húmeda.

**d. Cálculos**

Para poder determinar el peso unitario seco de la muestra se empleará la siguiente formula:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V} \quad (1)$$

Donde:

$\rho_m$  = Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)  
 $M_t$  = Masa del espécimen húmedo y molde (kg)  
 $M_{md}$  = Masa del molde de compactación (kg)  
 $V$  = Volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>) (Ver Anexo A1)

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

Donde:

$\rho_d$  = Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)  
 $w$  = contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 62,43 \rho_d \text{ en } \text{ lbf/ft}^3 \quad (3)$$

$$\gamma_d = 9,807 \rho_d \text{ en } \text{ kN/m}^3$$

Donde:

$\gamma_d$  = peso unitario seco del espécimen compactado.

**Fotografía 5. Proctor modificado**



### **3.7.4. Valor relativo del Soporte CBR– AASHO T-180 D**

#### **a. Objetivo**

El procedimiento para la realización del índice de resistencia de los materiales o suelos denominado el valor de la relación del soporte, este ensayo en condiciones sobre la humedad y la densidad máxima seca para que pueda operarse de forma más análoga sobre las muestras analizadas.

#### **b. Finalidad**

El método para poder evaluar la resistencia de un suelo es poder obtener un potencial de cualquier material de forma integral para la utilización en una vía, los diferentes criterios de las muestras ensayadas se basan necesariamente en la capacidad de carga especificando la cantidad de agua utilizada en la muestra analizada.

#### **c. Muestra**

Se utilizará el material que pasa el tamiz (3/4") empleando una gradación en relación a la muestra compactada sin modificar, el material removido que ha pasado el tamiz

3/4" será reemplazado por una cantidad semejante y que sea retenido en el tamiz N°04, obtenido por proporciones de muestras.

**Fotografía 6. Prueba en prensa CBR.**



#### d. Cálculos

Para el cálculo de la humedad de la muestra se utilizará la siguiente formula:

$$\% \text{ de agua a añadir} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H = Humedad prefijada  
h = Humedad natural

Para el cálculo de la expansión se obtiene mediante las lecturas de los deformímetros antes y después de las inmersiones.

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L_2 - L_1}{127} \times 100$$

Donde

L<sub>1</sub> = Lectura inicial en mm.  
L<sub>2</sub> = Lectura final en mm.

### 3.7.5. Análisis Mecánico por tamizado NTP 339.128

#### a. Objetivo

Determinar la gradación de las partículas según su distribución de las muestras analizadas.

#### b. Finalidad

Este método nos sirve para poder determinar por los distintos tamices las gradaciones de las partículas hasta el tamiz N°200 (74 mm).

#### c. Muestra

Las muestras ensayadas se dividirán en dos fracciones las cuales estarán definidas por los agregados gruesos que vendrían a ser las partículas de mayor dimensión al tamiz N°04 (4,760 mm) y las partículas pasante este tamiz ya que ambas fracciones serán clasificadas de diferente forma.

**Tabla 13.** *Diámetro nominal de las partículas.*

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

#### d. Cálculos

Se calcula los porcentajes que pasan el tamiz N°04 (4,760 mm) y a cada retención de material se tiene que multiplicar por 100 obteniendo así la proporción de material retenido en cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

**Fotografía 7.** *Ensayo de granulometría de material de base.*





## CAPITULO IV

### RESULTADOS

Los ensayos realizados en la presente investigación son los obtenidos en las pruebas realizadas en el laboratorio aplicando las Normas Técnicas Peruanas, apoyadas en el manual de Especificaciones Técnicas de Carreteras y también en el Manual de ensayo de Materiales.

#### 4.1. Análisis Técnico

##### 4.1.1. Ensayo de Límites de Atterberg (Norma Técnica Peruana NTP 339.129)

##### 4.1.1.1. Límite Líquido

El límite líquido nos permite obtener el contenido de humedad que está en la frontera entre el estado de consistencia plástica y el estado de consistencia semilíquida.

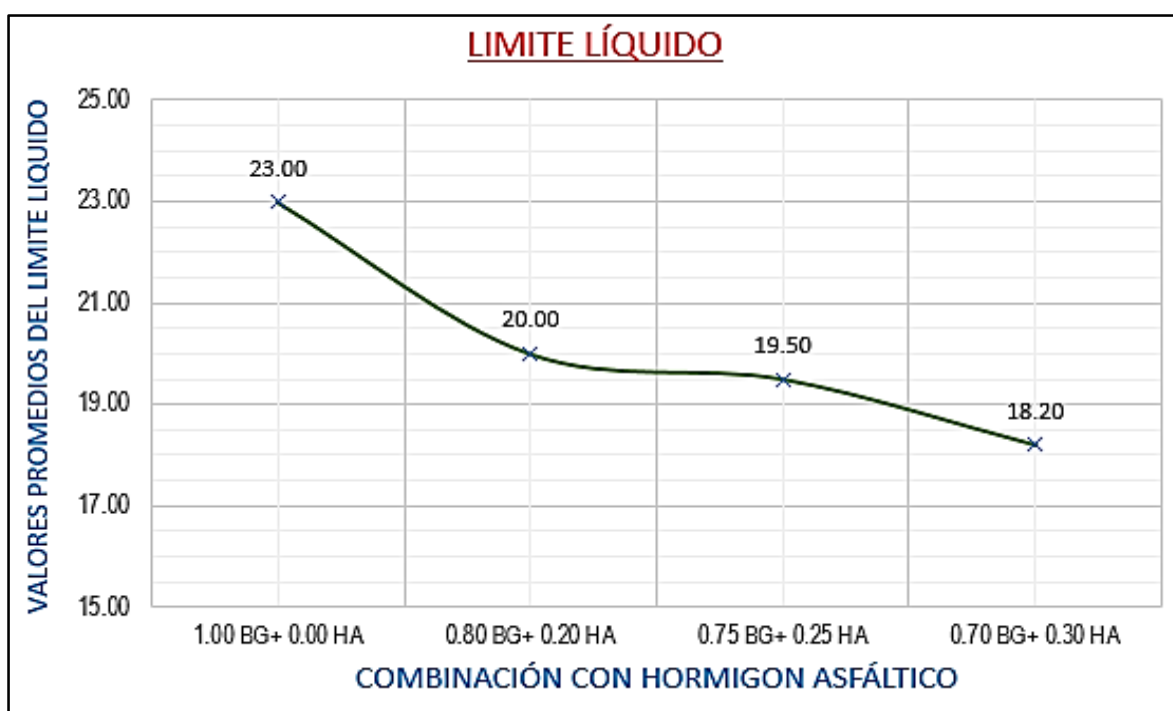
**Tabla 14.** Valores porcentuales del Límite Líquido.

MUESTRA	DENOMINACIÓN	HORMIGÓN ASFÁLTICO	LÍMITE LÍQUIDO	PROMEDIO DEL L.L
1	1.00 BG+ 0.00 HA	0.00 %	22.50 %	23.00 %
2			23.50 %	
3			23.00 %	
1	0.80 BG+ 0.20 HA	20.00 %	20.50 %	20.00 %
2			19.50 %	

3			19.50 %	
1	0.75 BG+ 0.25 HA	25.00 %	19.50 %	19.50 %
2			19.00 %	
3			20.00 %	
1	0.70 BG+ 0.30 HA	30.00 %	17.70 %	18.20 %
2			18.70 %	
3			18.30 %	

Bach. Bendezu Enciso, Jorge Armando

**Ilustración 11.** *Comportamiento Porcentual del Limite Liquido*



Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

Como vemos en la grafica los valores del limite liquido al mayor aumento de dosificación de hormigón asfáltico se va reduciendo ya que al poder analizar dichos porcentajes la disminución al incremento de hormigón es inversamente proporcional, determinando así los siguientes puntos.

- El Límite Líquido para la combinación de hormigón asfáltico denominado (1.00 BG+ 0.00 HA) es de 23.50%.
- El Límite Líquido para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.80 BG+ 0.20 HA) es de 20.00%, lo que significa una disminución de 14.89% en relación al valor patrón obtenido.
- El Límite Líquido para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.75 BG+ 0.25 HA) es de 19.50%, lo que significa una disminución de 17.02% en relación al valor patrón obtenido.
- El Límite Líquido para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.70 BG+ 0.30 HA) es de 18.20%, lo que significa una disminución de 22.55% en relación al valor patrón obtenido.

#### 4.1.1.2. Límite Plástico

El límite plástico hace de referencia al contenido de humedad con que un suelo puede cambiar al disminuir su humedad de una consistencia plástica a una fase semisólida ya que al aumentar la humedad pasa de una consistencia semisólida a una consistencia plástica a este límite le denominamos límite plástico.

**Tabla 15.** *Valores porcentuales del Límite Plástico.*

MUESTRA	DENOMINACIÓN	HORMIGÓN ASFÁLTICO	LÍMITE PLÁSTICO	PROMEDIO DEL L.L
1	1.00 BG+ 0.00 HA	0.00 %	18.50 %	18.90 %
2			19.20 %	
3			18.90 %	
1	0.80 BG+ 0.20 HA	20.00 %	17.90 %	17.60 %
2			16.90 %	
3			17.40 %	
1	0.75 BG+ 0.25 HA	25.00 %	16.80 %	17.60 %
2			17.80 %	
3			17.40 %	



1	0.70 BG+ 0.30 HA	30.00 %	NP	NP
2			NP	
3			NP	

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Ilustración 12. Comportamiento Porcentual del Limite Plástico**



Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

Como vemos en la gráfica los valores del límite plástico al mayor aumento de dosificación de hormigón asfáltico se va reduciendo ya que al poder analizar dichos porcentajes la disminución al incremento de hormigón es inversamente proporcional, determinando así los siguientes puntos.

- El Límite plástico para la combinación de hormigón asfáltico denominado (1.00 BG+ 0.00 HA) es de 18.90%.
- El Límite plástico para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.80 BG+ 0.20 HA) es de 17.60%, lo que significa una disminución de 6.88% en relación al valor patrón obtenido.

- El Límite plástico para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.75 BG+ 0.25 HA) es de 17.60%, lo que significa una disminución de 6.88% en relación al valor patrón obtenido.
- El Límite plástico para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.70 BG+ 0.30 HA) No presenta.

#### 4.1.1.3. Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad indica el intervalo entre la variabilidad de la humedad con el que el suelo se mantiene en estado plástico, siendo este valor una indicación de la compresibilidad del suelo siendo el valor más alto se obtiene un mayor grado de compresibilidad.

**Tabla 16.** *Valores porcentuales del Índice de Plasticidad.*

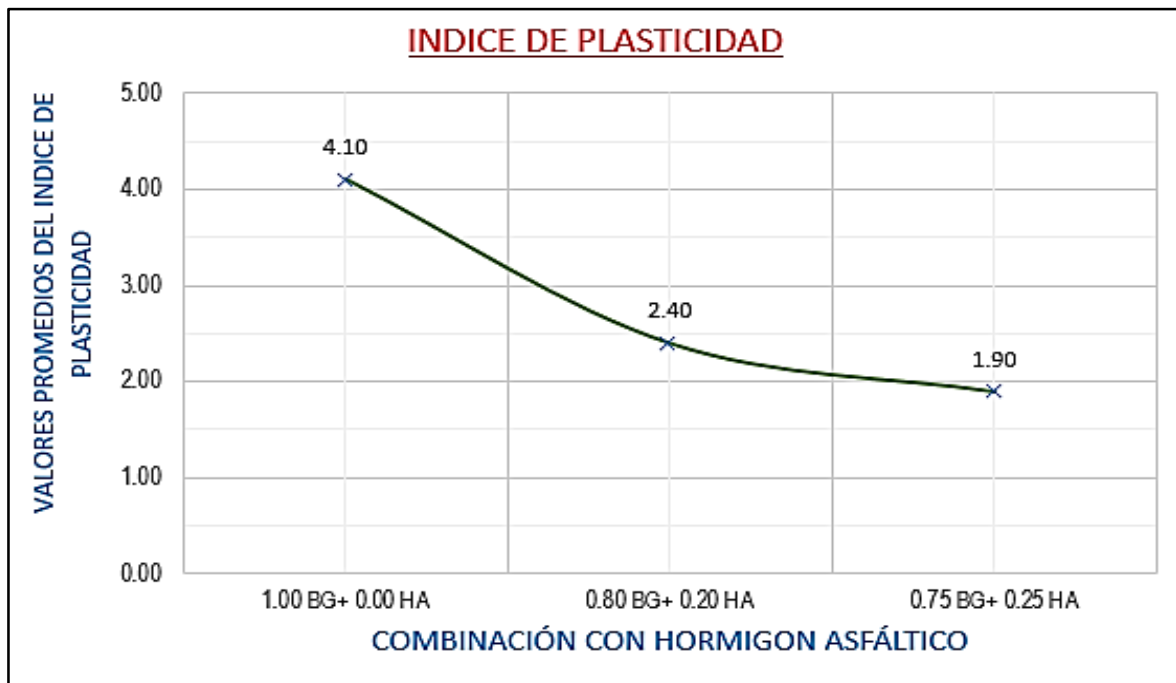
N°	DENOMINACIÓN	HORMIGÓN ASFÁLTICO	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD
1	1.00 BG+ 0.00 HA	0.00 %	23.00 %	18.90 %	4.10 %
2	0.80 BG+ 0.20 HA	20.00 %	20.00 %	17.60 %	2.40 %
3	0.75 BG+ 0.25 HA	25.00 %	19.50 %	17.60 %	1.90 %
4	0.70 BG+ 0.30 HA	30.00 %	18.20 %	NP	NP

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Fotografía 8. Combinación granulométrica.**



**Ilustración 13. Comportamiento Porcentual del Índice de Plasticidad**



Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

Como vemos en la gráfica los valores del índice de plasticidad al mayor aumento de dosificación de hormigón asfáltico se va reduciendo ya que al poder analizar dichos porcentajes la disminución al incremento de hormigón es inversamente proporcional, determinando así los siguientes puntos.

- El índice de plasticidad para la combinación de hormigón asfáltico denominado (1.00 BG+ 0.00 HA) es de 4.10%.
- El índice de plasticidad para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.80 BG+ 0.20 HA) es de 2.40%, lo que significa una disminución de 47.83% en relación al valor patrón obtenido.
- El índice de plasticidad para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.75 BG+ 0.25 HA) es de 1.90%, lo que significa una disminución de 58.70% en relación al valor patrón obtenido.
- El índice de plasticidad para la combinación de hormigón asfáltico denominado (0.70 BG+ 0.30 HA) No presenta.

#### **4.1.2. Proctor Modificado (Norma Técnica Peruana NTP 339.141)**

Este ensayo es desarrollado con el fin de poder determinar la máxima densidad seca y obtener también el óptimo contenido de humedad en donde bajo las condiciones de compactación del material el cual a través de un compactador permite poder reducir la variabilidad del suelo.

##### **4.1.2.1. Óptimo Contenido de Humedad (O.C.H.)**

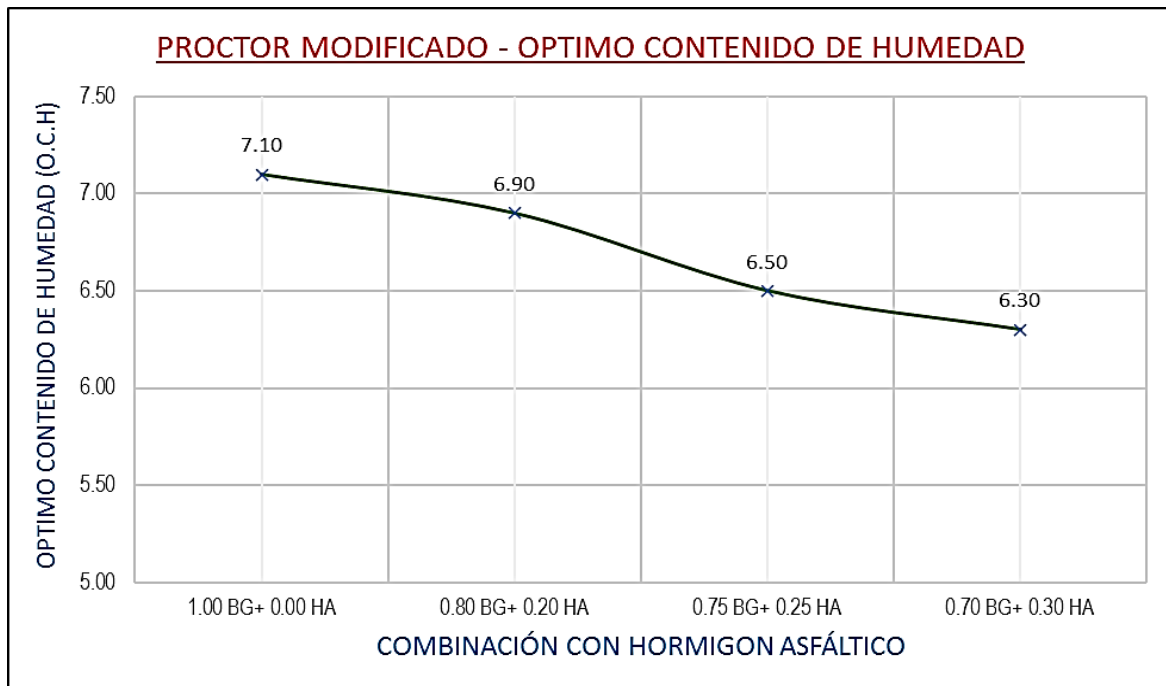
**Tabla 17.** *Valores de los óptimos contenidos de Humedad.*

<b>MUESTRA</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>HORMIGÓN ASFÁLTICO</b>	<b>ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>PROMEDIO DEL (O.C.H.)</b>
1	1.00 BG+ 0.00 HA	0.00 %	7.20 %	7.10 %
2			7.00 %	
3			7.10 %	
4			7.10 %	
1	0.80 BG+ 0.20 HA	20.00 %	7.00 %	6.90 %

2			6.80 %	
3			6.90 %	
4			6.80 %	
1	0.75 BG+ 0.25 HA	25.00 %	6.40 %	6.50 %
2			6.50 %	
3			6.60 %	
4			6.50 %	
1	0.70 BG+ 0.30 HA	30.00 %	6.20 %	6.30 %
2			6.30 %	
3			6.20 %	
4			6.40 %	

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Ilustración 14.** Variabilidad del optimo contenido de humedad a la dosificación de hormigón asfáltico



Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

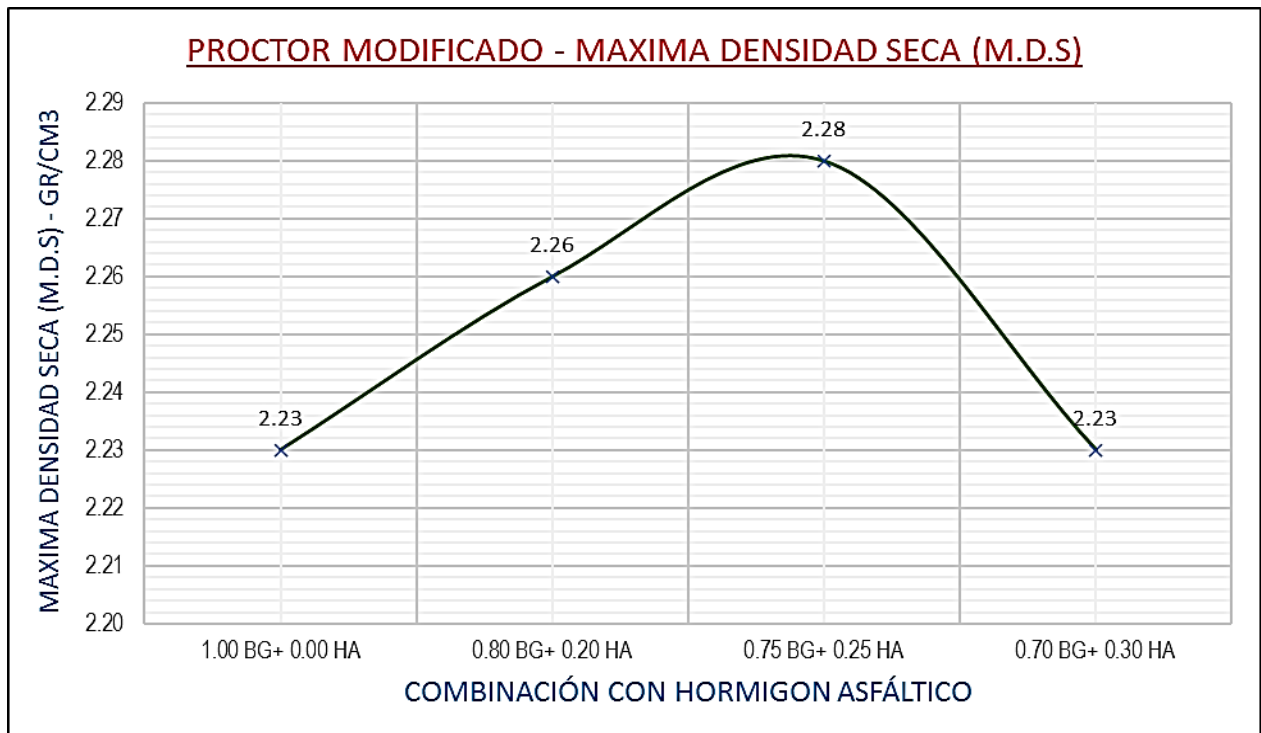
#### 4.1.2.2. Máxima Densidad Seca (M.D.S.)

**Tabla 18.** Valores de la Máxima Densidad Seca.

MUESTRA	DENOMINACIÓN	HORMIGÓN ASFÁLTICO	MÁXIMA DENSIDAD SECA	PROMEDIO DE LA (M.D.S)
1	1.00 BG+ 0.00 HA	0.00 %	2.25 gr/cm <sup>3</sup>	2.23 gr/cm <sup>3</sup>
2			2.21 gr/cm <sup>3</sup>	
3			2.24 gr/cm <sup>3</sup>	
4			2.21 gr/cm <sup>3</sup>	
1	0.80 BG+ 0.20 HA	20.00 %	2.24 gr/cm <sup>3</sup>	2.26 gr/cm <sup>3</sup>
2			2.26 gr/cm <sup>3</sup>	
3			2.26 gr/cm <sup>3</sup>	
4			2.28 gr/cm <sup>3</sup>	
1	0.75 BG+ 0.25 HA	25.00 %	2.29 gr/cm <sup>3</sup>	2.28 gr/cm <sup>3</sup>
2			2.28 gr/cm <sup>3</sup>	
3			2.29 gr/cm <sup>3</sup>	
4			2.28 gr/cm <sup>3</sup>	
1	0.70 BG+ 0.30 HA	30.00 %	2.22 gr/cm <sup>3</sup>	2.23 gr/cm <sup>3</sup>
2			2.21 gr/cm <sup>3</sup>	
3			2.24 gr/cm <sup>3</sup>	
4			2.24 gr/cm <sup>3</sup>	

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Ilustración 15.** Variabilidad de la máxima densidad seca a la dosificación de hormigón asfáltico



Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

#### 4.1.3. C.B.R (Norma Técnica Peruana NTP 339.145)

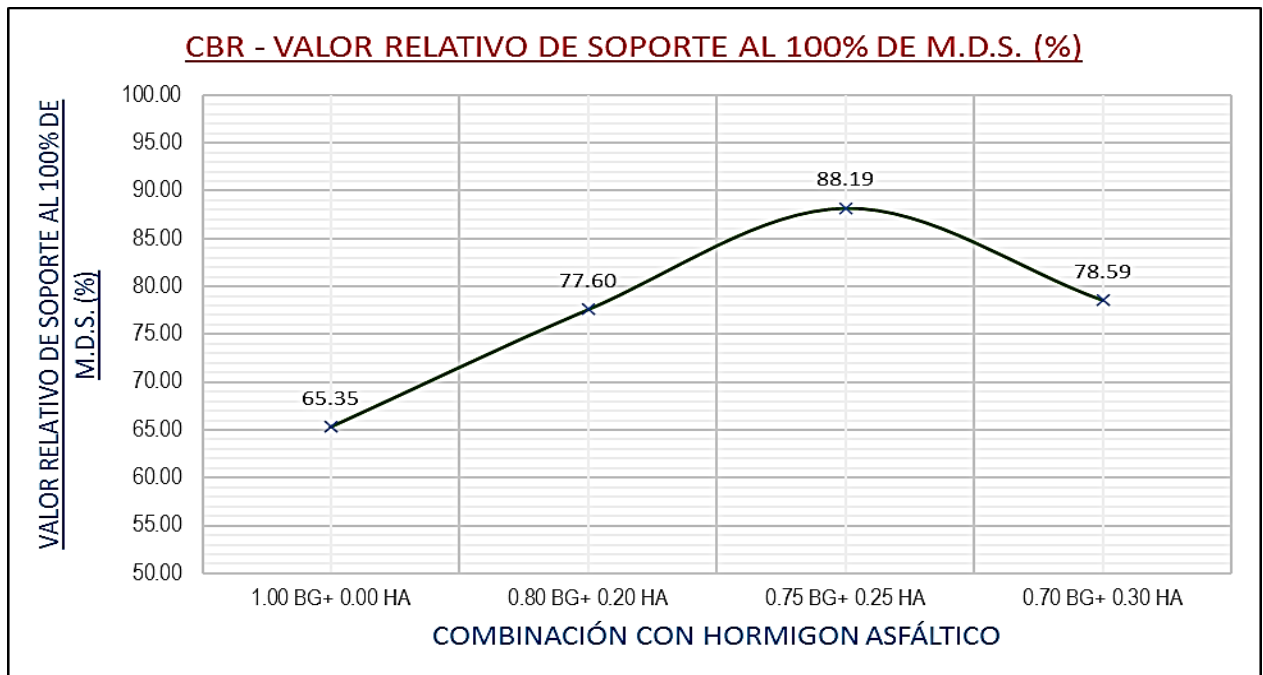
Este ensayo tiene como objetivo el poder obtener el índice de resistencia de los suelos denominado en relación a su soporte, este ensayo consiste en preparar el material bajo condiciones de humedad y de su densidad de una forma que simule la realidad del terreno y las formas análogas del terreno inalterado.

**Tabla 19.** Valores del CBR.

N°	DENOMINACIÓN	M.D.S (gr/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	C.B.R AL 100% DE M.D.S (%)	C.B.R AL 95% DE M.D.S (%)	CARGA PATRÓN
1	1.00 BG+ 0.00 HA	2.23	7.10	65.35	43.46	1355
2	0.80 BG+ 0.20 HA	2.26	6.90	77.60	51.26	1355
3	0.75 BG+ 0.25 HA	2.28	6.50	88.19	58.77	1355
4	0.70 BG+ 0.30 HA	2.23	6.30	78.59	50.03	1355

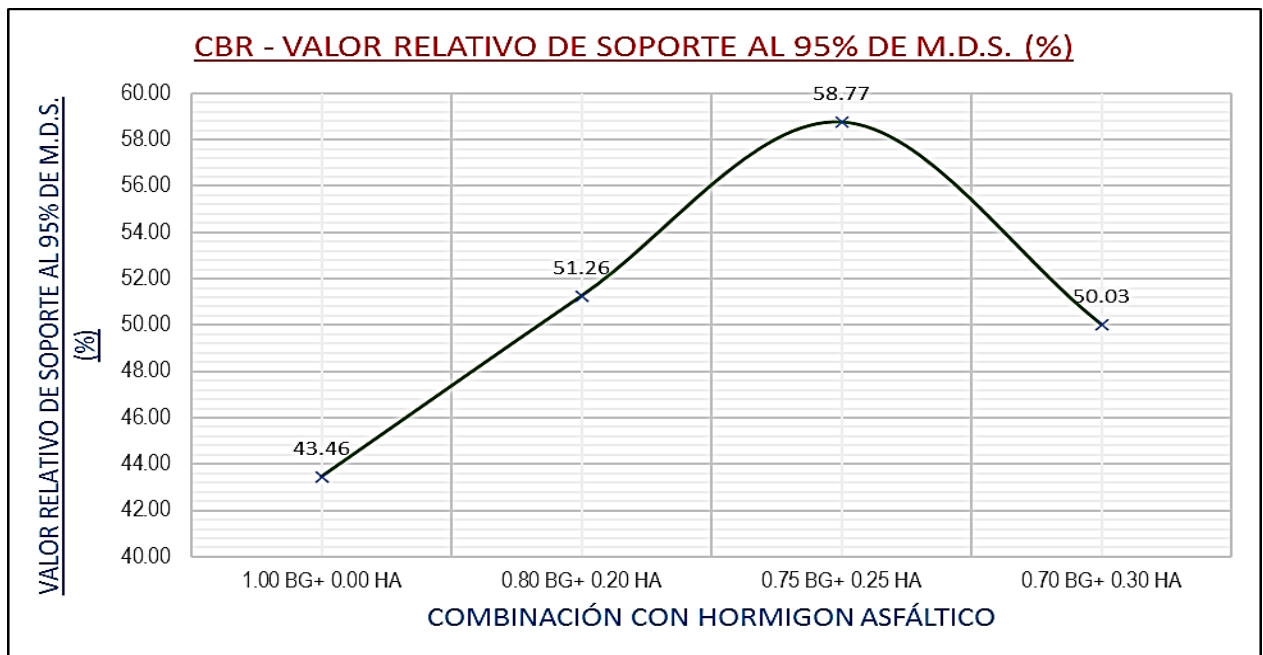
Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Ilustración 16.** Variabilidad de capacidad de soporte al 100% de la M.D.S. a la dosificación de hormigón asfáltico



Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Ilustración 17.** Variabilidad de capacidad de soporte al 95% de la M.D.S. a la dosificación de hormigón asfáltico



Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando



**4.1.4. Análisis Granulométrico por tamizado (Norma Técnica Peruana NTP 400.120)**

Este ensayo tiene como objetivo el poder determinar la gradación de los materiales analizados en relación a sus dimensiones para lo cual la distribución del tamaño de partículas es necesaria para la producción de agregados y su utilización.

**Tabla 20. Combinación Granulométrica de canteras.( 1.00 BG+ 0.00 HA)**

Malla	BASE GRANULAR (100.00 %)		HORMIGÓN ASFÁLTICO (0.00 %)		Total (100 %)	Especificación Gradación "A"	
2"	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100	
3/8"	69.50	69.50	69.50	0.00	69.50	30	65
N°04	52.30	52.30	52.30	0.00	52.30	25	55
N°10	38.90	38.90	38.90	0.00	38.90	15	40
N°40	18.10	18.10	18.50	0.00	18.10	8	20
N°200	9.70	9.70	3.50	0.00	9.70	2	8

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Tabla 21. Combinación Granulométrica de canteras.( 0.80 BG+ 0.20 HA)**

Malla	BASE GRANULAR (70%)		HORMIGÓN ASFÁLTICO (30%)		Total (100%)	Especificación Gradación "A"	
2"	100.00	80.00	100.00	20.00	100.00	100	
3/8"	61.10	48.90	69.50	13.90	62.80	30	65
N°04	44.60	35.70	52.30	10.50	46.10	25	55
N°10	31.80	25.40	38.90	7.80	33.20	15	40
N°40	17.80	14.20	18.50	3.70	17.90	8	20

N°200	9.60	7.70	3.50	0.70	8.40	2	8
-------	------	------	------	------	------	---	---

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Tabla 22.** *Combinación Granulométrica de canteras.( 0.75 BG+ 0.25 HA)*

Malla	BASE GRANULAR (75%)		HORMIGÓN ASFÁLTICO (25%)		Total (100%)	Especificación Gradación "A"	
2"	100.00	75.00	100.00	25.00	100.00	100	
3/8"	61.10	45.80	69.50	17.40	63.20	30	65
N°04	44.60	33.50	52.30	13.10	46.50	25	55
N°10	31.80	23.90	38.90	9.70	33.60	15	40
N°40	17.80	13.40	18.50	4.60	18.00	8	20
N°200	9.60	7.20	3.50	0.90	8.10	2	8

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Tabla 23.** *Combinación Granulométrica de canteras.( 0.70 BG+ 0.30 HA)*

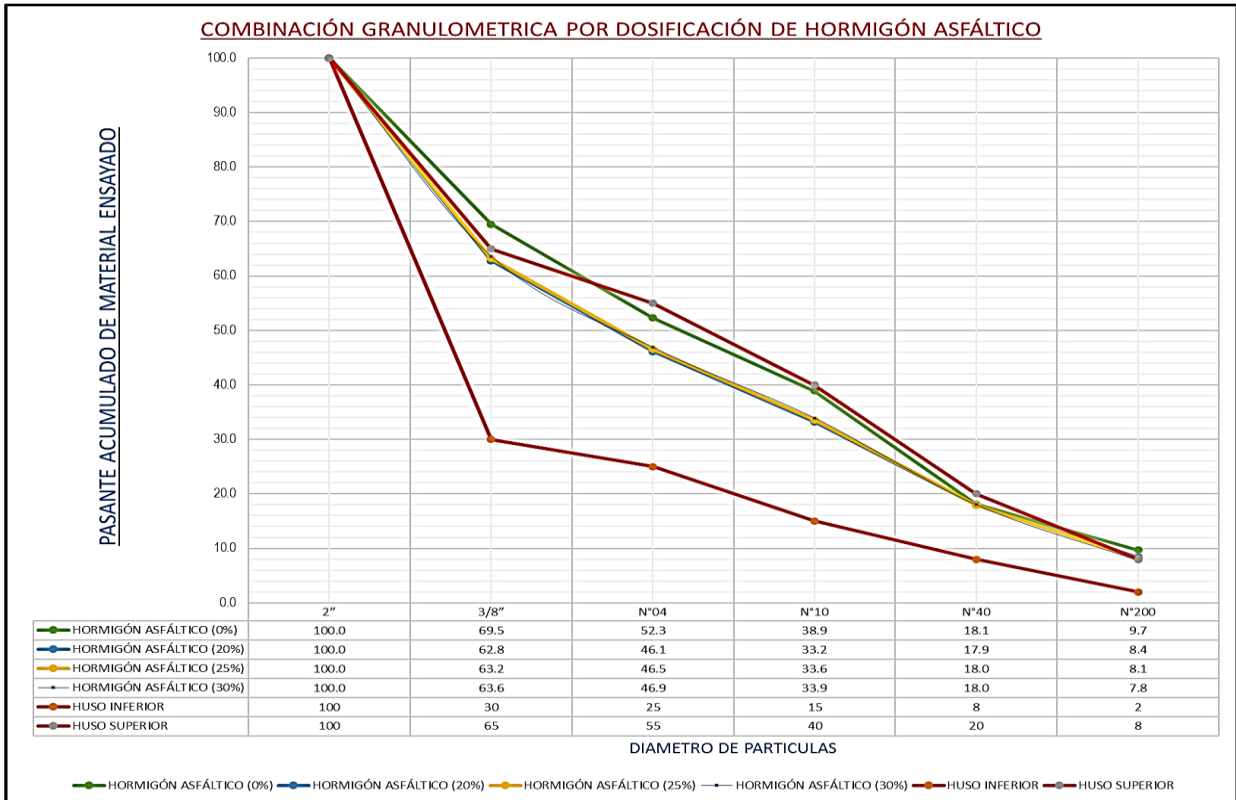
Malla	BASE GRANULAR (70%)		HORMIGÓN ASFÁLTICO (30%)		Total (100%)	Especificación Gradación "A"	
2"	100.00	70.00	100.00	30.00	100.00	100	
3/8"	61.10	42.80	69.50	20.90	63.60	30	65
N°04	44.60	31.20	52.30	15.70	46.90	25	55
N°10	31.80	22.30	38.90	11.70	33.90	15	40
N°40	17.80	12.50	18.50	5.60	18.00	8	20
N°200	9.60	6.70	3.50	1.10	7.80	2	8

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

Fotografía 9. Combinación granulométrica para análisis.



Ilustración 18. Variabilidad de la combinación granulométrica a la dosificación de hormigón asfáltico.



#### 4.1.5. Control de núcleos asfálticos

##### 4.1.5.1. Peso específico Bulk – ASTM D2726

Este ensayo tiene como objetivo el poder determinar el peso específico de la muestra que será ensayada en la briqueta el cual será evaluada a través de la prensa Marshall para su evaluación de su estabilidad.

**Tabla 24.** Valores del Peso específico Bulk (0.80 BG+ 0.20 HA).

N°	DENOMINACIÓN	HORMIGON ALFALTICO (%)	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA (CM <sup>3</sup> )	PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )	PROMEDIO PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )
1	0.80 BG+ 0.20 HA	20.00 %	538.80	2.225	2.231
2		20.00 %	532.50	2.225	
3		20.00 %	540.00	2.220	
4		20.00 %	535.80	2.224	
5		20.00 %	538.60	2.223	
6		20.00 %	537.40	2.223	

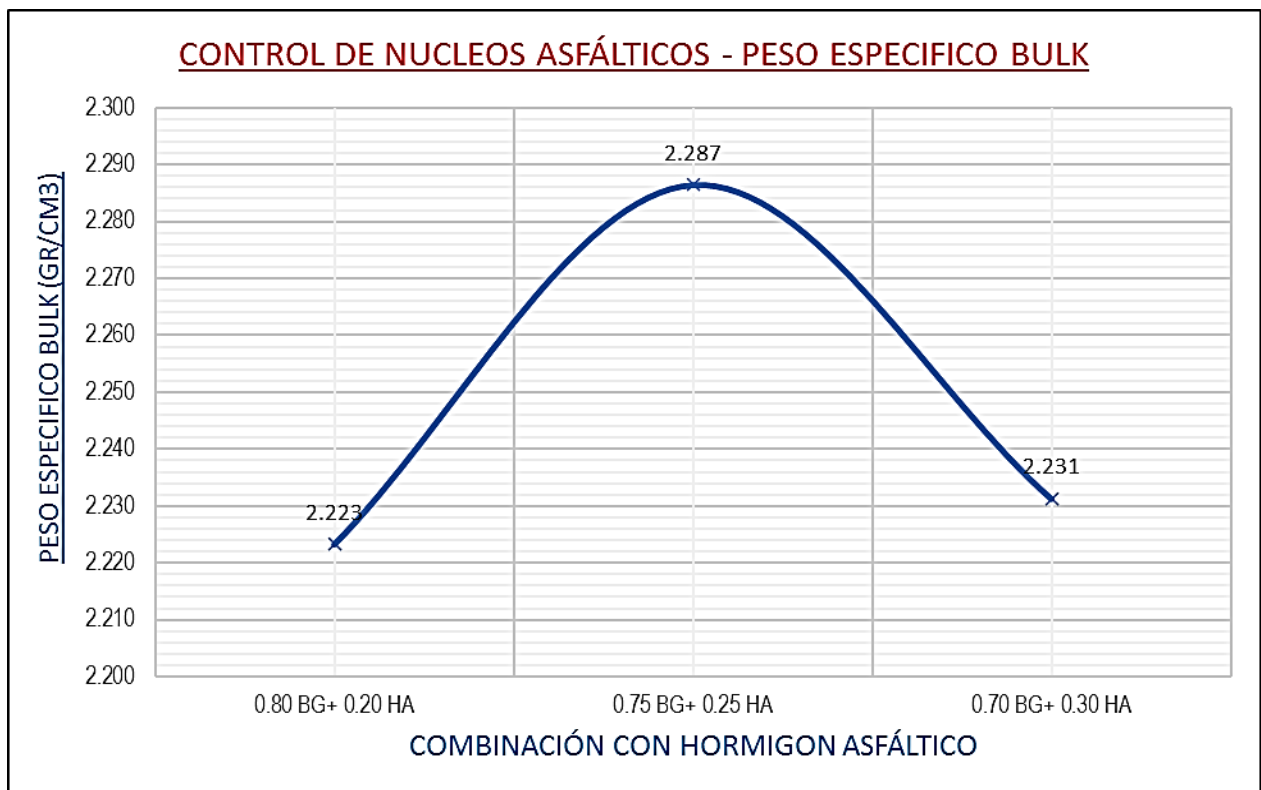
**Tabla 25.** Valores del Peso específico Bulk (0.75 BG+ 0.25 HA).

N°	DENOMINACIÓN	HORMIGON ALFALTICO (%)	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA (CM <sup>3</sup> )	PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )	PROMEDIO PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )
1	0.80 BG+ 0.25 HA	25.00 %	515.60	2.287	2.287
2		25.00 %	519.00	2.283	
3		25.00 %	519.00	2.289	
4		25.00 %	520.50	2.285	
5		25.00 %	518.90	2.288	
6		25.00 %	517.50	2.287	

**Tabla 26.** Valores del Peso específico Bulk (0.70 BG+ 0.30 HA).

N°	DENOMINACIÓN	HORMIGON ALFALTICO (%)	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA (CM <sup>3</sup> )	PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )	PROMEDIO PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )
1	0.80 BG+ 0.25 HA	30.00 %	528.50	2.234	2.231
2		30.00 %	538.50	2.235	
3		30.00 %	536.00	2.231	
4		30.00 %	538.00	2.229	
5		30.00 %	537.50	2.228	
6		30.00 %	538.00	2.231	

**Ilustración 19.** Variabilidad del peso específico Bulk a la dosificación de hormigón asfáltica.



#### 4.1.5.2. Estabilidad Marshall – ASTM D1559

Este ensayo consiste en la determinación de la estabilidad de la muestra o briqueta analizada el cual será obtenido en kg, siendo un parámetro para poder obtener la rigidez a la combinación granulométrica.

**Tabla 27.** Valores del Peso específico Bulk (0.80 BG+ 0.20 HA).

N°	DENOMINACIÓN	HORMIGON ALFALTICO (%)	PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )	ESTABILIDAD MARSHALL (Kg)	PROMEDIO DE LA ESTABILIDAD MARSHALL (Kg)
1	0.80 BG+ 0.20 HA	20.00 %	2.225	279.00	284.70
2		20.00 %	2.225	298.00	
3		20.00 %	2.220	277.00	
4		20.00 %	2.224	290.00	
5		20.00 %	2.223	285.00	
6		20.00 %	2.223	279.00	

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Tabla 28.** Valores del Peso específico Bulk (0.75 BG+ 0.25 HA).

N°	DENOMINACIÓN	HORMIGON ALFALTICO (%)	PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )	ESTABILIDAD MARSHALL (Kg)	PROMEDIO DE LA ESTABILIDAD MARSHALL (Kg)
1	0.75 BG+ 0.25 HA	25.00 %	2.287	485.00	492.70
2		25.00 %	2.283	517.00	
3		25.00 %	2.289	472.00	
4		25.00 %	2.285	505.00	
5		25.00 %	2.288	490.00	
6		25.00 %	2.287	487.00	

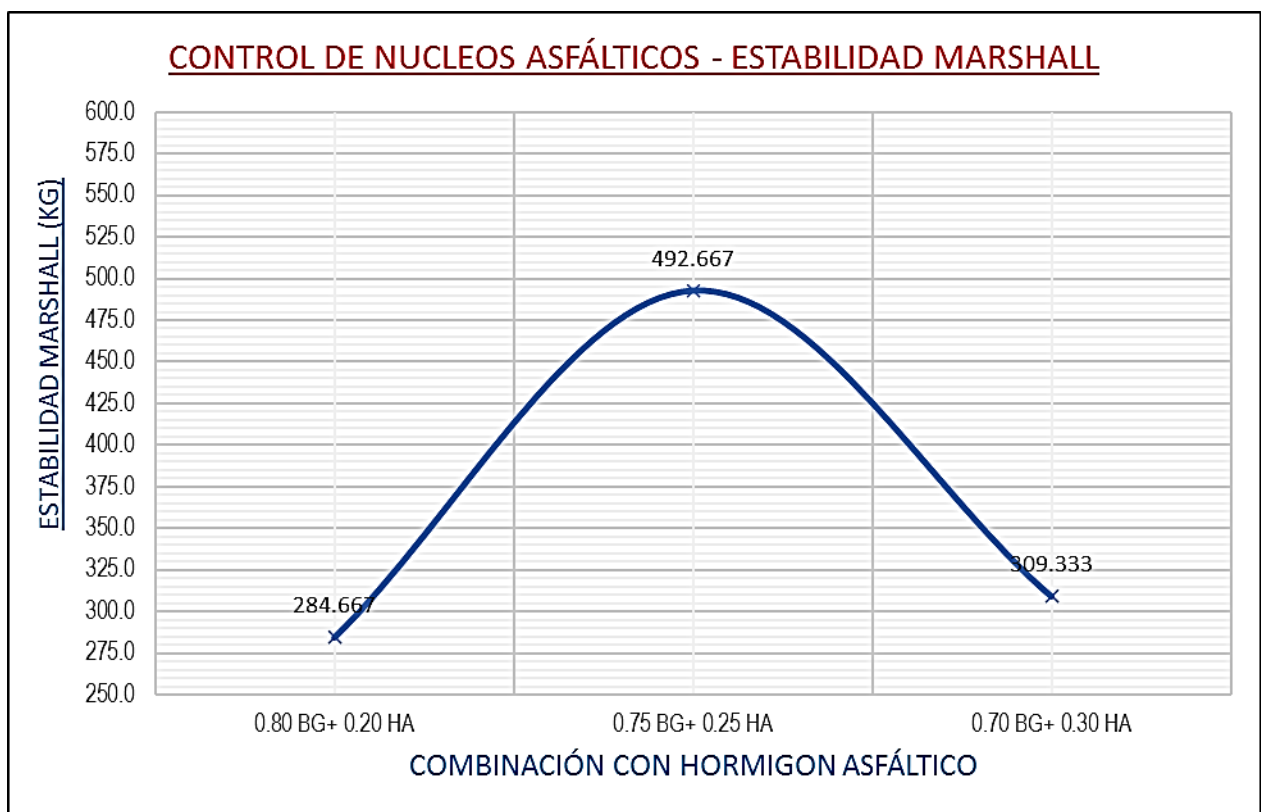
Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Tabla 29.** Valores del Peso específico Bulk (0.70 BG+ 0.30 HA).

N°	DENOMINACIÓN	HORMIGON ALFALTICO (%)	PESO ESPECIFICO BULK (gr/cm <sup>3</sup> )	ESTABILIDAD MARSHALL (Kg)	PROMEDIO DE LA ESTABILIDAD MARSHALL (Kg)
1	0.70 BG+ 0.30 HA	30.00 %	2.287	300.00	309.30
2		30.00 %	2.283	302.00	
3		30.00 %	2.289	324.00	
4		30.00 %	2.285	315.00	
5		30.00 %	2.288	310.00	
6		30.00 %	2.287	305.00	

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

**Ilustración 20.** Variación de la estabilidad a la dosificación de hormigón asfáltica.



Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

## 4.2. Análisis Estadístico

### 4.2.1. Contrastación de hipótesis y coeficientes de correlación.

#### 4.2.1.1. Análisis estadístico del Limite Liquido.

Se realiza el análisis estadístico para las diferentes dosificaciones de hormigón asfáltico realizadas en la presente investigación.

#### a. Análisis estadístico del Limite líquido con (1.00 BG+ 0.00 HA).

**Tabla 30.** Análisis estadístico del Limite Liquido (1.00 BG+ 0.00 HA)

<b>ANALISIS ESTADISTICO DEL LIMITE LIQUIDO (1.00 BG+ 0.00 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	22.50	23.00	-0.53	0.284
M-2	23.50	23.00	0.47	0.218
M-3	23.10	23.00	0.07	0.004
$\Sigma [x_n] = 69.10$		$\Sigma [x_n - \bar{x}]^2 = 0.507$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 3$$

$$\bar{x} = 23.00 \%$$

$$S = 0.50$$

$$V = 2.19$$

De lo obtenido anteriormente se determina lo siguiente:

$$V = 2.19\% \text{ (Optimo), puesto que}$$

$$2.0\% < S < 3.0\%$$

#### b. Análisis estadístico del Limite líquido con (0.80 BG+ 0.20 HA).

**Tabla 31.** Análisis estadístico del Limite Liquido (0.80 BG+ 0.20 HA)



<b>ANALISIS ESTADISTICO DEL LIMITE LIQUIDO (0.80 BG+ 0.20 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	20.50	19.83	0.67	0.444
M-2	19.50	19.83	-0.33	0.111
M-3	19.50	19.83	-0.33	0.111
$\Sigma [x_n] = 59.50$		$\Sigma [x_n - \bar{x}]^2 = 0.667$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 3$$

$$\bar{x} = 19.83 \%$$

$$S = 0.58$$

$$V = 2.91$$

De lo obtenido anteriormente se determina lo siguiente:

$V = 2.91\%$  (Optimo), puesto que

$$2.0\% < S < 3.0\%$$

**c. Análisis estadístico del Limite líquido con (0.75 BG+ 0.25 HA).**

**Tabla 32.** Análisis estadístico del Limite Liquido (0.75 BG + 0.25 HA)

<b>ANALISIS ESTADISTICO DEL LIMITE LIQUIDO (0.75 BG+ 0.25 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	19.58	19.50	0.05	0.003
M-2	19.00	19.50	-0.53	0.277
M-3	20.00	19.50	0.47	0.224
$\Sigma [x_n] = 58.58$		$\Sigma [x_n - \bar{x}]^2 = 0.504$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 3$$

$$\bar{x} = 19.50 \%$$

$$S = 0.50$$

$$V = 2.57$$

De lo obtenido anteriormente se determina lo siguiente:

$V = 2.57 \%$  (Optimo), puesto que

$$2.0\% < S < 3.0\%$$

**d. Análisis estadístico del Limite líquido con (0.70 BG+ 0.30 HA).**

**Tabla 33.** Análisis estadístico del Limite Liquido (0.70 BG + 0.30 HA)

<b>ANALISIS ESTADISTICO DEL LIMITE LIQUIDO (0.70 BG+ 0.30 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>LIMITE LIQUIDO (%)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	17.70	18.23	-0.53	0.284
M-2	18.70	18.23	0.47	0.218
M-3	18.30	18.23	0.07	0.004
$\Sigma [x_n] = 54.70$		$\Sigma [x_n - \bar{x}]^2 = 0.507$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 3$$

$$\bar{x} = 18.23 \%$$

$$S = 0.50$$

$$V = 2.76$$

De lo obtenido anteriormente se determina lo siguiente:

$V = 2.76 \%$  (Optimo), puesto que

$$2.0\% < S < 3.0\%$$

**4.2.1.2. Prueba de Hipótesis sobre el Límite Líquido a la dosificación óptima.**

**Prueba de Hipótesis – Método t- Student**

**Tabla 34. Prueba de hipótesis sobre el Límite Líquido a una dosificación de (0.75 BG + 0.25 HA)**

<b>ANÁLISIS DE PARAMETRO L.L.</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>BASE GRANULAR CON 0.00% H.A</b>	<b>BASE GRANULAR CON 25.00% H.A</b>
Hormigón Asfáltico	0.00 %	25.00 %
Cantidad de muestras	3	3
Media ( $\bar{x}$ )	23.00	19.53
Desviación Estándar (S)	0.50	0.50
<b>SI LA HIPOTESIS RESULTA</b>		
Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : u <sub>2</sub> ≤ u <sub>1</sub>	
Hipótesis alternativa	H <sub>1</sub> : u <sub>2</sub> > u <sub>1</sub>	
<b>SIGNIFICANCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b>		
NIVEL	α = 0.05	Rechazar Si H <sub>0</sub> : u <sub>2</sub> ≤ u <sub>1</sub> , si t <sub>p</sub> ≤ t <sub>α</sub> No se rechazar si: H <sub>1</sub> : u <sub>2</sub> > u <sub>1</sub> , “Se acepta”
ESTADISTICO DE LA PRUEBA t	t <sub>α</sub> = 2.1318	
<b>PRUEBA (t – STUDENT)</b>		
$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$		<b>0.5027</b>
$t_p = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{(Sp) \left( \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right)}$		<b>0.7530</b>
<b>SE DETERMINA LO SIGUIENTE</b>		

Se da por rechazada la hipótesis nula  $H_0$  puesto a que el valor de  $t_p = 0.7530 < t_\alpha = 2.1318$ , concluyendo así que a la incorporación de 25% de hormigón asfáltico disminuye el Límite Líquido.

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

#### 4.2.1.3. Análisis estadístico del Proctor Modificado.

Se realiza el análisis estadístico para las diferentes dosificaciones de hormigón asfáltico realizadas en la presente investigación.

##### a. Análisis estadístico de la Máxima Densidad Seca con (1.00 BG+ 0.00 HA).

**Tabla 35.** Análisis estadístico de la Máxima Densidad seca (1.00 BG+ 0.00 HA)

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (1.00 BG+ 0.00 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	2.25	2.23	0.0225	0.000506
M-2	2.21	2.23	-0.0175	0.000306
M-3	2.24	2.23	0.0125	0.000156
M-4	2.21	2.23	-0.0175	0.000306
$\Sigma [x_n] = 8.91$		$\Sigma [x_n - \bar{x}]^2 = 0.00097$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 4$$

$$\bar{x} = 2.23 \text{ gr/cm}^3$$

$$S = 0.022$$

$$V = 0.99$$

##### b. Análisis estadístico de la Máxima Densidad Seca con (0.80 BG+ 0.20 HA).

**Tabla 36.** Análisis estadístico de la Máxima Densidad seca (0.80 BG+ 0.20 HA)

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (0.80 BG+ 0.20 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	2.24	2.25	-0.017500	0.000306
M-2	2.27	2.25	0.012500	0.000156
M-3	2.24	2.25	-0.017500	0.000306
	2.28	2.25	0.022500	0.000506
$\Sigma [x_n] = 9.03$		$\Sigma [x_n - \bar{x}]^2 = 0.00127$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 4$$

$$\bar{x} = 2.25 \text{ gr/cm}^3$$

$$S = 0.0252$$

$$V = 1.1184$$

**c. Análisis estadístico de la Máxima Densidad Seca con (0.75 BG+ 0.25 HA).**

**Tabla 37.** Análisis estadístico de la Máxima Densidad seca (0.75 BG+ 0.25 HA)

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (0.75 BG + 0.25 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	2.29	2.28	0.00875	0.00008
M-2	2.28	2.28	0.01375	0.00019
M-3	2.29	2.28	-0.01625	0.00026
M-4	2.28	2.28	-0.00625	0.00004
$\Sigma [x_n] = 9.15$		$\Sigma [x_n - \bar{x}]^2 = 0.00053$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 3$$

$$\bar{x} = 2.28 \text{ gr/cm}^3$$

$$S = 0.0163$$

$$V = 0.7118$$

**d. Análisis estadístico de la Máxima Densidad Seca con (0.70 BG+ 0.30 HA).**

**Tabla 38. Análisis estadístico de la Máxima Densidad seca (0.70 BG+ 0.30 HA)**

<b>ANALISIS ESTADISTICO DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (0.70 BG + 0.30 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	2.22	2.23	-0.0075	0.00006
M-2	2.21	2.23	-0.0175	0.00031
M-3	2.24	2.23	0.0125	0.00016
M-4	2.24	2.23	0.0125	0.00016
$\Sigma [x_n] = 8.91$		$\Sigma [x_n - \bar{x}]^2 = 0.00052$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 4$$

$$\bar{x} = 2.28 \text{ gr/cm}^3$$

$$S = 0.01611$$

$$V = 0.7230$$

**4.2.1.4. Prueba de Hipótesis a la Máxima Densidad Seca a la dosificación optima.**

**Prueba de Hipótesis – Método t- Student**

**Tabla 39. Prueba de hipótesis a la Máxima Densidad Seca a una dosificación de (0.75 BG + 0.25 HA)**

<b>ANÁLISIS DE PARAMETRO M.D.S</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>BASE GRANULAR CON 0.00% H.A</b>	<b>BASE GRANULAR CON 25.00% H.A</b>
Hormigón Asfáltico	0.00 %	25.00 %
Cantidad de muestras	4	4
Media ( $\bar{x}$ )	2.23	2.29
Desviación Estándar (S)	0.022	0.0163
<b>SI LA HIPOTESIS RESULTA</b>		
Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : u <sub>2</sub> ≤ u <sub>1</sub>	
Hipótesis alternativa	H <sub>1</sub> : u <sub>2</sub> > u <sub>1</sub>	
<b>SIGNIFICANCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b>		
NIVEL	α = 0.05	Rechazar Si H <sub>0</sub> : u <sub>2</sub> ≤ u <sub>1</sub> , si t <sub>p</sub> ≤ t <sub>α</sub> No se rechazar si: H <sub>1</sub> : u <sub>2</sub> > u <sub>1</sub> , “Se acepta”
ESTADISTICO DE LA PRUEBA t	t <sub>α</sub> = 1.9432	
<b>PRUEBA (t – STUDENT)</b>		
$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$		<b>0.01936</b>
$t_p = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{(Sp) \left( \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right)}$		<b>-4.3406</b>
<b>SE DETERMINA LO SIGUIENTE</b>		
Se da por rechazada la hipótesis nula H <sub>0</sub> puesto a que el valor de t <sub>p</sub> = -4.3406 < t <sub>α</sub> = 1.9432, concluyendo así que a la incorporación de 25% de hormigón asfáltico mejora la máxima densidad Seca (M.D.S).		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

#### 4.2.1.5. Análisis estadístico del CBR.

Se realiza el análisis estadístico para las diferentes dosificaciones de hormigón asfáltico realizadas en la presente investigación.

a. Análisis estadístico del CBR con (1.00 BG+ 0.00 HA).

Tabla 40. Análisis estadístico del CBR con (1.00 BG+ 0.00 HA)

<b>ANALISIS ESTADISTICO DEL CBR (1.00 BG+ 0.00 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>CBR AL 95% DE LA M.D.S (%)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	43.25	43.46	-0.2125	0.045156
M-2	44.25	43.46	0.7875	0.620156
M-3	42.15	43.46	-1.3125	1.722656
M-4	44.2	43.46	0.7375	0.543906
$\sum [x_n] = 173.85$		$\sum [x_n - \bar{x}]^2 = 2.931875$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 4$$

$$\bar{x} = 43.46 \%$$

$$S = 1.211$$

$$V = 2.79$$

b. Análisis estadístico del CBR con (0.80 BG + 0.20 HA).

Tabla 41. Análisis estadístico del CBR con (0.80 BG + 0.20 HA)

<b>ANALISIS ESTADISTICO DEL CBR (0.80 BG + 0.20 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>CBR AL 95% DE LA M.D.S (%)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	78.65	77.60	1.05250	1.107756
M-2	77.95	77.60	0.35250	0.124256
M-3	76.84	77.60	-0.75750	0.573806
M-4	76.95	77.60	-0.64750	0.419256
$\sum [x_n] = 310.39$		$\sum [x_n - \bar{x}]^2 = 2.22508$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando



$$n = 4$$

$$\bar{x} = 77.60 \%$$

$$S = 1.0548$$

$$V = 1.3593$$

**c. Análisis estadístico del CBR con (0.75 BG + 0.25 HA).**

**Tabla 42. Análisis estadístico del CBR con (0.75 BG + 0.25 HA)**

<b>ANALISIS ESTADISTICO DEL CBR (0.75 BG + 0.25 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>CBR AL 95% DE LA M.D.S (%)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	89.05	88.19	0.86	0.745
M-2	87.25	88.19	-0.94	0.877
M-3	88.26	88.19	0.07	0.005
M-4	89.15	88.19	0.96	0.928
$\sum [x_n] = 353.71$		$\sum [x_n - \bar{x}]^2 = 2.556$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 4$$

$$\bar{x} = 88.19 \%$$

$$S = 1.13$$

$$V = 1.28$$

**d. Análisis estadístico del CBR con (0.70 BG + 0.30 HA).**

**Tabla 43. Análisis estadístico del CBR con (0.70 BG + 0.30 HA)**

<b>ANALISIS ESTADISTICO DEL CBR (0.70 BG + 0.30 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>CBR AL 95% DE LA M.D.S (%)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	78.90	78.59	0.3125	0.09766

M-2	79.25	78.59	0.6625	0.43891
M-3	77.45	78.59	-1.1375	1.29391
M-4	78.75	78.59	0.1625	0.02641
$\sum [x_n] = 314.35$		$\sum [x_n - \bar{x}]^2 = 1.8569$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 4$$

$$\bar{x} = 78.59 \%$$

$$S = 0.9636$$

$$V = 1.2261$$

#### 4.2.1.6. Prueba de Hipótesis del CBR al 95% de su M.D.S a la dosificación optima.

##### Prueba de Hipótesis – Método t- Student

**Tabla 44.** Prueba de hipótesis del CBR al 95% de su M.D.S a la dosificación de (0.75 BG + 0.25 HA)

<b>ANALISIS DE PARAMETRO DEL CBR AL 95% DE SU M.D.S</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>BASE GRANULAR CON 0.00% H.A</b>	<b>BASE GRANULAR CON 25.00% H.A</b>
Hormigón Asfáltico	0.00 %	25.00 %
Cantidad de muestras	4	4
Media ( $\bar{x}$ )	43.46	88.19
Desviación Estándar (S)	1.21	1.13
<b>SI LA HIPOTESIS RESULTA</b>		
Hipótesis nula	$H_0: u_2 \leq u_1$	
Hipótesis alternativa	$H_1: u_2 > u_1$	
<b>SIGNIFICANCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b>		
NIVEL	$\alpha = 0.05$	

ESTADISTICO DE LA PRUEBA t	$t\alpha = 1.9432$	Rechazar Si $H_0: u_2 \leq u_1$ , si $t_p \leq t\alpha$ No se rechazar si: $H_1: u_2 > u_1$ , "Se acepta"
<b>PRUEBA (t – STUDENT)</b>		
$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$		<b>1.17132</b>
$t_p = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{(Sp) \left( \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right)}$		<b>-5.40303</b>
<b>SE DETERMINA LO SIGUIENTE</b>		
Se da por rechazada la hipótesis nula $H_0$ puesto a que el valor de $t_p = -5.40303 < t\alpha = 1.9432$ , concluyendo así que a la incorporación de 25% de hormigón asfáltico mejora el CBR del material ensayado.		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

#### 4.2.1.7. Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos.

Se realiza el análisis estadístico para las diferentes dosificaciones de hormigón asfáltico realizadas en la presente investigación.

##### a. Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.80 BG+ 0.20 HA).

**Tabla 45.** Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.80 BG+ 0.20 HA)

<b>ANALISIS ESTADISTICO DE LOS NÚCLEOS ASFALTICOS (0.80 BG+ 0.20 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>ESTABILIDAD MARSHALL (kg)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	279.00	284.67	-5.67	32.11
M-2	298.00	284.67	13.33	177.78
M-3	277.00	284.67	-7.67	58.78
M-4	290.00	284.67	5.33	28.44

M-5	285.00	284.67	0.33	0.11
M-6	279.00	284.67	-5.67	32.11
$\sum [x_n] = 1708.00$		$\sum [x_n - \bar{x}]^2 = 297.11$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 6$$

$$\bar{x} = 284.67 \text{ kg}$$

$$S = 12.1883$$

$$V = 4.2816$$

**b. Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.75 BG+ 0.25 HA).**

**Tabla 46.** Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.75 BG+ 0.25 HA)

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS NÚCLEOS ASFÁLTICOS (0.75 BG+ 0.25 HA)</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>ESTABILIDAD MARSHALL (kg)</b>	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	485.00	492.67	-7.67	58.778
M-2	517.00	492.67	24.33	592.111
M-3	472.00	492.67	-20.67	427.111
M-4	505.00	492.67	12.33	152.111
M-5	490.00	492.67	-2.67	7.111
M-6	487.00	492.67	-5.67	32.111
$\sum [x_n] = 2956.00$		$\sum [x_n - \bar{x}]^2 = 1230.11$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 6$$

$$\bar{x} = 492.67 \text{ kg}$$

$$S = 24.80$$

$$V = 5.03$$

c. Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.70 BG+ 0.30 HA).

Tabla 47. Análisis estadístico de los Núcleos Asfálticos con (0.70 BG+ 0.30 HA)

ANALISIS ESTADISTICO DE LOS NÚCLEOS ASFALTICOS (0.70 BG+ 0.30 HA)				
MUESTRA	ESTABILIDAD MARSHALL (kg)	$[\bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]$	$[x_n - \bar{x}]^2$
M-1	300.00	309.33	-9.3333	87.11111
M-2	302.00	309.33	-7.3333	53.77778
M-3	324.00	309.33	14.6667	215.11111
M-4	315.00	309.33	5.6667	32.11111
M-5	310.00	309.33	0.6667	0.44444
M-6	305.00	309.33	-4.3333	18.77778
$\sum [x_n] = 1856.00$		$\sum [x_n - \bar{x}]^2 = 388.1111$		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

$$n = 6$$

$$\bar{x} = 309.33 \text{ kg}$$

$$S = 13.93$$

$$V = 4.50$$

4.2.1.8. Prueba de Hipótesis de los Núcleos asfálticos a la dosificación óptima.

Prueba de Hipótesis – Método t- Student

Tabla 48. Prueba de hipótesis de los Núcleos asfálticos a la dosificación de (0.75 BG + 0.25 HA)

ANALISIS DE PARAMETRO DEL CBR AL 95% DE SU M.D.S		
DESCRIPCION	BASE GRANULAR CON 0.20% H.A	BASE GRANULAR CON 25.00% H.A

Hormigón Asfáltico	0.20 %	25.00 %
Cantidad de muestras	6	6
Media ( $\bar{x}$ )	284.67	492.67
Desviación Estándar (S)	12.19	13.93
<b>SI LA HIPOTESIS RESULTA</b>		
Hipótesis nula	H <sub>0</sub> : u <sub>2</sub> ≤ u <sub>1</sub>	
Hipótesis alternativa	H <sub>1</sub> : u <sub>2</sub> > u <sub>1</sub>	
<b>SIGNIFICANCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b>		
NIVEL	α = 0.05	Rechazar Si H <sub>0</sub> : u <sub>2</sub> ≤ u <sub>1</sub> , si $t_p \leq t_\alpha$
ESTADISTICO DE LA PRUEBA t	$t_\alpha = 1.9432$	No se rechazar si: H <sub>1</sub> : u <sub>2</sub> > u <sub>1</sub> , "Se acepta"
<b>PRUEBA (t – STUDENT)</b>		
$Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$		<b>1.95398</b>
$t_p = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{(Sp) \left( \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right)}$		<b>-4.206936</b>
<b>SE DETERMINA LO SIGUIENTE</b>		
Se da por rechazada la hipótesis nula H <sub>0</sub> puesto a que el valor de $t_p = -4.206936 < t_\alpha = 1.9432$ , concluyendo así que a la incorporación de 25% de hormigón asfáltico mejora la estabilidad de los núcleos asfálticos.		

Bach. Bendezú Enciso, Jorge Armando

## **CAPITULO IV**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Discusión de resultados con antecedentes Internacionales**

De los antecedentes citados anteriormente en el capítulo II de esta investigación se mencionan los objetivos, resultados y conclusiones de las investigaciones citadas lo cual ha llevado a realizar una discusión de resultados determinando lo siguiente.

Para los resultados obtenidos por (Ramos Vásquez & Lozano Gomez, 2019), concluye que a las pruebas realizadas para poder estabilizar un suelo con diferentes aditivos alternativos para poder variar las propiedades mecánicas logrando así determinar que para una mejor estabilización del suelo analizado se empleara el aditivo denominado S90-C10 ya que a permitido aumento el esfuerzo al soporte en las pruebas realizadas en el análisis en este punto se coincide con el evaluador ya que el principal objetivo de una material es poder aumentar las propiedades mecánicas y tener un alto índice de serviciabilidad el cual lograra obtener los mejores valores en los estudios realizados como lo realizado en esta investigación que a una dosificación de 25% de Hormigón asfáltico se obtiene los mejores valores.

En la investigación realizada por (Altamirano Navarro & Díaz Sandino, 2017), concluye que a la incorporación en la mejora de las propiedades en relación a la plasticidad, sobre su grado de compactación y al aumentar la humedad a las diferentes dosificación de cal y arcilla se aumenta notablemente la capacidad de soporte logrando así maximizar a las cargas una contra respuesta con el suelo modificado con este punto se discrepa con el investigador ya que

para mejorar las condiciones de un suelo se tiene que tratar de eliminar mínimamente los porcentajes de arcilla ya que las arcillas son suelos cohesivos que pueden variar al aumento de las dosificaciones de agua logrando así no obtener resultados predecibles y que puedan actuar sobre el suelo como un agente desestabilizador.

En la investigación realizada por (Molina Quiñonez, 2017; Ramos Vásquez & Lozano Gomez, 2019), concluye que para las dosificaciones de material adicional colocado en porcentajes o dosificaciones alternas se ha logrado obtener un mayor valor del soporte de carga a una dosificación de 5% obteniendo así una mejor relación de calidad -precio para estabilizaciones del suelo ya que los mejores resultados sobre las pruebas realizadas se obtienen a la mezcla suelo-base en este punto se coincide con el investigador ya que la mezcla de suelo base es menor en la relación a costo que una mezcla suelo – hormigón asfáltico pero las propiedades de este segundo son mucho mejores que la alternativa inicial ya que lo que se necesita es aumentar la capacidad de soporte de la muestra alterada.

## **5.2. Discusión de resultados con antecedentes Nacionales**

Para los resultados obtenidos por (Hoyle Vega & Rodriguez Lopez, 2019), concluye que a la incorporación de hojas de eucalipto que contienen dentro de su composición Oxido de calcio, Magnesio, óxido de hierro y oxido de sílice que son elementos cementantes donde a una dosificación de 33.60% aumenta el CBR de 5.00% a 11.20% haciendo un porcentaje de aumento de 124.0% del CBR logrando mejorar la capacidad de soporte del suelo, con este punto se coincide con el investigador ya que a la incorporación de componentes, a un material se mejora condiciones de resistencia (rigidez) para poder asimilar las sollicitaciones a los que será sometido ya que en la presente investigación en las propiedades de soporte de carga CBR a una dosificación de 75% de base granular y 25% de hormigón asfálticos donde se logra obtener resultados más favorables en los ensayos realizados.

En la investigación realizada por (Martínez Chavez, 2019), concluye que a la incorporación de aditivos organosilanos para lograr la estabilización de suelos



en una subrasante disminuye la permeabilidad y también disminuye la expansividad, aumentando el CBR en un porcentaje de 24.94% en relación a los valores obtenidos del material inalterado y aumenta la expansividad en un porcentaje de 4.144 determinando a si el investigador que a la dosificación de organosilanos son inversamente proporcionales a las propiedades físico – mecánicas de la subrasante, en este punto se coincide con el investigador ya que al poder corroborar los resultados con mi investigación a la dosificación máxima de 25% de hormigón asfáltico las propiedades físico-mecánicas de la base granular aumentar hasta en un 45.57%, logrando así obtener resultados más favorables para la evaluación de la muestra analizadas.

En la investigación realizada por (Molina Quiñonez, 2017), concluye que para una dosificación de 5% adicionado de cenizas de hojas de eucalipto en relación a una muestra inalterada se obtiene ciertos valores obtenidos para el análisis de las propiedades mecánicas, para lo cual en lo realizado atravez de la extracción de muestras de forma aleatoria y ensayadas sobre los diferentes criterios Proctor, granulometría, limite líquido, limite plástico, muestran que ha una dosificación de 5% se obtiene los mejores valores, se coincide con el evaluador ya que toda adición sobre la muestra inalterada tendría un comportamiento inversamente proporcional a las propiedades mecánicas de las muestras evaluada.

## CONCLUSIONES

1. La variación de las propiedades a la combinación granulométrica de 75% de base granular y 25% de hormigón asfáltico denominado (0.75 BG + 0.25 HA), mejora las propiedades físico-mecánicas en un promedio porcentual de 12.89% en relación a las muestras inalteradas denominadas 100% base granular y 0.00% hormigón asfáltico (1.00 BG + 0.00 HA).
2. Los límites atterberg varían a la dosificación de hormigón asfáltico tal es así que el límite líquido a una dosificación de 75% de base granular y 25% hormigón asfáltico (0.75 BG + 0.25 HA) disminuye de 23.50% a 19.50% presentando una reducción de 17.02%, el límite plástico a la misma dosificación disminuye de 18.90% a 17.60% presentando una reducción de 6.88% y en el índice de plasticidad para la misma dosificación disminuye de 4.60% a 1.90% presentando una reducción de 58.70%.
3. La capacidad de soporte (CBR) de la muestra inalterada denominada (1.00 BG + 0.00 HA) para el 95% de la M.D.S se obtiene 43.46% y para la combinación granulométrica denominada denominada (0.75 BG + 0.25 HA) para el 95% de la M.D.S se obtiene 58.77% presentando un mejoramiento de +35.23% en relación al valor inicial y el 100% de la M.D.S se obtiene 65.35% y para la combinación granulométrica denominada denominada (0.75 BG + 0.25 HA) para el 100% de la M.D.S se obtiene 88.19% presentando un mejoramiento de +35.95% en relación al valor inicial.
4. La deflectometría evaluada en los núcleos asfálticos a la incorporación de hormigón asfáltico en una dosificación de 25% y 75% de base granular denominado (0.75BG + 0.25 HA) se obtiene un valor de 492 kg el mejor valor en relación a lo obtenido en las combinaciones granulométricas (0.80 BG + 0.20 HA = 284.70 kg/Estabilidad) y (0.70 BG + 0.30 HA = 309.30 kg/Estabilidad) determinando así que el mejor comportamiento es para la combinación granulométrica de (0.75 BG + 0.25 HA).

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios preliminares sobre el material de base granular empleado ya que las propiedades físico-mecánicas de este material puede variar notablemente dependiendo de la zona y de la combinación granulométrica del hormigón asfáltico pudiendo aumentar o disminuir la dosificación, como también las propiedades iniciales del material granular.
2. Se recomienda realizar tener en consideración la humedad del material ya que puede influir directamente sobre la combinación entre la base granular y el hormigón asfáltico.
3. Se recomienda realizar pruebas de densidad de campo y pruebas con la viga Benkelman para obtener mejores valores sobre la rigidez y la deflexión de la base granular ya que tiene que cumplir parámetros establecidos para evitar consideraciones negativas a largo plazo.
4. Se recomienda realizar evaluaciones sobre la colocación del material combinado para espesores de 0.20 m a 0.25 m para un control de calidad adecuado en todo el proceso constructivo (Compactación, escarificado, riego, etc.) ya que no lograr la uniformidad puede ocasionar variabilidad sobre los resultados obtenidos en esta investigación.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Acuña Borbón, G. T. (2019). *Instrumentación para producir información geotécnica en proyectos de construcción de túneles viales*. Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia, Programa de Ingeniería Civil, Bogotá.
2. Ale Veliz, J. D. (2012). *Influencia de la alteración hidrotermal en la calidad del macizo rocoso en*. Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Marcos, Ingeniería Civil, Lima.
3. Alonso Valeriano, N. (2015). *Caracterización geomecánica y modos de falla estructural en el talud*. Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma, Ingeniería Civil, Lima.
4. Altamirano Navarro, G. J., & Díaz Sandino, A. E. (2017). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas*. Tesis de Pregardo, Universidad Nacional Autonoma De Nicaragua UNAN-Managua, Construcción Ingeniería Civil , Potosí.
5. Alvarado León, C. E. (2018). *Caracterización de los agregados de la cantera San Bernardo, para su uso en la proporción de mezclas asfálticas en caliente*. Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Escuela Academico Profesional de Ingeniería Civil, Trujillo.
6. Aponte Cervantes, M., & Sulca Torres, M. J. (2015). *Gestión de riesgos en la ejecución de muros anclados*. Tesis de Pregrado , Universidad Ricardo Palma , Facultad de Ingeniería , Lima.
7. Bonifacio Vergara, W. M., & Sánchez Bernilla, J. A. (2015). *Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cemento en la región Lambayeque*. Pimentel: Universidad Señor de Sipan.
8. Camones Salvador, M. A. (2017). *Muros anclados para mejorar el análisis de procesos constructivos en Excavaciones profundas del edificio Santo Toribio San Isidro 2017*. Tesis de Pregrado , Universidad Cesar Vallejo , Facultad de Ingeniería , Lima.
9. Enciso Saldaña, R. M., & Nuñez Alvaro, R. W. (2019). *Verificación de anclajes postensados mediante la aplicación del ensayo de capacidad en el edificio hotel Ibis San Isidro-Lima-Perú-2019*. Tesis de Pregrado , Universidad Ricardo Palma , Facultad de Ingeniería , Lima .
10. Espiritu Diestra, O. D. (2020). *Proceso constructivo de muros anclados para la conteción del suelo en edificaciones con sótanos*. Tesis de Pregrado, Universidad Peruana los Andes, Facultad de Ingeniería, Lima.
11. Ezequiel, A. (1984). *Técnicas de investigación social*. Argentina: Magisterio del Río de la Plata.
12. González Escobar, W. (2007). *Guía básica para el uso de emulsiones asfálticas en la estabilización de bases en caminos de baja intensidad en El Salvador*. El Salvador: Escuela de Ingeniería Civil, UES.

13. Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: McGraW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
14. Hoyle Vega, P., & Rodriguez Lopez, C. (2019). *Estabilización del suelo de la trocha carrozable con fibras de raquis de Musa Paradisiaca y cenizas de hojas Eucaliptus de los caseríos Canchas a Colcap, Jimbe, Santa, Áncash – 2019*.
15. Izarra Mendoza, R. K. (2019). *Muros anclados en suelo arenoso para la construcción del centro comercial de La Molina*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal, Facultad de Ingeniería Civil, Lima.
16. Martínez Chavez, E. (2019). *Estabilización de suelos cohesivos con aditivo órganosilanos a nivel de sub rasante*.
17. Merino Yopez, M. R., & Estrada Escalante, V. R. (2017). *Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70-28*. Tesis de Pregrado, Universidad Andina del Cusco, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Cusco.
18. Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2008). *Manual de diseño de carreteras no pavimentadas*. Lima: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles.
19. Molina Quiñonez, E. Y. (2017). *Estabilización de suelos adicionando el 5% de ceniza de hoja de eucalipto, 1+400 km a 1+900 km Carretera Distrito de Olleros - Huaripampa*.
20. Panohaya Amador, E. (2020). *El inclinómetro seco, un método de nivelación utilizado para determinar la deformación del terreno en los volcanes, empleado para medir el deslizamiento de laderas en los municipios Juan Galindo y Zihuateutla en el estado de Puebla*. Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería, Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica, Heroica Puebla de Zaragoza.
21. Ramos Vásquez, J. D., & Lozano Gomez, J. P. (2019). *Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos*.
22. Torres Lopez, M. (2017). *Excavación y sostenimiento primario en interior de túnel “El Sinaloe”*. Tesis de Pregrado, Universidad nacional de Mexico, Ingeneneria Civil, México.
23. Valdivia Sánchez, V. L. (2017). *Análisis del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente incorporando polímeros SBS en la Av. Universitaria cuadra 53 al 57- Comas, Lima 2017*. Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Lima.

## **ANEXOS**

## ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LAS BASES GRANULARES TRATADAS CON HORMIGON ASFÁLTICO REUTILIZADAS EN UNA PAVIMENTACIÓN

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p><b>Problema general:</b></p> <p>¿Cuál es la variación de las propiedades físico mecánicas de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Determinar las propiedades físico mecánicas de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <p>Las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico mejorarían las propiedades físico mecánicas al ser reutilizadas en una pavimentación.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Hormigón asfáltico</p>	<p>Análisis Granulométrico</p>	MTC E 107	<p><b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:</b> CUANTITATIVO.</p> <p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> APLICADO.</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</b> EXPLICATIVO</p> <p><b>CUANDO:</b> 2021</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b> El diseño de investigación utilizará un esquema EXPERIMENTAL, considerando que el análisis a realizar es teórico, bajo el siguiente esquema. OE → SA → XP → CE → RE Donde: OE=PROPIEDADES FÍSICO - MECANICOS SA=MATERIAL GRANULAR XP=HORMIGON ASFALTICO CE=PAVIMENTACION RE=RESULTADOS Y CONCLUSIONES.</p> <p><b>POBLACIÓN Y MUESTRA:</b> <b>POBLACIÓN.</b> La población está constituida por bases granulares convencionales de espesor 20 cm.</p>
				Ligante asfaltico	MTC E 302	
				Lavado asfaltico	MTC E 302	
<p><b>Problemas específicos:</b></p> <p>a) ¿Cómo varia los límites de atterberg de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación?</p> <p>b) ¿Cómo varia la capacidad de soporte de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación?</p> <p>c) ¿En qué medida varia la deflectometría de las bases granulares tratadas con hormigón</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>a) Evaluar la variación de los límites de atterberg de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.</p> <p>b) Determinar la variación de la capacidad de soporte de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.</p> <p>c) Analizar la deflectometría de las bases granulares tratadas con hormigón</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>a) Los límites de atterberg de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico disminuirían al ser reutilizadas en una pavimentación.</p> <p>b) La capacidad de soporte aumentaría en las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico reutilizadas en una pavimentación.</p> <p>c) La deflectometría de las bases granulares tratadas con hormigón asfáltico</p>	<p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Propiedades físico mecánicas de las bases granulares</p>	<p>Degradación por abrasión en el equipo Micro -Deval</p>	MTC E 214	
				Limites Atteberg	MTC E 112	
				CBR	MTC E 132	





1: Variable Independiente Hormigón asfáltico	El hormigón asfáltico (también conocido como hormigón bituminoso mezcla asfáltica, concreto bituminoso o agregado asfáltico) es un material compuesto comúnmente utilizado para pavimentar carreteras, estacionamientos, aeropuertos y el núcleo de las represas. Está compuesto por áridos, como piedra triturada y arena, y relleno mezclado con asfalto de petróleo.	Es una composición de sustancia pegajosa de color negro que se obtiene tras un proceso de destilación del petróleo. Estos materiales se generan cuando un pavimento asfáltico retirado para su rehabilitación o reconstrucción es utilizado como agregado manteniendo las propiedades ligantes del asfalto.	Análisis Granulométrico	MTC E 107	Tamices		X			
			Ligante asfáltico	MTC E 302	Líquido Tricloroetileno		X			
			Lavado asfáltico	MTC E 302	Centrifuga		X			
2: Variable Dependiente Propiedades físico mecánicas de las bases granulares	El comportamiento de los materiales granulares bajo las cargas del tráfico es complicado. Un elemento de la estructura del firme está sujeto a pulsos de esfuerzos. Cada uno de estos pulsos consta de una componente vertical, una horizontal y una componente de corte.	En las capas de materiales granulares sueltos los esfuerzos verticales y horizontales son positivos mientras que los esfuerzos de corte se invierten cuando pasa la carga, causando una rotación de los ejes principales de esfuerzos.	Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	MTC E 214	Desgaste por humedad		X			
			Limites Atteberg	MTC E 112	Comportamiento de los finos		X			
			CBR	MTC E 132	Capacidad de soporte		X			
			Núcleos Asfálticos	MTC E 1002	Estabilidad		X			