

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**MATERIAL OVER EN EL INCREMENTO DE TIEMPO DE VIDA
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LAS CALLES DEL DISTRITO
CHILCA – HUANCAYO**

TESIS

PRESENTADO POR EL: Bachiller

Fernando, LIZANA MARTINEZ

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ASESORES:

Dr. José Luis León Untiveros

Ing. Armando Calcina Colqui

HUANCAYO - PERÚ 2021

FIRMA DE CONFORMIDAD DE ASESORES

ASESORES:

Dr. José Luis León Untiveros

Ing. Armando Calcina Colqui

MIEBROS DEL JURADO:

Dr. José Luis León Untiveros
PRESIDENTE

ING. Melquiades Elmer Hinostroza Bartolo
SECRETARIO

MG. Armando Calcina Colqui
VOCAL

DEDICATORIA:

A Dios, a mis padres, a mi amada esposa. Sady Pérez

Ramírez y mis hijos; Renzo y Yariela

AGRADECIMIENTO

La presente investigación no hubiera sido posible sin la colaboración de muchas personas e instituciones a los cuales agradezco infinitamente.

Reconocer mi agradecimiento a Dios todo poderoso, el ser quien nos dio la bendición de venir a este mundo. A mis padres; Mario Lizana paredes y mi digna madre María Martínez Poma.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 : SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 : FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1 : Problema general.....	4
1.2.2 : Problema específico	4
1.2.3 : Delimitación de los propósitos de investigación.....	5
1.3 : JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	5
1.4 : JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	6
1.5 : OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.5.1 : Objetivo general.....	7
1.5.2 : Objetivo específico.....	8
1.6: HIPÓTESIS.....	7
1.6.1 : Hipótesis General.....	7
1.6.2 : Hipótesis Específica.....	8
1.6.3. Hipótesis nula.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1: MARCO EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2.2: ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
2.2.1 : Antecedentes Internacionales.....	12
2.2.2 : Antecedentes nacionales	13

2.2.3 : Antecedentes regionales y locales.....	15
2.3: BASES TEÓRICAS.....	16
2.3.1 : Estudio de afluencia del aforo del tráfico	16
2.3.2 : Estudio de suelos.....	23
2.3.3 : Pavimentos flexibles	29
2.3.4 : Variables de fundamento de base teóricas	32
2.3.5. Estudio granulométrico de estratos del suelo.....	32
2.3.6. Estudio de suelos.....	34
2.3.7. Base de indicadores de materiales.....	35
2.3.8. Propiedades principales de los agregados	37
2.3.9. granulometría de los agregados gruesos.....	39
2.3.10. clasificación de los pavimentos.....	39
2.3.11. Estructuración de capas del pavimento flexible.....	41
2.3.12. Condiciones tensionales en estructuras de pavimentos.....	42
2.2.13. Criterios básicos para el diseño de pavimentos.....	45
2.4: MARCO CONCEPTUAL.....	46
2.4.1 : Planificación	46
2.4.2 : Marco Legal	46
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1: METODOLOGÍA	47
3.1.1 : Tipo de investigación.....	47
3.1.2 : Nivel de la investigación.....	48
3.1.3 : Diseño de investigación	48
3.1.4. Población de estudios.....	48

3.1.4.1. Tamaño de la muestra	49
3.1.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	49
3.1.6 : Recolección de datos.....	51
3.1.7 : Instrumentos.....	51
3.1.8 : Validación de la confiabilidad del instrumento.	52
3.1.9. Análisis del material de cantera, base y sub base, pavimento flexible.....	53
CAPÍTULO IV DESARROLLO DEL PROYECTO	55
4.1 : Ubicación de la obra.....	55
4.2: Ubicación geográfica	56
4.3: Mapa de Ubicación Mapas Georreferenciales con Coordenadas UTM.....	56
4.4: Características técnicas de los pavimentos	58
4.5: Condicional de requisitos de pavimento flexible	59
4.6: Estudio de mecánica suelos, canteras Sapallanga	60
4.7: Desempeño de cumplimiento del material over de las canteras de Umuto el Tambo y Chacla Sapallanga empleando modelos estructurarles de pavimento flexible.....	65
4.7.1. Análisis de resultados del resfuerzo vertical sobre la subrasante (ϵ_z)	67
4.7.2. Evaluación de la deformación vertical sobre la subrasante (ϵ_z)	74
4.7.3 : Deformación Radial en la interface carpeta asfáltica base granular	77
4.7.4: Análisis de la deflexión de la estructura	80
4.8: Caso del estudio del aforo del tráfico vehicular.....	81
4.9: Cuento del tráfico vehicular	82
4.10: Marco normativo para el periodo de diseño	82
4.11 : Tráfico normal de conteos vehiculares	83

4.12. Consolidado de aforo de vehículos	89
---	----

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1: Análisis y discusión de resultados.....	92
5.2: Resultados de la dimensión del cuestionario	92
5.2. Hipótesis General	92
5.3. Hipótesis Específica	95
5.3: Factores de aportes concluyentes	100
5.4: Factores de implicancias prácticas	104
5.5: Factores de diseño de estructuras	105
5.5: Limitaciones	107
5.6: Futuras Líneas de Investigación.....	107

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1: Relación de cargas por ejes equivalentes para pavimentos flexibles.....	21
Cuadro N° 2: Operacionalización de la variable dependiente.....	27
Cuadro N° 3: Categoría de subrasante CBR	29
Cuadro N° 4: Norma CE. 010. Establecimiento de requerimientos de granulométrica.....	33
Cuadro N° 5: Cuadro comparativo del ciclo de vida de pavimentos	58
Cuadro N° 6: Límites de consistencia. Cantera: Chaclas	62
Cuadro N° 7: Clasificación del material para base y sub base. Canteras: Chaclas	62
Cuadro N° 8: Sales solubles totales. Canteras Chaclas Sapallanga	63
Cuadro N° 9: Ensayo California Bearing Ratio. Canteras: Umuto, Sapallanga.....	64
Cuadro N° 10: E.M.S. Cantera Umuto. Material para Base y sub base granular.....	64
Cuadro N° 11: E.M.S. Cantera Chaclas. Material para Base y Sub Base Granular	65
Cuadro N° 12: Análisis del comportamiento del esfuerzo vertical. Material de la cantera Umuto en Kg/cm ² para una rueda simple.....	68
Cuadro N° 13: Cuadro N° 13: Análisis del comportamiento del esfuerzo vertical. Material de la cantera Chaclas en Kg/cm ² para una rueda simple.	68
Cuadro N° 14: Análisis del comportamiento del esfuerzo vertical. Material de la cantera Umuto en Kg/cm ² para una rueda doble.....	70
Cuadro N° 15: Análisis del comportamiento del esfuerzo vertical. Material de la cantera en Kg/cm ² para una rueda doble.....	71
Cuadro N° 16: Resumen del Modelamiento de deformación vertical sobre la subrasante. Material de las canteras de Umuto y Chaclas	75
Cuadro N° 17: Resumen del análisis, deformación radial. Material de las canteras Umuto y Chaclas	78
Cuadro N° 18: Periodos de diseño según AASHTO en función del tipo de Carretera	82
Cuadro N° 19: Tasas promedio de crecimiento anual del tráfico.....	83

Cuadro N° 20: Clasificación vehicular de Conteos - lunes	83
Cuadro N° 21: Clasificación vehicular de Conteos - martes	84
Cuadro N° 22: Clasificación vehicular de Conteos – miércoles	85
Cuadro N° 23: Clasificación vehicular de Conteos – jueves.....	86
Cuadro N° 24: Clasificación vehicular de Conteos – viernes	86
Cuadro N° 25: Clasificación vehicular de Conteos – sábado.....	87
Cuadro N° 26: clasificación vehicular de conteos – domingo	91
Cuadro N° 27: Tipos de Vehículos en evaluación de aforo (periodo de una semana).....	92
Cuadro N° 28: Disminución del esfuerzo vertical, debido a la base y sub base Umuto	97
Cuadro N° 29: Disminución de esfuerzo vertical, debido a la base y sub base, Chaclas...	101
Cuadro N° 30: Resumen de observaciones realizadas	103
Cuadro N° 31: Propuesta de solución para los modelos de pavimento observados. Material cantera Chaclas	105

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Entorno de la gradación curva granulométrica	33
Figura N° 2: Transmisión de esfuerzos, pavimentos flexibles	42
Figura N° 3: Distribución de esfuerzos debido a una carga puntual	42
Figura N° 4: Ubicación geográfica del proyecto del proyecto	57
Figura N° 5: Micro localización del Proyecto	57
Figura N° 6: Sectorización del área de Influencia.....	58
Figura N° 7: Curva granulométrica Cantera que se tomó para el ensayo	61
Figura N° 8: Curva granulométrica Cantera	61
Figura N° 9: Material de cantera modelamiento de esfuerzos verticales. Rueda simple	72
Figura N° 10: CRR de Bélgica, esfuerzo vertical, sobre la subrasante. Rueda simple	72
Figura N° 11: Contribución en disminución de esfuerzos verticales, Rueda doble	73
Figura N° 12: CRR de Bélgica, esfuerzo vertical actual sobre la subrasante Rueda doble.74	
Figura N° 13: Deformación vertical sobre la subrasante. Rueda simple.....	76
Figura N° 14: Deformación vertical sobre la subrasante. Rueda doble.....	77
Figura N° 15: Criterio SHELL, deformación radial. Rueda simple	79
Figura N° 16: Criterio SHELL, deformación radial. Rueda doble	80
Figura N° 17: Clasificación vehicular de Conteos; 17/09/2018.....	84
Figura N° 18: Clasificación vehicular de Conteos; 18/09/2018.....	85
Figura N° 19: Clasificación vehicular de Conteos; 19/09/2018.....	85
Figura N° 20: Clasificación vehicular de Conteos; 20/09/2018.....	86
Figura N° 21: Clasificación vehicular de Conteos; 21/09/2018.....	87
Figura N° 22: Clasificación vehicular de Conteos; 21/09/2018.....	88

Figura N° 23: Clasificación vehicular de Conteos; 23/09/2018.....89

Figura N° 24: Consolidado de evaluación de Clasificación vehicular de Conteos 90

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.	02
Anexo 2: Granulometría del material – over.....	03
Anexo 3: Análisis del límite de consistencia de probas en laboratorio.....	15
Anexo 4: Análisis de los ensayos de Proctor Modificado.....	28

RESUMEN

La presente investigación fue concebida con el título de “Material Over en el Incremento de Tiempo de Vida de Pavimentos Flexibles de las Calles del Distrito Chilca – Huancayo” en la que se pretende evaluar el incremento del ciclo tiempo de vida de pavimentos flexibles, siendo el objetivo, determinar el nivel de influencia del material OVER en el incremento de tiempo de vida de pavimentos flexibles; el estudio fue de tipo experimental, con diseño cuasi experimental, cuya población estuvo representada por los pavimentos flexibles dañados de todo el distrito de Chilca y una muestra de pavimentos de la Calle Circunvalación del mismo distrito.

Para el logro de los resultados, se aplicó los instrumentos de lista de cotejo, cuaderno de campo, procesándose los datos con los estadígrafos descriptivos e inferenciales del coeficiente de la Rho de Spearman, que dio como resultado que: existe una influencia positiva entre el material OVER y el incremento de vida de los pavimentos flexibles, por lo que se puede afirmar que existe una relación significativa entre ambas variables.

PALABRAS CLAVE. Material OVER, pavimentos flexibles, resistencia, cargas de alto tránsito, agentes de intemperismo, velocidades previstas, longitudes de onda.

ABSTRACT

The present investigation was conceived with the title of "Material Over in the Increase in the Lifetime of Flexible Pavements in the Streets of the Chilca - Huancayo District", in which it is intended to evaluate the increase in the life cycle of flexible pavements, being the objective, to determine the level of influence of the OVER material on the increase in the lifetime of flexible pavements; the study was experimental, with a quasi-experimental design, whose population was represented by the damaged flexible pavements of the entire Chilca district and a sample of pavements from the Circumvallation Street of the same district.

To achieve the results, the checklist, field notebook instruments were applied, processing the data with the descriptive and inferential statisticians of the Spearman's Rho coefficient, which resulted in: there is a positive influence between the material OVER and the increased life of flexible pavements, so it can be affirmed that there is a significant relationship between both variables.

KEYWORDS. OVER material, flexible pavements, resistance, high traffic loads, weathering agents, expected speeds, wavelengths.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Las pavimentaciones flexibles o asfaltados en la actualidad tienen poca duración, básicamente por los materiales primarios y secundarios que se utiliza en dicho pavimento. Esta situación se ha podido observar, principalmente en las calles del distrito de Chilca en zonas focalizadas donde el terreno se caracteriza por ser arcilloso, donde las brechas generadas en los pavimentos flexibles son bastante marcadas, dificultando la transitabilidad de los distintos vehículos de diferente tipo de carga. Al analizar los materiales utilizados se percibe que los agregados y concreto son bastante pobres, que son resultado en el marco de inversión pública, la contradicción entre el costo beneficio y el costo efectividad.

El desinterés por el costo efectividad para atender la demanda de la población, en este caso a los transportistas y la facilidad de los pasajeros, se sustenta a favor del costo. Capítulo 1; Se planteo la formulación del problema, justificación, así como los objetivos, hipótesis. Capítulo 2; fundamentos del marco teórico,

antecedentes de investigaciones y bases teóricas como sustento de la investigación. Capítulo 3: metodología que más ajusta al tipo y diseño de investigación, población, muestra, modelamiento de datos. Capítulo 4; Caso del estudio. Capítulo 5; presentación de resultados y discusión de resultado, hipótesis y finalmente se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

beneficio de las empresas constructoras de pavimento que abaratan los costos de materiales presentando una baja dirección técnica y estudios superficiales del contexto a pavimentar, en algunos casos copia y pega de otros proyectos similares, limitada supervisión con limitado uso de indicadores de evaluación interna y de impacto con horizontes de alta durabilidad.

Contrariamente, una buena pavimentación debe tener las siguientes características como: a) utilizar la calidad de agregados b) respetar los diseños de laboratorio c) respetar las normas técnicas (materiales) para su aplicación d) Este tipo de pavimentaciones nos limita el desarrollo del Distrito, donde las pavimentaciones flexibles están deterioradas y esto obliga a realizar los parches de las veredas y pistas. Estas debilidades serán superadas a través de mayor control y el estudio realizado en la influencia del uso de material over en la duración de pavimentación flexible y así resaltar las grandes demandas y necesidades de la región y el país.

Delimitación del problema

El pavimento se denomina conjunto de capas de materiales seleccionados, que reciben directamente la carga del tráfico y la transfieren a la capa inferior de manera disipadora, proporcionando así una superficie rodante que debe funcionar eficazmente. Las condiciones necesarias para un correcto funcionamiento son las siguientes: ancho, líneas horizontales y verticales, suficiente resistencia a la capacidad de carga para evitar fallas y roturas, y suficiente adherencia entre el vehículo y la acera incluso en condiciones de humedad.

Es importante considerar que el aspecto más importante de la estructura de la acera es el aspecto relacionado con la resistencia de la capa, que debe ser suficiente para mitigar los efectos destructivos del tráfico, el clima y el agua. Dado que la tensión en la acera disminuye con la profundidad, además de los materiales más comúnmente utilizados, los materiales con mayor capacidad de carga deben colocarse en la capa superior y aquellos con menor capacidad de carga deben colocarse en la capa inferior. Se encuentran en la naturaleza, por lo que son los más económicos.

La acera se divide en varias capas de acuerdo con factores económicos, porque al determinar el grosor de la capa, el objetivo es darle el menor grosor para reducir la carga de trabajo directamente en la siguiente capa. La resistencia de las diferentes capas no solo depende del material que lo componga, sino que también tiene una gran influencia en el proceso constructivo. La compactación y la humedad son dos factores importantes, porque cuando un material no se puede contener completamente, se solidificará debido a la carga, que es cuando se produce la

deformación permanente.

En el proceso de modelado y diseño de pavimentos flexibles, existen estándares subjetivos para ciertos parámetros. La tendencia de los diseñadores a aplicar fórmulas empíricas se deriva de determinadas experiencias concretas, independientemente de los modelos establecidos por entidades como SHELL, AASTHO, etc., que desarrollan métodos de cálculo comúnmente utilizados en el medio.

El diseño del pavimento incluye el establecimiento de una buena estructura en un período de tiempo relativamente largo de acuerdo con la demanda del tráfico y las características de la calzada. Para determinar el espesor de cada capa de la estructura del pavimento, se utilizan los siguientes tres métodos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Qué relación existe entre la selección apropiada del material over y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?

1.2.2 Problemas específicos

a) ¿Qué relación existe entre el diseño del material OVER y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?

- b) ¿Qué relación existe entre los parámetros del diseño del (CBR) Californian Bearing Ratio, y el en el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?
- c) ¿Qué relación existe entre la degradación y deterioro del pavimento y el diseño del incremento del ciclo del ciclo vida de los pavimentos flexibles en las calles del Distrito Chilca Huancayo?

1.2.3 Delimitación de los propósitos de investigación

a) Delimitación espacial

El presente estudio se realizó en el acceso Sur del distrito de Chilca Huancayo Departamento de Junín.

b) Delimitación temporal

El presente trabajo se desarrolló en los meses setiembre del 2018 a mayo del 2019.

1.3. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La investigación pretende aportar informaciones teóricas y prácticas relevantes respecto a los materiales agregados provenientes de las rocas en relación a la pavimentación rígida a través de estrategias creativas para una eficaz pavimentación.

Detalla los procesos de los ensayos para determinar un índice de margen de resistencia del estudio de los suelos denominado valor de la relación de soporte, conocido, como CBR (California Bearing Ratio). Estas pruebas se suelen realizar en suelo preparado en laboratorio en determinadas condiciones de humedad y

densidad, por lo que también es posible operar de forma similar sobre muestras inalteradas de estudios de campo.

El método PCI es un proceso que incluye determinar el estado de la acera mediante inspección visual, determinar el tipo, gravedad y número de fallas encontradas, y seguir un método fácil de implementar que no requiere herramientas especiales porque puede medir las condiciones indirectas de la acera. (ASTM, 2004).

El presente trabajo se respalda en el Plan Nacional del Ministerio de Transportes y Comunicación para un desarrollo productivo y social sostenible. De otro lado, es importante realizar este tipo de trabajo de investigación para reprochar y así superar las dificultades en pavimentación flexible de las calles del Distrito de Chilca - Huancayo.

1.4. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El presente trabajo de investigación pretende optimizar el uso de materiales en la pavimentación flexible de las calles del Distrito Chilca – Huancayo, cuya propuesta del diseño de la carpeta asfáltica pretende establecer una mejor y mayor duración del ciclo de vida con la combinación adecuada de materiales over, para contribuir con alcanzar una mayor fluidez de transporte del parque automotor de esta parte de la región del país.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Determinar la relación que existe entre la selección apropiada, del material over y el incremento del ciclo de vida de los pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Establecer la relación que existe entre el diseño del material OVER y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.
- b) Determinar la relación que existe entre los parámetros del diseño del (CBR) Californian Bearing Ratio, y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.
- c) Determinar la relación que existe entre los parámetros según el PCI (Índice de Condición del Pavimento) y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.

1.6: HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

Existe relación directa y significativa, entre la selección apropiada del material over y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.

1.6.2. Hipótesis específicas

- a) Existe una relación directa y significativa entre el diseño del material OVER en el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.
- b) Existe una relación directa y significativa entre el diseño de los parámetros del (CBR) Californian Bearing Ratio, y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.
- c) Existe una relación directa y significativa, entre los parámetros según la metodología PCI (Índice de Condición del Pavimento el cual influye significativamente en el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.

1.6.3. HIPÓTESIS NULA

1.6.3.1. Hipótesis General

Hg: Existe relación directa y significativa entre la selección apropiada del material over y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.

Ho: No Existe relación directa y significativa entre la selección apropiada del material over y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.

1.6.3.2. Hipótesis Específica

- a) **H1:** Existe una relación directa y significativa entre el diseño del material OVER y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo

- b) **H2:**, Existe una relación directa y significativa entre el diseño de los parámetros del (CBR) Californian Bearing Ratio, y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo..
- c) **H3:** Existe una relación directa y significativa, entre los parámetros de la degradación y deterioro del pavimento y el diseño del ciclo de vida de los pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo

1.6.3.3. Hipótesis Nula:

- a) **H1:** No existe una relación directa y significativa entre el diseño del material OVER y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo
- b) **H2:**, No existe una relación directa y significativa entre el diseño de los parámetros del (CBR) Californian Bearing Ratio, y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo..
- c) **H3:** No existe una relación directa y significativa, entre los parámetros de la degradación y deterioro del pavimento y el diseño del ciclo vida de los pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo

1.7. VARIABLES

1.7.1. Variable Independiente: Parámetros de diseño.

Dimensiones:

a) Índice medio diario (IMD).

- b) Resistencia al esfuerzo de corte del suelo (CBR).
- c) Deterioro del pavimento.

1.7.2. Variable Dependiente: Diseño de pavimento flexible.

Dimensiones:

- Estructura del pavimento.
- Tipo de subrasante, Y Modelo de falla.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

La mejora de las calles y las veredas surge como resultado de buscar el bienestar de la ciudad y la población. La diferencia de la ciudad y el campo se da por el proceso de pavimentación y uso del concreto.

La población hoy en día, tiene la convicción que parte de la modernidad es la pavimentación de las calles, esto demuestra progreso para caminar bien, no untarse los zapatos de barro, cuidar las llantas de los carros; sin embargo, esta prosperidad es unilateral, porque favorece a la persona, más no a la naturaleza.

Existe una estrecha relación entre el suelo y la naturaleza. El suelo representa el comienzo y el final de la lluvia en el río, que produce lluvia.

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. Antecedentes internacionales

- a) En la investigación denominada “Deterioros en pavimento flexible y rígido presentado por Ing. Ricardo Javier Miranda Rebolledo Valdivia Chile – 2012” se inicia con la descripción de los tipos de pavimentos existentes para la construcción de caminos, mostrarlos diferentes tipos de deterioro que se presentan en un pavimento, sus diferentes causas a través de su construcción o a lo largo de los años, se plantea además, incluye las diferentes de técnicas de reparación aplicada en obras de pavimentación, mostrando los procesos constructivos acompañado de un registro fotográfico para la mayor comprensión del proceso.

En obra real, el mapa muestra el mantenimiento vial de la Zona 1 y Zona 2 en Valdivia, enfatiza las razones de estas degradaciones y reparaciones, y enfatiza el proceso de construcción al reconstruir el pavimento y la capa intermedia de asfalto. Los profesionales que pretenden desarrollarse en el campo de la ingeniería vial han realizado grandes aportaciones.

- b) En el estudio denominado “Diseño de la vía Timana – Cosanza en pavimento flexible” Presentado por Ing. José Antonio Salamanca Ordoñez y Oscar Javier Godoy Bautista de la Universidad Católica de Colombia – 2013. El dicho estudio resalta como reto, el significado cognitivo y valorativo del diseño, ya que se está aplicando la funcionalidad de los distintos métodos adquiridos, conocimientos y

Las doctrinas transmitidas en todos los temas relacionados con la profesión de ingeniería de pavimentos. Con el diseño se pretende dar alcance a las soluciones, palabra clave: Ingeniería de pavimentos – trabajos de grado; vías en afirmado; identificación de Daños, carreteras – Diseño y Construcción; Inspección visual; deterioro de vías en Afirmado, mantenimiento. En este trabajo se presenta la aplicación de una metodología de Inspección visual de calificación de estado del pavimento. Este es el método PCI (índice de estado de la superficie de la carretera), probablemente el método más recomendado para consideraciones objetivas, este método ha sido estudiado en detalle para un kilómetro de carretera para determinar el estado de la carretera. Según el análisis, podemos determinar el estado real de la acera, la falla más destructiva en este estado y el valor de PCI, lo que puede determinar el tipo de mantenimiento y reparación que es menos costoso y más eficiente, para que la acera pueda estar en buenas condiciones para los usuarios. Proporcionar comodidad y seguridad es su principal función.

2.2.2. Antecedentes nacionales

Gómez Vallejos S. (2014), Desarrollo la investigación del “Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del óvalo Grau Trujillo La Libertad”. El objetivo propuesto es determinar los criterios estructurales con base en estándares y métodos para diseñar pavimentos flexibles para lograr un desempeño eficiente en cuanto a la rodadura de transitabilidad,

contribuyendo con la mejora del ciclo de vida del desempeño del pavimento.

Para lograr obtener un adecuado diseño del pavimento flexible, según el manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2013, pg.73). radica esencialmente en el análisis del estudio de la demanda de los volúmenes de tránsito previo a su construcción. el índice de condición del pavimento (PCI – Pavement Condition Index), establecer los rangos de calificación permisibles. En función de la clase de daño y severidad de la cantidad de densidad del diseño mismo, en la que se debe contemplar tres factores esenciales; diseño del pavimento, daño causado por el nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del tipo de pavimento.

Por lo tanto, el diseño de la estructura del pavimento flexible, obedece a parámetros del comportamiento variables de entrada como de salida, características particulares de tránsitos, las propiedades mecánicas, de los materiales y conformación de la capacidad hidráulica y portante del terreno y la fundación de las mismas, condiciones severas climáticas, las condiciones de drenaje y los niveles de serviciabilidad y confiabilidad.

“Diagnóstico del estado situación de la vía: Av. Argentina 24 de junio por el método: índice de condición de pavimentos-2012”. El diseño y mantenimiento de las estructuras de pavimento flexibles es un tema de estudio e investigación, como con secuencia de los diversos resultados obtenidos en la construcción y, Especialmente en términos de restauración de la estructura de la carretera pavimentada. Este trabajo de investigación

realizó un diagnóstico visual del tramo vial existente Av.24 de junio y Av. Argentina, haciendo uso del método PCI, según el criterio y parámetros de las normas TM5340-98 Método de Evaluación del PCI, el cual pretende saber las condiciones actuales de la estructura y la superficie de rodadura, con un trabajo de campo, en el cual se realiza el recorrido de la vía anotando las fallas localizadas y determinando la severidad de las mismas, haciendo uso de instrumentos de medición, tras la investigación de la avería se realizará en el armario el catálogo de averías del pavimento asfáltico y se realizará el cálculo definitivo del PCI, primer paso para obtener una calzada de mayor calidad que cumpla correctamente su vida útil. Este trabajo está lleno de entusiasmo y dedicación. Esperamos que sea utilizado como material de referencia para que los estudiantes de pregrado o posgrado puedan enfrentar y comparar los conceptos y parámetros técnicos y académicos utilizados en diferentes tipos de diseños, con el fin de determinar comportamientos ante situaciones reales y sacar conclusiones. Sus diferencias y las diferencias a la hora de aplicarlas pueden producir o no resultados ofensivos e insuficientes.

2.2.3. Antecedentes regionales y locales

- a) (Reynoso Hilario, 2014) en el trabajo de investigación denominado “Estudio de los agregados de la cantera de Cangari para la elaboración de la mezcla asfáltica para pavimento flexible en la provincia de Huanta Ayacucho” Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad de Huancavelica.

El estudio fue de tipo descriptivo y tuvo como objetivo determinar la calidad de los agregados de la cantera Cangari, Huanta Ayacucho; dentro de ello, se presenta la descripción de los materiales pétreos utilizados en la mezcla asfáltica, estudio y ensayos que se realizan a los agregados, además definiciones, clasificación de los asfaltos, uso de emulsiones asfálticas, así como la ventajas y desventajas de las mismas.

También se puso en evidencia el rol mecánico que cumplen los materiales agregados, para luego pasar a la mezcla, la cual se utilizó en la conformación de carpetas de rodadura de tamaño medio y bajo utilizando emulsión asfáltica.

- b) En la investigación denominada “Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI tramo Quichuay – Ingenio del KM 0 + 000 al KM 1+ 000 2014 presentado por Antoni Luis Vergara Vicuña de la Universidad Nacional del centro del Perú.

2.3. BASE TEÓRICA

2.3.1. Estudio de afluencia del aforo del tráfico

De acuerdo al manual de carreteras en referencia al estudio de suelos, geología, así como de geotecnia y de pavimentos (2013, pg.73). el estudio de la demanda del tráfico es sumamente esencial que en todo proyecto de pavimentos y carreteras debería contemplarse, partiendo de la planificación donde se establecerá el diseño del pavimento, estableciéndose

esencialmente: los componentes del diseño estructural del pavimento así como de la capacidad portante que debería tener, en toda la longitud vial; estimándose los límites de volúmenes de afluencia de índices durante el estudio del periodo del análisis vial establecido para el proyecto.

La evaluación del control del tráfico constituye indicadores de información del índice medio diario anual IMDA para cada tramo vial materia de un estudio. Esto es muy conveniente, los términos de referencia de cada investigación han proporcionado la identificación de la sección transversal homogénea. "Información directa necesaria para la investigación del transporte" (pág. 73). En principio, además de la necesidad de objetivos más precisos o diferentes, será coherente con la muestra diseñada para calcular el IMDA ¹ del tramo de carretera, que partirá de la demanda de tráfico actual; clasificada por tipo de vehículo en cada sentido del tráfico. En el caso de los vehículos pesados (camiones y autobuses), la demanda de carga por eje y la presión de los neumáticos están directamente relacionadas con el envejecimiento de la carretera. En general, con base en la referencia regional anterior, considerando que las condiciones del tráfico son normales, solo se necesitan dos días para realizar un nuevo relevamiento específico en cada tramo de la vía. Un día determinado corresponde a un día laborable típico y una "demanda estimada" (pág. 74). Por un lado, la información recopilada servirá como base para la previsión de demanda durante el período de investigación y

¹ Ministerio de Transportes y Comunicaciones Oficina General de Planeamiento y Presupuesto Jr. Zorritos N° 1203 Lima - Perú

análisis, en este caso se debe determinar el eje de diseño equivalente (EE) de la acera.

Los ingenieros responsables deben respaldar si existe una razón para determinar que el crecimiento de la demanda seguirá tendencias históricas identificables por la información existente previa, o será modificado por factores socioeconómicos con un análisis razonable.

"Factor de dirección y factor de carril" (páginas 74-75). El factor de asignación de dirección se expresa como una relación. Corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o en una dirección del tráfico. Por lo general, corresponde a la mitad del tráfico total que circula en ambas direcciones, pero en algunos casos, puede ser en una dirección. La dirección superior es más detallada que el otro método, que se definirá en términos de recuentos de flujo.

El factor de asignación de carriles se expresa como una relación, que corresponde al carril que recibe el número máximo de equiaxios (EE), donde la mayor parte del tráfico en cada dirección pasa por el carril. El volumen de tráfico del carril de diseño de la carretera considerará el número de direcciones y el número de carriles en cada carretera; en función del porcentaje o factor de ponderación aplicado al IMD. Revise la tabla "Cálculo de la tasa de crecimiento y pronóstico" (página 75). Se puede usar una fórmula de progresión geométrica separada para calcular el crecimiento del flujo del tráfico de pasajeros y el flujo de vehículos de carga.

$$T_n = t_0(1 + r)^{n-1}$$

En la que:

- ❖ **T_n**: Tránsito proyectado al año “n” en veh/día.
- ❖ **T_o**: Tránsito actual (año base) en veh/día.
- ❖ **n** : Número de años del período de diseño.
- ❖ **r** : Tasa anual de crecimiento del tránsito

La tasa de crecimiento anual del transporte (pág. 77) está relacionada con la dinámica del crecimiento socioeconómico. Generalmente, la tasa de crecimiento del flujo de vehículos de pasajeros está relacionada con la tasa de crecimiento anual de la población. La tasa de crecimiento del volumen de carga y la tasa de crecimiento anual de la economía se expresan como producto interno bruto (PIB). La tasa de crecimiento del tráfico suele variar entre el 2% y el 6%. Si hay proyectos de desarrollo específicos que se implementarán en un período corto de tiempo en el área de la carretera, estas proporciones pueden variar mucho.

Para el diseño de aceras, la demanda correspondiente al tráfico pesado de autobuses y camiones es la demanda más importante. El impacto del flujo se mide en unidades definidas por AASHTO, que es el eje equivalente (SE) acumulado durante el período de diseño utilizado en el análisis. AASHTO se define como EE, que es el efecto de degradación de dos ejes simples con ruedas tradicionales en la superficie de la carretera. El peso es de 8.2 toneladas y la presión de los neumáticos es de 80 lbs/pulg².²

² ESAL'S: Equivalent Axial Load, (Ejes Equivalentes de Cargas.)

Los ejes equivalentes EE, Son coeficientes equivalentes, que representan las diferentes fuerzas destructivas de diferentes tipos de ejes (cada tipo de vehículo pesado) que componen un camión pesado de carretera.

"Diseño para aceras" (página 79). Durante el período de análisis, se utilizará la cantidad de EE³ que se espera que circule por el "canal de diseño".

El carril diseñado corresponderá al carril que se determine, que es el más cargado de la vía, y para el tramo de vía con la misma demanda, el resultado de este cálculo se aplicará a todos los carriles del tramo típico de la vía. Para definir los requisitos del carril diseñado, se analizará el tipo de sección transversal de la vía, el número de carriles y la distribución de carga en cada carril que conforma el carril.

[U M S], (Pg.21). Acerca de la relación del eje: Un eje simple se denomina elemento compuesto por un solo eje que no está articulado a otro eje, puede ser: impulsado o no, orientado o no, adelante, centro o atrás. El peso máximo permitido de un solo eje con 2 neumáticos es de 7000 kg (15 Kips). Se denomina "eje tándem" (pág. 22), y este elemento consta de dos ejes articulados al vehículo mediante dispositivos ordinarios, con un espaciamiento inferior a 2,4 metros.

Distribuyen uniformemente la carga en ambos ejes. Este tipo de

³ DECRETO SUPREMO N° 019-2018-MTC Decreto Supremo que modifica el Reglamento Nacional de Vehículos, el Texto Único Ordenado del Reglamento Nacional de Tránsito - Código de Tránsito y dicta otras disposiciones.

eje puede ser un eje de transmisión, un eje de cojinete o un eje combinado.

El peso máximo permitido del eje tándem de neumáticos es de 10.000 kg (22 Kips). El "eje trigeminal llamado" (pág. 23) está compuesto por tres ejes articulados al vehículo mediante dispositivos ordinarios, la distancia entre ellos es inferior a 2,4 metros. Estos distribuyen la carga en los tres ejes. Este tipo de eje puede ser un eje de transmisión, un eje de cojinete o un eje combinado. El peso máximo permitido del eje Tridem de 6 neumáticos es de 17000 kg (37 Kips).

Cuadro N.º 1 Relación de cargas por ejes equivalentes para pavimentos flexibles

TIPO DE EJE	EJE EQUIVALENTE (EE 8.2TN)
Eje simple de ruedas simple (EEs1)	$EEs1=[p/6.6]^{4.0}$
Eje simple de ruedas dobles (EEs1)	$EEs2=[p/8.2]^{4.0}$
Eje tándem (1 eje doble +1 eje rueda simple) (EEtA1).	$EETA1=[p/14.8]^{4.0}$
Eje tándem (2 eje ruedas doble) (EEtA2)	$EETA2=[p/15.1]^{4.0}$
Eje trídem (2 eje dobles + 1 eje ruedas simple) (EETR1).	$EER1=[p/20.7]^{3.9}$
Eje trídem (3 eje de ruedas dobles) (EEtA2).	$EETR2=[p/21.8]^{3.9}$
P=Peso real por eje en toneladas	

Fuente. Base de la tabla del apéndice "D" la guía de AASHTO 93.

Para el cálculo de ESAL (Pg.85). Durante el período de diseño, el número de repeticiones del eje equivalente es de 8.2 Tn, y se utilizará la siguiente expresión según el tipo de vehículo; el resultado final será la suma de los distintos vehículos pesados considerados Cuadro N.º 1:

$$\text{❖ Nrep de EE 8. 2 tn} = \sum [EE_{\text{día}} - \text{carril} \times F_{\text{ca}} \times 365]$$

Donde:

❖ **Nrep de EE 8.2tn:** Número de repeticiones de ejes equivalentes de

8.2 tn. **EEdía-carril:** Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado, por día para el carril de diseño. Se deriva del IMD, el factor de dirección, el factor de carril de diseño y el factor de tipo de vehículo pesado seleccionado para cada tipo de vehículo pesado. Para cada tipo de vehículo pesado, se aplica la siguiente relación:

❖ **EEdía-carril:** $IMD_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi} \times$

F_{pi} Donde:

❖ **IMD_{pi}:** Corresponde al índice medio diario según tipo de vehículo pesado seleccionado.

❖ **F_d:** Factor direccional.

❖ **F_c:** Factor carril de diseño.

❖ **F_{vpi}:** Factor vehículo pesado del tipo seleccionado (i) calculado según su composición de ejes. Representa el número medio de ejes equivalentes para cada tipo de vehículo pesado (autobús o camión) y divide el número total de ejes equivalentes (SE) de un determinado tipo de vehículo pesado por el número total de vehículos pesados del tipo seleccionado. Para obtener el promedio.

❖ **F_{ca}:** Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.

365: Número de días del año.

❖ Σ : Sumatoria de ejes equivalentes de todos los tipos de vehículo pesado, por día para el carril de diseño por factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

2.3.2. ESTUDIO DE SUELOS

Colegio de geólogos de COSTA RÍCA, (2011, parr.1). El estudio del suelo puede revelar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, es decir, la composición de los elementos profundos, el tipo de cimentación más adecuada para la obra a construir y el peso de asentamiento asociado a la estructura.

- ❖ Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos [MCSGGP], (2013, Pg.29). Define la exploración e investigación del suelo son muy importantes para determinar las características del suelo y para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, incluso si se requiere precisión, los resultados de la prueba no son importantes para el propósito previsto. “De las calicatas” [MPCSGGP], (2013, Pg.30). Debe obtenerse una cantidad suficiente de muestras representativas de suelo o roca, o ambas, de cada formación, que son esenciales para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de muestra requerida depende de la prueba a realizar, el porcentaje de partículas gruesas en la muestra y el equipo de prueba que se utilizará. “Realizar pruebas de laboratorio sobre las muestras obtenidas (página 30), y finalmente investigar en base a los datos obtenidos, y registrar los resultados obtenidos en forma gráfica y escrita, debidamente acotado en un espesor.

Una acera no menor a 1,50 m y con una línea de base vial de alto diseño geométrico, debajo de ella, el espesor y tipo de suelo del terraplén y el terreno natural indican su naturaleza o características y los parámetros básicos del diseño.

Para obtener el perfil estratigráfico del área a cerrar, se utilizarán métodos de exploración geofísica para determinar la naturaleza y características del suelo y / o roca subyacente (de acuerdo con la norma MTC E101). "Características de la subrasante" [MCSGGP], (página 31). Para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales del lecho de la vía, se realizarán levantamientos mediante la implementación de un pozo de exploración o mina con una profundidad mínima de 1,5 m.; el número mínimo de pozos por kilómetro se basará en la investigación de tráfico.

Análisis del método de AASHTO4, [AMA], (2008, pg.17). El lecho de la carretera es el suelo que sirve como base de todo el paquete estructural. En la década de 1950, se prestó más atención a las características básicas de los lechos de las carreteras y se diseñaron métodos de prueba para caracterizar mejor estos suelos. Las pruebas que utilizan cargas de deformación estáticas o de baja velocidad (como CBR, compresión simple) se reemplazan por pruebas de carga dinámicas y repetidas

⁴ Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials,

Por ejemplo, la prueba de módulo elástico es mucho mejor en términos de tensión y deformación que se producen en la acera.

❖ **Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos**, [MCSGGP], (2009, Pg.34). El suelo descubierto se describirá y clasificará según el método de construcción de la carretera. La clasificación la realizará AASHTO. "Características básicas a considerar" (pág. 34). Análisis granulométrico: indica la distribución granulométrica. Se tamiza según las especificaciones técnicas (ensayo MTC EM 107) Obtenga agregado. A partir de esto, se pueden aproximar otros atributos que pueden resultar de interés.

El propósito del análisis del tamaño de partículas del suelo es determinar la proporción de diferentes componentes del suelo y clasificarlo según su tamaño. "Plasticidad" (páginas 36-37). La característica estable significa que el suelo alcanza un cierto límite de humedad sin desintegrarse, por lo que la plasticidad del suelo no depende de los elementos gruesos que contiene, sino solo de los elementos finos. El análisis del tamaño de partículas no nos permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar el límite de ATTERBERG. ⁵.

El límite ATTERBERG determina qué tan sensible es el comportamiento del suelo a su contenido de humedad (agua), y define el límite correspondiente a los tres estados de consistencia en función de su humedad, por lo que puede representar el suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites ATTERBERG para medir la cohesión del suelo son: límite líquido (LL según prueba MTC EM110), límite plástico (LP según prueba MTC EM 111) y tasa de contracción (LC según prueba MTC EM 112).

Límite líquido (LL), cuando el suelo cambia de un estado semilíquido a un estado plástico, se le puede dar forma. Límite plástico (LP), cuando el suelo cambia de un estado plástico a un estado límite de contracción (retracción), cuando el suelo cambia de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse cuando pierde agua. Además de LL y LP, una característica a obtener es el índice de plasticidad IP (prueba MTC EM 111), que se define como la diferencia entre LL y LP:

❖ **IP = LL – LP**

“Índice de plasticidad”, (Pg.37). El índice de plasticidad indica el tamaño del intervalo de humedad, en el que el suelo tiene plasticidad y puede clasificar bien el suelo. Un IP

⁵ **Límites de Atterberg, límites de plasticidad o límites de consistencia**, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos,¹ aunque su comportamiento varía a lo largo del tiempo. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg (1846-1916).

Grande es equivalente a muy arcilla; por el contrario, la PI baja es característica de la arcilla baja. En este sentido, el índice de plasticidad del suelo se puede clasificar de acuerdo con el Cuadro 2 a continuación:

Cuadro N.º 2 Clasificación de suelos según índice de plasticidad

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	Suelo muy arcilloso
IP ≤ 20 > 7	Media	Suelo Arcilloso
IP < 7	Media	Suelo poco arcillosa plasticidad
IP = 0	No plástico (NP)	Suelos extensos de arcilla

Fuente: Manual de carreteras suelo, geología, geotecnia y pavimentos.

❖ URTECHO, GRADIZ, ESPINOZA, FLORES, (2009, Pg.2). El método de prueba Proctor modificado agrega muestras de suelo que han pasado el tamiz No. 4 y agrega agua según el porcentaje previamente seleccionado hasta alcanzar el contenido deseado. Luego, determine el peso del molde Proctor más el recipiente y luego vierta la muestra de suelo húmedo en el molde.

Cada capa (5 capas) debe compactarse uniformemente (moverse en toda la pared del molde) con un martillo. Proctor realizó 56 modificaciones antes de verter la siguiente capa en el molde. "Partimos de la muestra", URTECHO et al., Al, (2009, p. 2). Se obtiene una muestra del centro del suelo compactado a través del centro, y luego se pesa sobre la tara. Usando la muestra de suelo húmedo en la botella de suelo compactado, determine el

peso de tara más el suelo húmedo. Coloque la tara de humedad y la tierra húmeda en el horno hasta que esté seco a peso seco. Para determinar el peso volumétrico seco máximo (d_{max}) que puede alcanzar el material y la humedad óptima ($W_{opt.}$) a la que se debe realizar la compactación. URTECHO et al., Al, (2009, p. 7).

Vásquez, (2013, Pg.2). Prueba de California Bearing Ratio (CBR). Se refiere a la medición indirecta de la resistencia al cizallamiento osmótico del suelo de la subrasante y los materiales granulares en condiciones no drenadas.

❖ De acuerdo con el "Manual de suelo, geología, ingeniería geotécnica y pavimento" [MCSGGP], páginas 39-40, prueba CBR: (Prueba MTC EM 132), una vez que el suelo sea clasificado por el sistema AASHTO 93, será Cada sector o parte homogénea del estudio dibuja un perfil de estrato, a partir del cual se determina el procedimiento de prueba para establecer el CBR. CBR es el valor de soporte o resistencia del suelo, que se denomina 95% MDS (densidad seca máxima) y la tasa de penetración de la carga.

Para obtener el valor de diseño CBR de la subrasante a 2.54 mm, se deben considerar los siguientes factores:

"En el departamento con 6 o más valores CBR" (página 40)

Según el tipo de suelo representativo o según la parte de las características homogéneas del suelo, el valor CBR de diseño del

lecho de la calzada considerará el valor medio global con características homogéneas el valor del análisis departamental.

En los sectores donde el valor de CBR es menor a 6, basado en tipos de suelo representativos o secciones de características de suelo homogéneas, el valor de CBR de diseño del lecho de la carretera se determinará de acuerdo con los siguientes criterios: si los valores son similares o similares, tomar el promedio. Una vez definido el valor del CBR de diseño: Según la referencia del Cuadro 3, para cada departamento con características similares, clasificarlo en la categoría de subrasante a la que pertenece el Sector.

Cuadro N.º 3: Categoría de subrasante CBR

CATEGORÍA DE SUBRASANTE	CBR
S0: Subrasante inadecuada.	CBR < 3%
S1: Subrasante pobre.	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Subrasante regular:	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Subrasante buena.	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Subrasante muy buena.	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante excelente.	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de carreteras suelo, geología, geotecnia y pavimentos.

2.3.3. PAVIMENTO FLEXIBLE

Según el "Manual de suelos, geología, ingeniería geotécnica y pavimentos de carreteras" [MCSGGP]. (2013, pág.30). El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (Sub - base, base). Como capa de pavimentación, es una capa compuesta por materiales asfálticos

(como aglomerantes, agregados y aditivos (si aplica)). Se considera principalmente como una capa rodante de asfalto sobre una capa granular: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimento, mezcla asfáltica fría y mezcla asfáltica caliente.

❖ BENDEZU. (2014, Pag 6). El pavimento flexible es una estructura compuesta por una o varias capas de materiales que se apoyan completamente en el suelo. Se utilizan materiales adecuados para el diseño técnico y la construcción. Estos materiales están preparados para soportar cargas de tráfico repetidas en diferentes condiciones climáticas sin agrietamiento excesivo o La deformación, y tiene la capacidad de resistir el diseño de la estructura del pavimento se puede utilizar dentro del rango, se transmitirán al lecho de la carretera y al suelo de cimentación sin causar un asentamiento o asentamiento excesivo.

❖ AYALA. (2014 Pg 2). Prepare todas las superficies de carreteras flexibles y compactelas a una densidad de subrasante específica. Dependiendo de la calidad de la subrasante, se puede omitir si se coloca en la subrasante o en la subrasante. La capa de asfalto se forma sobre la capa base, que está compuesta por una mezcla de asfalto y agregado.

El método AASHTO es un método de regresión basado en los resultados empíricos de la ruta de prueba AASHTO establecida en la década de 1950.

AASHTO publicó una guía de diseño de la estructura del

pavimento en 1972 y sus ediciones revisadas se publicaron en 1981, 1986, 1993 y 2008.” (Pg 2).

2.3.3. Método guía AASHTO 93 de diseño.

[MCSGGP] (2013, Pg. 158). El programa se basa en un modelo, que se desarrolla a partir del cálculo del espesor del rendimiento de la carretera, la carga del vehículo y la resistencia de la subrasante. Posteriormente, la versión AASHTO-93 de la guía incluirá la fórmula de cálculo.

❖ Periodo De Diseño.

[MCSGGP] (2013, Pg. 158). El período de diseño del manual personal de diseño de calles para carreteras de baja densidad será de hasta 10 años, el período de diseño de dos fases será de 10 años y la fase de diseño será de 20 años.

❖ Variable

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

$$\text{Log}10(W18)=Z_gS$$

2.3.4. VARIABLES DE FUNDAMENTO DE BASE TEÓRICAS

Prueba de acuerdo con las especificaciones técnicas de las normas CE. 010⁶, pavimento urbano. Incluye principalmente la evaluación de los diferentes componentes de los materiales granulares que constituyen la cimentación del pavimento y la cimentación de granularidad, debiendo ser posible diseñar el desempeño de acuerdo con los requisitos de calidad más estrictos para lograr una evacuación rigurosa y soportar pruebas de mecánica de suelos. Detallemos las pruebas a considerar.

2.3.5. ESTUDIO GRANULOMÉTRICO DE ESTRATOS DEL SUELO

La norma ASTM D-422 (Juárez, 2011, página 101) cuantifica el rango de desviación de muestras de estratos de diferentes tipos de suelo según el método de análisis de tamaño de partícula de diferentes tamaños de tamizado, y básicamente representa la elección del peso y correspondientemente En porcentaje. El gráfico de escala logarítmica se expresa como porcentaje; el material retenido se expresa como ordenada y el tamaño de partícula se expresa como abscisa (la forma de la curva de tamaño de partícula obtenida nos muestra gráficamente el tipo de suelo).

Para el diseño de pavimentos flexibles que se ubican, en alturas promedios o mayores a 3000 m.s.n.m. El Reglamento Nacional de Edificaciones CE.010, (2014), describe los requerimientos necesarios que debería tener la calidad de los materiales para el diseño de los pavimentos, partiendo del análisis

⁶ Norma Técnica De Edificación Ce.010 Pavimentos Urbanos Habilitaciones Urbanas. Componentes Estructurales - Decreto supremo N°001-2010-VIVIENDA

Como se muestra en la figura, el diagrama de distribución del tamaño de partícula del material que se utilizará para la base y la subbase.

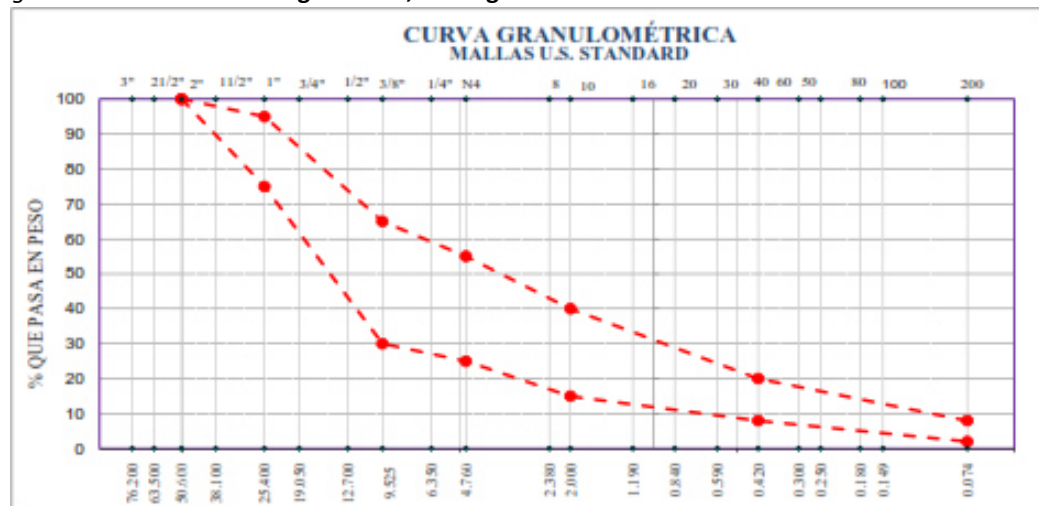
Tabla N.º 4: Norma CE. 010. Establecimiento de requerimientos de granulometría

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	Graduación A	Graduación B	Graduación C	Graduación D
50 mm(2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75-95	100	100
9.5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75 mm (Nº4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.0 mm (Nº10)	15-40	20-45	25-50	40-70
4.25 µm(Nº40)	8-20	15-30	25-30	25-45
75 µm(Nº200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Sección 304 de las EG-2000 del MTC.

En la Cuadro N.º 4. Los resultados muestran que los materiales granulares utilizados para la base y la sub-base deben estar dentro del rango de parámetros de calidad gradual especificado por los estándares de calidad vigentes.

Figura N.º 1: Entorno de la graduación, curva granulométrica



Fuente: Elaboración Propia, Graduación A Sección 304 de las EG-2000 del MTC.

2.3.6. ESTUDIO DE SUELOS

De acuerdo con la norma ASTM D 4318, se determina el valor límite líquido y el índice de plasticidad del suelo, y se clasifican e identifican los diferentes tipos de suelo a analizar. Los resultados de la prueba determinaron el índice de plasticidad de la muestra de suelo.

a) **Límite Líquido**

Es el contenido de humedad de la muestra de suelo, por debajo del cual se comporta como plástico. A este nivel de contenido de agua, el suelo se encuentra en un estado de transición que cambia su comportamiento a un fluido viscoso.

b) **Límite Plástico**

Es el contenido de humedad, por debajo del cual el suelo puede considerarse un material no plástico.

c) **Determinación del Índice de Plasticidad**

El índice de plasticidad del suelo se puede definir como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

❖ **Ecuación 1:** Determinación del Índice de Plasticidad

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

- L.L. = Límite Líquido
- L.P = Límite Plástico
- L.L. y L.P. son números enteros

Cuando no se pueda determinar el límite líquido o el límite plástico, el

índice de plasticidad se debe informar como la abreviatura NP (no plástico).

De manera similar, cuando el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

2.3.7. BASE DE INDICADORES DE MATERIALES

- **Material OVER**

El material OVER se refiere al material contenido entre el material granular y el agregado, que es necesario para la construcción de cimientos de pavimento flexible.

(Montoto, 2008) señaló que, para realizar diversas construcciones, como casas, edificios, viales, etc., es necesario revisar las características petrológicas y físicas que controlan la durabilidad de la piedra, enfatizando así la importancia del espacio vacío. Estas características están más directamente relacionadas con la absorción y transferencia de agua dentro de la piedra.

En cuanto al proceso de deterioro, el agua, las sales solubles y los contaminantes atmosféricos juegan un papel destacado en los diversos mecanismos de cambio que se forman en la piedra de construcción.

El autor cree que también es importante estudiar las distintas etapas relacionadas con el mantenimiento de la piedra y resumir los métodos y productos más utilizados para tal fin.

- **Las rocas y los parámetros intrínsecos que controlan su durabilidad**

(Montoto, 2008) muestra que en el estudio de materiales rocosos, la existencia de discontinuidad y anisotropía es la más destacada. Suele tener

un carácter heterogéneo y carece de homogeneidad, todos ellos similares al hormigón.

Desde el punto de vista petrofísico, los componentes petrofísicos que definen las características de la roca y permiten la interpretación de sus propiedades físicas son la textura y la mineralogía, además se debe enfatizar el estudio de vacíos como los componentes de la textura y analizar en detalle su estructura. Sistema tridimensional o poroso.

Al analizar estos dos últimos componentes, podemos comprender el grado de conectividad de las fracturas y los canales porosos, el radio de entrada de los poros y su posición en relación con la composición mineral.

- **Tipo de agregados**

Cuando la roca proviene de la desintegración de la propia naturaleza y se le llama agregado natural, en cambio, cuando se le llama piedra triturada diseñando mecánicamente la deformación mecánica del tamaño que debe tener, se le llama agregado natural.

(Reynoso Hilario, 2014) Al clasificar los áridos, señaló que se pueden utilizar tres tipos de áridos para hacer pavimentos flexibles:

- **Agregado fino**

Es un tamiz que pasa a través de un tamiz de 3/8 de pulgada y se retiene principalmente en el tamiz No. 200. Su material puede provenir de ríos rotos, minas o minas a cielo abierto. Una característica importante de este tipo de agregado son sus características de humedad, porque son más fáciles de mantener la humedad que los agregados gruesos.

La humedad producirá diversos cambios en el volumen de arena, es decir, cuanto más fina sea la arena, mayor será la humedad y mayor será el cambio de volumen.

- **Agregado grueso**

Este tipo de agregado se retiene en el tamiz No. 4, todos los tamices están por encima del tamiz y están recomendados por COVENIN 277 "Estándares de aceptación y rechazo para agregados".

Cuando el agregado grueso se obtiene triturando roca (también conocido como "grava"), se producen granos de medio ángulo, que tienen una superficie más rugosa y buena adherencia. Los cantos rodados son redondos. Suele tener una mayor resistencia eléctrica y una superficie lisa, lo que ayuda a trabajar con menos agua y es difícil de adherir a la pasta, pero puede compensar las partes rugosas y tiene mayor adherencia.

2.3.8. PROPIEDADES PRINCIPALES DE LOS AGREGADOS

Las principales características de los áridos según (Reynoso Hilario, 2014) son tamaño de partícula, tamaño máximo, peso unitario, gravedad específica, humedad y tasa de absorción, segregación e impurezas.

Granulometría: Se define como la distribución de su tamaño de partícula y la muestra se determina mediante cribado múltiple. Esta característica está directamente relacionada con la trabajabilidad del hormigón, especialmente el árido grueso.

Tamaño máximo: El tamaño máximo del agregado suele depender de los requisitos para su fácil acceso entre el encofrado y la armadura. El tamaño

máximo del agregado debe entenderse como la apertura de la pantalla o pantalla más pequeña, y al menos el 95% o más del material tamizado debe pasar a través de la pantalla o pantalla.

Peso unitario: Es una especie de volumen de referencia, existen dos tipos de peso unitario, uno es a granel, que se determina colocando libremente el agregado en el recipiente; el otro es polvo prensado, que determina la compactación del material. La forma, similar porque se hace con hormigón.

Peso específico: Es el peso de un objeto dividido por su volumen. Los materiales granulares tienen dos tipos de gravedad específica: el peso aparente (aparente) es el peso de un grupo de agregados dividido por su volumen (incluido el espacio vacío entre granos), y el valor absoluto es: Valor absoluto: peso de los granos Dividir por su volumen.

Humedad y absorción: Esta es la diferencia entre el peso del material húmedo secado en el horno y el peso del material húmedo. Puede expresarse como porcentaje en peso basado en material seco. Hay dos formas diferentes de encontrarlos en los agregados: una es rellenar los poros internos y microporos del grano, y la otra es formar una capa o película de encapsulación más o menos. Por el contrario, la absorción entre alimentos secos y húmedos, o entre alimentos secos o saturados con una superficie seca, puede eliminar grandes cantidades de agua de la mezcla.

Estas contribuciones o extracciones de agua cambiarán la relación agua-cemento o el valor alfa. El agua de humectación superficial de las partículas del agregado las separa levemente por la película que las rodea, lo que en conjunto conduce

al "aumento o expansión de volumen" del material. Este fenómeno es poco comprensible en agregados gruesos, pero en general, El hecho es notable.

Segregación: Cuando existen agregados de diferentes tamaños, es importante distinguir por tamaño, lo que se denomina aislamiento de agregados, que producirá un concreto de calidad desigual. Se contrarresta dividiendo los agregados en partes separadas de acuerdo con su tamaño para su procesamiento, y estas partes solo se combinan cuando se mezclan.

Impurezas: El agregado siempre va acompañado de impurezas nocivas de manera nociva, la mayoría de las cuales son impurezas naturales y van acompañadas de arena. Las impurezas que pueden acompañar a los agregados son materiales orgánicos.

2.3.9. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS GRUESOS

El uso de agregados de grano grueso se basa en los materiales actuales o las condiciones económicas El tamaño máximo nominal de los agregados es el tamaño mínimo de malla por el que deben pasar la mayoría de los agregados.

2.3.10. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

La superficie de la carretera no siempre consta de las capas que se muestran en la figura. La ausencia o sustitución de una o más de estas capas depende de muchos factores, como el soporte de la calzada, el tipo de materiales utilizados y la intensidad del tráfico.

Por lo tanto, puede identificar 3 tipos de pisos, la principal diferencia entre ellos radica en el embalaje estructural proporcionado:

- Pavimento flexible

- Pavimento semirrígido
- Pavimento rígido
- Pavimento hídrico o articulado

Es importante recordar que las aceras se pueden revestir con diferentes materiales, como piedra o madera. Sin embargo, el término suele estar relacionado con el asfalto en algunos países, que es un material que se utiliza para construir calles, rutas y otras vías de comunicación. Por ejemplo: "Las aceras de esta vía están en mal estado", "Miguel decidió ir al pueblo por las aceras de esta vía, pero encontró un camino de terracería", "El gobierno debería invertir más dinero para mejorar la vía Aceras de estas calles ".

Se cree que uno de los métodos de pavimentación más antiguos se llama Calzada Romana, que tiene como objetivo promover la comunicación y el transporte dentro del imperio. El desarrollo de esta vía se encuentra en diferentes etapas y algunos tramos aún se encuentran en buen estado.

La denominada mezcla asfáltica y el hormigón son los materiales más habituales para la fabricación de aceras urbanas, porque tienen buenas propiedades de soporte y pueden permitir que los vehículos sigan pasando sin causar grandes daños.

En los últimos años ha impulsado el desarrollo de aceras sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. En este sentido, cabe mencionar el pavimento que combina asfalto con polvo de caucho obtenido de llantas recicladas y el uso de un producto denominado noxer, que tiene la capacidad de absorber la contaminación de los tubos de escape de las llantas del vehículo.

- ❖ **Rasante:** El nivel de acabado de la superficie de la banda de rodadura. La línea de nivel está en el eje de la carretera. Lecho de la carretera; superficie de la carretera (corte o relleno) completada al nivel del movimiento de tierras. La superficie rodante sobre la que se coloca o se determina el acabado superficial de la estructura del pavimento. La línea de nivel está en el eje de la carretera. Lecho de la carretera; superficie de la carretera (corte o relleno) completada al nivel del movimiento de tierras. Coloca aceras o estructuras definidas sobre él.
- ❖ **Base;** Una capa cuidadosamente seleccionada de materiales tratados se ubica entre la parte superior de la calzada o calzada y la capa de desgaste. La capa también puede estar hecha de mezcla asfáltica o procesada según diseño. La base es parte de la estructura de la acera.
- ❖ **Subbase;** Esta capa es parte de la estructura del pavimento y está ubicada directamente debajo de la capa base.

2.3.11. ESTRUCTURACIÓN DE CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Cuando la acera soporta la carga del vehículo en su estructura, habrá tensión, deformación y deflexión. Estas tensiones deben ser menores que la fuerza, deformación y deflexión permisibles para asegurar que el modelo estructural tenga suficiente para enfrentar la tensión de carga durante su vida. Reloj de rendimiento, como se muestra la figura N°. 2

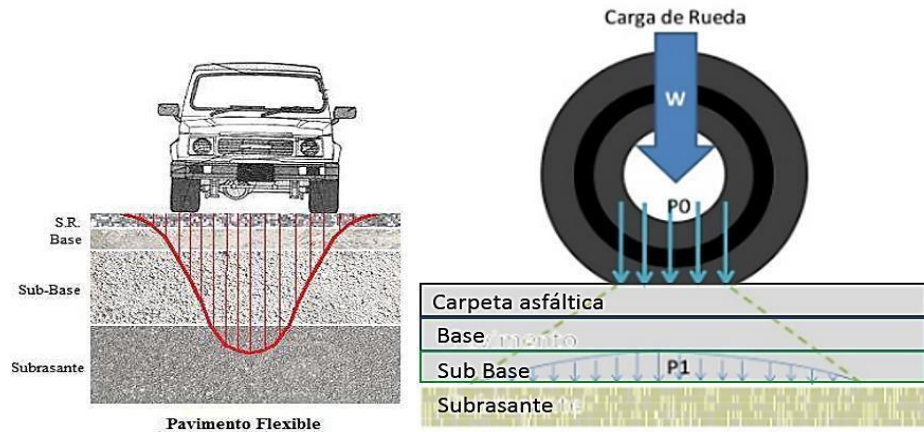


Figura N.º 2: Transmisión de esfuerzos, pavimentos flexibles

Fuente: García, A. Esfuerzos y deformaciones en pavimentos flexibles.

2.3.12. CONDICIÓN TENSIONALES EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS

Cuando la carga está sujeta a deformación y esfuerzo de flexión (σ_z). Aplicados al suelo, estos pasarán el esfuerzo al suelo.

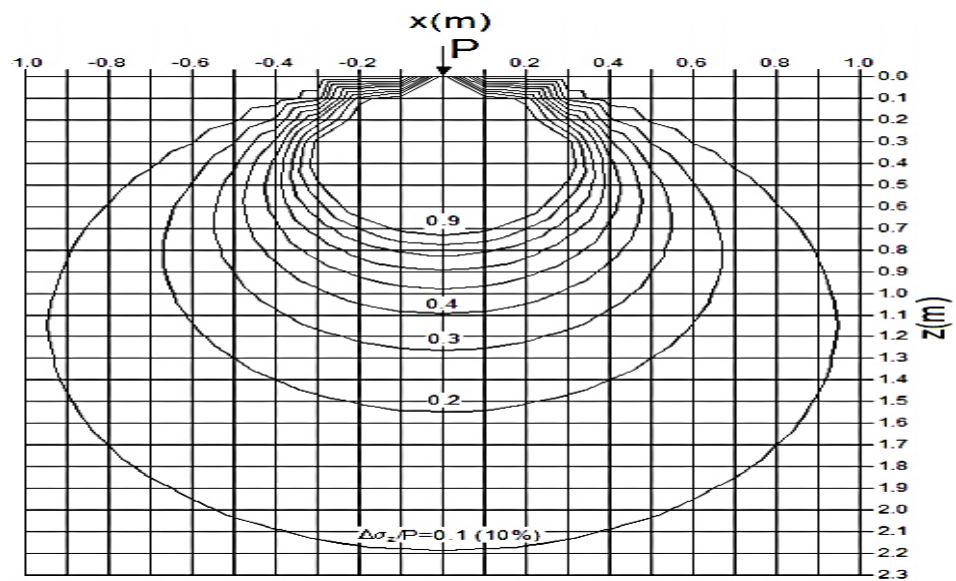


Figura N.º 3: Distribución de esfuerzos debido a una carga puntual.

Fuente: Cruz, L. Introducción a la Ingeniería de Cimentaciones. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/c13m3r/captulo-5-distribucin-deesfuerzos-en-el-suelo-debido-a-cargas>.

❖ **Deformación Radial, (ϵ_r)**

Debido a la carga del vehículo, se produce una deformación radial entre la base y el cojín de asfalto. Definición de Higuera (2007.);

“La capa de asfalto tiene tracción de fibra en la parte inferior y compresión de fibra en la parte superior. La magnitud de la deformación radial se obtiene modelando la estructura y el análisis mecánico del pavimento.”

Cuando la carga pesada se aplica muchas veces, la capa de asfalto de la acera sufrirá un fenómeno llamado fatiga. Moll (2017. p.13) insistió en que cuando la estructura se flexiona, se produce una deformación a tracción horizontal en la parte inferior de la capa asfáltica, si se supera el límite crítico comienza el proceso de fisuración.

❖ **Deformación Vertical (ϵ_z)**

Dado que las capas profundas son relativamente fáciles de actuar, las capas superiores tienen un nivel tolerable de deformación; incluso para las altas tensiones que actúan sobre ellas, por lo que la capacidad de deformación de las capas profundas es particularmente importante. La deformación elástica o la deformación elástica se pueden restaurar de inmediato, y la deformación que permanece en la acera después de que se retira la carga se suele llamar deformación plástica.

Bajo la carga en movimiento, se acumulará la deformación permanente, y en el ciclo intermedio, la deformación permanente de cada ciclo disminuirá hasta casi desaparecer en el ciclo final.

Según el autor Moreno, Randon y Reyes (2009), cuando se inicia un ciclo de carga y descarga en un material granular, se restaurará inmediatamente una parte de la deformación total generada, que es deformación elástica. En cada repetición del ciclo, existe otro tipo de deformación que no se puede recuperar y acumular, denominada deformación permanente o deformación plástica.

Moll, (2017, p.13), Cuando la capacidad de recuperación de la deformación de los materiales que constituyen la estructura de la acera provocada por la superación del límite de carga supere el valor límite establecido, cuando se produzca una deformación permanente (surco), se producirán en la calzada, la capa base, la capa base granular y la capa asfaltada.

❖ **Deflexiones, (Δz)**

El desplazamiento vertical experimentado en la superficie de la estructura del pavimento asfáltico en respuesta a una carga externa se denomina deflexión y la ocurrencia de esta deflexión es pequeña (una centésima de milímetro).

Moll, (2017, p.14), Mencionó que cuando se aplica una carga a la superficie, todas las capas se encogen, lo que crea tensión y deformación en cada capa, Figura N°. 4:

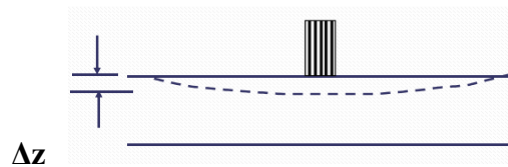


Figura N.º. 4: **Representación deflexión, estructura del pavimento.**

Fuente: García, A. Esfuerzos en pavimentos flexibles. (p.12)

2.2.13. CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

La base para determinar el tamaño estructural de las carreteras (especialmente las aceras flexibles) es el apoyo de la carga del tráfico, que depende principalmente de las características del suelo, los materiales que lo constituyen y el diseño de la superficie de la carretera. En primer lugar, es necesario conocer la capacidad portante de una o más capas de estructura de pavimento flexible. Este valor es decisivo para el modelado de diferentes alternativas de diseño que se pueden presentar o evaluar. CBR de inmersión es una de las pruebas generalmente aceptadas para obtener capacidad de carga. Una vez obtenido el CBR de la calzada, se propondrán soluciones de mejora o estabilización de acuerdo al diseño geométrico e hidráulico de la calzada y las condiciones geotécnicas de la zona. Para la capa base granular y la capa base granular, los coeficientes estructurales deben adoptarse de acuerdo con la normativa existente, y se calculará el espesor de cada capa para determinar el número de estructuras necesarias para cumplir con los requisitos. Condiciones de la carretera encontradas.

Para determinar el valor del coeficiente estructural de la capa asfáltica, se establecerá un método para vincular el valor elástico de la mezcla asfáltica con el valor del coeficiente estructural.

2.4. MARCO CONCEPTUAL

2.4.1. Planificación

Para las calles del distrito de Chilca de la provincia de Huancayo, Junín, la Real Academia Española define el plan como: (1) “La acción y efecto del plan”, que a su vez se define como “elaborar un plan para la ejecución de la obra y elaborar un plan o proyecto Y / o seguir el plan ". (2) El segundo tipo de comprensión es el plan general, que se organiza metódicamente para lograr los objetivos del desarrollo heurístico local y / o urbano, contribuyendo así al desarrollo económico, que se refleja esencialmente en la investigación científica significativo.

2.4.2. Marco Legal

El proyecto se llevará a cabo de acuerdo con el reglamento establecido por el Director General de Caminos: Túneles, Muros y Obras Complementarias **Resolución Directoral N° 36-2016-MTC/14**⁷, emitido el 27 de octubre del 2016.

⁷ Resolución Directoral N° 36-2016-MTC/14

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. METODOLOGÍA

La metodología empleada se ajusta al método cuantitativo, que tiene las características de diseño experimental, porque la recolección de datos se utiliza para probar hipótesis y validarlas con base en los resultados del análisis estadístico.

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación que se realiza se basa en aplicaciones, es decir, en ella se realiza la recolección de datos in-situ, con el propósito de analizar y explicar el comportamiento de las variables de investigación, evaluar las razones y significados, y verificar hipótesis.

3.1.2. Nivel de investigación

(Cegarra, 2011). Se utiliza el método científico. Dado que la investigación se realiza de acuerdo con los siguientes procedimientos: observación, presentación, modelado de datos, resultados basados en hipótesis, y la liberación de resultados y conclusiones, dando lugar al tipo de investigación a nivel explicativo.

3.1.3. Diseño de investigación

H. Sampieri (2010) En la presente investigación se asume de acuerdo a la connotación de características se utiliza el diseño pre-experimental, por lo que la variable independiente, está en estudio y esto no se manipula.

Diseño: Pre experimental

GE: **O X** **O**
 1 **2**

Dónde: (X) Características de los parámetros.

G.E. Grupo experimental.

O 1: Observación inicial.

O 2: Observación final.

X: Manipulación de la variable independiente.

3.1.4. Población de estudios

“MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE TRANSITABILIDAD DE LAS VIAS: JR. SANTA ROSA, JR. LA MAR, JR. GARCILAZO DE LA VEGA, JR. PUMACAHUA Y PSJES. TORRES, SAN ANTONIO, ANCALA, DIEGO FERRER, ELIAS AGUIRRE Y GUIDO; BARRIO PISHUPYACUN, DISTRITO DE CHILCA– HUANCAYO – JUNÍN”

3.1.4.1. Tamaño de la Muestra

VÍAS: JR. SANTA ROSA, JR. LA MAR, JR. GARCILAZO DE LA VEGA, JR. PUMACAHUA - DISTRITO DE CHILCA– HUANCAYO – JUNÍN”

3.1.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tecnología: Constituyen un conjunto de mecanismos, medios o recursos destinados a recolectar, almacenar, analizar y transmitir datos sobre el fenómeno que están estudiando. Por lo tanto, las tecnologías son procedimientos o recursos básicos de recopilación de información, y los investigadores utilizan estas tecnologías para abordar los hechos y obtener su conocimiento. (Víctor Hugo ,1978).

En esta investigación se utilizará tecnología de observación a través de su instrumento de registro de observación, que permitirá recolectar información sobre la investigación para determinar el impacto de los materiales OVER en pavimentos flexibles.

- **La Observación Indirecta**

Supervisar, identificar y controlar el fenómeno sin contactarlo, pero procesarlo a través de métodos para determinar su particularidad, de manera que se puedan observar las características específicas y el comportamiento del fenómeno. De esta forma, aplicando el criterio CRR de fuerza vertical, el criterio Shell de deformación y el criterio Huang de deflexión, se aplica el modelo propuesto para analizar el papel de los materiales de cantera en el modelo de

pavimento.

a) Datos a considerar

- Muestreo de canteras.
- Obtener las coordenadas UTM⁸ de las canteras.
- Realizar pruebas de mecánica de suelos (EMS) de materiales de cantera.

b) Recolección de la información

- Fase de Pre-campo
- Elección de canteras.

❖ **Fase de campo**

- Toma de muestras del material granular de las canteras elegidas.

❖ **Fase de Gabinete**

- ♣ **Comparar los resultados obtenidos del EMS con los requisitos de la norma CE.010 de pavimento urbano.**
- ♣ **En un modelo de pavimento flexible con menos del 10% de lecho de la carretera CBR, evalúe el desempeño de los materiales de cimentación y subbase en un estado de estrés reducido.**

a) Técnicas:

- ❖ Conteo de circulación vehicular.
- ❖ Recoger muestras de suelo

⁸ El **sistema de coordenadas universal transversal de Mercator** (en inglés *Universal Transverse Mercator*, **UTM**) es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica.

- ❖ Evaluación de deterioro de la estructura de fallas.

b) Instrumentos:

- ❖ Formato estándar utilizado para evaluar el tráfico.
- ❖ Laboratorio de suelos CBR.

3.1.6. Recolección de datos

Técnica de procesamiento de datos.

- ❖ Los datos se toman de la provincia de Huancayo, provincia de Chilca, Departamento de Junín.
- ❖ Obtención del catastro del Registro de la Propiedad del Gobierno Regional Junín
- ❖ Información complementaria, extraída del Ministerio de Transporte de Departamento de Junín
- ❖ Según el tipo, dirección y tiempo de control a contar el número total de vehículos a determinar.
- ❖ Investigación de suelos.
- ❖ Índice medio diario de control de tráfico (IMD).
- ❖ Hoja de cálculo de Microsoft Excel.

3.1.7. Instrumentos

Valderrama (2015) asevera que: “Los instrumentos son los medios y materiales utilizados por los investigadores para recopilar información relevante.” (p. 195). Para el caso de este estudio de investigación, se utilizó,

3.1.8. Validación de la confiabilidad del instrumento

Durante la investigación, los resultados de la investigación en mecánica de suelos se adjuntan en un anexo para caracterizar los materiales de la cantera de Chaclas. Distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo. Además, también hay dibujos obtenidos mediante la evaluación y análisis de las propiedades estructurales de materiales básicos y materiales sub-básicos, y dos materiales desarrollados en el software Microsoft Excel.

Desarrollado por Shell, una evaluación detallada de la tensión, deformación y deflexión a través de estimación numérica. Se obtienen varios resultados basados en:

- Estudios de mecánica de suelos: Normas ASTM.
- Requerimientos de calidad del material para base y sub base, Norma CE.010, Pavimentos Urbanos.
- Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos. ICG.
- Reglamento Nacional de Vehículos, DECRETO SUPREMO N° 058-2003-MTC. (2003).

Durante la investigación, los resultados de la investigación en mecánica de suelos se adjuntan en el Anexo 04 para caracterizar los materiales de las canteras de Umuto y Chaclas. Además, también hay dibujos para evaluar y analizar el desempeño estructural de materiales básicos y materiales subbásicos, y dos materiales desarrollados en Microsoft Excel.

Desarrollado por Shell, en el que se evalúan en detalle los esfuerzos,

deformaciones y deflexiones estimadas mediante números. Se obtienen varios resultados basados en:

- Estudios de mecánica de suelos: Normas ASTM.
- Requerimientos de calidad del material para base y sub base, Norma CE.010, Pavimentos Urbanos.
- Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos. ICG.
- Reglamento Nacional de Vehículos, DECRETO SUPREMO N° 058- 2003- MTC. (2003).
- Software Microsoft Excel evaluación de pavimentos.

3.19. Análisis del material de cantera para base y sub base, pavimento flexible

Para evaluar la calidad de los materiales utilizados como materiales básicos y sub básicos en las canteras analizadas, se compararon los resultados obtenidos de la investigación en mecánica de suelos con los requisitos de calidad citados en la norma CE.010 pavimento urbano.

Con el fin de evaluar la contribución de los materiales de cantera al desempeño del pavimento flexible, se analizó el modelo propuesto de catálogo de estructuras ICG manual Pt-62. Aplicando la carga del vehículo tipo C2 en el modelo matemático (rueda simple y rueda doble), se evaluó la función de la fuerza vertical que actúa sobre la calzada, la deformación radial, la deformación vertical y la deflexión que se produce en la estructura. Alcance los estándares recomendados para máxima tensión, deformación y deflexión.

Los modelos de pavimento flexible fueron extraídos del manual el PT- 62 (2015).

- Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos. **Sección: suelos y pavimentos** (4ta ed.) Lima: (p.107, 108), Se recomienda que la subrasante utilizada para CBR sea inferior al 10%. Comparamos los resultados obtenidos después de evaluar los materiales de cada cantera, y superamos el estándar de esfuerzo máximo establecido en el lecho de la carretera (estándar CRR de Bélgica), deformación excesiva (estándar de cáscara) y acera máxima de Yang H. Huang de criterios de deflexión.

CAPITULO IV

DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. UBICACIÓN DE LA OBRA:

De acuerdo a la ubicación el proyecto está establecido en la Provincia de Huancayo, ubicada en el Departamento de Junín, bajo la administración del Gobierno Regional de Junín, Perú. La zona de estudio está enmarcado a nivel del casco urbano netamente en sus calles que faltan pavimentar, siendo estas; Las Avenidas; **JR. SANTA ROSA, JR. LA MAR, JR. GARCILAZO DE LA VEGA, JR. PUMACAHUA Y PASAJES. TORRES, SAN ANTONIO, ANCALA, DIEGO FERRER, ELIAS AGUIRRE Y GUIDO; BARRIO PISHUPYACUN, DISTRITO DE CHILCA HUANCAYO JUNÍN.** Como población general, y tomada para la muestra de la investigación se desarrolló el proyecto emprendido entre las intersecciones del; “**JR. SANTA ROSA, JR. LA MAR, JR. GARCILAZO DE LA VEGA, JR. PUMACAHUA - DISTRITO DE CHILCA– HUANCAYO – JUNÍN**”

4.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

Ubicada a una **Altitud:** 3275
 m.s.n.m, Superficie : 8.3 km².
 Sector : Chilca
 Distrito : Chilca
 Provincia : Huancayo
 Departamento : Junín

Limita por:

El Norte con : El Distrito de Huancayo
 El Este con : El Distrito de Sapallanga
 El Sur con : El Distrito de Huancán y
 El Oeste con : La Provincia de Chupaca.

4.3. Mapa de Ubicación Georeferenciales con Coordenadas UTM

- Longitud Oeste : 75° 07' 08.08" / 75° 13' 59.02"
- Latitud Sur : 12° 04' 24.37" / 12° 04' 25.40"
- Altitud : 3,275 m.s.n.m.
- Extensión : 28.04 km²
- Ubigeo : 120107
- Sector : Sa-3
- Sub Sector : Sa-3 (Pishupyacun)
- Zonificación : R3 - A (Residencial Densidad Media).

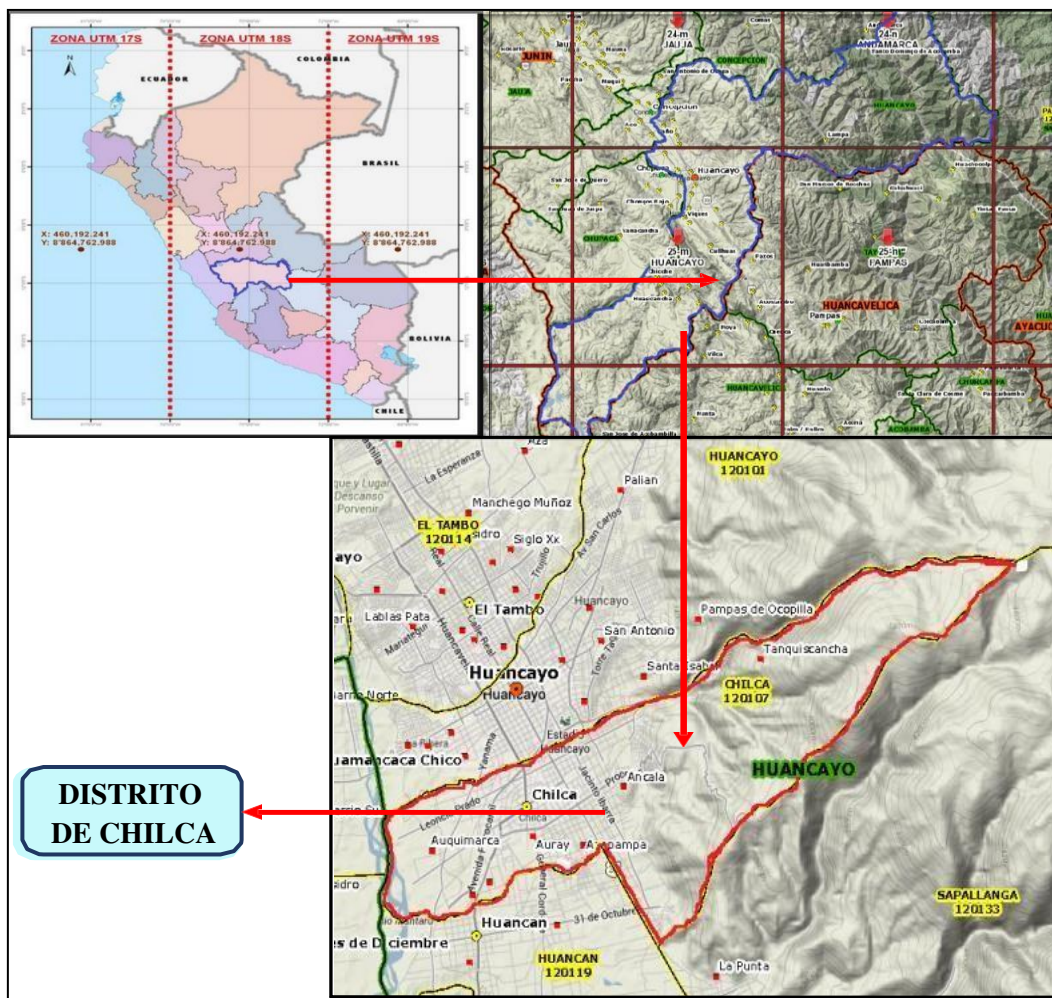


Figura N.º 4. Ubicación geográfica del proyecto del proyecto
 Fuente: Google Maps.

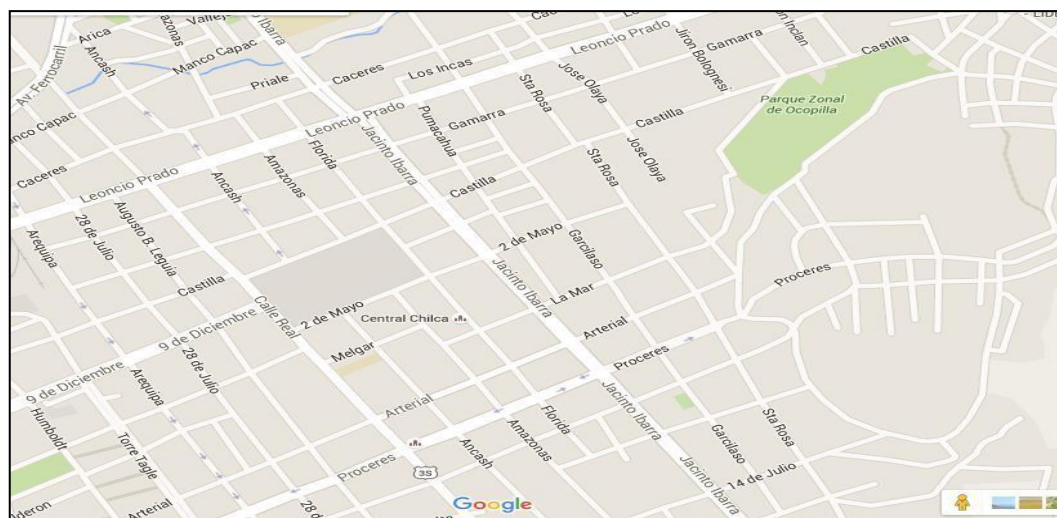


Figura N.º 5. Micro localización del Proyecto
 Fuente: Google Maps.



Figura N.º 6. Sectorización del área de Influencia

Fuente: PDU-HUANCAYO 2006-2018

4.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS PAVIMENTOS

Cuadro N.º 5: Cuadro comparativo del ciclo de vida de pavimentos

PAVIMENTO FLEXIBLE	PAVIMENTO RÍGIDO
Vida útil es menor (10-15 años)	Vida útil es menor (20-35 años)
Mayor costo de mantenimiento	Menor costo de mantenimiento.
Menos costo inicial (resulta más económico)	Mayor costo inicial.
La capa de rodadura es prácticamente continua	Se crea discontinuidad en la capa de rodadura, llamadas juntas.
El tiempo de ejecución es mayor	El tiempo de ejecución es menor.
Se puede añadir capas en cualquier momento	Poner capas encima produce grietas de Reflejo.
Requiere mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.	Solo requiere un mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

Fuente: MTC- Ministerio de Transporte y Comunicaciones

Si bien es cierto en el distrito de Chilca, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín, las lluvias empiezan a caer desde el mes de setiembre hasta el mes de abril y son más intensas en los meses de diciembre, enero y febrero.

Cabe mencionar que ha consecuencia de estas lluvias la carpeta de rodadura que están construidas con pavimento flexible es más sensibles con relación a la carpeta de

rodadura de pavimento rígido, por tales razones en el cuadro arriba descrito mencionamos las características frecuentes tanto para el proceso constructivo de pavimento flexible y pavimento rígido, el cual debe cumplir con el Cuadro N.º 5.

Las calles del distrito de Chilca-Huancayo-Junín, Se puede observar que el 85% de los caminos son caminos flexibles y el 15% de los caminos son caminos rígidos. De esto se concluye que la mayoría de los caminos asfaltados son caminos flexibles. Las fallas encontradas son las siguientes:

- ♣ Se observó la desintegración superficial de la capa de asfalto.
- ♣ Los baches que se encuentran debido a la descomposición o desintegración completa de mezclas asfálticas forman cavidades con bordes afilados, también llamados ojos de pez.
- ♣ Se observó desintegración de los bordes, la cual fue causada por los efectos del tráfico en ausencia de Cerdeña que destruyó los bordes de la acera.
- ♣ La superficie de la carretera se hunde debido a defectos de construcción.
- ♣ También se observaron superficies de rodadura con fisuras longitudinales y transversales y fisuras en los bordes.
- ♣ Finalmente, debido a la insuficiente estructura del pavimento, se observaron grietas llamadas piel de cocodrilo.

4.5. CONDICIONAL DE REQUISITOS DE PAVIMENTO FLEXIBLE

- ♣ Un total de 2257,61 ml de pavimento flexible mejora la calzada. Compuesto por calzada mejorada con $e = 0.15M$, $E = 0.20M$, material base granular $E = 020M$, $E = 2$ "ligante de asfalto

caliente, con un área de 14748.65 metros cuadrados.

♣ Construir zanjas de hormigón $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$, totalizando 302,95 metros cúbicos.

♣Sardinas de hormigón $f'c = 175 \text{ kg / cm}^2$, totalizando 237,10 m3.

♣ Pintura lineal de Cerdeña: 2.637,40 m.

♣Pintado de superficie circuito continuo: 2.708,66 m.

♣ Pintura en el paso de peatones: 1,072.00 metros cuadrados.

♣ Pintura de letras y símbolos en la acera: 101,20 metros cuadrados.

4.6. ESTUDIO DE MECÁNICA SUELOS, CANTERAS SAPALLANGA

a) Análisis granulométrico por tamizado, Norma ASTM D 422

El resultado de la prueba del análisis del tamaño de partícula muestra una curva representativa del material granular de la cantera. Figuras 5 y 6: muestran la curva de tamaño de partícula de la cantera, la línea roja representa el ambiente requerido por la norma CE.010 nivel recomendado A. La línea azul es la curva de tamaño de partícula del material en la cantera Chaclas.

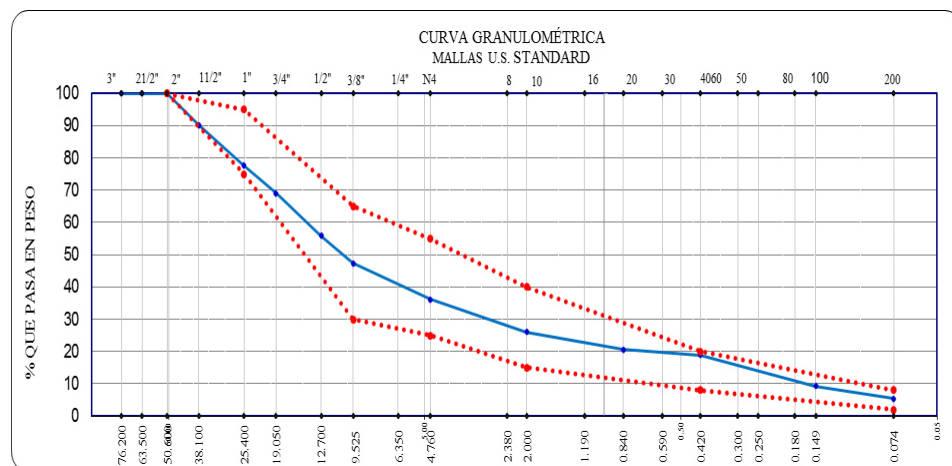


Figura N.º. 7: Curva granulométrica Cantera que se tomó para el ensayo

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica del material, Cantera dentro del entorno de calidad recomendado por la norma.

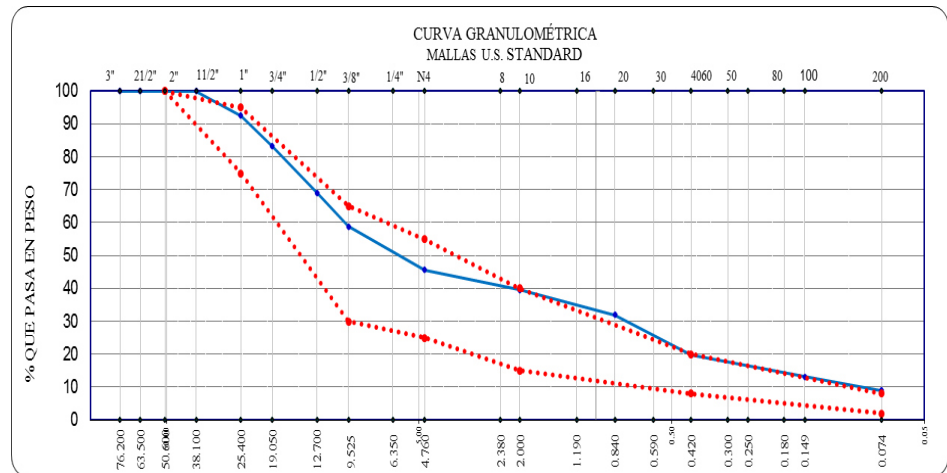


Figura N.º.8: Curva granulométrica

Cantera Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica del material, Cantera dentro del entorno de calidad recomendado por la norma.

b) Límites de consistencia, Norma ASTM D4318

Con la finalidad de determinar los límites de Atterberg se procedió con la ejecución del ensayo, el cual se resume en el cuadro N.º.

6

Cuadro N.º. 6: Limite de consistencia. Cantera: Chaclas

ENSAYO	NORMA	CANTERA UMUTO	CANTERA SICAYA
Limite Líquido (%)	ASTM D- 4318	10.01%	9.64%
Limite plástico (%)	ASTM D- 4318	8.23%	8.39%
Índice de plasticidad (%)		1.78%	1.25%

Fuente: Elaboración propia, a partir de los resultados de los EMS

El límite líquido para el material de sub - base es como máximo del 25%, ambos materiales cumplen con el requerimiento. El índice de plasticidad es del 4% dentro del rango estándar recomendado para el material base, y el valor máximo para el material base granular es del 2%, por lo que ambos materiales superan el valor recomendado.

c) Clasificación del material granular

De los ensayos anteriores observamos que el material granular de la cantera Sapallanga se encaja en la clasificación siguiente:

Cuadro N.º. 7: Clasificación del material para base y sub base. Canteras: Chaclas

Descripción	Cantera Umuto	Cantera CHACLAS
Clasificación SUCS	GM	GM
Clasificación AASHTO	A- 1- a (0)	A-2-4(0)
Gradación A	Cumple	No cumple

Fuente: Elaboración propia, a partir de los resultados de los EMS

❖ Material de la cantera Sapallanga:

Clasificación según SUCS⁹: GM, Grava estrictamente graduada, grava sedimentaria, franco arenoso. Según AASHTO, es un tipo de suelo A-1-a (0), que es grava con un tamaño de partícula bien definido. Ver Cuadro 7.

❖ Material de la cantera CHACLAS:

Según la clasificación SUCS: GW, grava de buena graduación, grava arenosa, los finos son muy pequeños. Según AASHTO's A-2.4 (0), un material granular con partículas finas de polvo.

d) Sales solubles totales, Método MTC E 219

Los materiales básicos y sub-básicos de la cantera de Sapallanga

tienen un porcentaje de sal soluble total inferior al máximo recomendado por la norma (es decir, 1%), ver Cuadro N.º 8.

Cuadro N.º 8: Sales solubles totales. Canteras Chaclas Sapallanga

Ensayo	Tipo	CANTERA UMUTO	CANTERA CHACLAS
Sales Solubles Totales	Agregado fino	0.166	0.21%
	Agregado grueso	0.120	0.45%

Fuente: Elaboración propia, a partir de los resultados de los EMS.

e) Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R.), Norma ASTM D1883-91

El material de la cantera Sapallanga alcanza un CBR de 74.90% al 100% de su máxima densidad seca, por tal motivo el material de la cantera Umuto cumple el requerimiento para su empleo como material para sub base, pero no es recomendado como material para base. Se requiere un mínimo del 80% de CBR para vías locales y conectoras y del 100% para Arteriales y expresas.

Los materiales de la cantera cumplen con los requisitos de ser utilizados como base secundaria, también se recomiendan como base recomendada para los caminos locales y conectores especificados en el Cuadro 8.

⁹ El **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS))** es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo.

Cuadro N.º 9: Ensayo California Bearing Ratio. Canteras: Umuto, Sapallanga

Ensayo	Norma	Cantera Umuto	Cantera CHACLAS
California Bearing Ratio (C.B.R.)	ASTM D1883	95%MDS. 73.20% 100%MDS. 74.90%	95%MDS. 70.0% 100%MDS. 82.80%

Fuente: Elaboración propia, a partir de los resultados de los EMS

Cuadro N.º. 10: E.M.S. Cantera Umuto. Material para Base y Sub Base Granular

CANTER UMUTO						
Estudio de Mecánica de Suelo E.M.S.	Norma ASTM	Resultados de los Ensayos	Requerimiento Sub Base	Observación	Requerimiento Base	Observación
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422	Se encuentra dentro del entorno.	Gradación A	Cumple	Gradación A	Se encuentra dentro del entorno
Clasificación SUCS	ASTM D-2487	GM	Grava sedimentaria, arena arcilla.			
Clasificación AASHTO	ASTM D- 145	A-1.a (0)	Grava con partículas finas de granulometría bien definidas.			
Limite líquido (%)	ASTM D- 4318	10.01%	Máximo 25%	Cumple	No especifica	....
Limite Plástico (%)	ASTM D- 4318	8.23%	No especifica	.....	No especifica	.....
Índice de Plasticidad (%)		1.78%	Máximo 4%	Cumple	Máximo 2%	Cumple
Abrasión los Ángeles	ASTM C 131	13.70%	Máximo 50%	Cumple	Máximo 40%	Cumple
Próctor Modificado	ASTM D-1557	MDS:2.110 gr/cm ³ OCH: 12.82%	No especifica	....	No especifica	....
California Bearing Ratio (C.B.R.)	ASTM D 1883	95% MDS. 73.20 100% MDS. 74.90%	Mínimo 40%	Cumple	Min. 80%, vías locales y conectoras. Min. 100% Arteriales y expresas.	No recomendable para Arteriales y Expresas
Equivalente de arena	ASTM D 2419	60.50%	35% minimo	Cumple	45% mínimo	Cumple
Sales Soluble Totales	MTC E 219	Agregado Fino: 0.166% Agregado Grueso: 0.120%	Maximo 1%	Cumple	Maximo 0.5%	Cumple
Caras fracturadas	MTC 210 ASTM D5821	Con una sola cara fracturada: 81.4%	.....	No especifica	80% mínimo	Cumple
		Con dos caras fracturadas 51.4%	.....	No especifica	50% minimo	Cumple
Ensayo de Durabilidad	Perdida de Sulfato de Sodio ASTM C 88	Agregado grueso: 7.083%	.....	No especifica	12% máximo	Cumple
	Perdida de Sulfato de Magnesio ASTM C-88	Agregado grueso: 11.874%	.....	No especifica	18% máximo	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E214	Agregado fino: 37.68%	.....	No especifica	35% mínimo	Cumple

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los resultados obtenidos del E.M.S. y Requerimientos de calidad para base y sub base.

Cuadro N.º 11: E.M.S. Cantera Chaclas. Material para Base y Sub Base Granular

CANTER: CHACLAS Sapallanga						
Estudio de Mecánica de Suelo E.M.S.	Norma ASTM	Resultados de los Ensayos	Requerimiento Sub Base	Observación	Requerimiento Base	Observación
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422	No se encuentra dentro del entorno.	Gradación A	No cumple	Gradación A	Exceso de material fino.
Clasificación SUCS	ASTM D-2487	GM	Grava sedimentaria, arena arcilla.			
Clasificación AASHTO	ASTM D-145	A-2-4(0)	Material granular con partículas finas limosas.			
Limite líquido %	ASTM D-4318	9.64%	Máximo 25%	Cumple	No especifica	....
Limite Plástico %	ASTM D-4318	8.39%	No especifica	....	No especifica	....
Índice de Plasticidad (%)		1.25%	Máximo 4%	Cumple	Máximo 2%	Cumple
Abrasión los Ángeles	ASTM C 131	10.28%	Máximo 50%	Cumple	Máximo 40%	Cumple
Próctor Modificado	ASTM D-1557	MDS: 2.250gr/cm 3 OCH: 9.00%	No especifica	....	No especifica	....
California Bearing Ratio (C.B.R.)	ASTM D 1883	95% MDS. 70.00% 100% MDS. 82.80%	Mínimo 40%	Cumple	Mín. 80%, vías locales y conectoras. Mín. 100% Arteriales y expresas.	No recomendable para Arteriales y Expresas
Equivalente de arena	ASTM D 2419	61.85%	35% mínimo	Cumple	45% mínimo	Cumple
Sales Soluble Totales	MTC E 219	Agregado Fino: 0.210% Agregado Grueso: 0.452%	Máximo 1%	Cumple	Máximo 0.5%	Cumple
Caras fracturadas	MTC 210 ASTM D5821	Con una sola cara fracturada: 83.7%	....	No especifica	80% mínimo	Cumple
		Con dos caras fracturadas 51.0%	....	No especifica	50% mínimo	Cumple
Ensayo de Durabilidad	Perdida de Sulfato de Sodio ASTM C 88	Agregado grueso: 9.448%	.....	No especifica	12% máximo	Cumple
	Perdida de Sulfato de Magnesio ASTM C-88	Agregado grueso: 7.811%	.....	No especifica	18% máximo	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E: 214	Agregado fino: 36.88%	.....	No especifica	35% mínimo	Cumple

Fuente: Elaboración Propia, a partir de los resultados obtenidos del E.M.S. y Requerimientos de calidad para base y sub base.

4.7. Desempeño de cumplimiento del material over de canteras Umuto el Tambo y Chacla Sapallanga empleando modelos estructurarles de pavimento flexible

Se empleó los modelos de diseños y ensayos de los pavimentos flexibles propuestos en el manual PT-62 del ICG en la que se tomó en considerando los siguientes aspectos:

❖ Módulo de la carpeta asfáltica

Una de las limitaciones de este estudio es el uso de módulos de capa de asfalto, los cuales tienen diferentes valores en función de su

temperatura.

En la actualidad, en cuanto a termografía, se está utilizando la tecnología más adecuada para medir los parámetros de temperatura geográfica, en este caso se recomienda analizar estos estudios para determinar el rango de parámetros permisibles permitidos.

En Colombia se está aplicando la "Guía de Métodos de Diseño de Ingeniería de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos" (INVIAS-Colombia, 2002). Se recomienda utilizar el módulo de elasticidad de la estera asfáltica de 2413 MPa cuando la temperatura se encuentre entre 20°C y 27°C. Dado que estas temperaturas máximas promedio se registran en el distrito de Chilca de la provincia de Huancayo, estos valores se encuentran entre 20 ° C y 24 ° C. Como módulo recomendado, se puede utilizar para el propósito de esta investigación.

❖ **Análisis y evaluación de materiales**

El objetivo de esta investigación es analizar cómo afecta la carga del vehículo a la estructura de la carretera, por lo que se toma como referencia el vehículo C2, se modela la carga transmitida a través de ruedas simples y dobles utilizando datos del vehículo. Comparado con el modelo propuesto presentado a los materiales de las canteras Umuto y Chacla Sapallanga, los resultados de las ecuaciones propuestas para estimar y evaluar esfuerzos verticales, deformaciones radiales, deformaciones verticales y deflexiones

son diferentes, como base secundaria para la compra de pavimento base. Las peculiaridades de las características de la capa granular (básica y sub-básica) se obtuvieron de diferentes ensayos de laboratorio realizados en las canteras de Umuto y Chaclas.

4.7.1. Análisis de resultados del refuerzo vertical sobre la subrasante (Ez)

La evaluación del modelo de carretera flexible usando el programa Microsoft Excel determino que, para la carga transmitida por la rueda simple, la capa de asfalto se redujo en 16.6% a 75.1% en el caso de usar este modelo de carretera. El material de la cantera de Umuto se utiliza como base y sub-base (ver Tabla 11), mientras que en el modelo que utiliza el material de la cantera de Sapallanga, la capa de asfalto reduce la fuerza vertical en un 15,5% a 74,3%, (ver Cuadro N.º. 12)

Cuadro N.º 12: Análisis del comportamiento del esfuerzo vertical. Material de la cantera Umuto en Kg/cm2 para una rueda simple.

UMUTO	Descripción	Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7	Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Verticales por capas. Contribución disminución Esf.	% Esf. Dism. Por carpeta asfáltica	16.6%	25.3%	24.4%	32.9%	40.5%	40.0%	46.2%	46.0%	46.0%	60.7%	64.4%	67.6%	70.4%	72.8%	75.1%
	% Esf. Dism. por Base y Sub Base	72.2%	65.8%	69.0%	61.2%	54.0%	55.5%	50.3%	51.0%	51.0%	6.8%	33.3%	30.1%	27.5%	25.4%	23.2%
	Carga disipada por Base y Sub Base Granular (kg/cm2)	4.058	3.696	3.880	3.440	3.034	3.121	2.825	2.867	2.867	2.070	1.874	1.693	1.543	1.426	1.305
	% Esf. Actuante en la subrasante	11.2%	8.9%	6.6%	5.9%	5.6%	4.5%	3.5%	3.0%	3.0%	2.4%	2.3%	2.2%	2.1%	1.8%	1.7%
	(1)Esfuerzo Subrasante (kg/cm2)	0.631	0.502	0.371	0.333	0.312	0.252	0.197	0.166	0.166	0.137	0.128	0.126	0.118	0.101	0.097
Criterio CRR Bélgica	(2)Esf. Adm. Subrasante (kg/cm2)	0.549	0.468	0.417	0.380	0.356	0.324	0.276	0.246	0.246	0.210	0.199	0.191	0.179	0.170	0.163
	Relación (1)/(2): Esf. Vert. Subr./ Esf. Vert. Adm.	114.9%	107.2%	88.9%	87.8%	87.8%	77.9%	71.4%	67.5%	64.1%	5.5%	64.3%	65.8%	65.8%	59.5%	59.6%

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el Programa Microsoft Excel.

Alcance:

El modelo pavimento propuesto para el Tp0 presenta excesivos esfuerzos verticales actuantes sobre la subrasante, alcanzado el 104.6% de lo recomendado por el criterio de la CRR de Bélgica. En los modelos para los Tp0 al Tp7 se aprecia una mayor participación en la disminución de esfuerzos verticales (77.2% a un 51%).

Cuadro N.º 13: Análisis del comportamiento del esfuerzo vertical. Material de la cantera CHACLA en Kg/cm2 para una rueda simple.

CHACLA	Descripción	Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7	Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Verticales por capas. Contribución disminución Esf.	% Esf. Dism. Por carpeta asfáltica	15.5%	24.4%	23.4%	31.8%	39.3%	38.8%	45.1%	44.9%	55.4%	59.7%	63.4%	66.7%	69.6%	72.0%	74.3%
	% Esf. Dism. por Base y Sub Base	73.6%	67.0%	70.2%	62.5%	55.3%	56.8%	51.5%	52.2%	42.1%	37.9%	34.4%	31.1%	28.4%	26.2%	24.0%
	Carga disipada por Base y Sub Base Granular (kg/cm2)	4.138	3.763	3.945	3.510	3.106	3.192	2.894	2.936	2.366	2.132	1.932	1.749	1.595	1.475	1.350
	% Esf. Actuante en la subrasante	10.9%	8.7%	6.4%	5.8%	5.4%	4.4%	3.4%	2.9%	2.5%	2.4%	2.2%	2.2%	2.0%	1.8%	1.7%
	(1) Esfuerzo Subrasante (kg/cm2)	0.614	0.488	0.360	0.324	0.304	0.245	0.192	0.161	0.140	0.134	0.125	0.122	0.115	0.099	0.095
Criterio CRR Bélgica	(2)Esf. Adm. Subrasante (kg/cm2)	0.549	0.468	0.417	0.380	0.356	0.324	0.276	0.246	0.224	0.210	0.199	0.191	0.179	0.170	0.163
	Relación (1)/(2): Esf. Vert. Subr./ Esf. Vert. Adm.	111.8%	104.2%	86.4%	85.3%	85.4%	75.7%	69.4%	65.5%	62.3%	63.7%	62.6%	64.0%	64.1%	57.9%	58.1%

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el programa Microsoft Excel.

Nota: Los modelos pavimento propuestos para el Tp0 presentan o poseen un adecuado comportamiento, frente a la disminución de esfuerzos verticales actuantes sobre la subrasante, criterio de la CRR de Bélgica. En los modelos para los Tp0 al Tp7 se aprecia una mayor participación en la disminución de esfuerzos verticales (73.6% a un 52.2%).

Del análisis realizado de los modelos estructurales de pavimento flexible, con la carga de una rueda doble, la carpeta asfáltica disminuye entre el 13.1% a 68.3% al emplearse el material de la cantera Umuto, (ver Cuadro N°.11) mientras que de emplearse el material de la cantera CHACLAS la participación variaría entre 14.6% a un 67.5%, (Cuadro N°.12).

De emplearse el material de la cantera Umuto en la conformación de las capas que constituyen la base y la sub-base, estas disminuirían entre un 68.4% para un Tp0 decreciendo hasta un 28.5% en el caso del modelo para un Tp14, (ver Cuadro N.º. 11), de emplearse el material de la cantera CHACLA en esta capa, estas disminuirían entre un 69.5% para un Tp0 decreciendo hasta un 29.4% en el Tp14, (ver Cuadro N.º. 12)

La evaluación mostró que en el modelo de vía flexible utilizando materiales de la cantera de Umuto, estos mostraron una fuerza vertical excesiva actuando sobre el lecho de la vía en el modelo Tp0 a Tp4, alcanzando 119,6%, 116%, 100,7% y 101,2%,

respectivamente. Y 102,4 son respectivamente el% del estándar mencionado. Los modelos evaluados con el material de la cantera de Chaclas, se aprecia que para los modelos de pavimentos propuestos para los Tp0 al Tp1 los esfuerzos actuantes sobre la sobre la subrasante alcanzan el 116.6% y 113.1% del criterio CRR de Bélgica recomendado,

El resumen de la evaluación realizada para una rueda doble se detalla en el Cuadro N°.12 para el material para base y sub base de la cantera Umuto y para el material de la cantera de Chaclas, mostradas a continuación.

Cuadro N°.14: Análisis del comportamiento del esfuerzo vertical. Material de la cantera Umuto en Kg/cm² para una rueda doble

MODELOS PARA PAVIMENTO - ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO VERTICAL																
UMUTO	Descripción	Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7	Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Verticales por capas. Contribución disminución Esf.	% Esfuerzo. Disminución Por C. Asfáltica	15.2%	22.7%	21.7%	29.0%	35.7%	35.0%	40.5%	40.2%	49.7%	53.8%	57.4%	60.6%	63.5%	65.9%	68.3%
	% Esfuerzo. Dism. por Base y Sub Base	68.4%	63.7%	67.8%	61.4%	55.2%	57.4%	53.4%	54.6%	45.7%	41.8%	38.5%	35.3%	32.7%	30.8%	28.5%
	Carga disipada por Base y Sub Base Granular (kg/cm ²)	2.834	1.879	2.017	1.738	1.473	1.535	1.347	1.381	1.024	0.886	0.774	0.674	0.595	0.537	0.477
	% Esfuerzo. Actuante en la subrasante	16.4%	13.5%	10.5%	9.6%	9.1%	7.5%	6.1%	5.2%	4.6%	4.4%	4.1%	4.1%	3.8%	3.3%	3.2%
	(1) Esfuerzo Subrasante (kg/cm ²)	0.657	0.544	0.420	0.384	0.364	0.303	0.244	0.209	0.183	0.176	0.166	0.163	0.153	0.133	0.129
Criterio CRR Bélgica	(2) Esfuerzo. Adm. Subrasante (kg/cm ²)	0.549	0.468	0.417	0.380	0.356	0.324	0.276	0.246	0.224	0.210	0.199	0.191	0.179	0.170	0.163
	Relación (1)/(2): Esf. Vert. Subr./ Esf. Vert. Adm.	119.6%	116.0%	100.7%	101.2%	102.4%	93.4%	88.2%	84.8%	81.9%	84.1%	83.2%	85.2%	85.7%	78.4%	78.8%

Fuente: Resultados obtenidos con el programa Microsoft Excel.

En el Cuadro N.º 13; El modelo de pavimento propuesto se expresa como: Tp0 a Tp4 muestran fuerzas verticales excesivas que actúan sobre el lecho de la calzada, alcanzando entre 119.6 por ciento y

102.4% de la norma CRR belga. En el modelo de Tp0 a Tp7, la fuerza vertical de la base y la subbase se reduce en un 68,4% a un 54,6%.

Cuadro N.º 15. Análisis del comportamiento del esfuerzo vertical. Material de la cantera en Kg/cm2 para una rueda doble

MODELOS PARA PAVIMENTO - MATERIAL DE LA CANTERA																
CHACLA	Descripción	Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4	Tp5	Tp6	Tp7	Tp8	Tp9	Tp10	Tp11	Tp12	Tp13	Tp14
Verticales por capas. Contribución disminución Esf.	% Esfuerzo. Disminución. Por C. Asfáltica	14.6%	22.0%	20.9%	28.1%	34.7%	34.1%	39.5%	39.2%	48.8%	52.9%	56.4%	59.8%	67.9%	65.1%	67.5%
	% Esf. Dism. por Base y Sub Base.	69.5%	64.9%	68.9%	62.6%	56.4%	58.6%	54.6%	55.8%	46.8%	42.9%	39.5%	36.3%	28.4%	31.6%	29.4%
	Carga disipada por Base y Sub Base granular (kg/cm2)	2.789	2.604	2.768	2.512	2.265	2.351	2.192	2.239	1.878	1.721	1.588	1.457	1.140	1.271	1.179
	% Esf. Actuante en la subrasante	15.9%	13.2%	10.2%	9.3%	8.8%	7.3%	5.9%	5.0%	4.4%	4.3%	4.0%	4.0%	3.7%	3.2%	3.1%
Criterio CRR Bélgica	(1) Esfuerzo Subrasante (kg/cm2)	0.640	0.530	0.408	0.374	0.355	0.294	0.237	0.203	0.178	0.172	0.161	0.159	0.149	0.130	0.125
	(2) Esf. Adm. Subrasante (kg/cm2)	0.549	0.468	0.417	0.380	0.356	0.324	0.276	0.246	0.224	0.210	0.199	0.191	0.179	0.170	0.163
	Relación (1)/(2): Esf. Vert. Subr./ Adm.	116.6%	113.1%	98.0%	98.5%	99.8%	90.8%	85.8%	82.4%	79.6%	81.7%	80.9%	83.0%	83.5%	76.4%	76.8%

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con Microsoft Excel.

De acuerdo al Cuadro N.º 15. Los modelos para pavimento propuestos para: Tp0 al Tp1 presenta excesivos esfuerzos verticales actuantes sobre la subrasante, alcanzado entre 116.6% a un 113.1% del criterio de CRR de Bélgica. En los modelos para los Tp0 al Tp7 la base y sub base disminuyen entre los 69.5% a 55.8% de esfuerzos verticales.

De la contribución de las capas granulares en la disminución de los esfuerzos verticales, se observa que, para el caso de una rueda simple, el material de la cantera Umuto disminuye entre el 72.2% al 23.2% de los esfuerzos verticales, mientras que el material de la cantera disminuye entre el 73.6% a un 24%.

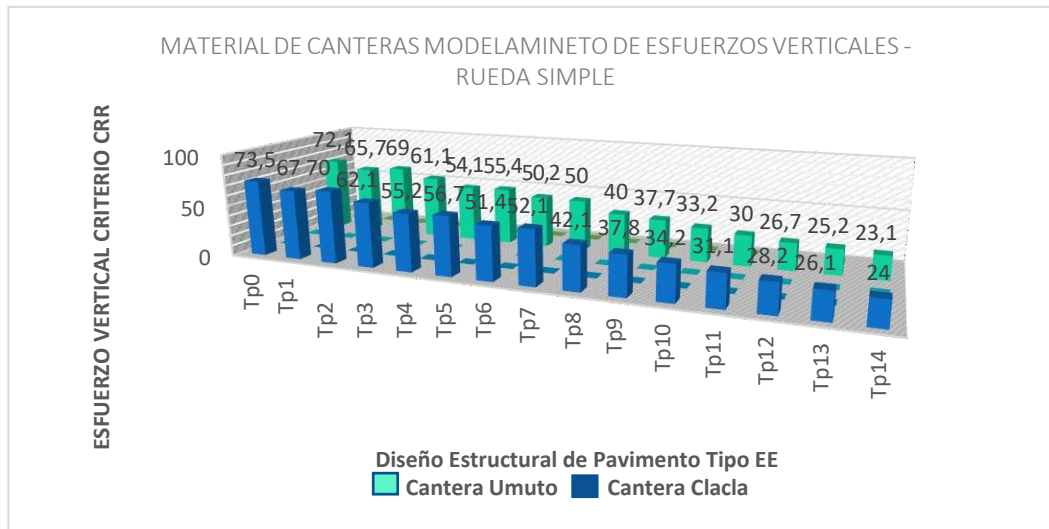


Figura N.º.9: **Material de canteras modelamiento de esfuerzos verticales - Rueda simple**

Fuente: Elaboración propia

La carga que transmite una rueda simple genera excesivos esfuerzos verticales en los modelos de pavimento propuestos para los Tp0 y Tp1.

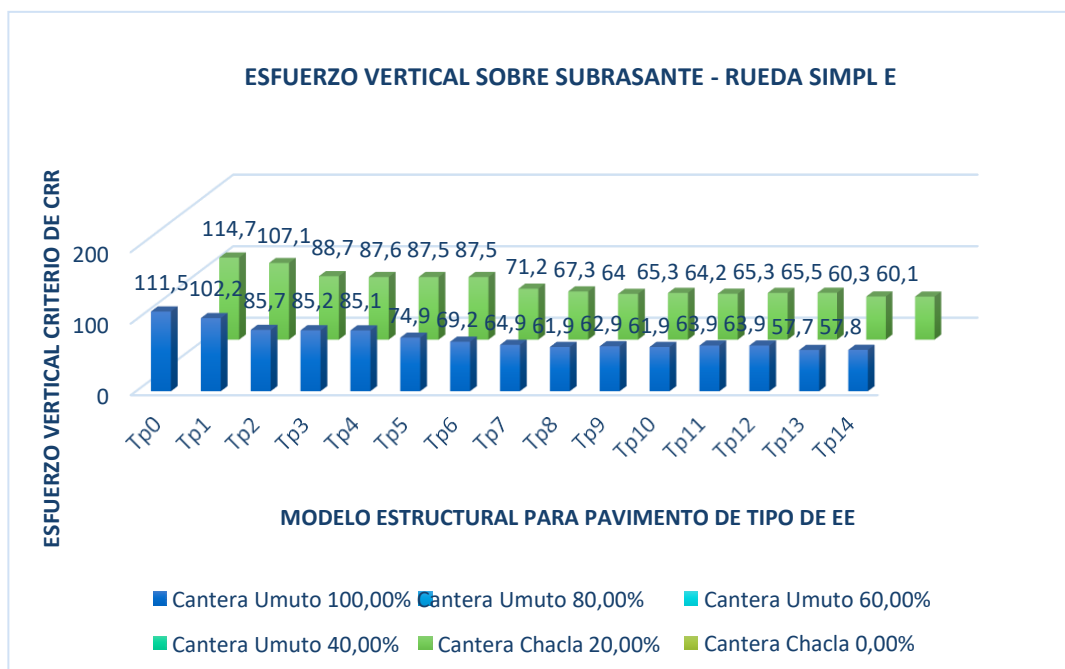


Figura N.º.10: **CRR de Bélgica, esfuerzo vertical, sobre la subrasante. Rueda simple**

Fuente: Elaboración propia

En el caso de una rueda doble, el material de la cantera Umuto disminuye entre el 68.4% a un 28.5% de los esfuerzos verticales, mientras que el material de la cantera disminuye entre el 69.5% al 29.4%, (Figura N.º 9).

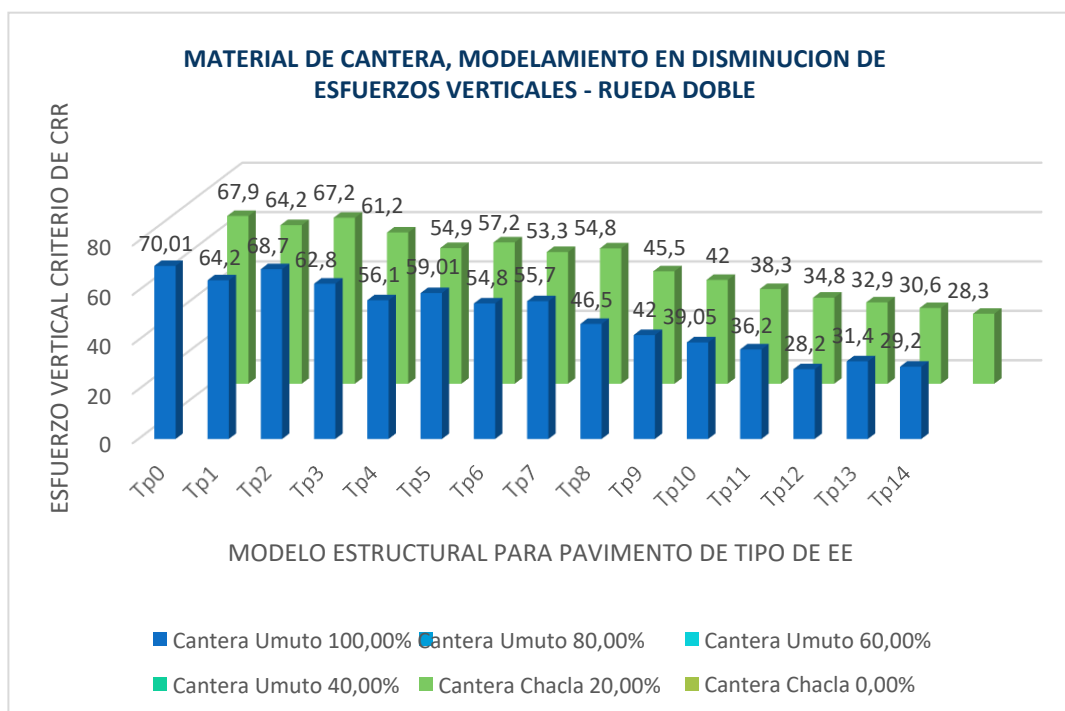


Figura N.º 11: **Contribución en disminución de esfuerzos verticales, Rueda doble**

Fuente: Elaboración propia

De emplearse el material de la cantera Umuto en los modelos de pavimento propuestos para los T0 al Tp4 presentarían excesivos esfuerzos verticales, en el caso del empleo del material de la cantera Chaclas, los modelos Tp0 y Tp1 presentan excesivos esfuerzos verticales, (Figura N.º 10).

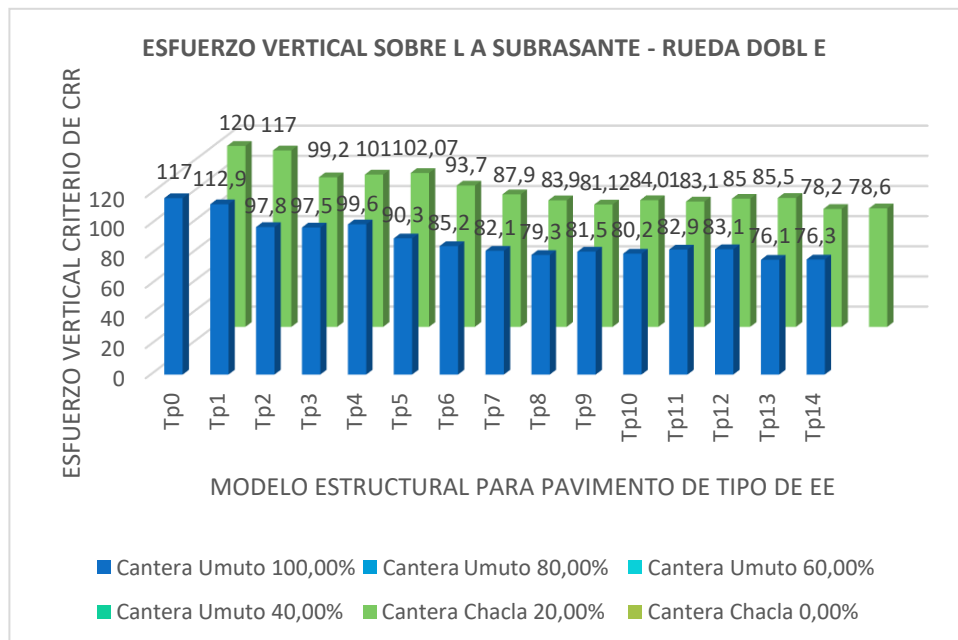


Figura N.º 12: CRR de Bélgica, esfuerzo vertical actual sobre la subrasante. Rueda doble
Fuente: Elaboración propia

4.7.2. Evaluación de la deformación vertical sobre la subrasante (ϵ_z)

Si se utilizan materiales de cantera Umuto en el modelo de pavimento flexible, la deformación vertical en la calzada será diferente; $n-7.37E-04$ a $-1.17 E-04$, y canteras entre $-7.08E-04$ y $-1.13E-04$, para una sola ronda de análisis.

Cuadro N.º 16: Resumen del Modelamiento de deformación vertical sobre la subrasante. Material de las canteras de Umuto y Chaclas

Tipo de tráfico	Deformación Vertical Admisibles sobre subrasante Criterio de juicio Shell Valor (-)	Modelamiento de datos, subrasante, rueda simple				Modelamiento de deformación, subrasante, rueda doble			
		Cantera Umuto		Cantera Chacla		Cantera Umuto		Cantera Chacla	
		Deformación sobre subrasante Valor (-)	% de Deformación alcanzado	Deformación sobre subrasante	% de Deformación alcanzado	Deformación sobre subrasante Valor (-)	% de Deformación alcanzado	Deformación sobre subrasante Valor (-)	% de Deformación alcanzado
Tp0	0.001065071	0.000729	69.2%	0.000708	66.5%	0.0007113	66.9%	0.00069	64.1%
Tp1	0.000895200	0.000589	65.7%	0.000565	63.2%	0.0005983	66.5%	0.00059	64.1%
Tp2	0.000778728	0.00043	56.0%	0.000429	53.5%	0.0004725	59.4%	0.00046	57.5%

Tp3	0.000793989	0.000395	55.9%	0.000387	53.6%	0.0004345	60.7%	0.00043	58.5%
Tp4	0.000654079	0.00036	56.0%	0.000359	53.7%	0.0004129	62.0%	0.00039	59.7%
Tp5	0.000600059	0.00031	50.4%	0.000290	48.4%	0.0003477	57.7%	0.00032	55.6%
Tp6	0.000499459	0.000241	47.2%	0.000225	45.1%	0.0002832	56.0%	0.00026	53.9%
Tp7	0.000439097	0.000199	45.1%	0.000191	43.4%	0.0002439	56.0%	0.00026	55.2%
Tp8	0.000391387	0.000223	55.8%	0.000217	54.2%	0.0002781	70.1%	0.00028	67.0%
Tp9	0.000383037	0.000217	57.7%	0.000206	55.5%	0.0002669	71.4%	0.00027	69.3%
Tp10	0.000362177	0.000155	43.6%	0.000150	42.2%	0.0001950	55.0%	0.00020	53,00%
Tp11	0.00034799	0.000150	44.7%	0.000142	43.3%	0.0001915	56.5%	0.00018	54.5%
Tp12	0.000315020	0.000140	45.0%	0.000139	43.5%	0.00019	57.1%	0.00019	55,20%
Tp13	0.000296999	0.000122	41.0%	0.000115	39.4%	0.0001569	52.7%	0.00016	50.9%
Tp14	0.000283001	0.000116	41.0%	0.000115	39.6%	0.0001517	53.6%	0.00016	51.2%

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos Microsoft Excel

Alcance: El modelamiento de datos de deformación vertical sobre la subrasante, el criterio empleado de máxima deformación vertical es el recomendado por el Criterio Shell.

Del análisis de la rueda doble; se observa que de emplearse el material para base de la cantera Umuto se producirían deformaciones verticales que varían entre un $-7.11E-04$ a un $-1.51E-04$ y para el caso de la cantera entre los $-6.80E-04$ a $-1.50E-04$.

Con la participación del material de la cantera Umuto, las deformaciones verticales que se producen sobre la subrasante varían entre un 69.1% a un 41.2% del criterio recomendado, mientras que el material de la cantera presenta menores deformaciones las cuales varían entre el 66.4% al 39.7%, esto para el caso de una rueda simple, (ver cuadro N ° 16).

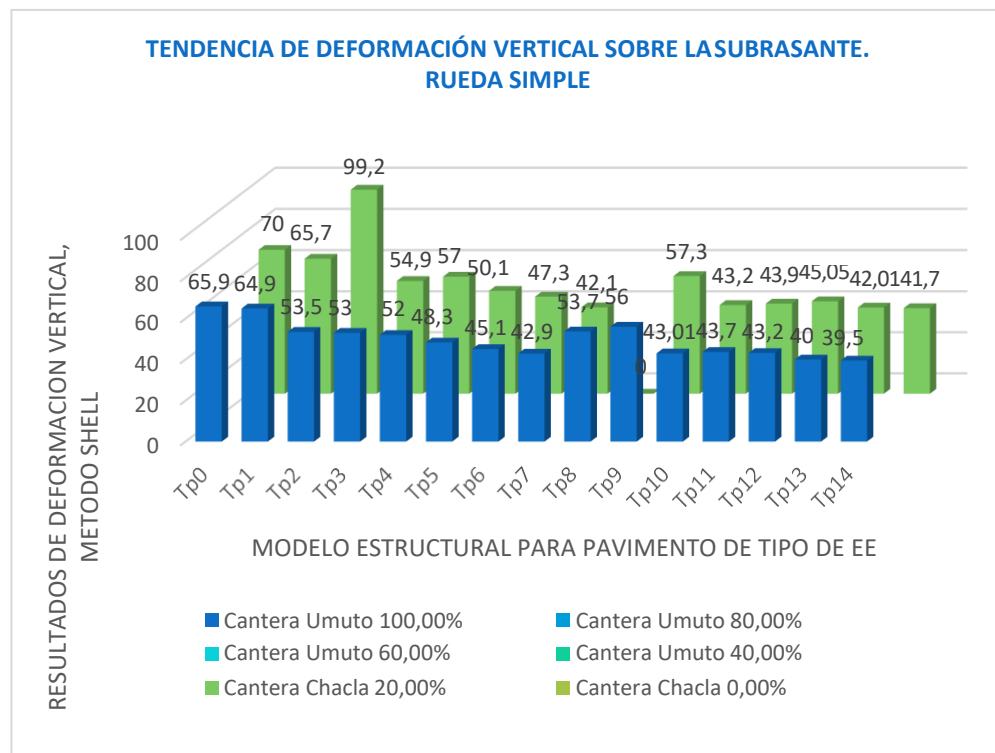


Figura N.º 13: **Deformación vertical sobre la subrasante. Rueda simple**
Fuente: *Elaboración propia con datos modelados en Microsoft Excel*

Las deformaciones verticales que produce la rueda doble con el material de la cantera Umuto varían entre el 71.5% al 56.1%, mientras que el material de la cantera produce menores deformaciones verticales, las cuales varían entre el 69.3% al 53.9%, ver Cuadro N.º 16.

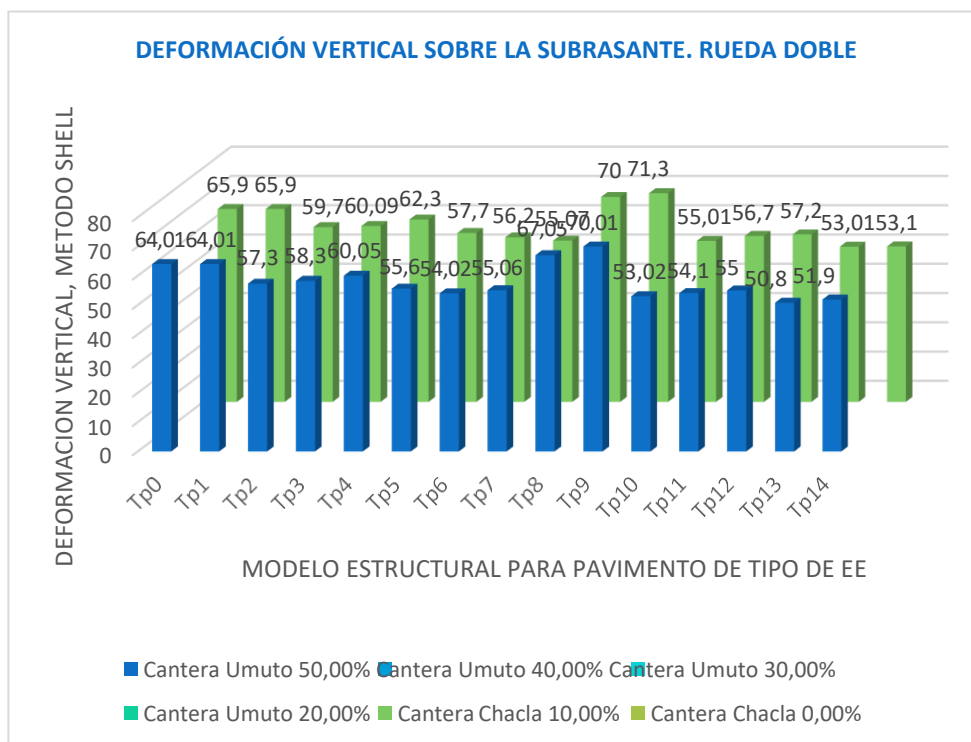


Figura N.º. 14: **Deformación vertical sobre la subrasante. Rueda doble**

Fuente: Elaboración propia con datos modelados en Microsoft Excel

4.7.3. Deformación Radial en la interface carpeta asfáltica base granular.

Si se utiliza material de cantera Umuto, en el modelo de carretera flexible, la deformación radial de la rueda simple varía de $2,74E-04$ a $1,68E-04$, y si se utiliza material de cantera es $2,42E-04$ Cambie entre -04 y $1.85E-04$. A través del análisis de las dos ruedas, se puede encontrar que si se utiliza el material base y el material base secundario de la cantera de Umuto, la deformación radial variará de $2.15E-04$ a $1.76E-04$, mientras que el material de la cantera Cambia entre $1.98E-04$ a $1.70E-04$ (dos ruedas).

Cuadro N.º. 17: Resumen del análisis, deformación radial. Material de las canteras Umuto y Chaclas

Tipo de tráfico	Deformación Vertical Admisibles sobre subrasante Criterio de juicio Shell Valor (-)	Modelamiento de datos, subrasante, rueda simple				Modelamiento de deformación, subrasante, rueda doble			
		Cantera Umuto		Cantera Chacla		Cantera Umuto		Cantera Chacla	
		Deformación sobre subrasante Valor (-)	% de Deformación alcanzado	Deformación sobre subrasante	% de Deformación alcanzado	Deformación sobre subrasante Valor (-)	% de Deformación alcanzado	Deformación sobre subrasante Valor (-)	% de Deformación alcanzado
Tp0	5.68E-04	2.74E-04	48.14%	2.42E-04	42.65%	2.15E-04	37.77%	1.98E-04	34.87%
Tp1	4.95E-04	2.92E-04	59.00%	2.75E-04	55.60%	2.39E-04	48.26%	2.23E-04	45.13%
Tp2	4.47E-04	2.85E-04	63.89%	2.69E-04	60.24%	2.31E-04	51.62%	2.16E-04	48.31%
Tp3	4.12E-04	2.89E-04	70.21%	2.74E-04	66.64%	2.42E-04	58.85%	2.28E-04	55.47%
Tp4	3.89E-04	2.84E-04	73.16%	2.71E-04	69.79%	2.46E-04	63.26%	2.33E-04	59.96%
Tp5	3.58E-04	2.81E-04	78.42%	2.68E-04	74.82%	2.42E-04	67.43%	2.29E-04	63.94%
Tp6	3.12E-04	2.69E-04	86.30%	2.58E-04	82.65%	2.37E-04	75.89%	2.26E-04	72.26%
Tp7	2.82E-04	2.68E-04	95.16%	2.58E-04	91.54%	2.35E-04	83.48%	2.24E-04	79.51%
Tp8	2.60E-04	2.42E-04	93.15%	2.33E-04	89.69%	2.21E-04	85.22%	2.12E-04	81.64%
Tp9	2.45E-04	2.29E-04	93.20%	2.21E-04	89.90%	2.13E-04	86.88%	2.05E-04	83.38%
Tp10	2.35E-04	2.15E-04	91.79%	2.08E-04	88.67%	2.04E-04	86.97%	1.96E-04	83.60%
Tp11	2.26E-04	2.03E-04	89.71%	1.96E-04	86.79%	1.95E-04	86.35%	1.88E-04	83.17%
Tp12	2.14E-04	1.91E-04	89.27%	1.85E-04	86.46%	1.86E-04	87.20%	1.80E-04	84.07%
Tp13	2.04E-04	1.78E-04	87.36%	1.73E-04	84.67%	1.76E-04	86.34%	1.70E-04	83.35%
Tp14	1.97E-04	1.68E-04	85.17%	1.63E-04	82.64%	1.68E-04	85.28%	1.62E-04	82.38%

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos Microsoft Excel

Las deformaciones radiales producidas por una rueda simple varían entre el 48.1% a un 95.2% de lo recomendado por el criterio Shell con material de la cantera Umuto, en el caso del empleo del material de la cantera varía entre un 42.7% a un 91.5%, (ver figura Nro. 17).

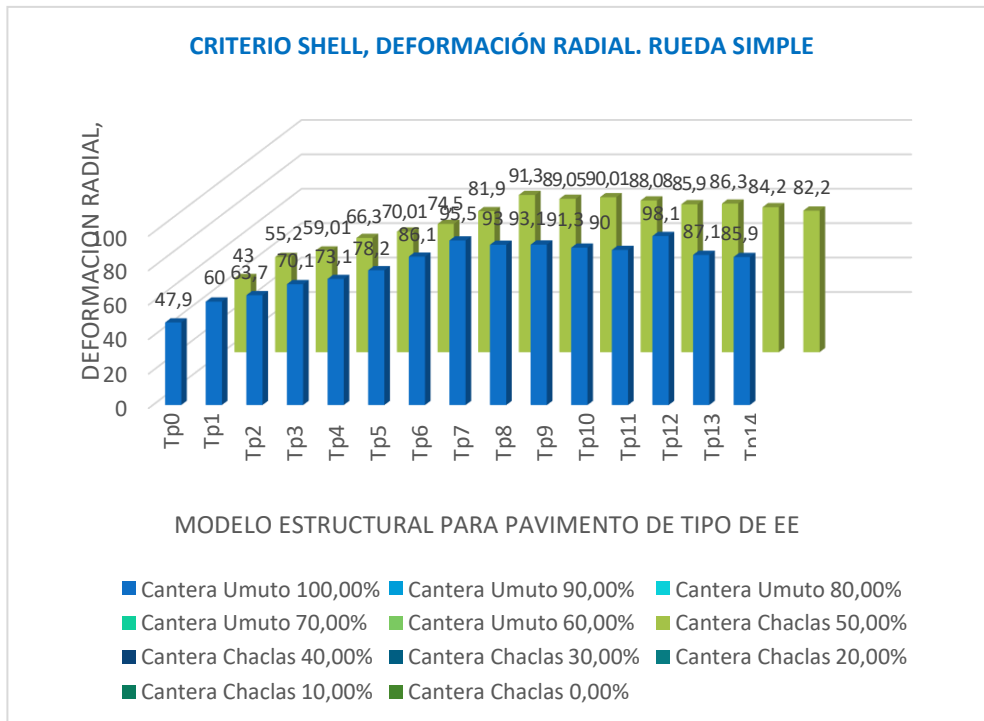


Figura N.º. 15: **Criterio SHELL, deformación radial. Rueda simple**

Fuente: Elaboración propia con datos modelados en Microsoft Excel

En el caso de utilizar materiales de cantera Umuto, la deformación radial de las dos ruedas está entre 37,8% y 87%, si se utiliza material de cantera la deformación radial variará entre 34,9% y 83,6%. La carga de las dos ruedas (ver Figura 17).

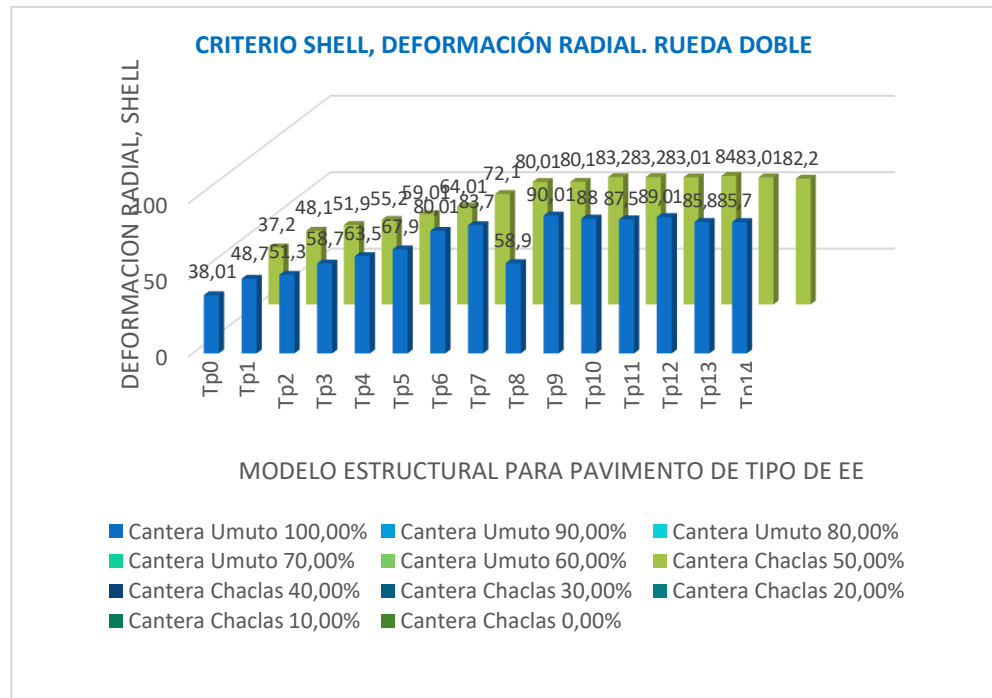


Figura N.º. 16: **Criterio SHELL, deformación radial. Rueda doble**

Fuente: *Elaboración propia con datos modelados en Microsoft Excel*

4.7.4. Análisis de la deflexión estructural

Si se utilizan materiales de cantera Umuto para pavimento flexible, la deflexión recomendada del pavimento flexible Tp0 es de 0,771 mm, la deflexión de la estructura cambiará, si la deflexión del pavimento flexible entre Tp14 y la cantera es 0,350 Mm, la deflexión se reducirá a 0.350 mm. Para Tp0 es de 0,751 mm y para Tp14 es de 0,342 mm, que es en el caso de analizar ruedas simples.

Del análisis de la rueda doble se observa que de emplearse el material para base de la cantera Umuto se producirían deflexiones que varían entre un 0.874 mm para un Tp0 a un 0.436 mm Tp14 y para el caso de

la cantera entre los 0.817 Tp0 mm a 0.426 mm Tp14.

4.8. CASO DEL ESTUDIO DEL AFORO DEL TRÁFICO VEHICULAR

Se han realizado diversos trabajos de campo, el más importante de los cuales es identificar los diferentes tipos de usuarios de la vía, incluidos los que transportan mercancías y pasajeros. La demanda actual requiere un índice diario promedio (IMD). En circunstancias reales, el índice puede representar su valor equivalente anual, es decir, IMDA; de acuerdo con el método AASHTO, puede calcular el eje equivalente acumulado durante el período de diseño. Como eje equivalente (EE), es equivalente a un eje doble simple de 8.2 toneladas con una presión de llanta de 80 lb/pulg en la acera.

Los números existentes en esta sección de IMDA toman en cuenta el promedio diario anual del total de vehículos de dos vías (livianos y pesados).

Según los diferentes tramos de carretera, esta demanda se compone de diferentes tipos de vehículos. Para obtener la demanda de tráfico que circula en cada subsección en estudio, se requiere al menos la siguiente información:

- Identificar las "partes homogéneas" de los requisitos en el camino de la investigación.
- Flujo de tráfico para cada tramo, incluidos los sábados y domingos durante al menos 7 semanas consecutivas de la semana. El recuento se ordena por volumen y por tipo de vehículo.
- Con base en los datos obtenidos, se definirá el número de repeticiones de ejes equivalentes (EE) durante el diseño de la carretera.

4.9. CONTEO DEL TRÁFICO VEHICULAR

El Objetivo es la cuantificar el volumen de aforo vehicular, en la intersección de las Avenidas; **JR. SANTA ROSA, JR. LA MAR, JR. GARCILAZO DE LA VEGA, JR. PUMACAHUA Y PASAJES. TORRES, SAN ANTONIO, ANCALA, DIEGO FERRER, ELIAS AGUIRRE Y GUIDO; BARRIO PISHUPYACUN, DISTRITO DE CHILCA HUANCAYO JUNÍN”.**

El establecimiento de Cálculo del IMDA (Índice Medio Diario Anual). Para el cálculo del IMDA representativo para la estación en estudio en aproximación al Óvalo Grau de la Ciudad de Trujillo, se promediaron los valores representativos del mes de Setiembre del 2018, considerando como factor de corrección mensual el valor de 1.0.

4.10. MARCO NORMATIVO PARA EL PERIODO DE DISEÑO

Se define como el tiempo seleccionado al inicio del diseño, para determinar las características del camino peatonal, y evaluar su comportamiento bajo diferentes alternativas de largo plazo con el fin de cumplir con los requerimientos del servicio durante el período de diseño seleccionado, pero a un precio determinado razonable.

Cuadro N.º. 18: **Periodos de diseño según AASHTO en función del tipo de Carretera**

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado	30 - 50
Interurbana de tránsito elevado	20 - 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 - 25
De baja intensidad de tránsito. Pavimentación con grava	10 - 20

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pevement Structures

El tráfico futuro estará compuesto por el tráfico normal que es el que existe en la actualidad más su proyección y el tráfico inducido o generado.

4.11. TRÁFICO NORMAL DE CONTEOS VEHICULARES

El flujo normal se describe en cada sección de los resultados del recuento de vehículos, que corresponde al número de recuentos de clasificación y clasificaciones de vehículos realizadas en septiembre de 2018.

Cuadro N.º. 19. Tasas promedio de crecimiento anual del tráfico

Tipo de Vehículo	2004/2005	2005/2010	2010-2015	2015 - 2020	2020 - 2028
Vehículos ligeros	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
Transporte Público	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
Transporte de carga	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3

Fuente: MTC.

Utilizando la tasa de crecimiento que se muestra, se pueden obtener las siguientes previsiones de tráfico normal:

Según la muestra de investigación propuesta, se ha incluido en el análisis del caso y se espera su valoración del tráfico normal a; La Av. JR. Santa Rosa, JR. La Mar, JR. Garcilaso De La Vega,

Cuadro N.º. 20: Clasificación vehicular de conteos - lunes

Resultados del conteo de tráfico: Período:	Día/Mes:		17/09	Año:	2018		
Tipo de Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil + Station Wagon	18	22	19	17	12	9	2
Camioneta (Pickup/Panel)	6	8	7	6	7	4	2
C.Rural	4	6	12	9	8	4	1
Micro	8	7	8	5	7	4	1
Bus 2E			1	1		1	
Bus 3E	1	1	1		1		
Camión 2E		1		1		1	1
Camión 3E	1		1		1		1
TOTAL	38	45	49	39	36	23	8

Fuente: Elaboración propia: resultados de los conteos vehiculares

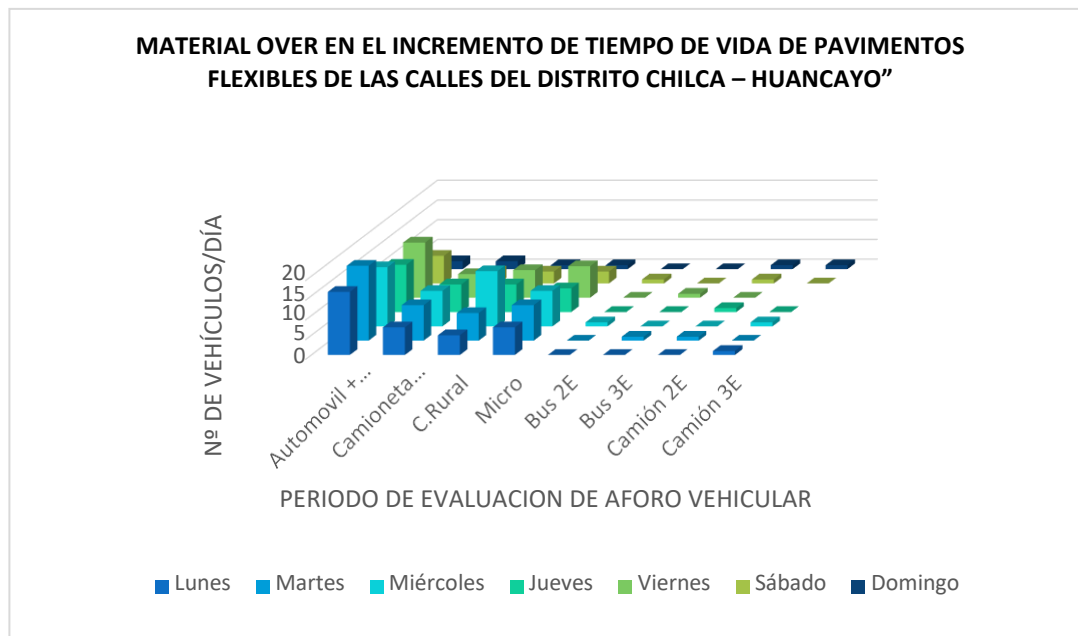


Figura N.º. 17. Clasificación vehicular de Conteos; 17/09/2018

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N.º. 21. Clasificación vehicular de Conteos - martes

Resultados del conteo de tráfico: Periodo:		Dia/Mes:		18/09/	Año:	2018	
Tipo de Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil + Station Wagon	16	19	15	12	14	7	2
Camioneta (Pickup/Panel)	7	9	9	7	6	3	2
C.Rural	5	7	14	7	7	3	1
Micro	7	9	9	6	8	3	1
Bus 2E			1			1	
Bus 3E		1			1		
Camión 2E		1		1		1	1
Camión 3E	1		1				1
TOTAL	36	46	49	33	36	18	8

Fuente: Elaboración propia: resultados de los Conteos Vehiculares

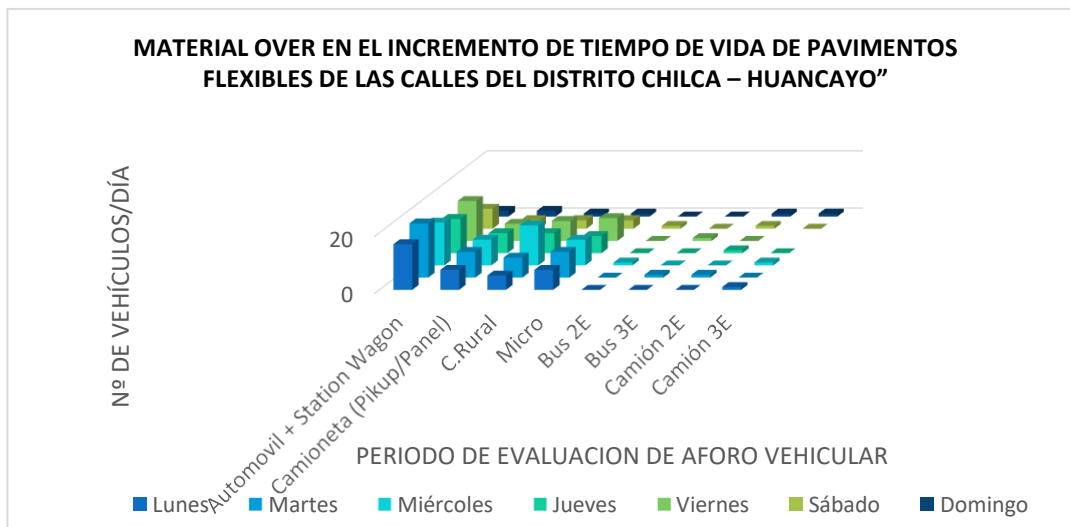


Figura N.º 18. **Clasificación vehicular de Conteos; 18/09/2018**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N.º 22. **Clasificación vehicular de Conteos – miércoles**

Resultados del conteo de tráfico: Periodo	Dia/Mes:		19/09	Año:	2018		
Tipo de Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil + Station Wagon	14	12	21	14	10	9	3
Camioneta (Pikup/Panel)	9	10	11	9	5	4	2
C.Rural	6	8	16	6	6	3	1
Micro	7	9	9	6	8	3	1
Bus 2E					1	1	
Bus 3E	2	1	1	1			
Camión 2E		1	1		1		1
Camión 3E	1			1		1	1
TOTAL	39	41	59	37	31	21	9

Fuente: Elaboración propia: resultados de los Conteos Vehiculares

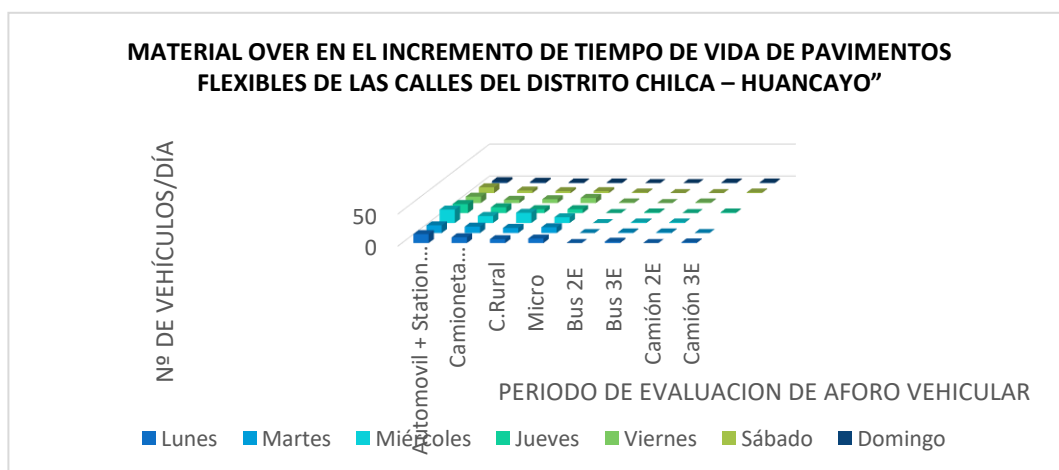


Figura N.º 19. **Clasificación vehicular de Conteos; 19/09/2018**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N.º. 23. Clasificación vehicular de conteos – jueves

Resultados del conteo del tráfico	Periodo	Día/Mes:	2/09	Año:	2018		
Tipo de Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil + Station Wagon	16	15	19	11	8	7	2
Camioneta (Pikup/Panel)	11	12	9	7	7	3	3
C.Rural	7	11	14	8	8	5	3
Micro	9	4	7	5	6	2	1
Bus 2E	1	1			1	1	
Bus 3E	2	1	2	1			
Camión 2E			1		2		1
Camión 3E	1	2	1	1		1	1
TOTAL	47	46	53	33	32	19	11

Fuente: Elaboración propia: resultados de los Conteos Vehiculares

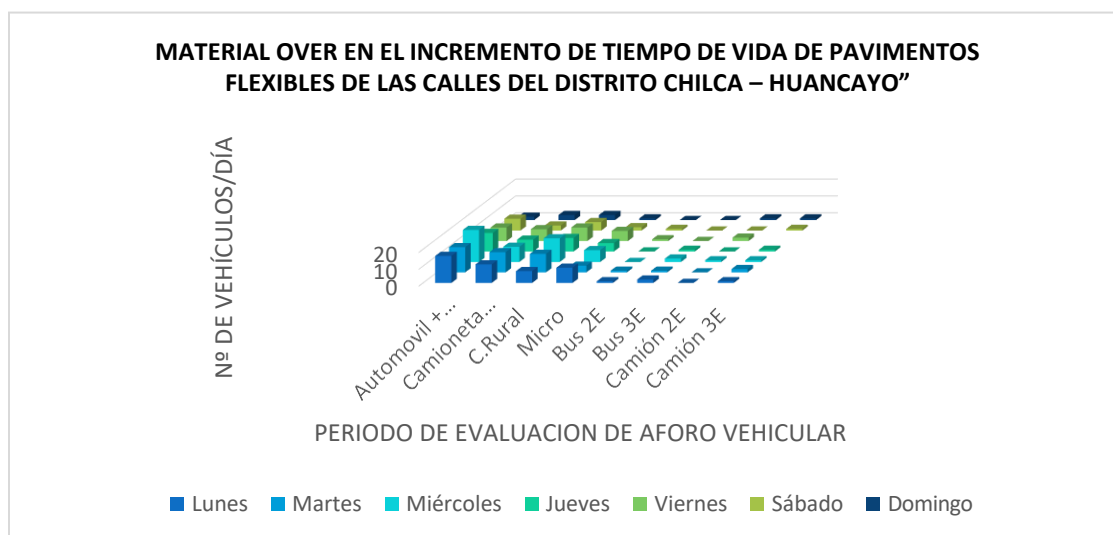


Figura N.º. 20. Clasificación vehicular de conteos; 20/09/2018

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N.º. 24. Clasificación vehicular de conteos – viernes

Tipo de Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil + Station Wagon	13	12	10	7	11	5	3
Camioneta (Pikup/Panel)	9	9	7	8	5	4	2
C.Rural	6	9	11	6	5	4	2
Micro	5	5	9	6	5	1	1
Bus 2E	1	1			1	1	1
Bus 3E	2		1	1			1
Camión 2E	1	1		1	1	1	1
Camión 3E	1	2	1	1		1	
TOTAL	38	39	39	30	28	17	11

Fuente: Elaboración propia: resultados de los Conteos Vehiculares

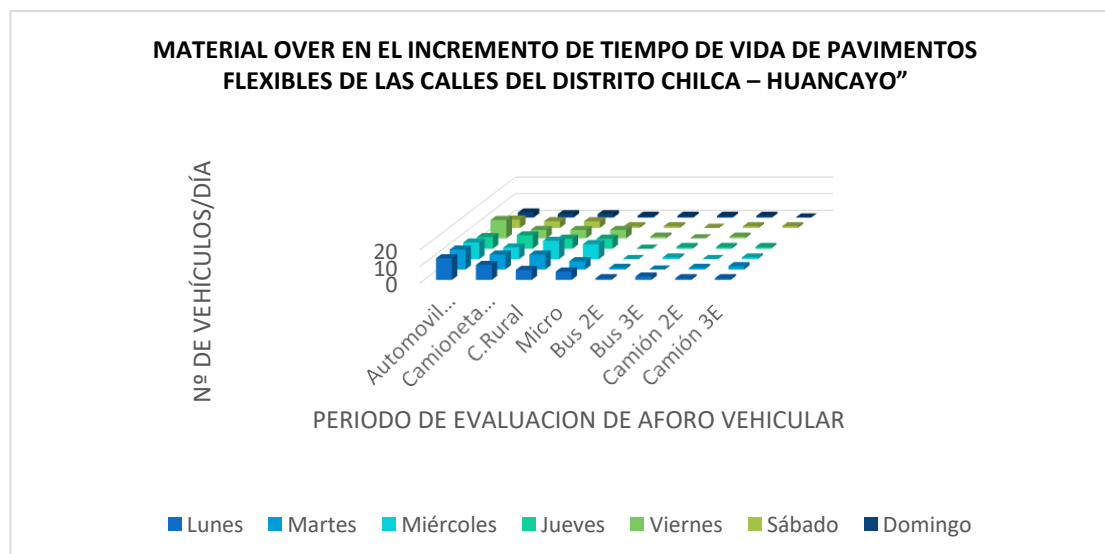


Figura N.º. 21. **Clasificación vehicular de Conteos; 21/09/2018**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N.º. 25. **Clasificación vehicular de Conteos – sábado**

Resultados de conteos de tráfico:		Día/Mes:		22/09	Año:	2018	
Periodo:							
Tipo de Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil + Station Wagon	10	12	11	9	10	6	2
Camioneta (Pikup/Panel)	7	7	9	7	7	3	1
C.Rural	5	8	9	7	6	3	1
Micro	4	5	7	5	4	2	1
Bus 2E	1	1			1	1	1
Bus 3E	1	2	1	1			
Camión 2E	1		1	2	1	2	1
Camión 3E	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL	30	36	39	32	30	18	8

Fuente: Elaboración propia: resultados de los Conteos Vehiculares

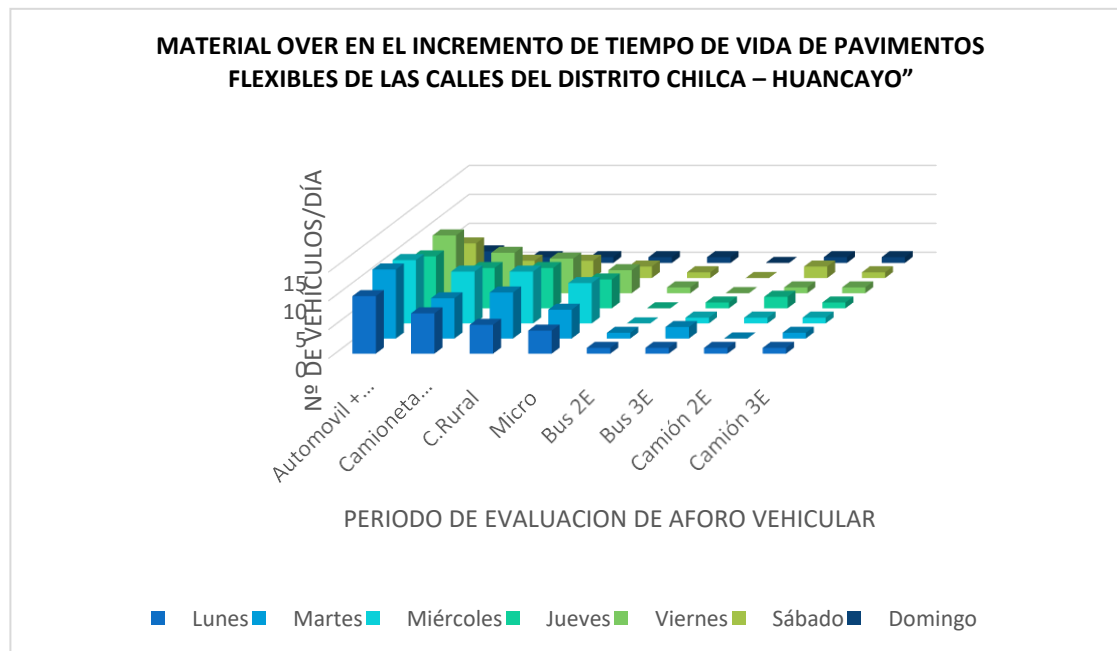


Figura N.º. 22. **Clasificación vehicular de conteos; 21/09/2018**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N.º. 26. **Clasificación vehicular de conteos – domingo**

Resultados de conteos de tráfico:		Día/Mes:		23/09	Año:	2018	
Periodo;							
Tipo de Vehículo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil + Station Wagon	8	9	7	7	6	4	1
Camioneta (Pikup/Panel)	5	5	7	5	5	2	2
C.Rural	4	6	5	5	5	2	1
Micro	3	4	5	4	3	1	1
Bus 2E		1	1	1	3	2	1
Bus 3E	2	1	1	2		1	
Camión 2E	1	1	1	1	1	2	1
Camión 3E		1	1				
TOTAL	23	28	28	25	23	14	7

Fuente: Elaboración propia: resultados de los Conteos Vehiculares

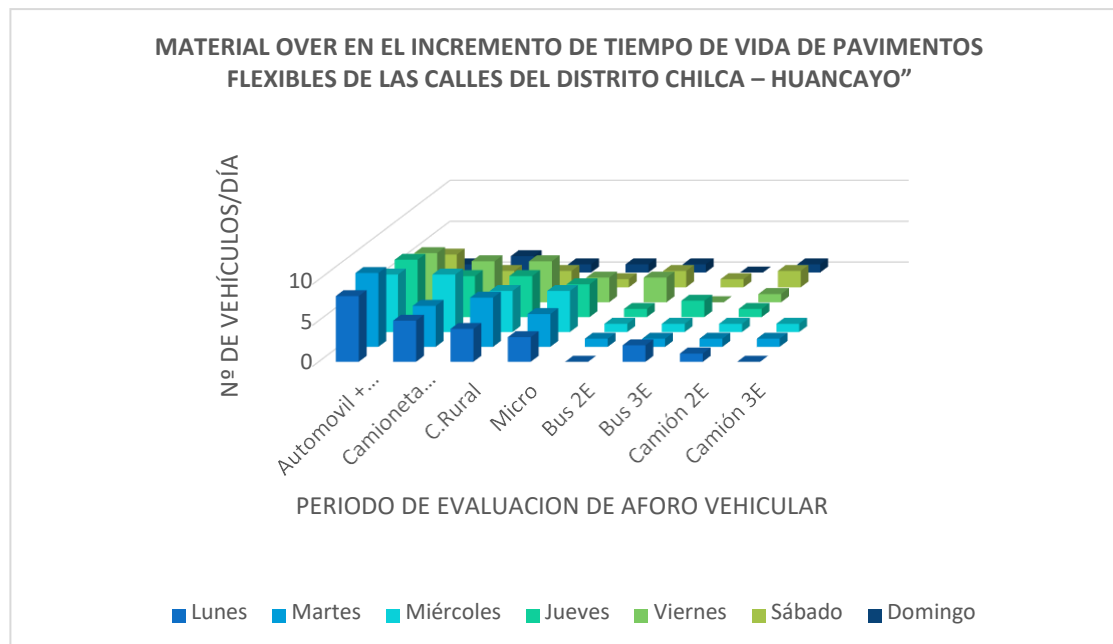


Figura N.º. 23. **Clasificación vehicular de Conteos; 23/09/2018**

Fuente: Elaboración propia

4.12. CONSOLIDADO DE AFORO DE VEHÍCULOS interpretación falta

Cuadro N.º. 27 **Tipos de Vehículos en evaluación de aforo (periodo de una semana)**

Tipo de Vehículo	PERIODO DE EVALUACION						
	Lunes/ 08/18	Martes/ 08/8	Miércoles/ 08/18	Jueves/ 08/18	Viernes/ 08/18	Sábado/ 08/18	Domingo/ 08/18
Automovil + Station Wagon	99	85	83	78	61	60	42
Camioneta (Pickup/Panel)	40	43	50	52	44	41	31
C.Rural	44	44	46	56	43	39	28
Micro	40	43	43	34	32	28	21
Bus 2E	3	2	2	4	5	5	9
Bus 3E	4	2	5	6	5	5	7
Camión 2E	4	4	4	4	6	8	8
Camión 3E	4	3	4	7	6	7	2
TOTAL	238	226	237	241	202	193	148

Fuente: Elaboración propia

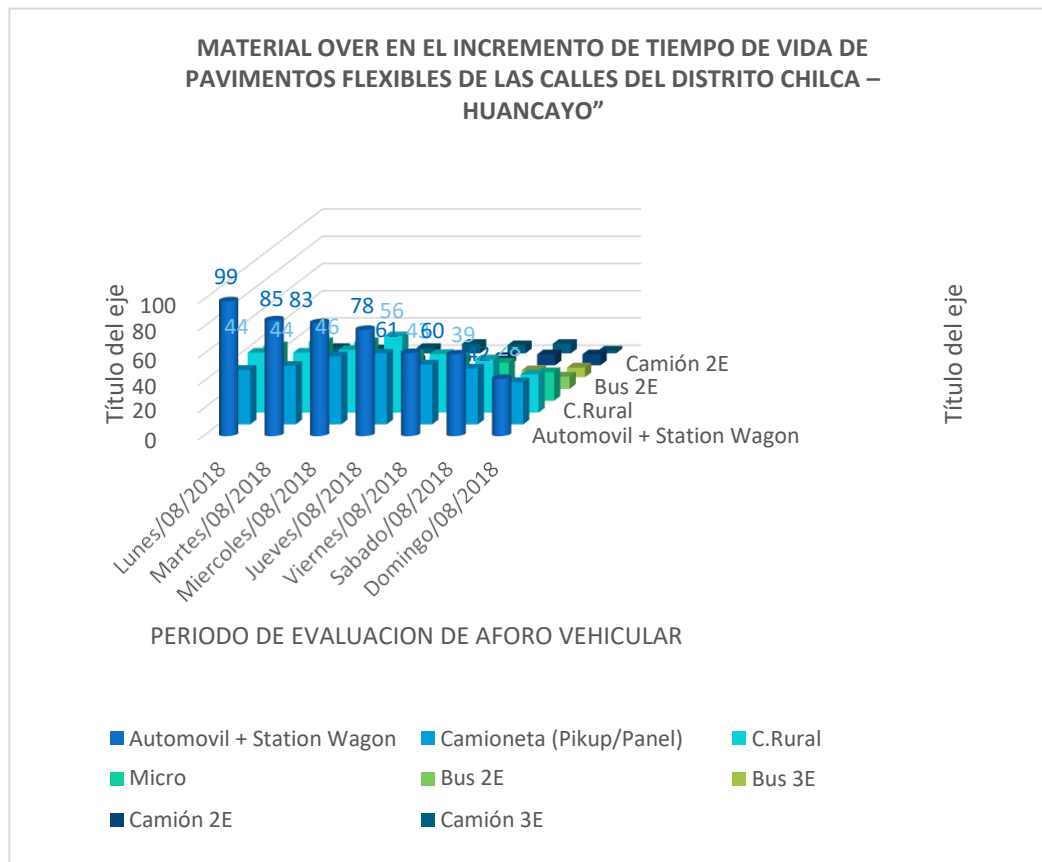


Figura N.º. 24. **Consolidado de evaluación de Clasificación vehicular de C conteos**
 Fuente: *Elaboración propia*

Se revisaron los resultados de todos los ensayos realizados en laboratorio, pruebas llevadas a cabo en el Laboratorio y el análisis económico, para discutir los mismos.

En cuanto a los resultados de los ensayos y pruebas de laboratorio, directamente relacionados al aspecto técnico del proyecto, se tuvo:

- La cantidad de material que se utilizó para el ensayo fue de 60 – 65 kgs.
- Cantera que se tomó para el ensayo en la cantera de CHACLAS
- Cantera que se tomó para el ensayo en la cantera de UMUTO

CAPÍTULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.2. RESULTADOS Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

5.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

De acuerdo con los requisitos de calidad básicos y básicos mencionados en la norma CE.010 para aceras urbanas, los materiales de la cantera de Umuto pueden utilizarse como básicos. Si este material se utiliza como cimentación y sub-cimentación en el modelo de pavimento flexible investigado, los modelos propuestos para los tipos de tráfico Tp0, Tp1, Tp2, Tp3 y Tp4 causarán demasiada tensión vertical en la calzada. Además, se observa que se produce una deflexión excesiva en los modelos propuestos para Tp10, Tp11, Tp12, Tp13 y Tp14. El análisis agrega otros resultados relevantes. Si este material se utiliza en el modelo

de carretera propuesto, es decir,

los tipos de tráfico Tp5, Tp6, Tp7, Tp8 y Tp9, no presentarán esfuerzos verticales excesivos, deformaciones o deflexiones.

Esto se debe al papel de la capa de asfalto en la reducción de la tensión vertical generada por la carga en la rueda. Se desprende de la evaluación que en el modelo vial propuesto para los tipos de tráfico de Tp0 a Tp7, la cimentación y la cimentación secundaria contribuyen a la reducción de la fuerza vertical máxima, que se encuentra entre el 7% y el 51%. En el caso de Tp8 a Tp14, la carga de una sola rueda se redujo entre un 41% y un 23,2%, siendo la mayor reducción la capa de asfalto. En el caso de la carga a dos ruedas, para el modelo propuesto por Tp0 a Tp7, la cimentación y sub-cimentación reducen la fuerza vertical en un 73.6% a 52.2%. Para el modelo propuesto por Tp8 a Tp14, el material reduce lo mismo, en 42.1 % Al 24%, la fuerza vertical de la capa de asfalto es la que más disminuye.

Sin embargo, el uso de este material para formar la capa base en el modelo de pavimento propuesto entra en conflicto con la norma CE.010, pavimento urbano, el valor relativo del soporte CBR en la Tabla No. 06 y la recomendación en la Tabla No. 08 requiere agregado fino granular. Por otro lado, los materiales de la cantera de Chaclas cumplen con los requisitos para su uso como base y solo en vías locales y de conexión (tránsito ligero y medio). Si este material se utiliza como base y base del modelo de pavimento flexible propuesto en el manual PT-62, en el

modelo de carretera flexible sugerido para TP0 y Tp1, la tensión vertical en el lecho de la carretera es demasiado grande. El análisis y evaluación realizado agregó datos relevantes, es decir, la deflexión excesiva de la estructura ocurrida en el modelo de pavimento flexible de Tp10, Tp11, Tp12, Tp13 y Tp14, lo cual se puede explicar por el valor CBR del siguiente material: Esta cantera que representa el 82,8%. Tabla 06: Dado que CBR no es suficiente para este tipo de estructura, el valor relativo del apoyo CBR sugiere que el valor mínimo de líneas troncales y autopistas (tráfico pesado) es 100%. Se puede observar que el modelo de carretera flexible propuesto para Tp2 a Tp9 no generó opiniones en la evaluación.

Debido al análisis y evaluación, los modelos de calzada de Tp0 y Tp1 necesitan ser incrementados en espesor para asegurar un buen desempeño durante todo el tiempo de servicio, y considerando el posible aumento de espesor en el modelo Tp2, el esfuerzo de Tp3 y Tp4 representa 98 del valor recomendado. % Al 99,8%.

De esta manera, los resultados anteriores confirman la siguiente hipótesis general: “Los resultados de la evaluación de los materiales de la cimentación y sub-cimentación de las canteras de Umuto y Chaclas permitirán utilizar el catálogo de estructuras de pavimentos para diseñar mejores pavimentos flexibles en subrasantes inferiores al 10% CBR. Flexible. Manual de ICG PT-62 ”.

5.3. HIPÓTESIS ESPECIFICA

❖ CANTERA UMUTO

Los materiales producidos por la cantera de Umuto cumplen con los requisitos de calidad y se pueden utilizar como materiales de base secundarios. Sin embargo, los resultados obtenidos de la investigación en mecánica de suelos indican que este material no debe utilizarse como material base. Porque no se cumplen los requisitos que se muestran en la Tabla 06. Valor relativo apoyado por CBR. El material alcanza un CBR de 74,9%. Para carreteras locales y de conexión, el mínimo es 80%. Para carreteras arteriales y autovías, el mínimo es 100% CBR. Por lo tanto, los materiales recomendados por los requisitos de calidad estándar solo deben usarse como materiales para la capa base en la estructura del pavimento flexible.

❖ CANTERA CHACLAS

Los materiales producidos por la cantera Chaclas cumplen con los requisitos de calidad utilizados como materiales base, Tabla No. 03 y Tabla No. 04 en el capítulo III.

Además, el material también se puede utilizar como base para carreteras locales y conectores, y ha cumplido con los requisitos que se muestran en la Tabla 06. El valor relativo del soporte CBR, el material alcanza el 82,8% del valor CBR, que es el valor mínimo requerido de CBR. La CBR de las carreteras locales y de conexión es del 80%, sin embargo, no se recomienda utilizar los materiales de esta cantera para

vías arteriales y vías rápidas porque se requiere al menos 100% de CBR. Se suma la observación el exceso de partículas finas en la composición de la muestra, por lo que el material no cumple con la gradación recomendada. De lo mencionado el material de la cantera Umuto debe de ser empleado únicamente como material para sub-base, mientras que el material de la cantera Chaclas puede ser empleado como material de sub-base y base en vías locales y conectoras, luego de una corrección en la combinación de agregados para formar la gradación solicitada.

Según los resultados obtenidos, el supuesto específico 01 es incorrecto: "Los materiales utilizados para la cimentación y sub-cimentación de las canteras de Umuto y Chaclas cumplen con los requisitos de calidad utilizados en el modelo de pavimento flexible inferior de la subrasante CBR. Cumplir con el manual ICG PT- 10% del catálogo de 62 estructuras de pavimento flexible ".

5.4. HIPÓTESIS ESPECIFICA

Para verificar la hipótesis específica 02, analizamos y evaluamos los materiales básicos y sub-básicos de las canteras de Umuto y Chaclas en el modelo de pavimento flexible propuesto en el catálogo del manual ICG PT-62.

Los diversos estados de tensión del modelo de estructura de pavimento flexible se evalúan utilizando el programa Bisar 3.0, que se analizará en detalle a continuación.

❖ MATERIAL PARA BASE Y SUB BASE, CANTERA UMUTO

a. Disminución del esfuerzo verticales en los modelos de pavimento

La carpeta asfáltica se encarga de disminuir entre un 16.6% a un 75.1% de los esfuerzos verticales que produce una rueda simple.

Mientras que la base y sub base conformado con el material de esta cantera disminuye entre un 72.2% para un Tp0 a un 23.2% para un Tp14, de estos esfuerzos. En el análisis efectuado para la rueda doble, la carpeta asfáltica disminuye entre el 15.2% al 68.3% de esfuerzos verticales, mientras que la base y sub base disminuye entre el 68.4% a un 28.5% de dichos esfuerzos.

Cuando se propone un modelo de pavimento vial con un eje equivalente mayor, el porcentaje de participación de la cimentación y la sub-cimentación se reduce significativamente. Esto se debe a que el espesor de la capa de asfalto del modelo de pavimento aumenta gradualmente. Cuando el eje equivalente es mayor, el espesor de la capa es mayor Cuadro N°.27.

Cuadro N°.28 Disminución del esfuerzo vertical, debido a la base y sub base Umuto

Modelo Pav. Flexible para EE.	Rueda simple				Rueda doble			
	Carpeta asfáltica	Base y Sub base	Esf. Actuante Subrasante	Disminución Esf. Vertical por Base y Sub Base	Carpeta asfáltica	Base y Sub Base	Esf. Actuante subrasante	Disminución esf. Vertical por Base y Sub Base
Tp0	16.6%	72.2%	11.2%	72.2% a un 54%	15.2%	68.4%	16.3%	68.4% a un 55.2%
Tp1	25.3%	65.8%	8.9%		22.8%	63.7%	13.5%	
Tp2	24.4%	69.0%	6.6%		21.7%	67.8%	10.4%	
Tp3	32.9%	61.2%	5.9%		29.0%	61.4%	9.6%	
Tp4	40.5%	54.0%	5.6%		35.7%	55.2%	9.1%	
Tp5	40.0%	55.5%	4.5%	55.5% a un 51.0%	35.1%	57.4%	7.5%	57.4% a un 54.6%
Tp6	46.2%	50.3%	3.5%		40.5%	53.4%	6.1%	
Tp7	46.0%	51.0%	3.0%		40.2%	54.6%	5.2%	
Tp8	56.5%	41.0%	2.6%	41% a un 23.2%	49.7%	45.7%	4.6%	45.7% a un 28.5%
Tp9	60.7%	36.8%	2.4%		53.8%	41.8%	4.4%	
Tp10	64.4%	33.3%	2.3%		57.4%	38.5%	4.1%	
Tp11	67.6%	30.1%	2.2%		60.7%	35.3%	4.1%	
Tp12	70.4%	27.5%	2.1%		63.5%	32.7%	3.8%	
Tp13	72.8%	25.4%	1.8%		65.9%	30.8%	3.3%	

Tp14	75.1%	23.2%	1.7%		68.3%	28.5%	3.2%	
------	-------	-------	------	--	-------	-------	------	--

Fuente: Elaboración propia a partir del modelamiento de datos en Microsoft Excel

Los resultados muestran que la capa base y la capa sub-base juegan un papel más importante en la reducción de la tensión vertical. En el modelo de carretera de Tp0 a Tp7, la división de la capa base y la capa sub-base cuando estas tensiones se reducen cambia, y la rueda única es 72.2% a 51.0 %, la doble vuelta es de 68,4% a 55,2%, resultado consistente con la investigación realizada por (Rondón, 2007):

En la estructura flexible de las carreteras de poco tráfico, la capa de asfalto no tiene función estructural (se construye una capa de asfalto delgada o de baja rigidez), y la capa granular puede soportar casi por completo la carga generada por el vehículo. (Rondón, H.2007, p. 43)

Si se utilizan materiales de la cantera Umuto como cimentación y cimentación secundaria de una estructura de pavimento flexible, los modelos Tp0, Tp1, Tp2, Tp3 y Tp4 generarán una tensión vertical excesiva en la sub rasante.

b. Deformación vertical ϵ_Z sobre la subrasante

La deformación vertical causada por la carga de una sola rueda sobre el lecho de la carretera varía del 69,1% al 40% de la norma Shell, para el modelo de carretera propuesto, el rango es de $-7,37E-04$ a $-1,17 E-04$ Tp0 a Tp14.

Para la rueda doble, la deformación vertical varía de 66,7% a 53,4% del criterio Shell, de $-7,11E-04$ para Tp0 y $-1,51E-04$ para Tp14.

c) Deformación radial fase carpeta asfáltica, base granular

Si se utiliza material de la cantera Umuto, será diferente en el modelo de carretera flexible de $2.74E-04$ a $1.68E-04$ debido a la carga de una sola rueda.

Se puede ver en el análisis de doble rueda que, si se utilizan el material base y el material base secundario de la cantera de Umuto, la deformación radial variará de $2.15E-04$ a $1.76E-04$.

d) Deflexión de la estructura

La deflexión provocada por la carga de una sola rueda varía de 0,771 mm para Tp0 a 0,350 mm para Tp 14. La disminución de la deflexión se debe al aumento del espesor de la calzada. La carga de una sola rueda no provocará una deflexión excesiva.

Para el modelo Tp0, el rango de desviación de la carga transmitida por las dos ruedas es de 0,874 mm, que disminuye con el aumento del espesor de la calzada, para el modelo Tp14 la desviación alcanza los 0,436 mm.

Se observa que la torsión de Tp10, Tp11, Tp12, Tp13 y Tp14 en el modelo es demasiado grande: 101,4%, 103,7%, 107,7%,

La deflexión máxima recomendada por Huang es 107,9% y 110,1%, respectivamente.

5.3. FACTORES DE APORTES

CONCLUYENTES a). Material para base y sub base, cantera Chaclas

❖ Disminución del esfuerzo vertical sobre la subrasante

El material en la cantera Chaclas reduce la fuerza vertical generada por una sola muela abrasiva. Para Tp0, su esfuerzo vertical es de 73.6%, para Tp14 su resistencia vertical es de 24% y para Tp0, para Tp14 su resistencia vertical es de 69.5% y Para Tp14, disminuyó un 29,4%. En el modelo de carretera recomendado para Tp0 a Tp7, el desempeño de la capa base y sub-capa base en la reducción de estos efectos es muy importante, ya que varía de 73.6% a 52.2%. El porcentaje de fuerza vertical generada por una sola rueda es%. El porcentaje de fuerza vertical está entre el 69,5% y el 55,8% Las propiedades materiales de cantera Chaclas, son mucho mejores que las de Umutuo Canteras.

Este resultado es consistente con el resultado mencionado en (Rondón, 2007). Las muestras muestran que los materiales de la cantera Chaclas participan en el aporte de la reducción de tensiones verticales generadas por las ruedas simples y dobles.

Cuadro. N.º 29: Disminución de esfuerzo vertical, debido a la base y sub base, Chaclas

Modelo Pav. Flexible para EE.	Rueda simple				Rueda doble			
	Carpeta asfáltica	Base y Sub base	Esf. Actuante Subrasante	Disminución Esf. Vertical por Base y Sub Base	Carpeta asfáltica	Base y Sub Base	Esf. Actuante subrasante	Disminución esf. Vertical por Base y Sub Base
Tp0	15.5%	73.6%	10.9%	73.6% a un 55.3%	14.6%	69.5%	15.9%	69.5% a un 56.4%
Tp1	24.4%	67.0%	8.7%		22.0%	64.9%	13.2%	
Tp2	23.4%	70.2%	6.4%		20.9%	68.9%	10.2%	
Tp3	31.8%	62.5%	5.8%		28.1%	62.6%	9.3%	
Tp4	39.3%	55.3%	5.4%		34.7%	56.4%	8.8%	
Tp5	38.8%	56.8%	4.4%	56.8% a un 52.2%	34.1%	58.6%	7.3%	58.6% a un 55,8%
Tp6	45.1%	51.5%	3.4%		39.5%	54.6%	5.9%	
Tp7	44.9%	52.2%	2.9%		39.2%	55.8%	5.0%	
Tp8	55.4%	42.1%	2.5%		48.8%	46.8%	4.4%	
Tp9	59.7%	37.9%	2.4%	42.1% a un 24%	52.9%	42.9%	4.3%	46.8% a un 29.4%
Tp10	63.4%	34.4%	2.2%		56.4%	39.5%	4.0%	
Tp11	66.7%	31.1%	2.2%		59.8%	36.3%	4.0%	
Tp12	69.6%	28.4%	2.0%		67.9%	28.4%	3.7%	
Tp13	72.0%	26.2%	1.8%		65.1%	31.6%	3.2%	
Tp14	74.3%	24.0%	1.7%		67.5%	29.4%	3.1%	

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con Microsoft Excel

La evaluación muestra que para los tipos de tráfico belgas TRR y Tpl, el modelo propuesto para el modelo de carretera flexible tiene una tensión vertical mayor que el estándar belga CRR. Por tanto, estos modelos deberían mejorarse aumentando el grosor.

b). Deformación vertical ϵ_z sobre la subrasante

Para ruedas simples, la cantidad de deformación varía entre 28.5% y 20.3% del criterio de Shell. Para Tp0, la deformación vertical de $-7.08E-04$ se reduce a $-1.13E-04$ para Tp14.

La deformación vertical producida por las dos ruedas es relativamente pequeña, variando entre el 22,3% y el 12,2% del estándar recomendado, mientras que cambia cuando Tp0 es

-6.80E-04. Para Tp14, se reduce a -1,50E-04.

❖ **Deformación radial fase carpeta asfáltica, base granular**

La deformación radial de la rueda única varía de 42,65% a 82,64% (2,42E-04 a 1,85E-04).

Según la norma recomendada, para ruedas dobles, la deformación radial se produce entre el 34,87% y el 82,38% (1,98E-04 a 1,70E-04),

El modelo vial propuesto para los tipos de tráfico contenidos en Tp0 a Tp14.

❖ **Deflexión de la estructura**

Los resultados del análisis muestran que en el modelo de Tp0 a 0.314 mm del modelo Tp0 generado por una sola carga de rueda, la deflexión en la estructura variará entre 0.751 mm. El valor producido por las dos ruedas disminuyó de 0,817 mm para Tp0 a 0,426 mm para Tp14.

Además, encontramos que en los modelos de pavimento propuestos Tp11, Tp12, Tp13 y Tp14, la deflexión es demasiado grande y la deflexión es respectivamente del 101,3%, 105,3%, 105,4% y 107,6% de la deflexión recomendada por la norma de Huang.

c). Desempeño estructural del material para base y sub base de las canteras Umuto y Chaclas

Se muestran los resultados de la evaluación del desempeño estructural de los materiales base y subbase de las canteras de Umuto y Chaclas en el modelo de pavimento flexible son mostrados en la Tabla Nro. 30

Cuadro N.º 30: Resumen de observaciones realizadas

Modelo Pav. Flexible para EE.	Cantera Umuto			Cantera Chaclas		
	Rueda Simple	Rueda Doble	Observación	Rueda Simple	Rueda Doble	Esf. Actuante subrasante
Tp0	114.90%	119.00%	Excesivo esfuerzo vertical sobre la subrasante	111.00%	110.00%	Excesivo esfuerzo vertical sobre la subrasante
Tp1	107.20%	110.00%	Excesivo esfuerzo vertical sobre la subrasante	104.20%	113.10%	Excesivo esfuerzo vertical sobre la subrasante
Tp2		100.70%	Excesivo esfuerzo vertical sobre la subrasante			
Tp3		101.20%	Excesivo esfuerzo vertical sobre la subrasante			
Tp4		102.40%	Excesivo esfuerzo vertical sobre la subrasante			
Tp5						
Tp6						
Tp7						
Tp8						
Tp9						
Tp10		101.40%	Excesiva deflexión de la estructura			
Tp11		103.70%	Excesiva deflexión de la estructura		101.30%	Excesiva deflexión de la estructura
Tp12		107.70%	Excesiva deflexión de la estructura		105.30%	Excesiva deflexión de la estructura
Tp13		107.00%	Excesiva deflexión de la estructura		105.40%	Excesiva deflexión de la estructura
Tp14		110.10%	Excesiva deflexión de la estructura		107.00%	Excesiva deflexión de la estructura

Excesivo esfuerzo vertical sobre la subrasante, Criterio CRR

Excesiva deflexión de la estructura, Criterio de Huang.



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con Microsoft Excel

Observaciones derivadas del análisis y evaluación de los materiales de la base y sub-bases de las canteras de Umuto y Chaclas. Debido a la excesiva tensión vertical, el material de la cantera Umuto necesita aumentar de espesor en el modelo Tp0 a Tp4, mientras que hay una mayor deflexión en el modelo Tp10 a Tp14. En los modelos de Tp5 a Tp9 no se observó nada.

Si se utiliza el material de la cantera Chaclas, el modelo de pavimento flexible propuesto para Tp0 y Tp1 necesita aumentar el espesor, y la evaluación no mostró que este material no sea recomendado en el modelo de pavimento de Tp11, Tp12 y Tp13. Y Tp14, porque se produce una deflexión excesiva. El modelo Tp2 a Tp10 no mostró observaciones en el análisis realizado.

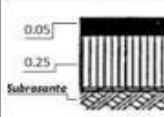
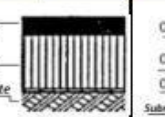
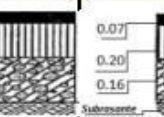
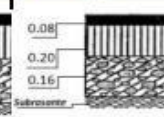

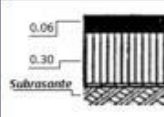
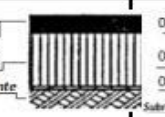
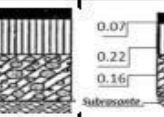
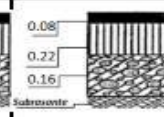

Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que el supuesto específico 02 es incorrecto: “En el modelo de pavimento flexible de la calzada CBR, los materiales de cimentación y sub-cimentación de las canteras de Umuto y Chaclas tienen suficientes propiedades estructurales. Manual ICG 10% del catálogo de estructura de pavimento flexible PT-62.

5.4. Factores de implicación prácticas

De los resultados se puede ver que en el modelo de pavimento flexible Tp0 a Tp7 propuesto, estas dependen en gran medida de la calidad y el espesor de la capa base y la capa sub-base en la estructura del pavimento. En comparación con la capa asfáltica, están más involucradas en la reducción de la superficie de la carretera. Tensión vertical en la estructura.

Se observa que en el caso de la cantera Chaclas es necesario incrementar el espesor del modelo de calzada propuesto para Tp0 y Tp1. Si hay vehículos en la calzada se debe considerar el aumento de espesor en el modelo de Tp2, Tp3 y Tp4, esto es para reducir estos Trabajo duro para acercarlo al nivel recomendado por el estándar CRR; el Cuadro 31 establece la cantidad que debe aumentarse.

Cuadro N.º 31 Propuesta de solución para los modelos de pavimento observados.
Material cantera Chaclas

	Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4
Modelos propuestos catálogo de estructuras de pavimento flexible					
Incremento de espesores Modelos propuestos a partir de los análisis efectuados	Carpeta asfáltica: 1 cm Base: 5 cm. .	Carpeta asfáltica: 1 cm Base: 4 cm. .	Base: 2 cm. .	Base: 2 cm. .	Base: 2 cm. .
					

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con Microsoft Excel

Además, debido a la excesiva deflexión en la estructura, los materiales de la cantera Chaclas no deben utilizarse para los modelos de carreteras recomendados de los tipos de tráfico típicos Tp11, Tp12, Tp13 y T14.

5.5. FACTORES DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS

En un método razonable para evaluar el desempeño, al modelar cuantitativamente el grado de participación de cada componente, se recomienda utilizar este método en la fase de diseño, y se recomienda

implementar AASHTO 93 junto con métodos de diseño empíricos (como este método) para cuantificar la superficie de la carretera. El grado de participación de la capa en el efecto de la carga del vehículo.

En el modelo de pavimento flexible evaluado con la participación de los materiales de la cimentación y sub-cimentación de las canteras de Umuto y Chaclas, el modelo que transmite tensión vertical excesiva al lecho de la calzada (el modelo de pavimento de bajo tránsito) y el modelo de flujo en exceso es mayor que Tp10 y Habrá desviaciones en el flujo de Tp11.

Así, la contribución del estudio se resume en:

- En un modelo de pavimento flexible con calzadas convencionales y tipos de tráfico de Tp0 a Tp7, la mayor contribución a la reducción de la tensión vertical en la estructura está compuesta por las capas que constituyen la cimentación y la sub-cimentación, solo superadas por el ligante asfáltico.
- El modelo de calzada propuesto que se muestra en el manual del ICG PT-62 es para los tipos de tráfico Tp0 y Tp1 en la calzada convencional. Es necesario aumentar el espesor. Esto es para evitar un esfuerzo excesivo y la deformación horizontal de la calzada en dirección vertical. Si hay vehículos pesados en la calzada En el modelo propuesto para Tp2, Tp3 y Tp4 también se debe considerar el aumento de espesor porque este esfuerzo se acerca al 100% de la carga de trabajo recomendada de la

subrasante.

- En el modelo de pavimento propuesto, debido a la excesiva deflexión, se recomienda no utilizar materiales de la cantera Chaclas para tipos de tránsito superiores a Tp11.
- La norma CE.010 recomienda el uso de materiales 100% CBR en vías rápidas y arteriales, por lo que los materiales de estas canteras no deben utilizarse en este tipo de vías.

El comportamiento del estado de tensión del modelo de pavimento se muestra bajo la intervención material de la cantera de evaluación. De esta manera, estos materiales se pueden utilizar para diseñar mejores kits estructurales al considerar estos resultados en la etapa de diseño de pavimentos flexibles.

5.6. LIMITACIONES

A. Características de la muestra

Una muestra representativa del material de la cantera en estudio es el producto del proceso de mezclado de áridos. Este proceso se realiza para obtener el grado A. Esto es lo recomendado por la norma. Si las propiedades mecánicas del material de la cantera pueden cambiar, modificar la composición mezcla Porcentaje.

B. Valor del módulo de la carpeta asfáltica

Para evaluar el desempeño del modelo de pavimento bajo la acción del

material de la cantera, se necesita el módulo de capa de asfalto, no hay investigaciones para determinar un valor específico en este país. Esta limitación se resuelve utilizando el módulo aglutinante asfáltico propuesto por Columbia INVIAS con un rango de temperatura de 20°C a 27°C.

C. Valores de los módulos Resiliente

Para obtener los módulos elásticos de la calzada, cimentación y sub-cimentación, es necesario probar los materiales de estas canteras analizadas utilizando equipos cíclicos de tres ejes, pero lamentablemente en el país hay muy pocos equipos para este análisis. El valor de la prueba de costo de implementación es muy alto, el uso de las ecuaciones relacionadas con CBR y el módulo elástico propuesto en la guía AASHTO 2002 resuelve esta limitación.

5.5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Debido al rápido desarrollo de la tecnología, el análisis de desempeño de la estructura del pavimento también está en constante desarrollo. El nuevo método de evaluación de los materiales que constituyen la capa del pavimento proporciona valores de precisión más altos, lo que reduce en gran medida los errores en la etapa de diseño. En los próximos años, las nuevas tendencias de diseño se harán populares debido a su mayor precisión y confiabilidad. Los métodos de diseño unificarán la filosofía de diseño que se ha dividido durante décadas. Los llamamos métodos de diseño empírico y métodos racionales. , O también llamado mecánico.

Según lo propuesto en las "Directrices de diseño de experiencia de maquinaria de carretera" propuestas por el Comité Ejecutivo de AASHTO en 2007/2008. Este también es un intento de predecir el comportamiento de la superficie de la carretera para evitar fallas. De esta forma, con la ayuda de diversas investigaciones, la gente conocerá con mayor precisión el comportamiento de la estructura del pavimento, y quizás algún día, la afirmación de Alfonso Rico sea rechazada:

“Se dice que diseñar un departamento es un arte. Un arte que no podemos analizar con precisión, utilizando materiales que no entendemos completamente para soportar nuestras cargas impredecibles, por lo que nadie dudará de nuestro desconocimiento.

En otras palabras, “En el tipo de estructura compleja que llamamos aceras, usamos diferentes materiales, diferentes usos, y muchos tipos diferentes de productos en terrenos muy diferentes, y siempre lo hacemos de manera minuciosa y minuciosa. “Así que, en la decimocuarta reunión, Nabor Carrillo escribió sobre el maestro de arte de Alfonso.

CONCLUSIONES

- a) Los resultados de la evaluación muestran que el material de la cantera Chaclas tiene mejor desempeño en la estructura de acera, cumple con los requisitos de la norma CE.010, se puede usar como base, únicamente se usa como base para caminos locales y el caudal es menor a Tp11 (12 '500.000 EE) conector. El análisis muestra que en los modelos de pavimento recomendados para TP0 y Tp1, se debe aumentar el espesor. De acuerdo con los requisitos de calidad, la cimentación y subcimentación del material se evalúan según la norma CE.010.
- b) El material de la cantera de Umuto cumple con el requisito de ser utilizado únicamente como sustrato. Alcanza el 74,90% de CBR, con un valor mínimo del 80% como base. Los materiales producidos por la cantera de Chaclas cumplen con los requisitos y también se pueden utilizar como base para la planta baja y los caminos y conectores locales. Este material alcanza el 82,80% del valor CBR.
- c) La evaluación del desempeño estructural del modelo de pavimento flexible de lecho de carretera CBR es menor al 10%. a) Si se utilizan los materiales de la cantera de Umuto, en el modelo de pavimento, los tipos de tráfico Tp0 a Tp4 provocarán una tensión vertical excesiva en la calzada estándar recomendada por la CRR belga, y se ha propuesto en el modelo de pavimento para este tipo. Gran deflexión Según el criterio propuesto por Huang, el flujo, la deformación vertical y radial de Tp10 a Tp14 son menores que los sugeridos por el criterio Shell.
- d) Para los modelos propuestos por Tp0 y Tp1, si se utilizan materiales de la cantera de Saballanga, se generarán tensiones verticales excesivas de la norma recomendada por la CRR belga en la calzada. En el modelo de calzada propuesto

para Tp11 a Tp14, la deflexión generada supera la deflexión recomendada por el criterio de Huang, y la deflexión vertical y radial son menores que la deflexión sugerida por el criterio de Shell.

-El diseño de la estructura de pavimento flexible de este proyecto sigue los parámetros de comportamiento del sitio, tomando las características del tráfico, las propiedades mecánicas de los materiales y cimentaciones, y las condiciones climáticas como variables de entrada, como variables de entrada, condiciones de drenaje y niveles de mantenibilidad y confiabilidad.

-En el método AASTHO-93, el cálculo del espesor de la estructura del pavimento está relacionado con variables, considerando principalmente el factor equivalente de 80 Kn o 18 Kips o eje tipo ESAL y el módulo de elasticidad de la subrasante MR.

-Repetir el proceso de obtención del número de estructura SN, a partir del cual se puede obtener el espesor de cada capa que forma el paquete de estructura de acera. Este proceso tiende a obtener un valor de número de estructura más alto en la capa superior y un espesor reducido en la capa subbase, lo que significa un mayor costo en la construcción del paquete de estructura.

-Finalmente señalamos que en el diseño de pavimento flexible, se realizaron de acuerdo con las recomendaciones del método AASTHO -93.

RECOMENDACIONES

1. Para utilizar los materiales de la cantera Chaclas, se debe ajustar la ley del material para hacerlo en el ambiente de nivel A, reduciendo así el resultado del 18% de la malla 200 a través del material obtenido en la investigación de mecánica de suelos.
2. Se debe utilizar el programa de software Bisar 3.0 para evaluar y analizar el modelo de pavimento diseñado utilizando métodos razonables para considerar cualquier posible aumento en el espesor del pavimento para optimizar el diseño.
3. Respetar el espesor y compactación de las capas que constituyen la capa base y la capa sub-base para asegurar que estas capas de la estructura del pavimento tengan un desempeño suficiente.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Chang, Carlos. (2012). *“Diseño de Pavimentos: Un Enfoque Integral”*. En Pavimentos Un Enfoque Integral (9-10). Lima - Perú: Fondo Editorial ICG.
- Gutierrez, J. (2007). *Modelación geotécnica de pavimentos flexibles con fines de análisis y diseño en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Higuera, C. (2007). *Comportamiento de estados tensionales de una estructura de pavimento*. Escuela de Transporte y Vías, UPTC, Colombia (versión consultada sin numeración en las páginas)
- Higuera, C. H. (2010). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*. Tunja, Bocaya - Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Higuera, F. (2007). *Definición moderna de los parámetros para el diseño de pavimentos (Tesis de Grado)*. Escuela Politécnica del Ejército. Sangolqui, Ecuador
- Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Pearson Prentice Hall. USA.
- Rivas, M (1998). *Estudio de los materiales granulares utilizados en capas de base y sub base en carreteras* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Rodríguez, E, (2009). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero distrito de Castilla*. Universidad de Piura. Piura, Perú flexibles: Tendencias, alcances y limitaciones. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 17-2, (p. 41-65).

ANEXOS

Anexo 01

Matriz de Consistencia

TÍTULO: Material Over en el incremento de tiempo de vida de pavimentos flexibles de las calles del distrito Chilca – Huancayo”						
PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEORICO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA PRINCIPAL ¿Qué relación existe entre la selección apropiada del material over y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL ¿Determinar la relación que existe entre la selección apropiada del material over y el incremento del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?</p>	<p>ANTECEDENTES Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (2014): “Chequeo de estructuras de pavimento flexible a través del software (MEPDG)”.</p> <p>Carpeta asfáltica reciclada y base granular para la conformación de una sub base granular optima de la Av. Próceres del Distrito de Chilca, Provincia de Huancayo 2019.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL Existe relación directa y significativa entre la selección apropiada del material over y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <p>Diseño del Material OVER</p>	<p>- Material Over</p> <p>- Estudios de suelos</p> <p>- Diseño del (CBR)</p> <p>- Parámetros según PCI</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada Hernández Sampieri (2010).</p> <p>Nivel de Investigación: De nivel aplica.</p> <p>Método Diseño Pre- experimental. <i>GE: 01 X 02.</i></p> <p>Donde: (X) Parámetros G.E: Grupo experimental. O1: Observación inicial. O2: Observación final. X: Manipulación de la variable independiente.</p> <p>Población y Muestra: Longitud de 6 Km. de estudio de pavimentos flexibles, del Distrito de Chilca Huancayo.</p> <p>Técnica de procesamientos de datos: - Formatos de tabulación para el control de tráfico. - Fichas técnicas para el diseño de suelos. - Evaluación de pre y post de fallas de superficies in-situ de pavimentos - Diseñar del material over estructurado del pavimento a prueba de fallas.</p> <p>Conteo de circulación vehicular: Toma muestras de suelo y evaluación de fallas de pavimentos flexibles.</p> <p>Instrumentos: - Molde de Proctor - Equipo de C.B.R. - PCI (Índice de Condición del Pavimento). - GPS. - Flexómetro. - Fichas técnicas.</p> <p>Procesamiento de datos. - Fichas para testeo de tráfico. - Carta de matriz para el análisis de suelos. - Evaluación in-situ de las fallas superficiales del pavimento.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS ¿Qué relación existe entre el diseño del material OVER y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS Establecer la relación que existe entre el diseño del material OVER y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.</p>		<p>HIPOTESIS ESPECIFICOS Existe una relación directa y significativa entre el diseño del material OVER en el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo</p>			
<p>¿Qué relación existe entre los parámetros del diseño del (CBR) Californian Bearing Ratio, y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?</p>	<p>Determinar la relación que existe entre los parámetros del diseño del (CBR) Californian Bearing Ratio, y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo</p>		<p>Existe una relación directa y significativa entre el diseño de los parámetros del (CBR) Californian Bearing Ratio, y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.</p>	<p>Dependiente Incremento de tiempo de vida de pavimentos flexibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia a las cargas de alto tránsito. Resistencia a los agentes de intemperismo. Adaptación a las velocidades previstas Promedio de longitudes de onda. 	
<p>¿Qué relación existe entre los parámetros según el PCI (Índice de Condición del Pavimento) y el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?</p>	<p>¿Determinar la relación que existe entre los parámetros según el PCI (Índice de Condición del Pavimento) y el incremento del ciclo de vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo?</p>		<p>Existe una relación directa y significativa, entre los parámetros según la metodología PCI (Índice de Condición del Pavimento) el cual influye significativamente en el incremento del ciclo del ciclo vida de pavimentos flexibles de las calles del Distrito Chilca Huancayo.</p>			

Anexo 02

a) GRANULOMETRIA DEL MATERIAL – OVER

Es más utilizado en nuestro medio con el fin de utilizar tamices estandarizados y numerados dispuestos en orden creciente para obtener la distribución de tamaño de las partículas presentes en la muestra de suelo, por lo que también se puede clasificar mediante el sistema AASHTO o SUCS. Consulte el método estándar NTP 339.128 (ASTM D422).

Equipo necesario:

- Juego de tamices normalizados
- 2. Dos balanzas, con capacidades superiores 20 kg y 2000gr y precisiones de 1gr y gr respectivamente.
- 3. Horno de secado con temperatura regulable en $110^{\circ}\pm 5^{\circ}$ C.
- 4. Un vibrador mecánico.
- 5 Herramientas y accesorios: bandeja metálica, poruña, recipiente plástico y cepillo.



Figura N.º. 26. Sistema AASHTO
Fuente: *Elaboración propia*

Procedimiento:

- ✓ Homogenizamos de manera cuidadosa nuestra muestra natural, tratando de evitar romper sus partículas individuales.
- ✓ Reducimos por cuarteo una cantidad de muestra levemente mayor a la recomendada según el tamaño de las partículas del árido, indicado en la tabla 3.3. Procedemos a secar el material en un horno a una temperatura inferior a 60° C.
- ✓ La muestra se separa mediante un tamiz de 2 pulgadas. Pesamos y lavamos la parte que queda en el tamiz para eliminar todos los finos menores de 0,075 mm. Para ello, empapamos la tierra en un recipiente con agua hasta que se liberen las partículas más finas, y luego lavamos la tierra, usando un filtro de malla 200 como filtro, hasta que el agua salga limpia. Colocar el material lavado en el horno durante 24 horas, una vez finalizado el tiempo de secado, pesarlo y lavar el material fino.
- ✓ A continuación, colocamos los materiales en la pantalla superior de un conjunto de pantallas, y estos materiales se ordenan en orden descendente hasta que la pantalla sea de 2 pulgadas. A continuación, hacemos vibrar el conjunto durante 5 minutos, luego retiramos el material del vibrador y registramos el peso del material retenido en cada tamiz. Cabe mencionar que el proceso es similar para muestras que pasan un tamiz de 2 pulgadas.
- ✓ Realizado el análisis granulométrico se procede a la clasificación del suelo utilizando la NTP 339.134 (ASTM D2487).

b) CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DEL SUELO:

En Estados Unidos y otros países se usa el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System o USCS). En el Reino Unido, se utiliza la norma británica BS5390 y la clasificación de suelo de AASHTO también es bien conocida. En España, la clasificación PG-3 se utiliza para la ingeniería de carreteras.

c) CLASIFICACIÓN DE ARENAS Y GRAVAS

-En SUCS, la grava (con el símbolo G) y la arena (con el símbolo S) se clasifican según el tamaño y distribución de los granos.

-Para SUCS, la grava se puede clasificar en GW (grava de buena graduación), GP (grava 00000de mala grava), GM (grava con mucho limo) o GC (grava con mucha arcilla).

-De manera similar, los granos de arena se pueden clasificar en SW, SP, SM o SC. Pequeñas pero muchas (entre 5% y 12%) de arena fina y grava pueden clasificarse como dobles, como SW-SC.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.		B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Figura N.º. 28. **Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)** Fuente: SUCS.

d) RESULTADO OBTENIDO EN LABORATORIO ANÁLISIS DE MATERIAL DE CANTERAS

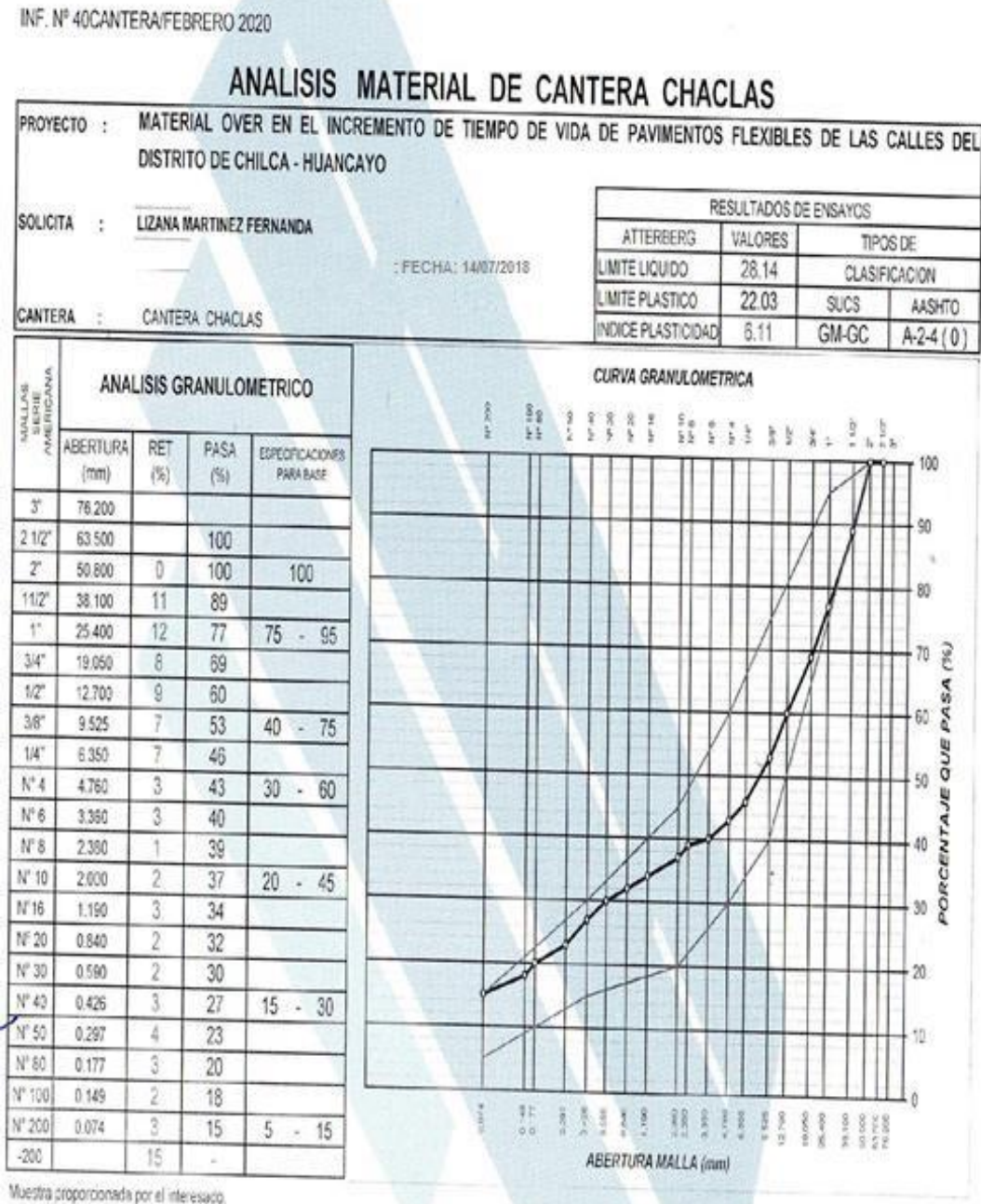


Figura N.º 29. Análisis de material de cantera. Resultados de ensayos
 Fuente: Laboratorio Geotécnico – Huancayo Junín

e) LÍMITES DE ATTERBERG:

El límite de Atberg o límite de consistencia se basa en el concepto de que los suelos finos que existen en la naturaleza pueden estar en diferentes estados según su contenido de agua. Por tanto, el suelo se puede encontrar en estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. Por ejemplo, al agregarle agua, la arcilla cambia gradualmente de sólida a plástica y finalmente a líquida.

Por lo tanto, básicamente queremos conocer el rango de humedad, el suelo presenta plasticidad, es decir, el suelo se deforma sin agrietarse (plasticidad), es decir, el suelo presenta un cierto límite sin romperse.

A principios de este siglo, Atterberg diseñó un método para medir estos límites de humedad mediante dos pruebas que definen los límites del estado plástico.

El límite de Atberg es una característica exponencial del suelo, y su plasticidad se puede definir y utilizar para la identificación y clasificación del suelo.

- ✓ **Límite líquido (L.L.):** El contenido de humedad corresponde al límite convencional entre el estado semilíquido y el estado plástico. Cuando un recipiente específico es golpeado por múltiples números, el suelo fluirá lo suficiente para cerrar la ranura de un cierto ancho formado en la muestra de suelo, tiempo definido.

- ✓ **Límite plástico (L.P.):** Es el contenido de humedad más bajo y corresponde al límite convencional entre plástico y semisólido, donde el suelo se puede triturar en varillas con un diámetro de 1/8 de pulgada.

f) EQUIPOS E INSTRUMENTOS EMPLEADOS:

- ✓ Una copa Casagrande para (L.L.). Consiste una taza (cuchara) de bronce de 200+-20 grs, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de caucho (fig. N° 4.1).
- ✓ Balanza, de una precisión de 0.01gr (fig. N° 4.2).
- ✓ Horno, de secado con circulación de aire y temperatura regulable (fig. N°4.3).
- ✓ Fuentes metálicas (fig. N° 4.4).
- ✓ Plato de mezcla o capsula de porcelana (fig. N° 4.5).
- ✓ Tamiz N° 40 (fig. N° 4.6).
- ✓ Taras (fig. N° 4.7).
- ✓ Placa de Vidrio para el límite plástico

g) PREPARACIÓN DEL MATERIAL:

Utilice solo la parte del suelo que pasa por la malla No. 40 (0,42 mm). Si el tamaño de la muestra es superior a 0,42 mm, se debe retirar la muestra de mayor tamaño para evitar un secado excesivo de la muestra (en el horno o en el aire). Agregue agua para eliminar según sea necesario y revuelva la muestra hasta obtener una pasta semilíquida con humedad uniforme.

Pesamos 300 gramos de muestra de suelo y agregamos 60,5 ml de agua (el agua que se usa para las pruebas de laboratorio es agua destilada). Para esta muestra de suelo uniformemente húmeda, realizaremos la primera prueba, y para la segunda, Se agrega a la muestra de suelo con 5.0 ml de agua para un total de 65.5 ml. De la misma manera, agregaremos 4.0 ml de agua en el tercer experimento, por lo que se agregarán 69.5 ml de agua, y 4.0 ml de agua se agregarán en el cuarto experimento. 73,5 ml. Cada una de estas pruebas pasa por una serie de procedimientos para determinar el nivel, que se explicarán a continuación.

h) DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO:

- Una vez preparada una pasta de suelo en la cápsula de porcelana con una humedad

ligeramente superior al límite líquido.



Figura N.º. 30. Preparación de la pasta de suelo.

Fuente: Laboratorio Geotécnico. Elaboración propia

- Desmontar y secar la capsula de la máquina de Casagrande, asegurándose que ella se encuentre perfectamente limpia y seca antes de iniciar el procedimiento.



Figura N.º. 31. **Proceso de calibrado de la Copa Casagrande**

Fuente: Laboratorio Geotécnico Elaboración propia

- Montar la capsula en su posición para el ensayo.
- Colocar entre 10 y 15 gramos de suelo húmedo en la cápsula alisando la superficie a una altura de 1 cm con la espátula, cuidando de no dejar burbujas de aire en la masa del suelo.



Figura N.º. 32 **Muestra de suelo húmeda y apisonada en la Copa Casagrande.**

Fuente: Elaboración propia.

- Usando el acanalador se separó el suelo en dos mitades según el eje de simetría de la cápsula.



Figura N.º. 33 **Muestra de suelo ranura da por el acanalador lista para el ensayo.**

Fuente: Elaboración propia.

- Girar la manivela de manera uniforme a una velocidad de dos revoluciones/seg (2rev/seg): continuar hasta que el surco se cierre en 1/2” de longitud; anotar el número de golpes, el número de golpes tiene que ser inferior a 40.



Figura N.º. 34 **Corte típico de muestra de suelo antes y después.**

Fuente: Elaboración propia.

- Revolver el suelo en la cápsula de Casagrande con la espátula y repetir las operaciones (e) y (f). Hacer 2 – 3 sobre 25 golpes.

- Tomar una muestra de aproximadamente 5 gr de suelo en la zona donde se cerró el surco y pesarla de inmediato para obtener su contenido de humedad, lo que permitirá obtener un punto en el gráfico semi - logarítmico de humedad vs número de golpes que se describe más adelante; después meter la muestra al horno para obtener el peso del suelo seco.
- Para el desarrollo de este ensayo se debe tomar una muestra de suelo de la copa Casagrande y ponerla en una tarita, luego en el horno deberá mantenerse a una temperatura de 110°C y en un rango de tiempo de 18 a 24 horas.



Figura N.º. 35 Horno para el secado de muestras contenidas en las taras.

Fuente: Elaboración propia.

- Vaciar el suelo de la cápsula de Casagrande a la de porcelana (que todavía contiene la mezcla de suelo inicial), continuar revolviendo el suelo con la espátula (durante el cual el suelo pierde humedad) y en seguida repetir las etapas (b) hasta (h).
- Repetir etapas (b) a (i), 3 a 4 veces, hasta llegar a un número de golpes de 15 a 20.

Anexo 03

Análisis del límite de consistencia de probas en laboratorio

LIMITE DE CONSISTENCIA
LABORATORIO CONTROL DE MATERIALES

PROYECTO : MATERIAL OVER EN EL INCREMENTO DE TIEMPO DE VIDA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE CHILCA - HUANCAYO

SOLICITA : LIZANA MARTINEZ FERNANDA
CANTERA : CANTERA CHACLAS

FECHA : 14/07/2018

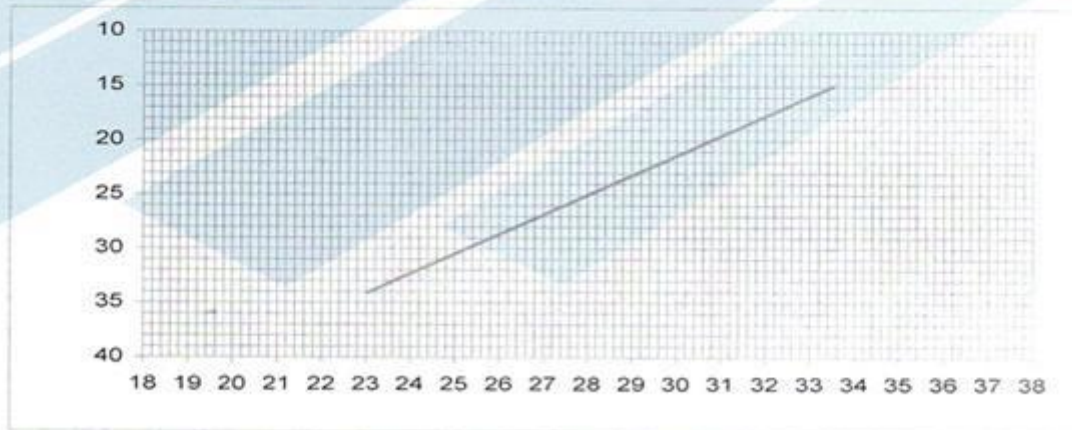
EFÉCTUADO POR : Ortiz Jahn Oscar
CERTIFICADO Nro : N° 40CANTERA/FEBRERO 2020

LIMITE LIQUIDO

N° de Latas	31	32	33
N° de Golpes	16	22	35
Peso de Lata + Suelo Humedo	45.57	46.32	43.19
Peso de Lata + Suelo Seco	40.40	41.65	39.82
Peso de Agua	5.17	4.67	3.37
Peso de Lata	24.99	25.33	25.21
Peso de Suelo Seco	15.41	16.32	14.61
% de Humedad	33.52	28.63	23.05

LIMITE PLASTICO

N° de Latas	34
Peso de Lata + Suelo Humedo	36.56
Peso de Lata + Suelo Seco	34.70
Peso de Agua	1.86
Peso de Lata	26.24
Peso de Suelo Seco	8.46
Porcentaje de Humedad	22.03



OBSERVACIONES:

Muestra proporcionada por el interesado.

L.L.	28.14	L.P.	22.03	I.P.	6.11
------	-------	------	-------	------	------

Figura N.º. 36 Resultados del límite de consistencia

Fuente: Laboratorio Geotécnico – Huancayo Junín

i) RESULTADO OBTENIDO DEL ENSAYO**➤ Ensayo del Proctor Modificado (METODO AASHTO T – 180-D
ASTM- D1557)****➤ COMPACTACIÓN DE SUELOS.**

El proceso realizado por métodos mecánicos, al expulsar el aire de los poros, obliga a las partículas del suelo a tener más contacto con otras partículas, lo que hace que los vacíos creados en el suelo se reduzcan más o menos rápidamente. El cambio en el volumen del suelo es muy importante, principalmente el cambio en el volumen del aire, porque el agua generalmente no se descarga de los huecos durante el proceso de compactación y la condición para compactar el suelo es un suelo parcialmente saturado.

➤ OBJETIVO DE UNA COMPACTACIÓN:

- Esto es una mejora de las características de ingeniería de la masa de suelo, el propósito es obtener el suelo de forma estructurada, para que tenga y mantenga las propiedades mecánicas adecuadas durante toda su vida útil.
- Mejora la resistencia al corte, mejorando así la estabilidad del terraplén y la capacidad de carga de los cimientos y aceras.
- Disminuir la compresibilidad y, reducir los asentamientos.

- Disminuir la relación de vacíos y, reducir la permeabilidad.
- **FACTORES QUE DEPENDE PARA UNA BUENA COMPACTACIÓN:**

- El Tipo de Suelo
- La distribución Granulométrica
- La forma de partículas
- La energía de compactación
- El contenido de humedad.

Cuando el suelo se compacta en diferentes condiciones de humedad y no importa qué método se utilice, su densidad está relacionada con el porcentaje de humedad, lo que dará como resultado una curva como se muestra a continuación:

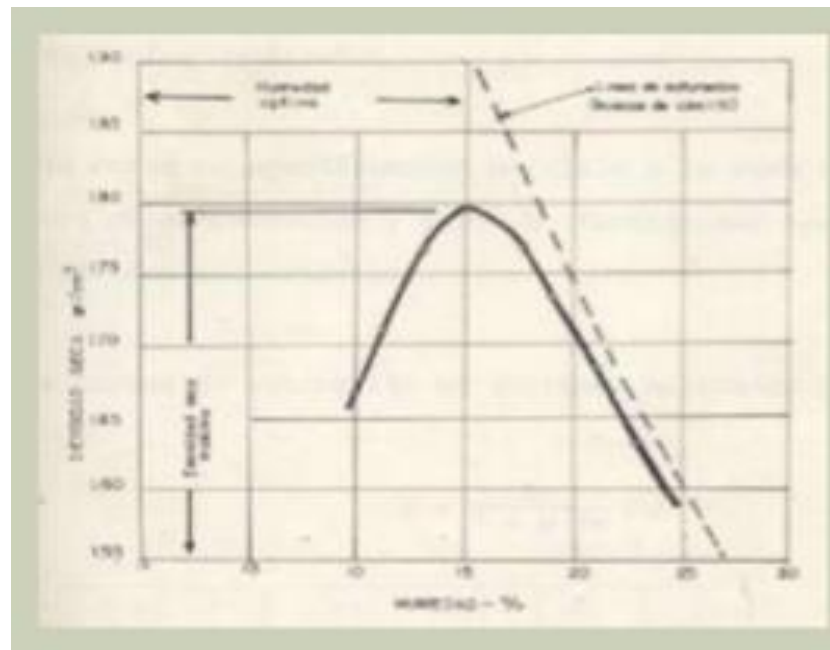


Figura N.º. 37 **Curva de un suelo en relación de diferentes densidades y humedad.**
Fuente: *Elaboración propia.*

La curva representa el valor máximo absoluto del valor de densidad (MDS) y la humedad (OCH) correspondiente a este punto.

Cabe señalar que cada suelo tiene su propia curva de compactación, que es una característica del material y es diferente a otros suelos.

La parte del lado izquierdo de la curva se llama rama seca y la parte de la derecha se llama rama húmeda.

➤ ENERGÍA ESPECÍFICA O ENERGÍA DE COMPACTACIÓN

Cuando se emplea en el laboratorio la **compactación** por **Impacto** la energía queda definida por:

$$E_c = \frac{NnWh}{V}$$

E_c : Energía Especifica o Energía de Compactación.

N : Número de golpes del pisón por

cada capa n : Número de capas

W : Peso del pisón

compactador. h : Altura

de caída del pisón

V ; Volumen total del molde de compactación.

➤ PROCTOR ESTÁNDAR Y MODIFICADO.

Actualmente, se han propuesto diferentes tipos de ensayos que determinan el grado de compactación del material, entre los que se encuentran los siguientes ensayos:

- Método del martillo de 2.5 Kg,
- Método del martillo de 4.5 Kg,
- Proctor (estándar),
- Proctor modificado y el método del martillo vibratorio.

Los cuatro primeros son la compactación dinámica basada en el impacto de un martillo metálico de determinada calidad, que cae libremente desde una determinada altura y compacta el suelo en igual número de capas, y cada capa recibe el mismo número de golpes.

Los resultados obtenidos de la prueba proporcionan una curva en la que el pico más alto determina el contenido de humedad óptimo cuando el suelo alcanza su máxima densidad seca.

A través de las pruebas, he podido determinar que en un material bien clasificado que contiene una gran cantidad de polvo fino, la compactación es generalmente más eficaz que un material clasificado uniformemente sin polvo fino.

➤ **DIFERENCIA ENTRE PROCTOR ESTANDAR Y MODIFICADO.**

La diferencia básica entre la prueba Proctor estándar o normal y la prueba modificada es la energía de compactación utilizada. En la línea normal, se dejó caer un peso de 2,5 kg desde una altura de 30 cm y el suelo se comprimió en 3 capas con 25 golpes, en la versión mejorada se dejó caer un peso de 5 kg desde una altura de 45 cm. La tierra

compacta de las tierras altas de pulgadas tiene 50 capas de clic.

➤ **PROCTOR EMPLEADO EN EL ENSAYO**

Es el PROCTOR MODIFICADO – ASTM 1557

➤ **CARACTERISTICAS DE ESTE ENSAYO:**

- E_c = Energía de Compactación = 56,250 Lb.ft/ft³
- W = Peso del martillo = 10 lb.
- H = Altura de caída del martillo = 18 pulgadas.
- N = Número de golpes por capas = 25 golpes
- N = Número de capas = 5 capas
- V = Volumen del molde cm³ = 2121.00

➤ **METODO EMPLEADO EN EL ANALISIS:**

- Fue el **Método A**

Consideraciones que se han tomado para este método.

- Pasa la malla N° 4
- Molde empleado fue de 4 pulg diam.
- $V = 1/30$ pie³
- $N = 25$ golpes /capa.

➤ **EQUIPOS Y ACCESORIOS EMPLEADOS EN EL ENSAYO:**



Figura N.º. 38 **Accesorios para el ensayo.**

Fuente: Elaboración propia.

➤ **PROCEDIMIENTO DURANTE EL ENSAYO:**

Se prepararon al menos cuatro muestras de contenido de agua para que su contenido de agua estuviera cerca del mejor valor estimado. Primero, prepare una muestra con un contenido de humedad cercano al valor óptimo agregando agua y mezclando.

El contenido de agua de las muestras restantes se selecciona de modo que se generen al menos dos muestras húmedas y dos muestras secas de acuerdo con el contenido de agua óptimo, con un cambio de aproximadamente 2%. Se requieren al menos dos contenidos de agua en el mejor lado seco y húmedo para definir con precisión la curva de compactación. Ciertos suelos con un alto contenido óptimo de agua o curvas de compactación relativamente planas requieren un gran aumento en el contenido de agua para obtener un peso seco

máximo claramente definido. El aumento de humedad no debe superar el 4%.



Figura N.º 39 **Compactado con el martillo durante el ensayo.**

Fuente: Elaboración propia.



Figura N.º 40 **Extracción del collar del molde y compactado.**

Fuente: Elaboración propia.

➤ **ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)**

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) es un parámetro del suelo que cuantifica su capacidad resistente como sub rasante, sub base y base en el diseño de pavimentos. Es un ensayo empírico que se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

➤ **ACCESORIOS PARA LA COMPACTACIÓN**

- Molde de diámetro de = 6", altura de 7" a 8" y un collar de 2".
- Disco espaciador de acero diámetro 5 15/16" y una altura 2.5"
- Martillo con un peso de 10 lb. Y una altura de caída de 18".
- Trípode y dial deformímetro con aprox. 0.001".
- Pesas de anulares de 5 lbs c/u (2 pesas).

➤ **ACCESORIOS PARA LA PRUEBA DE PENETRACIÓN**

- Pistón sección circular Diámetro de 2 pulg.
- Aparato para aplicar la carga: Prensa hidráulica. $V = 0.05$ pulg/min. Con anillo calibrado.
- Herramientas varias: balanza, tamices, cronómetro, papel filtro, horno, tanques para inmersión de muestra a saturar, etc.

➤ **RESULTADOS CONSEGUIDOS CON ESTE ENSAYO SON LOS SIGUIENTES VALORES:**

- Determinación de la densidad y humedad.

- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.



Figura N.º. 41 Molde de CBR y accesorios.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS:**

- Lo primero que hicimos es preparar el material para el ensayo. Toda vez que es la parte más importante del ensayo, el cual se siguió paso a paso.
- Se seco el material al sol o en un horno a una temperatura de 60°C
- Desmenuzamos los terrones (se usó un mazo con cabeza de caucho) debemos cuidar de no romper las partículas individuales en la muestra.
- Cuarteamos y conseguimos aproximadamente 20 kg. De material.
(Basado en una curva de 3 puntos)
- Tamizamos por el tamiz 3/4"

- El material retenido en el tamiz $\frac{3}{4}$ " lo pesamos y reemplazamos por material retenido entre $\frac{3}{4}$ " y #4 (luego lo tamizamos aparte otra cantidad de material por el tamiz $\frac{3}{4}$ " y el #4 para tener material para reemplazar)
- Con la ayuda de una espátula ancha mezclamos todo muy bien
- Obtenemos la humedad que tiene el material en ese momento
- Llevar el material a la condición de humedad óptima conseguida con el Próctor **Nota importante:** la humedad de la muestra a compactar no deberá variar más de 2% de la humedad del Próctor.

➤ **RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN**

- Luego de que ya hemos hecho todo esto (saturación)
- Sujetamos bien el plato que pusimos sobre el espécimen y lo inclinamos para drenar la muestra por aproximadamente 15 minutos y
- Removemos el plato disco, filtro y los contrapesos
- Pesamos la muestra
- Se ponen los contrapesos necesarios para semejar el peso del pavimento (generalmente podemos usar los contrapesos utilizados en la saturación)
- Colocamos el espécimen en una prensa y aplicamos una carga de 10 lb para asentar el pistón.
- Ajustamos el dial de carga y el deformímetro a ceros.
- Iniciamos la penetración a una rata de velocidad de $.05$ "/min
- Hacemos lecturas cada 0.025 " de penetración y anotamos la carga que se ha conseguido en cada punto.

- Cuando lleguemos a 0.5” paramos de leer y soltamos la carga,
- Retiramos el espécimen de la prensa y determinamos la humedad (superior, medio, inferior de la muestra)



Figura N.º 42 **Aparato para medir expansión.**

Fuente: Elaboración propia.

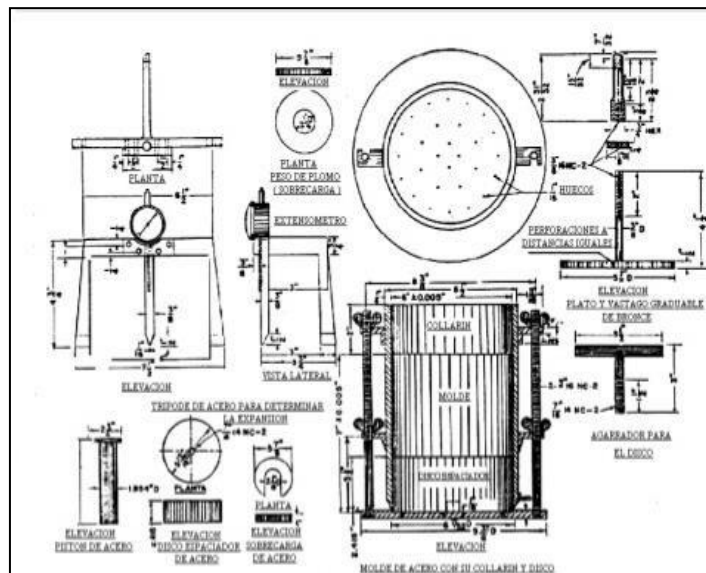


Figura N.º 43 **Partes de instrumentos para el CBR.**

Fuente: Elaboración propia.



Figura N.º 44 Equipo para la penetración.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 04

Análisis de los ensayos de Proctor Modificado

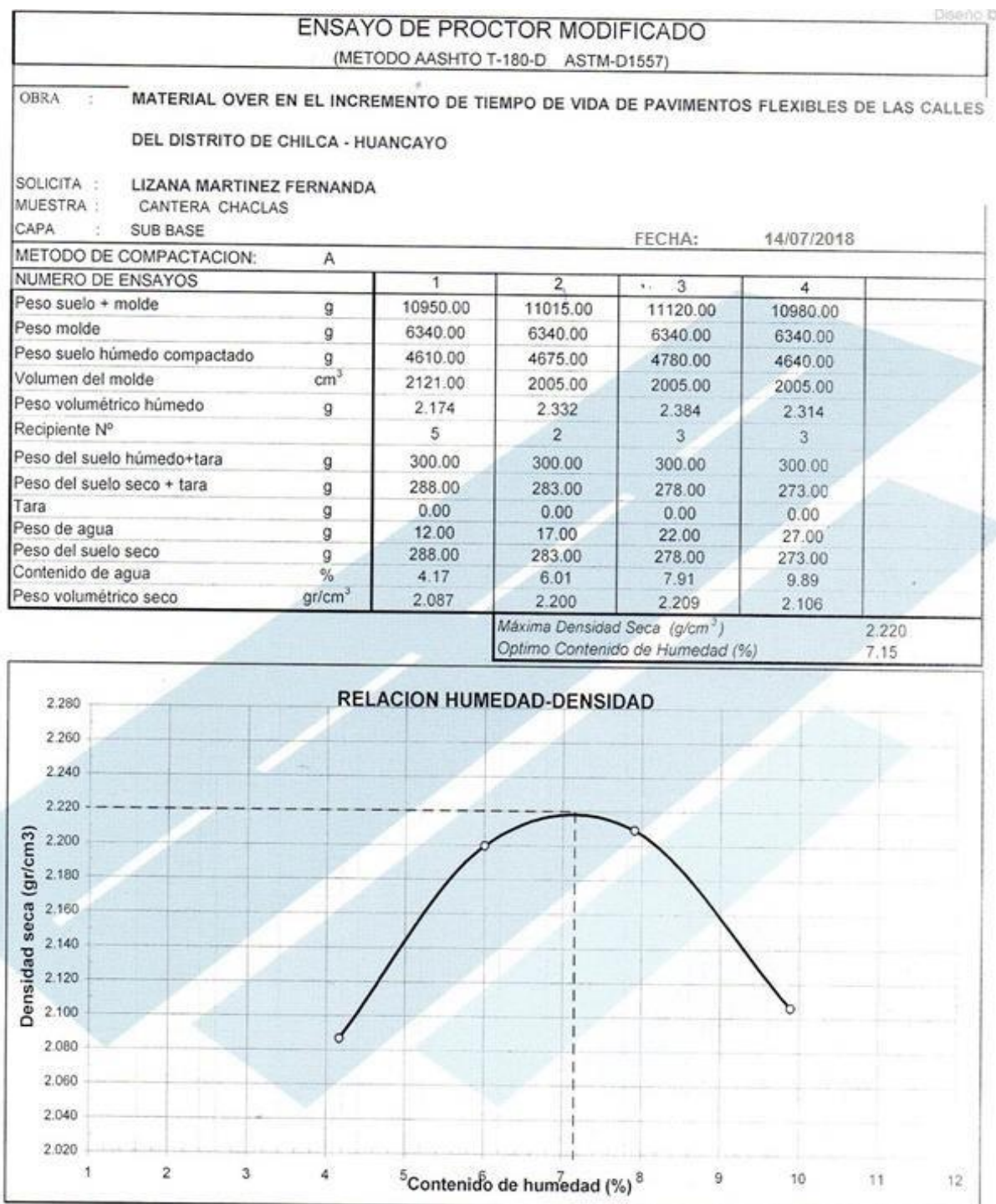
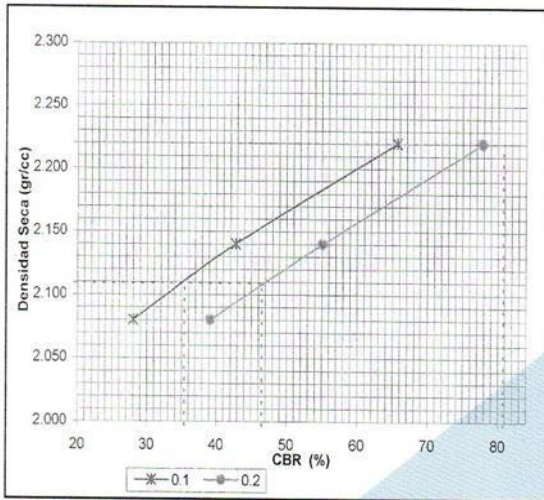


Figura N.º. 45 Ensayo Proctor Modificado

Fuente: Elaboración propia.

Diseño b

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) (ASTM D-1883)	
OBRA :	MATERIAL OVER EN EL INCREMENTO DE TIEMPO DE VIDA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE CHILCA - HUANCAYO
SOLICITA :	LIZANA MARTINEZ FERNANDA
CANTERA :	CHACLAS
	DATOS DE LA MUESTRA
	TECNICO : ORTIZ JAHN, Oscar
	FECHA : 28/02/2020

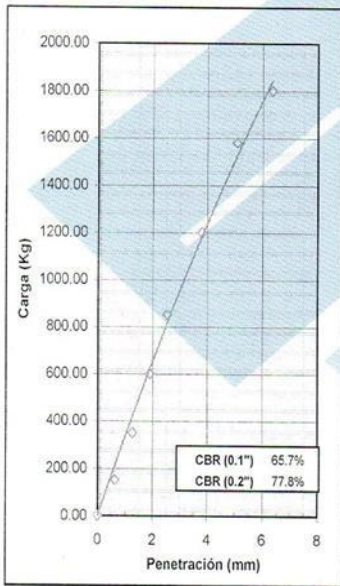


PROCTOR MODIFICADO : ASTM D1557
 METODO DE COMPACTACION : A
 MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.220
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 7.15
 95% MAXIMA DENSIDAD SECA (g/cm³) : 2.109

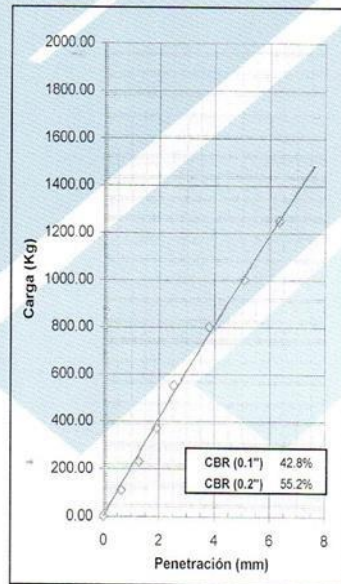
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	65.70	0.2"	80.80
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	35.45	0.2"	46.50

OBSERVACIONES:

EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES

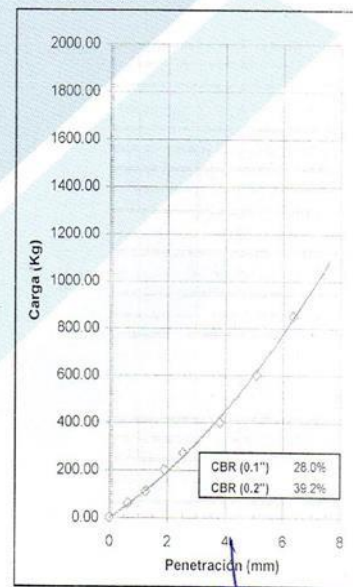


Figura N.º. 45 Relación de Soporte de California
 Fuente: Elaboración propia.

a). Al retirar o cortar material a una profundidad de 0,00 a 0,80 m. Durante el proceso de excavación se rellenará un material adecuado denominado OVER hasta alcanzar la altura de la calzada. En zonas de explotación forestal o terreno natural, los últimos 0,30 m. Deben estar fabricados con materiales seleccionados que cumplan con los niveles requeridos (como nivel básico y nivel sub-básico) y cumplan con las especificaciones técnicas anteriores, y mantendrán nuestras especificaciones técnicas para el proyecto.

b). Al retirar o cortar materiales a una profundidad de 0,80 a 1,50 m. En la primera capa en contacto con el suelo natural (cimentación), lo mejor es colocar una capa de fragmentos de roca de acuerdo al espesor previamente contenido y compactado para asegurar su adherencia al suelo, y luego formar la capa posterior. Para las zonas donde hay infiltración o nivel freático, aumentará la altura o el grosor de los fragmentos, por lo que actúan como ramas de drenaje, permitiendo que el agua penetre libremente. Posteriormente, el material seleccionado (OVER en este caso) se utilizará para completar el ajuste de altura. Considere el uso de suelos con baja capacidad de carga (CBR <5%).

Se mejorará la subrasante existente del CBR de laboratorio de menos del 5% del terreno, es decir, la capacidad de carga del suelo de muy pobre a muy pobre.

La cota de mejora a realizar se determinará de acuerdo con las instrucciones del "Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas con Bajo Volumen de Tránsito" (Artículo 5.7 Mejoramiento de Calzada) La fórmula utiliza la siguiente fórmula:

$$D = \frac{SN_r - SN_o}{a_4 \times m_4}$$

Asumiendo:

D_4 = Espesor efectivo de la subrasante mejorada en plg.

SN_r = Número Estructural requerido del pavimento con subrasante muy pobre a pobre.

SN_0 = Número Estructural requerido del pavimento con subrasante regular, buena o muy buena.

a_4 = Coeficiente estructural de capa de la subrasante mejorada, se recomiendan los siguientes valores:

$a_4 = 0.061/\text{plg}$ para reemplazar la subrasante muy pobre y pobre, por una subrasante regular con CBR de 6 % – 10 %.

$a_4 = 0.076/\text{plg}$