

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
SECCION JAÉN



**LA REVALORACIÓN DE LA PERFORMANCE FUNCIONAL Y
ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS ARTICULADOS EN LA
CIUDAD DE JAÉN**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. SANDY MEDALITH DÍAZ ESPINOZA

ASESOR:

M. Cs. Ing. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS.

JAÉN – CAJAMARCA – PERÚ

2018

COPYRIGHT ©2018by
SANDY MEDALITH DÍAZ ESPINOZA
Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todas las bendiciones recibidas al haber iluminado mi camino para el logro de las metas a lo largo de mi vida. A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca mi más sincero agradecimiento y en especial al Ing. Héctor Pérez Loayza, por brindarme todo su apoyo en el desarrollo de este proyecto, así como también al Ing. Mauro Centurión Vargas. Además, mi eterno agradecimiento a mi padre por el apoyo incondicional en el cumplimiento de mis metas y a mi madre, que desde cielo sigue siendo mi fuerza para no desmayar en el camino; y por último agradecerle a mis hermanos, compañeros y leales amigos que siempre han estado a mi lado, mil gracias.

Sandy M. Díaz Espinoza.

DEDICATORIA

A mi padre, Segundo Reynaldo Díaz, por su apoyo, su sacrificio y confianza depositada durante toda esta etapa de preparación. A mis hermanos por estar apoyándome en el transcurso del tiempo creyendo en mí, y especialmente a mi hermana Dika Díaz, por estar ahí en los momentos más difíciles y darme ánimos para continuar. A mis familiares y amigos que de alguna u otra forma me ayudaron en la culminación de mi carrera.

Sandy M. Díaz Espinoza.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA.....	2
1.1.1. Planteamiento del problema.	2
1.1.2. Formulación del problema.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4. LIMITACIONES	3
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.5.1. Objetivo general:	3
1.5.2. Objetivos específicos:.....	3
1.6. HIPÓTESIS	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
2.1.1. Antecedentes Internacionales.	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	6
2.1.3. Antecedentes Locales.	6
2.2. BASES TEÓRICAS	7
2.2.1. Pavimento articulado.	7

2.2.2.	Causas del origen de fallas en pavimentos articulados.	8
2.2.3.	Condición de los pavimentos.....	10
2.2.4.	Estudio de tráfico.....	11
2.2.5.	Estudio de suelos.	11
2.2.6.	Evaluación de Pavimentos.....	14
2.2.7.	Método de evaluación superficial en pavimentos articulados (ICP).	18
2.2.8.	Método de evaluación destructiva mediante excavación de calicatas.	22
2.2.9.	Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC)	23
2.2.10.	Estudio de los materiales de capas extraídos con la excavación de calicatas.....	25
2.2.11.	Calidad de los materiales empleados en pavimentos articulados.	26
2.2.12.	Diseño estructural de pavimentos.....	30
2.2.13.	Evaluación económica del uso de adoquines en pavimentación.	32
2.2.14.	Ventajas y desventajas de los pavimentos articulados.	33
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	37
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		45
3.1.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	45
3.2.	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	46
3.2.1.	Estudio de tráfico.....	47
3.2.2.	Estudio de Suelos.	52
3.2.3.	Índice de Condición del Pavimento (ICP).....	53
3.2.4.	Evaluación Destructiva de la estructura del pavimento.....	59
3.2.5.	Diseño estructural de pavimentos.....	64
3.2.6.	Análisis económico.	78
CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		85
4.1.	CARACTERÍSTICAS DE LAS VIAS ANALIZADAS	85

4.2.	INFORMACIÓN DE DISEÑO.	85
4.3.	RESULTADOS DEL ESTUDIO DE TRÁFICO.	86
4.4.	RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS.	88
4.5.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL	89
4.5.1.	Cálculo de las unidades de muestreo de cada tramo.	89
4.5.2.	Cálculo del ICP de las unidades de muestreo de cada tramo.	89
4.5.3.	Cálculo del ICP de los tramos de vías inspeccionadas.	89
4.5.4.	Resultados obtenidos según el tipo de patología existente en el pavimento.	92
4.5.5.	Resumen de los resultados obtenidos de la evaluación superficial.	101
4.6.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DESTRUCTIVA.	102
4.6.1.	Perfil de los pavimentos existentes.	102
4.6.2.	Resultados de los ensayos de Densidad de campo.	104
4.6.3.	Resultados de los ensayos de PDC.	105
4.7.	RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LOS MATERIALES DE CAPAS.	106
4.7.1.	Sub-base Granular.	106
4.7.2.	Cama de arena.	107
4.7.3.	Adoquines de concreto.	108
4.8.	RESULTADOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	108
4.8.1.	Diseño de pavimento articulado.	108
4.8.2.	Diseño de pavimento rígido.	110
4.9.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.	113
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		119
5.1.	CONCLUSIONES	119
5.2.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	120
5.3.	RECOMENDACIONES	120

5.4. PROPUESTAS	121
BIBLIOGRAFÍA	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Número mínimo de puntos de investigación.	12
Tabla N° 2: Categorías de Sub rasante.	13
Tabla N° 3: Matriz para el cálculo del ICP.	18
Tabla N° 4: Tipo y factor de influencia por clase.	19
Tabla N° 5: Factores de penalización para el Índice de Condición Estructural (ICE)	19
Tabla N° 6: Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional (ICF).....	20
Tabla N° 7: Nivel de servicio y categorías de acción del ICP.....	21
Tabla N° 8: Clasificación general de los deterioros de pavimentos articulados.	21
Tabla N° 9: Adoquines - Requisitos.	26
Tabla N° 10: Resistencia a la compresión.	26
Tabla N° 11: Granulometría de arena de cama.	27
Tabla N° 12: Granulometría de la arena de sello.	27
Tabla N° 13: Requerimientos Granulométricos para Base Granular.	28
Tabla N° 14: Valor Relativo de Soporte, CBR.....	28
Tabla N° 15: Requerimiento de Agregado Grueso de Base Granular.	28
Tabla N° 16: Requerimiento de Agregado Fino de Base Granular.	29
Tabla N° 17: Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular	29
Tabla N° 18: Requerimientos de calidad para Sub-base Granular.	30
Tabla N° 19: Coordenadas UTM de las vías evaluadas.	45
Tabla N° 20: Calculo del IMDA de la calle Alfonso A. Vidal cuadras (1, 2, 3 y 4).....	49
Tabla N° 21: Factores destructivos de cada vehículo para el pavimento articulado.	50
Tabla N° 22: Factores destructivos de cada vehículo para el pavimento rígido.	50
Tabla N° 23: Factor de sentido.	51
Tabla N° 24: Factor carril.	51
Tabla N° 25: Calculo del IMDA de la calle Alfonso A. Vidal cuadras (1, 2, 3 y 4).....	52
Tabla N° 26: Ubicación de calicatas – Exploración de campo.	53

Tabla N° 27: Requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos.	64
Tabla N° 28: Valores del Nivel de Confianza de acuerdo al tipo de Camino.	66
Tabla N° 29: Factores de Desviación Normal.	66
Tabla N° 30: Resumen parámetros de diseño para pavimento articulado Método AASHTO ..	67
Tabla N° 31: Coeficientes estructurales para las capas de pavimento articulado.	70
Tabla N° 32: Capacidad del Drenaje.	71
Tabla N° 33: Valores m_i para modificar los Coeficientes Estructurales o de Capa de Bases y Sub-bases sin tratamiento, en pavimentos flexibles.	71
Tabla N° 34: Coeficientes de drenaje para las capas del pavimento articulado.	71
Tabla N° 35: Número estructural total requerido para el pavimento articulado.	72
Tabla N° 36: Espesores de capa obtenidos del cálculo para pavimento articulado.....	72
Tabla N° 37: Capacidad del Drenaje.	76
Tabla N° 38: Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos.	76
Tabla N° 39: Coeficiente de Transferencia de Cargas	77
Tabla N° 40: Resumen de parámetros de diseño para pavimento rígido Método AASHTO.	77
Tabla N° 41: Espesor de capa obtenida para el pavimento rígido.....	77
Tabla N° 42: Calculo de la cantidad de pies ² para encofrar un m ² de pavimento rígido.	79
Tabla N° 43: Tramos de pavimento seleccionados para la evaluación.	85
Tabla N° 44: Composición vehicular del Tramo I.	86
Tabla N° 45: Composición vehicular del Tramo II.....	86
Tabla N° 46: Composición vehicular del Tramo III.....	86
Tabla N° 47: Composición vehicular del Tramo IV.	87
Tabla N° 48: Composición vehicular del Tramo V.....	87
Tabla N° 49: Resumen de los resultados del estudio de suelos.....	88
Tabla N° 50: Resumen de las unidades de muestreo para la inspección por tramo.	89
Tabla N° 51: ICP del Tramo I: Calle Alfonso A. Arana Vidal Cdra. 1→4	90
Tabla N° 52: ICP del Tramo II: Calle Horacio Zevallos Cdra. 4→5.....	91
Tabla N° 53: ICP del Tramo III: Calle Los Pinos Cdra. 1→3	91
Tabla N° 54: ICP del Tramo IV: Calle Los Robles Cdra. 1→2.....	92
Tabla N° 55: ICP del Tramo V: Calle Marañón Cdra. 17	92
Tabla N° 56: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo I según su tipo.	93

Tabla N° 57: Deterioros más frecuentes encontrados en el Tramo I.....	94
Tabla N° 58: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo II según su tipo.....	95
Tabla N° 59: Deterioros más frecuentes encontrados en el Tramo II.	96
Tabla N° 60: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo III según su tipo.	96
Tabla N° 61: Deterioros más frecuentes encontrados en el Tramo III.	97
Tabla N° 62: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo IV según su tipo.	98
Tabla N° 63: Deterioros más frecuentes encontradas en el Tramo IV.	99
Tabla N° 64: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo V según su tipo.....	100
Tabla N° 65: Deterioros más frecuentes encontradas en el Tramo V.	100
Tabla N° 66: Perfil del pavimento encontrado en el Tramo I.	102
Tabla N° 67: Perfil del pavimento encontrado en el Tramo II.	102
Tabla N° 68: Perfil del pavimento encontrado en el Tramo III.....	103
Tabla N° 69: Perfil del pavimento encontrado en el Tramo IV.	104
Tabla N° 70: Resultados de los ensayos de densidad de campo sobre la capa de sub-base....	104
Tabla N° 71: Resultados de los ensayos de PDC sobre la subrasante.....	105
Tabla N° 72: Resumen de los resultados del estudio del material de sub-base.....	106
Tabla N° 73: Resumen de los ensayos granulométricos de la cama de arena.	107
Tabla N° 74: Resumen de los ensayos de resistencia a la compresión de los adoquines.	108
Tabla N° 75: Diseño de Pavimento Articulado Tramo I: Calle Alfonso A. Vidal.....	108
Tabla N° 76: Diseño de Pavimento Articulado Tramo II: Calle Horacio Zevallos.....	109
Tabla N° 77: Diseño de Pavimento Articulado Tramo III: Calle Los Pinos	109
Tabla N° 78: Diseño de Pavimento Articulado Tramo IV: Calle Los Robles.....	109
Tabla N° 79: Diseño de Pavimento Articulado Tramo V: Calle Marañón.....	110
Tabla N° 80: Diseño de Pavimento rígido Tramo I: Calle Alfonso A. Vidal.	110
Tabla N° 81: Diseño de Pavimento rígido Tramo II: Calle Horacio Zevallos.	110
Tabla N° 82: Diseño de Pavimento rígido Tramo III: Calle Los Pinos.....	111
Tabla N° 83: Diseño de Pavimento rígido Tramo IV: Calle Los Robles.	111
Tabla N° 84: Diseño de Pavimento rígido Tramo V: Calle Marañón.	111
Tabla N° 85: Resumen de los espesores diseñados de articulado y rígido.....	112
Tabla N° 86: Dimensiones del tramo I a diseñar.....	113
Tabla N° 87: Presupuesto del pavimento articulado Tramo I.	113

Tabla N° 88: Presupuesto del pavimento rígido Tramo I.....	113
Tabla N° 89: Dimensiones del tramo II a diseñar.	114
Tabla N° 90: Presupuesto del pavimento articulado Tramo II.	114
Tabla N° 91: Presupuesto del pavimento rígido Tramo II.	114
Tabla N° 92: Dimensiones del tramo III a diseñar.	115
Tabla N° 93: Presupuesto del pavimento articulado Tramo III.....	115
Tabla N° 94: Presupuesto del pavimento rígido Tramo III.	115
Tabla N° 95: Dimensiones del tramo IV a diseñar.	116
Tabla N° 96: Presupuesto del pavimento articulado Tramo IV.	116
Tabla N° 97: Presupuesto del pavimento rígido Tramo IV.....	116
Tabla N° 98: Dimensiones del tramo V a diseñar.	117
Tabla N° 99: Presupuesto del pavimento articulado Tramo V.....	117
Tabla N° 100: Presupuesto del pavimento rígido Tramo V.	117
Tabla N° 101: Resumen de costos entre el pavimento articulado y rígido.	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Estructuración típica de un pavimento articulado.	7
Figura N° 2: Esquema del Equipo PDC.	24
Figura N° 3: Ejemplo típico de resultado de un ensayo de PDC.....	25
Figura N° 4: Comparación económica pavimento articulado versus pavimento de asfalto.	32
Figura N° 5: Facilidad de instalación.	33
Figura N° 6: Material removible, reutilizable.	34
Figura N° 7: Mejor aspecto visual.....	34
Figura N° 8: La rugosidad permite un mejor frenado a los vehículos.....	35
Figura N° 9: Pavimentos durables.....	35
Figura N° 10: Gran Qhapac Ñan - Cajamarca.....	36
Figura N° 11: Estructura de un pavimento.	37
Figura N° 12: Estructura de un pavimento asfáltico.	37

Figura N° 13: Estructura de pavimento rígido.	38
Figura N° 14: Estructura de un pavimento articulado.	38
Figura N° 15: Distintas formas de los adoquines.	39
Figura N° 16: Transferencia de cargas en pavimentos articulados.	39
Figura N° 17: Patrones de colocación.	40
Figura N° 18: Trabazón vertical, horizontal y rotacional de un pavimento articulado.	40
Figura N° 19: Nivelación de la cama de arena de asiento.	42
Figura N° 20: Colocación de adoquines.	42
Figura N° 21: Procedimiento de Compactación inicial.	43
Figura N° 22: Sellado de juntas.	43
Figura N° 23: : Compactación final con barrido de arena de sello.	43
Figura N° 24: Imagen satelital de los tramos evaluados.	45
Figura N° 25: Flujograma de la metodología realizada en la presente tesis.	46
Figura N° 26: : Formato de inspección de condición para pavimentos articulados.	56
Figura N° 27: Formato de registro de datos del PDC para un punto de investigación.	62
Figura N° 28: Variación en el coeficiente estructural de la capa de base “a2”.	69
Figura N° 29: Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase “a3”.	69
Figura N° 30: Coeficiente estruct. a partir del Módulo Elástico del concreto asfáltico “a1”....	70
Figura N° 31: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Subrasante (k).	75
Figura N° 32: Isométrico de encofrado de pavimento rígido.	79

RESUMEN

La presente tesis tiene por objetivo determinar cuáles son los factores que intervienen en el fallamiento de los pavimentos articulados de la ciudad de Jaén. Primeramente, se seleccionó las cinco calles más críticas para la evaluación y se procedió a realizar el estudio de tráfico y el estudio de suelos. Se realizó la evaluación superficial aplicando el método ICP. Así mismo, se realizó la evaluación estructural de los pavimentos, ejecutando calicatas en las vías que, además, permitieron ejecutar ensayos de densidad “in situ” y ensayos de Penetración Dinámica de Cono. Finalmente, se hizo el diseño estructural de los pavimentos, tanto articulado como rígido, para luego evaluar cuál es el más económico. Se concluyó que: en todos los tramos evaluados predominan los vehículos menores y livianos, por lo tanto, la incidencia del tráfico no es relevante para causar algún tipo de deterioro. Del estudio de suelos se determinó que: el tramo I posee subrasante pobre, el tramo II y III poseen subrasante muy buena, el tramo IV posee subrasante excelente y el tramo V posee subrasante. Las calles evaluadas se encuentran en regular estado de conservación con un ICP de 4 para el tramo I y un ICP de 3 para los tramos II, III, IV y V. Los deterioros más frecuentes fueron: Desgaste superficial, fracturamiento de adoquines, depresiones, juntas abiertas y pérdida de adoquines. Dentro de los factores que han intervenido en los deterioros encontramos: drenaje inadecuado, suelos de mala calidad y ausencia de mantenimiento. De la evaluación estructural se determinó que los materiales de capas usados para la construcción de los pavimentos poseen buena capacidad de soporte y son de buena calidad, a excepción de la arena usada para la cama de soporte. Para concluir, con la evaluación económica, se determinó que el costo de la capa de rodadura del pavimento articulado es mucho más económico que el rígido, ya que, el costo por m² de superficie adoquinada es S/.60.64 y el m² de la superficie losa de concreto es S/.116.70.

Palabras claves: Pavimento articulado, deterioro, causas, evaluación.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to determine what are the factors that intervene in the failure of articulated pavements in the city of Jaén. Firstly, the five most critical streets for the evaluation were selected and the study of traffic and the study of soils were carried out. The superficial evaluation was carried out applying the ICP method. Likewise, the structural evaluation of the pavements was carried out, executing pits in the roads that, in addition, allowed to execute density tests "in situ" and tests of Dynamic Cone Penetration. Finally, the structural design of the pavements was made, both articulated and rigid, to then evaluate which is the most economical. It was concluded that: in all the stretches evaluated, smaller and lighter vehicles predominate, therefore, the incidence of traffic is not relevant to cause some type of deterioration. From the study of soils it was determined that: section I has a poor subgrade, section II and III have a very good subgrade, section IV has an excellent subgrade and section V has a subgrade. The evaluated streets are in a regular state of conservation with an ICP of 4 for section I and an ICP of 3 for sections II, III, IV and V. The most frequent deteriorations were: Surface wear, fracturing of paving stones, depressions, Open joints and lost cobblestones. Among the factors that have affected the deterioration are: inadequate drainage, poor quality floors and lack of maintenance. From the structural evaluation it was determined that the layer materials used for the construction of the pavements have good support capacity and are of good quality, with the exception of the sand used for the support bed. To conclude, with the economic evaluation, it was determined that the cost of the rolling layer of the articulated pavement is much more economical than the rigid, since, the cost per m² of paved surface is S / .60.64 and the m² of the surface Concrete slab is S / .116.70.

Keywords: Pavement, articulate, deterioration, causes, evaluation.

CAPÍTULO I:

INTRODUCCIÓN

En el período 2005-2008, la Municipalidad Provincial de Jaén con el Programa A Trabajar Urbano, dotó de infraestructura vial a muchas de las calles de la ciudad de Jaén que no contaban con pavimentación adecuada. La provisión de la infraestructura vial contempló a los adoquines de concreto como la mejor opción para pavimentar las vías urbanas.

Sin embargo, al poco tiempo de estar en servicio, estas vías adoquinadas comenzaron a mostrar deterioros constantes que han llevado a que hoy, se tengan calles en muy mal estado. Este comportamiento diferente al que se ve en otras ciudades, ha repercutido enormemente en la continuidad del uso de los adoquines de concreto en las pavimentaciones de la ciudad, optando entonces por el pavimento rígido.

Es a partir de la de la experiencia obtenida en esas calles pavimentadas con adoquines de concreto, que existe un concepto adelantado de que éstos son malos en su comportamiento estructural. Lamentablemente, los sucesivos gobiernos aún mantienen el equivocado concepto, y persisten en desvalorar su uso en nuestra ciudad. En el presente trabajo de investigación, se plantea analizar cada uno de los parámetros intervinientes en su funcionalidad y vida útil, puesto que, creemos que es una alternativa buena estructuralmente, funcionalmente y estéticamente, ya que existen ciudades en todo el mundo donde si funcionan de una manera eficiente.

Así pues, el objetivo de esta tesis es, determinar el comportamiento de los pavimentos articulados en la ciudad de Jaén, determinando cuales los factores que han incidido en su deterioro. Constituyendo esta acción un proceso de revaloración del uso de los pavimentos articulados, demostrando que la tecnología de pavimentos articulados es válida y de buen desempeño funcional y estructural, si es que se ejecutan con una tecnología responsable, es decir, con buena investigación y tratamiento del suelo de fundación, la provisión de un buen drenaje, así como también, la conformación de cada una de sus capas y el estudio afinado de la sumatoria de todos los parámetros que inciden en el diseño del mismo.

1.1. PROBLEMA

1.1.1. Planteamiento del problema.

Frente al estado actual de las calles con pavimento articulado existe un concepto adelantado de que éstos son malos en su comportamiento estructural. En el presente trabajo de investigación se plantea analizar cada uno de los parámetros intervinientes en su funcionalidad y vida útil, puesto que creemos que es una alternativa buena estructuralmente, funcionalmente y estéticamente, ya que existen ciudades en todo el mundo donde si funcionan de una manera eficiente. Sin embargo, en la ciudad de Jaén, las vías adoquinadas han tenido un comportamiento diferente al que se ve en otras ciudades, optando entonces por pavimentar las vías con pavimento rígido. Queda como inquietud entonces demostrar que la tecnología de pavimentos articulados es válida y de buen desempeño funcional y estructural determinando qué parámetros están fallando en los existentes en la ciudad de Jaén, constituyendo esta acción un proceso de revaloración del uso de los pavimentos articulados.

1.1.2. Formulación del problema.

El problema de la investigación se puede resumir con la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los factores que han intervenido en las causas principales del fallamiento del pavimento articulado?

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se justificó el planteamiento del problema, debido al deterioro constante de los pavimentos articulados existentes en la ciudad de Jaén. Permitiendo así, determinar qué parámetros están fallando en los pavimentos articulados existentes en la ciudad de Jaén, devolviéndole así la confianza que amerita este tipo de pavimento. Se hizo notoria la necesidad de realizar esta investigación, puesto que a la fecha no existe un verdadero diagnóstico del deterioro de las calles pavimentadas con adoquines de concreto de nuestra ciudad.

Creemos que, con nuestra investigación, podremos derribar barreras con respecto al equivocado concepto que hoy en la actualidad posee este sistema de pavimentación en

nuestra ciudad. Entendiéndose que existe una necesidad de persuadir a los ingenieros que no están familiarizados o que dejaron de familiarizarse con los pavimentos articulados, que éstos constituyen una alternativa viable frente a los pavimentos de concreto y que, como todo tipo de pavimento, es necesario evaluar caso a caso la conveniencia de usar una u otra tecnología.

1.3. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en 5 calles con pavimento articulado ubicadas en el Sector Morro Solar parte baja de la ciudad de Jaén, y los ensayos pertinentes se realizaron en el Laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca y en el Laboratorio Geon Vial (Jaén).

1.4. LIMITACIONES

- Las calicatas para la evaluación estructural solo se hicieron en los sectores más críticos de las vías analizadas (dos por cada vía).
- No fue posible ejecutar calicatas para la evaluación estructural en la calle Marañón, por impedimento de los moradores de zona.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general:

- Determinar cuáles son los factores que intervienen en el fallamiento de los pavimentos articulados de la ciudad de Jaén.

1.5.2. Objetivos específicos:

- Realizar la evaluación del estado actual de los pavimentos articulados en el Sector Morro Solar, para identificar las cinco calles más críticas para el estudio.
- Realizar el estudio de tráfico.

- Realizar el estudio de suelos.
- Realizar la evaluación superficial determinando el Índice de Condición del Pavimento.
- Realizar la evaluación estructural del pavimento mediante excavación de calicatas.
- Realizar el diseño estructural y la evaluación económica de los resultados.

1.6. HIPÓTESIS

Los factores como drenaje inadecuado, falta de tratamiento del suelo de fundación y ausencia de mantenimiento, infieren para la revaloración de la performance funcional y estructural de los pavimentos articulados en la ciudad de Jaén.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

- En el artículo “**Patología de Pavimentos Articulados**” (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010). Se realizó una recolección de los deterioros típicos de los pavimentos articulados construidos con adoquines de concreto o de ladrillo; y de esa forma, ese elaboró un catálogo de deterioros para este tipo de estructuras que facilitara la identificación y cuantificación de los deterioros en una inspección visual; además de la formulación para Colombia de una metodología que permita determinar el Índice de Condición (ICP) de las estructuras de pavimentos articulados. La metodología propuesta fue probada en unos tramos de vías por los autores con el fin de comprobar la coherencia y así determinar el índice de condición del pavimento (ICP).

El primer tramo analizado fue una vía en adoquines de arcilla cocida (ladrillo) de 200 m y se dividió en dos tramos de 100 m. En el tramo de 0-100m, el ICP obtenido fue de 3, nivel de servicio regular, tipo de categoría de acción refuerzo-mantenimiento rutinario. En el tramo de 100 – 200 m el estado actual del tramo a simple vista fue de bueno a muy bueno. El ICP obtenido fue de 5, nivel de servicio Muy bueno y el tipo de categoría de acción que requiere es un Mantenimiento rutinario.

El segundo tramo de vía analizado fue una vía adoquinada con ladrillos de arcilla de longitud de 75 m y ancho de 5,40 m. El estado actual de ese tramo a simple vista fue de malo a muy malo. El ICP obtenido fue de 1, nivel de servicio muy malo, tipo de categoría de acción reconstrucción.

Los resultados obtenidos fueron acordes con el estado real de los tramos a simple vista, lo que indico que la metodología desarrollada en ese trabajo si era coherente.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

- En la Tesis: **“Análisis y evaluación patológico de la superficie del pavimento intertrabado en la Av. Sánchez Cerro cuadras 11 y 12, desde la av. Sullana Norte hasta la av. Country, vía auxiliar izquierda, Piura – 2015”**. (José Abdón Cango Vásquez, Piura – Perú, 2015. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Se hicieron inspecciones visuales a las zonas afectadas en el pavimento intertrabado de la Av. Sánchez Cerro, cuadras 11 y 12 desde la av. Sullana Norte hasta la av. Country, vía auxiliar izquierda, aplicando la metodología del ICP para pavimentos articulados. Se concluyó que el pavimento intertrabado, se encuentran en un nivel de servicio regular, con un ICP promedio igual a tres, y categoría de acción, refuerzo – mantenimiento, en donde la circulación deja de ser cómoda, dado que se presentan daños de manera constante en etapas avanzadas. Las patologías que se encontraron, fueron por, abultamiento 0.78%, ahuellamiento 0.84%, depresión 0.19%, desgaste superficial 14.60%, perdida de arena 4.77%, fracturamiento 0.65%, fracturamiento de confinamientos internos 4.19%, escalamiento entre adoquines 3.60%.

2.1.3. Antecedentes Locales.

- En la tesis: **“Fallas y causas en los pavimentos articulados de las vías urbanas en la ciudad de Jaén”**. (José Alex Adriano Castillo, Jaén – Perú, 2017. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Se analizó la causa del daño, severidad del mismo y cantidad o densidad del mismo, de siete calles de la ciudad de Jaén, aplicando la metodología del ICP para pavimentos articulados. Se concluyó que el desgaste superficial y el fracturamiento tienen mayor incidencia, además determinó que las calles evaluadas se encuentran en regular estado de conservación.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Pavimento articulado.

Según la Comisión Guatemalteca de Normas (2015), un pavimento articulado es aquel pavimento que tiene como capa de rodamiento, elementos prefabricados de pequeñas dimensiones que individualmente poseen alta resistencia, denominados adoquines, que se encuentran unidos entre sí por un sellante que los retiene y ayuda a impermeabilizar la estructura. Debido a su entrelazado y a la conformación de sus caras laterales, permiten una transferencia de cargas desde el elemento que las recibe hacia varios de sus adyacentes, trabajando sólidamente y sin posibilidad de desmontaje individual.

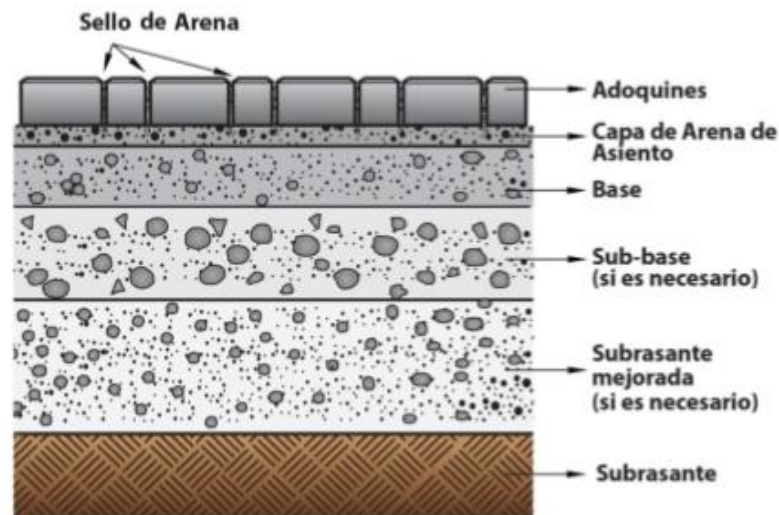


Figura N° 1: Estructuración típica de un pavimento articulado.
Fuente: (Comisión Guatemalteca de Normas, 2015)

2.2.1.1. Elementos que conforman un pavimento articulado: (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile., 2013)

- **Sub-rasante:** La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte.
- **Capas de base y/o Sub-base:** La base y sub-base tienen por objetivo disipar las tensiones que recibe desde las capas superficiales y transmitir las

uniformemente al terreno de fundación, para así controlar las deformaciones en el tiempo. Pueden estar conformadas por suelos granulares o bien estar tratadas con asfalto o cemento.

- **Capa de arena de asiento:** La capa de arena forma parte de la capa de rodadura de un pavimento articulado y tiene tres funciones: como filtro para el agua que logre penetrar por las juntas, como capa de soporte para los adoquines y como amarre entre adoquines cuando la arena penetra por las juntas. Además de permitir la consolidación producto de la compactación y paso del tráfico en los primeros años de vida del pavimento.
- **Adoquines:** Elementos prefabricados que, colocados y compactados, constituyen la capa de rodadura del pavimento y tiene la función de proporcionar una superficie de rodado resistente, durable y funcional, que permite transmitir y disipar tensiones a las capas inferiores y además evitar o limitar las deformaciones.
- **Sello de arena:** La arena de sello, es la arena fina que debe penetrar en las juntas entre adoquines y cumple la función de proporcionar trabazón vertical y transferencia de corte debido a las cargas.
- **Bordes de Confinamiento:** Cumple la función de evitar desplazamientos de los adoquines, aberturas excesivas de la juntas ó pérdidas de trabazón entre ellos debido a las fuerzas del tráfico. Existen dos tipos de confinamiento: externos e internos.
 - ✓ **Confinamiento externo:** Rodea el pavimento, pueden ser: el cordón de un andén, un bordillo contra una zona verde o un cordón, a ras, contra otro tipo de pavimento.
 - ✓ **Confinamiento interno:** Rodea las estructuras que se encuentran dentro del pavimento, pueden ser: sumideros, camaras de inspeccion, cunetas, etc.

2.2.2. Causas del origen de fallas en pavimentos articulados.

Según Solminihac (2005), durante la vida de servicio de un pavimento, causas de diverso origen afectan la condición de la superficie de rodamiento, lo cual compromete su función de ofrecer a los usuarios la posibilidad de un rodaje seguro, cómodo y económico. Entre las causas de falla de un pavimento se pueden mencionar:

- Pavimento cercano a cumplir su vida de diseño. Los ejes equivalentes acumulados han alcanzado los límites considerados en el diseño original.
- Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como tal como en la calidad de los materiales empleados. Aun estando bien diseñado un pavimento la mala calidad de la construcción puede minorar substancialmente la capacidad estructural de un pavimento.
- Diseño deficiente (errores en la estimación del tránsito o en la valoración de las propiedades de los materiales empleados).
- Factores climáticos imprevistos (lluvias extraordinarias).
- Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.
- Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos. Aun estando bien diseñado y construido un pavimento, la inadecuada conservación de la estructura y sistema de drenajes del pavimento, pueden provocar el deterioro acelerado de este.

El Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2013) menciona que: En los pavimentos articulados, los deterioros al igual que en todo tipo de pavimento, corresponden a la respuesta del pavimento ante la variabilidad de solicitaciones de tráfico, clima, de los materiales y de los métodos constructivos.

Por ejemplo, las deformaciones permanentes se atribuyen al efecto del tráfico acumulado, combinado eventualmente con un diseño estructural deficiente, con materiales de base y sub base inadecuados, una cama de arena con alto contenido de finos o granulometrías discontinuas y la presencia de suelos compresibles.

Una falla común que se manifiesta en este tipo de pavimentos es la denominada “Huella de elefante” que se refiere específicamente a hundimientos con forma aproximadamente circular de unos pocos cm de diámetro. Pueden ocurrir en sectores en donde además existen localmente materiales débiles o debilitados por falta de compactación homogénea, presencia de agua, y materiales de base y sub base inadecuados.

Los desplazamientos eventualmente pueden deberse a efectos térmicos cuando el pavimento vecino es de concreto y no cuente con juntas de dilatación. Se ven favorecidos por la aplicación de fuerzas horizontales tales como frenados y giros, que son comunes en intersecciones de calles y pasajes, y en zonas de curvas cerradas.

Cuando se produce la aparición de partículas de arena alrededor y sobre los adoquines, es posible que por las juntas de adoquines se expulse el agua por las cargas de tráfico, con lo cual se desprende progresivamente la arena, limitando la trabazón y favoreciendo la degradación progresiva de la cama de arena.

Los levantamientos localizados en el pavimento articulado se atribuyen al efecto del hinchamiento de la base y sub base. Generalmente se presentan cuando la sub rasante está compuesta por suelos expansivos, acompañados de bases y sub bases con una fracción elevada de material arcilloso.

El desprendimiento de piezas completas o trozos de adoquines, generalmente se ve acompañado de fracturamiento, ahuellamiento y desplazamientos horizontales. De hecho, existe evidencia de desprendimientos masivos de adoquines, que en general son raros y se deben a la conjunción de falta de adherencia entre el adoquín y su base y a la aplicación de fuerzas como las producidas por escorrentías superficiales.

El desgaste superficial en los adoquines, ocurre más frecuentemente cuando se utilizan agregados sintéticos o de escorias para su fabricación, agregados que contienen impurezas que en contacto con el ambiente se degradan rápidamente.

2.2.3. Condición de los pavimentos.

La condición de los pavimentos representa el nivel de degradación como resultado del proceso de deterioro. Según Solminihac (2005), para “diagnosticar” la condición de un pavimento y en consecuencia definir las acciones que conlleven a su mantenimiento y/o rehabilitación, es necesario realizar un amplio trabajo el cual contempla además del reconocimiento de las fallas existentes, la recopilación de información disponible, tránsito (tipo y cantidad) que utiliza la vía, espesores y calidad de las capas que conforman la estructura de pavimento, tipo de suelo de fundación o sub-rasante,

historial de trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación previamente realizados, estructuras de drenaje (tipo, ubicación, condición), aspectos climáticos, topografía, etc.

Por ejemplo, información como los datos de construcción del pavimento pueden explicar el origen de los deterioros, ya que estos datos incluyen tanto información de la calidad de los materiales de construcción como de la forma y calidad con que se ejecutó la obra.

2.2.4. Estudio de tráfico.

El tránsito es una de las variables más determinantes y/o importantes en el diseño de una estructura de pavimento o una vía. Como parte de los resultados generados del análisis de este estudio, al establecer el volumen de vehículos que se movilizan y su distribución por tipo de vehículo, es posible determinar la carga que debe soportar la estructura de pavimento durante su periodo de diseño.

En un pavimento existente, este estudio constituye el punto de partida para el conocimiento del comportamiento de un pavimento, puesto que el tránsito incide sobre la estructura del pavimento de diferentes maneras, por lo tanto, se requiere conocer aspectos como el volumen y composición de tránsito. Estos datos son necesarios principalmente para evaluar el deterioro del pavimento y algunos elementos complementarios, ya que con estos datos se deben ajustar las hipótesis hechas al construir el pavimento y se pueden comparar los deterioros reales con los proyectados, de modo que se tenga una idea más clara del comportamiento de la estructura. (Solminihaç, 2005).

2.2.5. Estudio de suelos.

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura de un pavimento.

Para la obtención de la información geotécnica básica de las propiedades del suelo, deben efectuarse ensayos de campo y laboratorio que determinen su distribución y propiedades físicas. Una investigación de suelos debe comprender:

- Determinación del perfil del suelo: La cual consiste en ejecutar calicatas de exploración en el terreno, con el objeto de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos del suelo, la forma como estos están dispuestos en capas y la determinación de aguas freáticas. Para la ubicación, profundidad y número de las calicatas, la Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos recomienda lo siguiente:
 - ✓ Los puntos de investigación se ubicarán preferentemente en los cruces de vías, pudiendo emplearse puntos intermedios, que permitan establecer la estratigrafía a lo largo de la vía.
 - ✓ La profundidad mínima de investigación será de 1,50 m por debajo de la cota de rasante final de la vía.
 - ✓ El número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía según se indica en la Tabla N° 1:

Tabla N° 1: Número mínimo de puntos de investigación.

Tipo de vía	Número mínimo de puntos de investigación	Área (m2)
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág. 14)

- Toma de muestras de las diferentes capas de suelos: en cada calicata deberá tomarse muestras representativas de las diferentes capas encontradas que servirán para determinar sus propiedades y clasificación. Para obtención del CBR de la subrasante, la Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos recomienda lo siguiente:

- ✓ Se determinará un (1) CBR por cada 5 puntos de investigación o menos según lo indicado en la Tabla N° 1 y por lo menos un (1) CBR por cada tipo de suelo de sub-rasante.
- ✓ Se podrán realizar ensayos in situ, como el CBR en el terreno y el ensayo mediante Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC).

En general, las muestras obtenidas sirven para determinar las propiedades y clasificación del material extraído valiéndose de los siguientes ensayos:

- ✓ Granulometría.
- ✓ Límites de consistencia.
- ✓ Humedad natural.
- ✓ Clasificación del suelo.
- ✓ Ensayos de CBR: Referido al 95 % de la MDS (Máxima densidad seca).

2.2.5.1. Categorías de la Subrasante.

Según el Manual de Carreteras - Sección de Suelos y Pavimentos (2013), definido el valor CBR de diseño de la subrasante, se debe clasificar a que categoría de subrasante pertenece el tramo en estudio, según lo siguiente:

Tabla N° 2: Categorías de Sub rasante.

Categorías de la Subrasante	CBR
Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
Sub rasante Pobre	CBR ≥ 3% a CBR <6%
Sub rasante Regular	CBR ≥ 6% a CBR <10%
Sub rasante Buena	CBR ≥ 10% a CBR <20%
Sub rasante Muy buena	CBR ≥ 20% a CBR <30%
Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual de carreteras - Sección: Suelos y Pavimentos, 2013 (pág. 40)

2.2.5.2. Materiales aptos para Subrasante.

La subrasante es la capa sobre la cual se soporta o cimienta la estructura del pavimento. Esta capa debe soportar en última instancia las cargas producidas por el tránsito, presentar un comportamiento adecuado ante la acción del medio ambiente y suministrar apoyo uniforme a la estructura del pavimento. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

Según el Manual de Carreteras - Sección de Suelos y Pavimentos (2013), se consideran como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $\text{CBR} \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada) o se presenten zonas húmedas locales o áreas blandas, se debe proceder con la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, de acuerdo a la naturaleza del suelo, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.

Así mismo, cuando se tenga una capa de subrasante arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material separador de 10 cm de espesor como mínimo o un geosintético.

El nivel superior de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante excelente - muy buena ($\text{CBR} \geq 30\%$); a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena - regular ($6\% \leq \text{CBR} < 20\%$); a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre ($3\% \leq \text{CBR} < 6\%$); y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada ($\text{CBR} < 3\%$). En caso necesario, se colocarán sub drenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

El manual recomienda además que, en zonas sobre los 4,000 msnm, se analice la acción de los friajes o las heladas en los suelos (materia de otro estudio de investigación). Debido a que, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento.

2.2.6. Evaluación de Pavimentos.

La evaluación de pavimentos permite conocer el estado situacional de la estructura y establecer medidas correctivas para cumplir objetivos de serviciabilidad.

2.2.6.1. Evaluación Superficial de Pavimentos.

Según el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2013), respecto a la evaluación superficial de pavimentos articulados, existen dos métodos conocidos, que son sencillos de aplicar y no requieren equipos experimentados solamente de la inspección visual.

- Método PCI (Pavement Condition Index), adaptación del método PCI (ASTM, 2007) utilizado por el sistema PAVER.
- Método ICP (Índice de Condición de Pavimentos), desarrollado en Colombia.

Según González, Soengas, & Botas (2002), la inspección visual es una de las herramientas más importantes en la rehabilitación de pavimentos, y forma parte esencial de toda la investigación. La inspección visual se realiza generalmente en dos etapas, una inicial y otra detallada.

Con la inspección visual inicial se pretende obtener una inspección general del proyecto. Esta tarea se realiza sobre un vehículo conduciendo a baja velocidad abarcando toda la longitud de la vía.

Por otro lado, la inspección visual detallada consiste en inspeccionar la vía caminando sobre ella y tomando notas detalladas de las fallas encontradas en la superficie y se anotan también otras observaciones adicionales que se consideran necesarias como; estado del drenaje (conformación de cunetas, estado de banquetas, etc.), aspectos geométricos (pendientes, curvaturas, terraplenes, etc.), carril más deteriorado, situación de accesos, la existencia o no de cordones cunetas o situación de los desagües (zanjas, entubamientos).

Los diferentes modos y tipos de falla se describen en función de su severidad, frecuencia y clase, de esta forma se tendrá una herramienta importante a la hora de fijar la estrategia de rehabilitación.

2.2.6.2. Evaluación Estructural de Pavimentos.

Según Guillermo Thenoux Z. y Rodrigo Gaete (2011), la evaluación estructural de pavimentos es una técnica que proporciona un conocimiento detallado del estado de los pavimentos. La evaluación estructural del pavimento, tiene por objeto la cuantificación de la capacidad estructural remanente del pavimento. Esta etapa es necesaria principalmente para establecer y cuantificar las necesidades de mantenimiento o rehabilitación de una vía.

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los Métodos Destructivos y los Métodos No Destructivo. La diferencia entre ellos depende normalmente de la alteración física de los materiales, ya que la primera tiene que ver con la investigación forense de las causas de los deterioros, lo cual implica muchas veces desmontar el pavimento y levantar las capas inferiores para su evaluación, en cambio los métodos no destructivos se refiere a las mediciones de la respuesta de una estructura de pavimento a una fuerza externa o transmisión de energía, donde la estructura del pavimento no es alterada por las mediciones y tales mediciones pueden ser repetidas tantas veces como sea necesario.

A. Métodos no Destructivos.

Estos se pueden llevar a cabo mediante medidas de las deflexiones que son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión deformada producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades “in situ” del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura. El sistema quizás más difundido de medición de deflexiones es mediante el empleo de la Viga Benkelman. Este dispositivo se lo utiliza para realizar mediciones en sectores en los que se observan fallas visibles y en los que no se observan fallas, de esta forma es posible acotar las propiedades actuales del pavimento “in situ”, e integrar sus resultados para una interpretación global.

Otro equipo con el que se pueden realizar mediciones es con un deflectómetro de Impacto. Este es un método no destructivo, que sirve para la evaluación estructural de pavimentos y conocimiento detallado de su estado. Esta técnica es

de alto rendimiento, sin mayores interferencias al tránsito de las vías y además es utilizado de forma rápida y precisa.

Así mismo se pueden realizar evaluaciones empíricas, sin embargo, este método de evaluación no constituye en sí un ensayo, corresponde más bien a una evaluación la cual está basada en relacionar directamente la pérdida de capacidad estructural del pavimento con las solicitaciones de tránsito reales acumuladas. Este método no es recomendado por la incertidumbre de la predicción del tránsito acumulado, y porque no considera el efecto del agrietamiento existente.

B. Métodos Destructivos.

Aunque la condición de los pavimentos se puede evaluar a través de mediciones de las irregularidades de la superficie o el registro de los defectos en el pavimento, en algunas ocasiones es necesario remover partes de la estructura del pavimento para determinar donde ocurren las fallas y por qué. El término “destructivo” se aplica a estos métodos de evaluación porque la estructura original del pavimento completo se destruye en un sitio determinado.

Las técnicas usadas dependen del tipo de información deseada, pero generalmente involucran la realización de cortes en cada capa del pavimento y la obtención de muestras para pruebas posteriores. Frecuentemente se excavan calicatas y examinan puntos problemáticos aislados para determinar la causa del problema en particular y tomar las medidas que permitan corregir la situación.

Por otro lado, se pueden efectuar ensayos mediante perforaciones con la ayuda de equipos de calado, barrenos, saca muestras, etc. Esta metodología, en comparación con las calicatas es más sencilla, menos costosa, más rápida y provoca menores interrupciones en el tránsito. Como desventaja, no se puede realizar determinaciones de densidad “in situ” por cuestiones de espacio. Solo puede registrar potencia de cada capa.

2.2.7. Método de evaluación superficial en pavimentos articulados (ICP).

El método de evaluación de pavimentos articulados (ICP), fue desarrollado en Colombia por Higuera Sandoval y Pacheco Merchán (2010). El objetivo de este estudio fue desarrollar un Índice de Condición de Pavimentos (ICP) para pavimentos articulados construidos con adoquines de concreto o ladrillo, para la evaluación de la condición funcional y estructural de una sección de pavimento articulado, y para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento.

El método establece un catálogo de deterioros clasificados en deformaciones, desprendimientos, desplazamientos, fracturamientos y otros deterioros, estableciendo un catálogo que describe tipo de deterioro y unidad de medida, posibles causas, esquemas para identificación en terreno, nivel de severidad y técnicas de reparación.

A partir de la inspección visual, se establece dos Índices de Condición Estructural (ICE) y Funcional (ICF) los cuales se resumen en una Tabla de doble entrada para calcular el ICP, la cual se muestra a continuación:

Tabla N° 3: Matriz para el cálculo del ICP.

Calificación del ICP		Rangos del ICF				
		86-100	71-85	41-70	21-40	0-20
Rangos del ICE	86-100	5	4	4	3	2
	71-85	4	4	3	3	2
	41-70	4	3	3	2	1
	21-40	3	3	2	2	1
	0-20	2	2	1	1	1

Fuente: (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010, pág. 89)

El cálculo del ICE e ICF se determinan en base al factor de influencia por clase de deterioro y a una penalización por área afectada. Los factores de penalización dependen del tipo de deterioro, de la severidad del deterioro y de la superficie afectada.

Tabla N° 4: Tipo y factor de influencia por clase.

Clase	Tipo de deterioro	Afecta parametro		Influencia por clase, FC	
		Estructural	Funcional	Estructural	Funcional
Deformaciones	Abultamiento	U	U	48	48
	Ahuellamiento	U	U		
	Depresiones	U	U		
Desprendimientos	Desgaste superficial		U	6	9
	Perdida de arena	U	U		
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	U	U	10	10
	Desplazamiento de juntas		U		
Fracturamientos	Fracturamiento	U		28	10
	Fracturamiento de confinamientos externos	U	U		
	Fracturamiento de confinamientos internos	U	U		
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	U	U	8	23
	Escalonamiento entre adoquines y confinam.		U		
	Juntas abiertas		U		
	Vegetacion en la calzada	U	U		
Sumatoria				100	100

Fuente: (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010, pág. 87)

Tabla N° 5: Factores de penalización para el Índice de Condición Estructural (ICE)

Clase	Tipo de deterioro	Peso en su clase, PI	Nivel de severidad, FNS			% área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	Abultamiento	1,2	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Ahuellamiento	1,2	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Depresiones	1,0	1,0	1,10	1,20	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Desprendimientos	Perdida de arena	1,0	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1,0	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Fracturamientos	Fracturamiento	1,1	1,0	1,10	1,20	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Fracturamiento de confinamientos externos	1,2	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Fracturamiento de confinamientos internos	1,0	1,0	1,10	1,20	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Otros deterioros	Vegetacion en la calzada	1,0	0,8	1,00	1,20	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00

Fuente: (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010, pág. 88)

Tabla N° 6: Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional (ICF)

Clase	Tipo de deterioro	Peso en su clase, PI	Nivel de severidad, FNS			% área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	Abultamiento	1,2	1,0	1,25	1,50	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Ahuellamiento	1,2	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Depresiones	1,0	1,0	1,20	1,40	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Desprendimientos	Desgaste superficial	1,1		1,20	1,40	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Perdida de arena	1,0	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1,0	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Desplazamiento de juntas	1,0	1,0	1,10	1,20	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	1,2	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Fracturamiento de confinamientos internos	1,0	1,0	1,10	1,20	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	1,2	1,0	1,25	1,50	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos	1,1	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Juntas abiertas	1,0	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00
	Vegetación en la calzada	1,1	1,0	1,15	1,30	0,00	0,50	0,60	0,76	1,00

Fuente: (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010, pág. 89)

2.2.7.1. Condición del Pavimento articulado.

El ICP califica la condición integral del pavimento en base a una escala que varía desde 1 para una condición muy mala hasta 5 para una condición muy buena. A continuación, se muestran los puntos para la calificación del ICP con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla N° 7: Nivel de servicio y categorías de acción del ICP.

Calificación ICP	Nivel de servicio	Categoría de acción	Descripción
5	Muy bueno	Mantenimiento rutinario	Pavimento en condición muy buena. El nivel de comodidad y seguridad percibido por los usuarios es satisfactorio. Ocasionalmente se presentan pequeños daños que no afectan significativamente la circulación y pueden ser evitados o corregidos en el mantenimiento rutinario.
4	Bueno	Mantenimiento rutinario y recurrente	Pavimento en condición buena, la circulación es cómoda. Se presentan daños localizados en etapa de iniciación.
3	Regular	Refuerzo-mantenimiento rutinario	Pavimento en estado regular, en donde la circulación deja de ser cómoda. Se presentan daños de manera constantemente en etapas avanzadas.
2	Malo	Rehabilitación	Pavimento en condición mala, la circulación es muy incómoda. Se presentan daños en etapas muy desarrolladas.
1	Muy malo	Reconstrucción	Pavimento en condición muy mala, la vía se vuelve intransitable. Los deterioros están muy desarrollados y son irreversibles. El pavimento está totalmente degradado.

Fuente: (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010, pág. 90)

2.2.7.2. Tipos de deterioros en Pavimentos Articulados.

Este metodo considera catorce (14) tipos de deterioros clasificados de acuerdo a la tabla N° 8. La descripcion de cada una de los deterioros se muestra en el Anexo N°1.

Tabla N° 8: Clasificación general de los deterioros de pavimentos articulados.

Clase	Tipo de deterioro
Deformaciones	Abultamiento Ahuellamiento Depresiones
Desprendimientos	Desgaste superficial Perdida de arena
Desplazamientos	Desplazamiento de borde Desplazamiento de juntas
Fracturamientos	Fracturamiento Fracturamiento de confinamientos externos Fracturamiento de confinamientos internos
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines Escalonamiento entre adoquines y confinamientos Juntas abiertas Vegetacion en la calzada

Fuente: (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010, pág. 78)

2.2.8. Método de evaluación destructiva mediante excavación de calicatas.

Según Gonzalez, Soengas, & Botas (2002), las calicatas nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de ésta y realizar ensayos de densidad “in situ” o penetraciones con el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC). Estas determinaciones nos permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales componentes, con los ensayos de densidad “in situ” de las capas granulares se pueden detectar deficiencias en la compactación y, con el PDC es posible estimar los valores del CBR “in situ” de las capas de suelo de la subrasante y bases o sub-bases granulares.

Las calicatas facilitan, además, la toma de muestras en cantidad de los materiales existentes, para su posterior estudio en el laboratorio, de cuyos resultados se puede establecer el uso más efectivo al momento de la rehabilitación. Suministran información adicional como:

- Espesores de las capas conformantes.
- Las posibles causas del deterioro de la capa (deformaciones)
- Densidad “in situ” de capas granulares.
- La capacidad de soporte del suelo de fundación.

Por lo general se excavan en la trayectoria externa de las ruedas en un carril de tráfico, pero esto no es excluyente, pudiendo ser realizadas en otros sitios en los cuales el análisis de la estructura se considere necesario, (ejemplo sectores con mucho deterioro o fallas significativas de importancia). El material excavado de cada capa se amontona por separado en la cercanía de la calicata, a medida que se avanza con la excavación se realizan las determinaciones de densidad en cada capa, para la realización de este ensayo es imprescindible procurar deteriorar las capas debajo de la que se está removiendo. Terminada la excavación se procede a registrar el perfil de la estructura y se toman muestras para su identificación.

Según el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2013), una ventaja de los pavimentos articulados por sobre otro tipo de pavimentos, es justamente su característica de fácil montaje y desmontaje, lo cual permite en el caso de una evaluación destructiva, el reponer totalmente el pavimento sin mayor costo asociado.

2.2.9. Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC)

Según Acurio (2015), este ensayo fue desarrollado en Sudáfrica e introducido al Perú en los años 80. Este ensayo constituye una herramienta económica y de fácil aplicación para la determinación in situ de la capacidad de soporte del suelo. Es un complemento valioso a la información de descripción visual y a los ensayos de laboratorio. El principio del ensayo es que existe una correlación directa entre la fuerza de un suelo y su resistencia a la penetración de objetos sólidos, tales como conos.

Este ensayo tiene como limitación principal la alta variabilidad de sus resultados, puesto que, se pueden ver afectados en gran medida por la presencia de fragmentos de roca, gravas o bolones que elevaran el número de golpes de manera significativa, de igual manera su empleo en suelos cohesivos se debe hacer solamente de forma referencial.

2.2.9.1. Equipo de Penetración Dinámica de Cono (PDC).

El equipo está constituido por una regla de medición calibrada en centímetros y pulgadas, una varilla de acero de 16 mm (5/8") de diámetro y 95 cm de largo, con una punta cónica con ángulo de 60° y diámetro de 20 mm, un martillo de 8 kg el cual es accionado desde una altura fija de 575 mm y un yunque de ensamble y una manija. En la figura N° 2 se muestra el equipo de PDC.

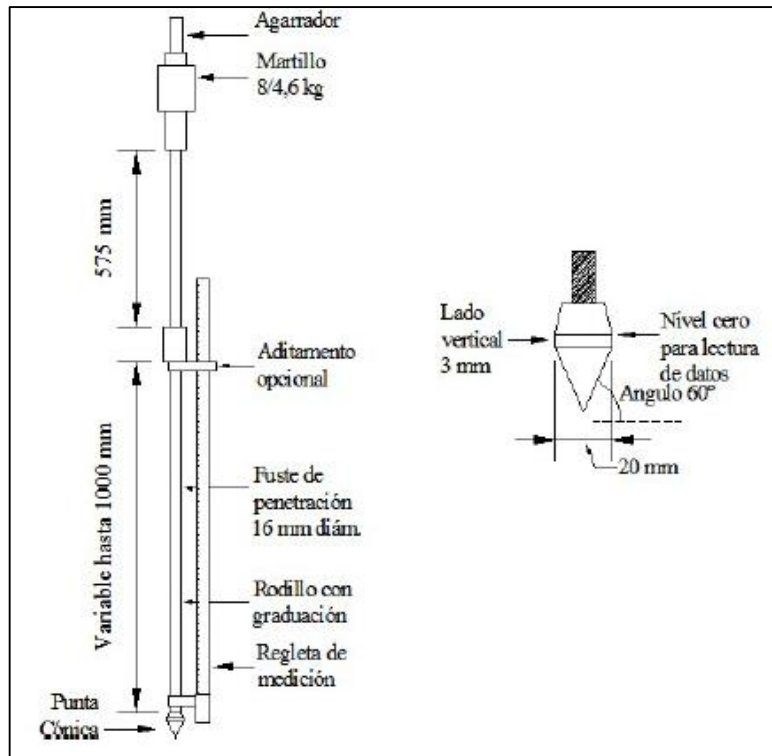


Figura N° 2: Esquema del Equipo PDC.
Fuente: A.S.T.M D-6951-03

2.2.9.2. Especificaciones del ensayo PDC.

Este ensayo consiste en poner la punta del PDC dentro del suelo, posteriormente se levanta el martillo de 8 kilogramos, dejándolo caer libremente hasta golpear el yunque; la penetración total es registrada en milímetros por golpe, posteriormente este valor se introduce en correlaciones establecidas con el fin de relacionar el CBR in situ del material.

2.2.9.3. Curva PDC.

Gráfica que representa la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados para los respectivos datos tal como se muestra en la Figura N° 3. La pendiente de los tramos rectos de la curva presentada en el ejemplo de dicha figura se denomina índice de penetración (PDC). En este tipo de curvas también se puede determinar el espesor de capas.

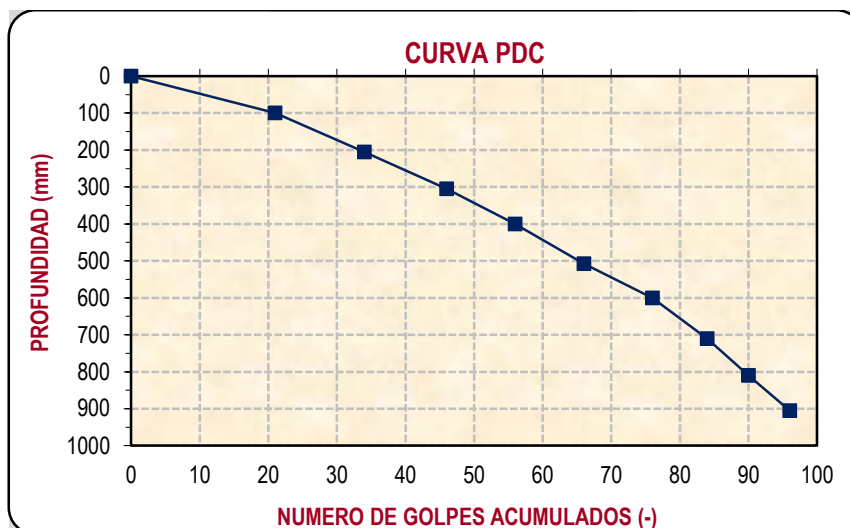


Figura N° 3: Ejemplo típico de resultado de un ensayo de PDC.
Fuente: Sandy M. Díaz.

2.2.10. Estudio de los materiales de capas extraídos con la excavación de calicatas.

Las muestras remitidas al laboratorio, se someten a una serie de ensayos destinados a establecer la calidad de los materiales en su conjunto como en forma individual, utilizando ensayos típicos como:

- Contenido de Humedad.
- Análisis Granulométrico.
- Limite líquido y Límite plástico.
- Ensayo Proctor.
- Capacidad soporte (CBR) y Potencial expansivo.
- Propiedades mecánicas de resistencia en capa de rodadura.

Cabe destacar que, cuando se procede a obtener en el laboratorio la respuesta ideal de los materiales intervinientes, a través de los ensayos que evalúan la respuesta deseable de los materiales, es indispensable contar con los antecedentes de obra y los controles realizados durante la etapa de construcción, pero esta situación, como se sabe, no siempre es posible. Son entonces los valores obtenidos en el laboratorio y las determinaciones in situ los parámetros para juzgar y entender el comportamiento de una estructura que ha fallado.

(Según Gonzalez, Soengas, & Botas, 2002).

2.2.11. Calidad de los materiales empleados en pavimentos articulados.

A continuación, se deja establecido el listado de las características que deben cumplir todos los elementos que intervienen en el pavimento.

Referencias: Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos - Reglamento Nacional de Edificaciones.

2.2.11.1. Adoquín de concreto.

El adoquín a usarse, será determinado según el tipo de tráfico, cuya resistencia a los 28 días deberá cumplir los requisitos establecidos en la tabla N° 10.

Tabla N° 9: Adoquines - Requisitos.

(NTP 399.611)

Tipo	Uso
I	Adoquines para pavimentos de uso peatonal.
II	Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero.
III	Adoquines para tránsito vehicular pesado, patios industriales y de contenedores.

Fuente: (Norma C.E 0.10, 2010, pág.22)

Tabla N° 10: Resistencia a la compresión.

Tipo	Espesor (mm)	Promedio* (MPa)	Mínimo* (MPa)
I	40	31	28
	60	31	28
II	60	41	37
	80	37	33
III	100	35	32
	≥80	55	50

*Valores correspondientes a una muestra de tres unidades.

Fuente: (Norma C.E 0.10, 2010, pág.23)

2.2.11.2. Capa de arena.

Se recomienda no usar arena proveniente del triturado, ni polvo de piedra. Deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 1% (en peso) de limo, arcilla o de ambos que pudiera interferir con el drenaje del agua proveniente de la superficie. Deberá tener la gradación mostrada en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Granulometría de arena de cama.

Malla	% Pasa
9,5 mm (3/8")	100
4,75 mm (N°4)	95-100
2,36 mm (N°8)	85-100
1,18 mm (N°16)	50-85
600 µm (N° 30)	25-60
300 µm (N° 50)	10-30
150 µm (N° 100)	02-10
75 µm (N° 200)	00-01

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág. 22)

Los espesores que se manejen para la cama de arena, deberán estar comprendidos entre de 3 y 5cm, luego de vibrada y compactada.

2.2.11.3. Arena de sello.

La arena de sello deberá tener la graduación mostrada en la Tabla N° 12. Ella puede ser ligeramente más fina que la cama de arena.

Tabla N° 12: Granulometría de la arena de sello.

Malla	% Pasa
4,75 mm (N°4)	100
2,36 mm (N°8)	95-100
1,18 mm (N°16)	70-100
600 µm (N° 30)	40-75
300 µm (N° 50)	20-40
150 µm (N° 100)	10-25
75 µm (N° 200)	00-10

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág. 22)

2.2.11.4. Base granular.

Los requisitos de calidad que el material granular para la capa de base deberá cumplir la gradación mostrada en la Tabla N° 13:

Tabla N° 13: Requerimientos Granulométricos para Base Granular.

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación	Gradación	Gradación	Gradación
	A*	B	C	D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75-95	100	100
9,5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm (N° 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm (N° 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
4,25 μ m (N° 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 μ m (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

*La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág.17)

Cabe destacar que, una vez extendido el material en obra se procederá a su humectación adecuada para ser compactado. La densidad alcanzada tras la compactación será superior al 100% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado.

El material de Base Granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que a continuación se indican:

Tabla N° 14: Valor Relativo de Soporte, CBR.

Vías Locales y Colectoras	Mínimo 80%
Vías Arteriales y Expresas	Mínimo 100%

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág.18)

Tabla N° 15: Requerimiento de Agregado Grueso de Base Granular.

Ensayo	Norma	Requerimientos Altitud	
		< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E210-2000	80% mínimo	80% mínimo
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E210-2000	40% mínimo	50% mínimo
Abrasión Los Ángeles	NTP 400.019:2002	40% máximo	40% máximo
Sales solubles	NTP 339.152:2002	0.5 % máximo	0.5 % máximo
Perdida con Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	---	12% máximo
Perdida con Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	---	18% máximo

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág.18)

Tabla N° 16: Requerimiento de Agregado Fino de Base Granular.

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Índice Plástico	NTP 339.129:1999	4% máximo	2% máximo
Equivalente de arena	NTP 339.146:2000	35% mínimo	45% mínimo
Sales solubles	NTP 339.152:2002	0.5% máximo	0.5% máximo
Índice de durabilidad	MTC E214-2000	35% mínimo	35% mínimo

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág.18)

2.2.11.5. Bases tratadas con asfalto y con cemento.

Si se usa una base tratada con asfalto, el material deberá conformar las especificaciones de un concreto asfáltico de gradación densa, bien compactado, es decir una estabilidad Marshall de por lo menos 1800 libras (8000 N). En caso de que el material de base sea tratado con cemento, esta deberá tener una resistencia a la compresión no confinada a los 7 días de por lo menos 650 psi (4,5 MPa).

2.2.11.6. Sub base granular.

Los materiales de sub-bases deberán ser pétreos o granulares y de características uniformes, libres de terrones de arcilla, materia orgánica u otros elementos objetables. Para soluciones urbanas, las sub-bases granulares deberán cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla N°17 y 18.

Tabla N° 17: Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación	Gradación	Gradación	Gradación
	A*	B	C	D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75-95	100	100
9,5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm (N° 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm (N° 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
4,25 μm (N° 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 μm (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

*La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág.16)

Tabla N° 18: Requerimientos de calidad para Sub-base Granular.

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnm	≥ 3000msnm
Abrasión Los Ángeles	NTP 400.019:2002	50 % máximo	50 % máximo
CBR de laboratorio	NTP 339.145:1999	30-40 % mínimo*	30-40 % mínimo*
Limite Liquido	NTP 339.129:1999	25 % máximo	25 % máximo
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1999	6 % máximo	4 % máximo
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	25 % máximo	35 % máximo
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	1 % máximo	1 % máximo

*30% para pavimentos rígidos y de adoquines, 40% para pavimento flexible.

Fuente: (Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, pág. 17)

Cabe destacar que una vez extendido el material se humedecerá de forma adecuada para proceder a su compactación, que deberá alcanzar el 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor modificado.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos, el material deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

2.2.12. Diseño estructural de pavimentos.

Según Menéndez Acurio (2009), el diseño estructural de pavimentos es: “ Establecer espesores y rigideces de los materiales para mantener la via bajo un cierto nivel de deterioro y confort”. (Pág. 9)

El diseño comprende las siguientes etapas:

- Estudio de la subrasante.
- Definición del tipo de rodadura y los componentes estructurales.
- Selección de los materiales.
- Estudio de tráfico.
- Diseño de los espesores de cada capa.

Las funciones de la estructura del pavimento diseñado son:

- Proporcionar a los usuarios circulación segura, cómoda y confortable sin demoras excesivas.

- Proporcionar a los vehiculos acceso bajo cualquier condicion de clima.
- Reducir y distribuir la carga de trafico para que esta no dañe la subrasante
- Cumplir requerimientos medioambientales y esteticos.
- Limitar el ruido y la contaminacion del aire.

De las normas para el diseño de pavimentos:

- En el Perú no existe norma obligatoria para el diseño de pavimentos, dependiendo de la entidad y el diseñador se utilizan los diverso métodos.
- Los métodos mas empleados son: AASHTO 93, Instituto del Asfalto, PCA y USACE.

Para el caso del diseño de pavimentos articulados el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (2002), incluye cuatro métodos de diseño:

- **Metodo de Maurillo Lopez de Souza:** Metodo utilizado en caminos rurales con un tipo de transito medio (menos de 750 veh/día con 20% de carga maxima), una carga por rueda 5 toneladas y un CBR de la subrasante de 5%. Diseño en funcion del valor del C.B.R y de la precipitación pluvial de la zona en donde se ubique el pavimento a construir.
- **Metodo Argentino:** Metodo desarrollado en base a experiencias del Instituto del Cemento Portland Argentino por el Ing. Juan F. García Balado, quien planteó una ecuación con el que se obtienen resultados similares a los obtenidos con el de Maurillo López de Souza. El método argentino contempla, además, la utilización de factores de equivalencia, para las diferentes capas del pavimento, en función de los tipos de materiales. Así mismo el método, considera cargas “P” con frecuencia de hasta 10^6 repeticiones. Para valores mayores, el espesor obtenido debe incrementarse de un 25 a un 35%.
- **Método del ASSHTO:** En este método, para el cálculo de los espesores, se utiliza la Guía AASHTO 1993, asumiendo que el pavimento se comporta igual que un pavimento flexible.
- **Método Británico:** Este método se acogió a las recomendaciones de John Knapton presentadas como resultado de sus investigaciones según las cuales la capacidad estructural de la capa rodadura adoquines (80 mm) y capa de arena (50 mm), debidamente sellada y compactada, equivale a la de una capa de 160 mm de concreto asfáltico compactada.

2.2.13. Evaluación económica del uso de adoquines en pavimentación.

El análisis económico del uso de adoquines necesariamente debe partir de un análisis de los costos del uso de adoquines frente a los sistemas de pavimentación tradicional. El costo de los adoquines está muy relacionado con el sitio donde se producen, el tamaño de la obra y su localización. Además hay factores específicos de cada proyecto que afectan los costos, por citar alguno, el aeropuerto de Dallas Fort-Worth, tuvieron que ser construidas por la noche por múltiples restricciones sobre la construcción, todo lo cual hizo elevar los costos. (Departamento de Promoción y Servicios Técnicos – PCR S.A., 1997).

Gracias a los menores costos de mantenimiento y conservación de los pavimentos articulados y, sobre todo, a su facilidad de reutilización, le confieren un valor real a largo plazo excelente, resultando mucho más barato que otros pavimentos. Esto es así porque en cualquier reparación de la subrasante o del pavimento, los gastos que se derivan de estas operaciones en pavimentos asfálticos y rígidos resultan ser muy elevados, tal como se muestra en la Figura N°4.

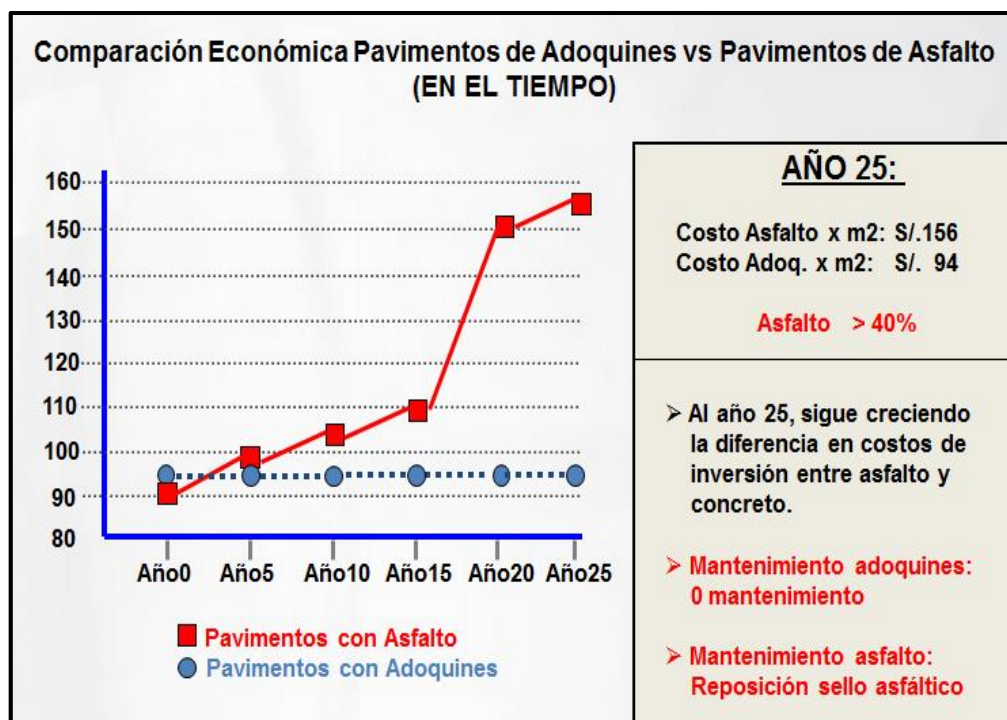


Figura N° 4: Comparación económica pavimento articulado versus pavimento de asfalto.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)

No se trata de restarle importancia a los otros sistemas de pavimentación, más bien se trata de demostrar la gran ventaja económica de su uso en general. La realización, por ejemplo, de un km diario de pavimento rígido o de asfalto terminado de una carretera de 8 m de ancho, es una obra digna de un equipo muy costoso y de una organización muy eficiente. Sin embargo, un tal ritmo de pavimentación diaria empleando adoquines prefabricados es mucho más factible, empleando equipo muy modesto, y también bajo condiciones climáticas que serían desfavorables para realizar otros tipos de pavimento.

2.2.14. Ventajas y desventajas de los pavimentos articulados.

2.2.14.1. Ventajas:

Los pavimentos articulados al igual que otro tipo de pavimentos posee ventajas que bien resulta conveniente conocer, de tal modo que se pueda comprender cabalmente porqué su uso es tan difundido a nivel mundial. Madrid Mesa (2014), describe claramente estas ventajas:

A. Ventajas debidas al proceso de construcción.

Proceso constructivo sencillo, no requiere maquinaria de alta tecnología, la labor de colocación de las piezas es fundamentalmente artesanal, por lo que no se necesita personal calificado y esto trae consigo empleo a la comunidad.



*Figura N° 5: Facilidad de instalación.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)*

B. Ventajas debidas al manejo del pavimento.

Ante una falla o necesidad de instalar o reparar las redes de servicios que van enterrados por la vía es indispensable retirar, y con esto destruir, las distintas capas del pavimento, con un pavimento articulado la capa de rodadura es recuperable. Mantenimiento simple, nunca requiere de sobre capas para mantener un buen nivel de servicio.



Figura N° 6: Material removible, reutilizable.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)

C. Ventajas debidas a su apariencia.

Diferentes formas, colores y texturas, por lo que proporcionan una gran variedad de posibilidades de diseño arquitectónico.



Figura N° 7: Mejor aspecto visual.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)

D. Ventajas relativas a la seguridad.

Se prestan para incorporar señales. A diferencia de otros pavimentos, estos tienen menor distancia de frenado, debido a su rugosidad, lo que se traduce en seguridad tanto para los peatones como para quienes se desplazan en los vehículos.



*Figura N° 8: La rugosidad permite un mejor frenado a los vehículos.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)*

E. Ventajas relativas a la durabilidad.

La calidad que se le exige a los adoquines de concreto garantiza su durabilidad, de manera que sean resistentes a la abrasión del tráfico de llantas, a la acción de la intemperie y al derrame de combustibles y aceites. Ahora bien, la estructura del pavimento puede sufrir algún deterioro después de estar en servicio por 20 o más años, con una reparación menor esta puede alcanzar una vida útil de 40 años y los adoquines estar todavía en condiciones de servir por muchos más.



*Figura N° 9: Pavimentos durables.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)*

Como se ha podido explicar, este tipo de pavimento posee múltiples ventajas, lo cual resulta en una alternativa muy viable a la hora de pavimentar. Para terminar, es necesario referimos al adoquinado del Gran Qhapac Ñan en la ciudad de Cajamarca. Si esos adoquines están ahí cumpliendo la doble función de embellecer y resistir al desgaste y al tiempo, no puede haber razones para que este antiguo, y moderno a la vez, método de pavimentación, no sea ampliamente adoptado en el Perú, donde las condiciones climáticas y abundante mano de obra, son extraordinariamente favorables.



*Figura N° 10: Gran Qhapac Ñan - Cajamarca
Fuente: Sandy M. Díaz.*

2.2.14.2. Algunas limitantes de los pavimentos articulados:

Madrid Mesa (2014) explica que:

- Si la capa de adoquines queda bien colocada, sellada y compactada no debe perder su sello y su estabilidad ante la caída de lluvias, por copiosas que estas sean; pero nunca se debe poner a trabajar un pavimento de adoquines como canal colector de aguas, que pueda llegar a soportar corrientes voluminosas y rápidas tipo "arroyo".
- Además, nunca se deben someter a la acción de un chorro de agua a presión, ya que puede ocasionar la pérdida del sello de las juntas, por lo cual no se recomienda para zonas de lavado de automóviles.
- Otro aspecto es que el tráfico sobre un pavimento articulado genera más ruido que sobre los otros tipos de pavimentos, e induce mayor vibración al vehículo; por estas razones no es aconsejable para velocidades superiores a los 80 km/hora.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Pavimento:** Un pavimento es un conjunto de capas superpuestas, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras se apoyan sobre una sub-rasante que ha de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Fonseca, 2002, pág. 1).

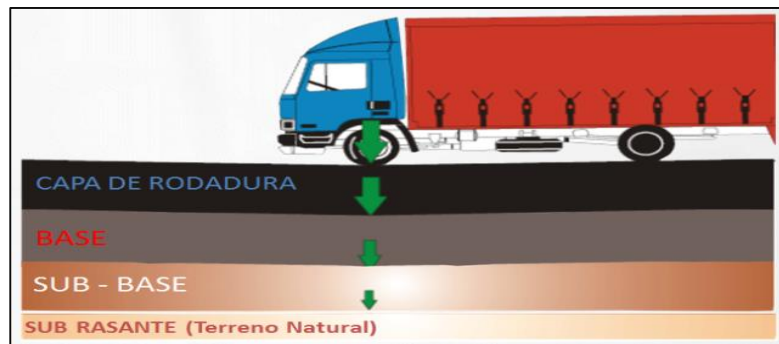


Figura N° 11: Estructura de un pavimento.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)

- **Tipos de pavimentos:**

1. **Pavimento flexible:** Formado por capa de concreto asfáltico, sin juntas y colocada sobre una base y/o una sub-base.

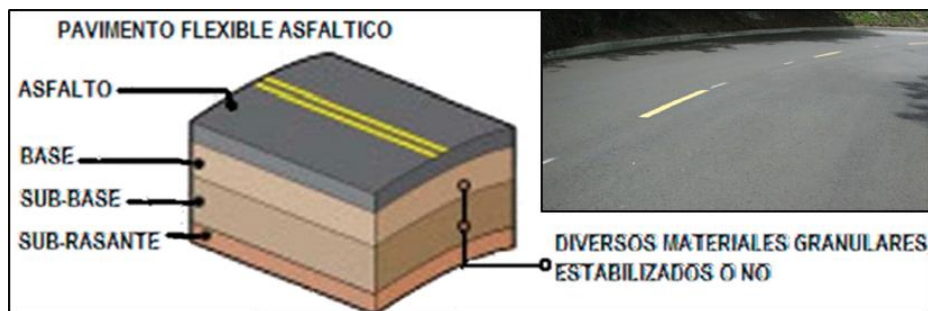


Figura N° 12: Estructura de un pavimento asfáltico.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)

2. **Pavimento rígido:** Formado por losas de concreto, separadas por juntas y colocadas sobre una base.

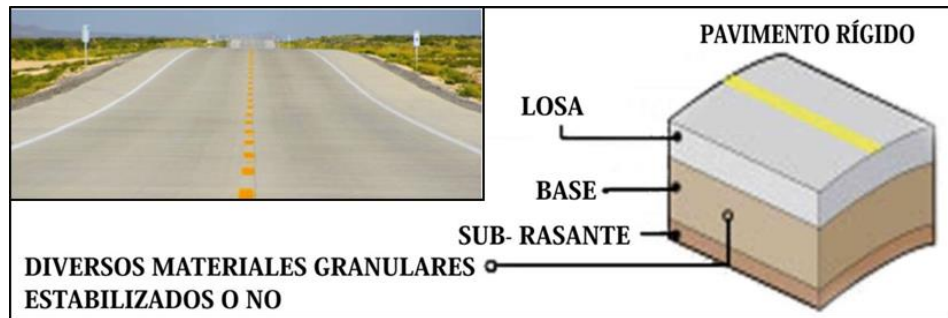


Figura N° 13: Estructura de pavimento rígido.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)

3. **Pavimento articulado:** Formado por capa de adoquines de concreto, colocados sobre una capa de arena y con sello de arena entre sus juntas.

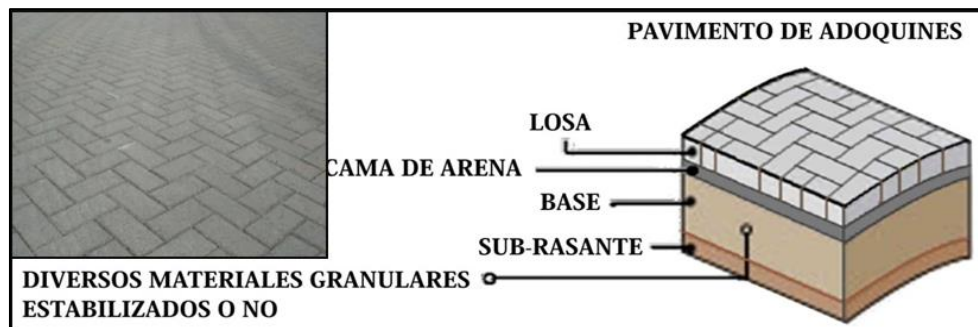


Figura N° 14: Estructura de un pavimento articulado.
Fuente: (Pacasmayo, Adoquines de concreto Pacasmayo, 2010)

- **Adoquín de concreto:** Elemento compacto de concreto, prefabricado, con la forma de prisma recto, cuyas bases pueden ser polígonas, que permiten conformar superficies completas como componente de un pavimento articulado. Los adoquines tienen formas y dimensiones muy variadas tal como se muestra en la Figura N° 15.

Los espesores más comunes de los adoquines están comprendidos normalmente entre 6 y 8 cm, llegando a 10 cm para tránsito muy pesado. En general sus dimensiones permiten que puedan ser manejados con una sola mano o por una sola persona y se usan desde hace más de 40 años por sus cualidades: Economía, fácil y rápida instalación, alta resistencia, bajo mantenimiento, variados diseños y colores, adaptación a todo tipo de terreno.

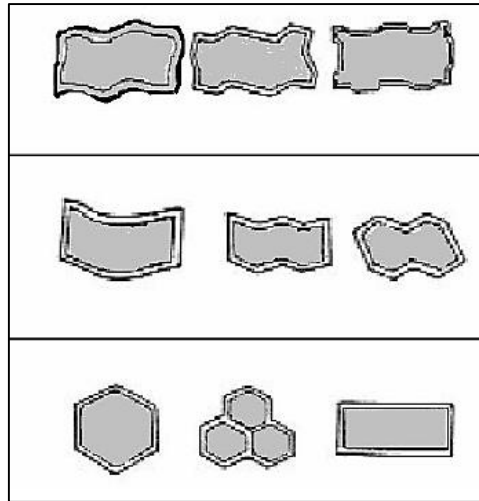


Figura N° 15: Distintas formas de los adoquines.
Fuente: (Departamento de Promoción y Servicios Técnicos – PCR S.A., 1997)

- Transferencia de cargas:** Se refiere a la distribución de tensiones hacia las capas inferiores del pavimento articulado, que se produce gracias al trabajo de todas las piezas de la capa de rodadura, aprovechando el efecto de “bóveda”, para descomponer el esfuerzo vertical en una componente horizontal, los que se suman al giro. Es decir, cada adoquín transfiere parte de la carga o empujes, impuestos por el tráfico, a los adoquines adyacentes y esos, a su vez, a los que los rodean, hasta un diámetro cercano a 60cm. Esta transferencia de cargas verticales entre ellos se logra a través del frotamiento producido por la arena, que se hace penetrar en las juntas.



Figura N° 16: Transferencia de cargas en pavimentos articulados.
Fuente: (Gordillo, 2006)

- Patron de colocacion:** Es la manera como van puestos los adoquines, unos al lado de otros. Existen varias combinaciones para colocar los pavimentos en planta, pero las más utilizadas son las que se muestran en la Figura N° 17. Otros tipos de patrones de colocación son solo recomendados para pavimentos con transito exclusivamente peatonal.

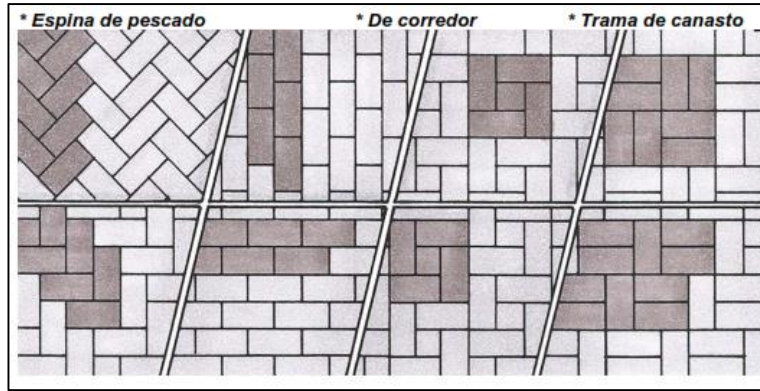


Figura N° 17: Patrones de colocación.

Fuente: (Departamento de Promoción y Servicios Técnicos – PCR S.A., 1997)

Adaptado alguno de los patrones de colocación de tipo “corredor”, es necesario que las líneas de juntas continuas sean paralelas a la dirección del tránsito para evitar que los esfuerzos originados por los frenados y virajes de los vehículos provoquen ondulaciones horizontales en las líneas de juntas transversales a aquella dirección.

En condiciones de tránsito intenso, el patrón “espina de pescado” se considera el más adecuado debido a su buen comportamiento ante las ondulaciones horizontales que se comentaron anteriormente.

- **Trabazón mecánica:** “Inhabilidad de los adoquines de moverse aisladamente de sus vecinos y es en esencia un mecanismo de disipación de tensiones”. (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile., 2013).

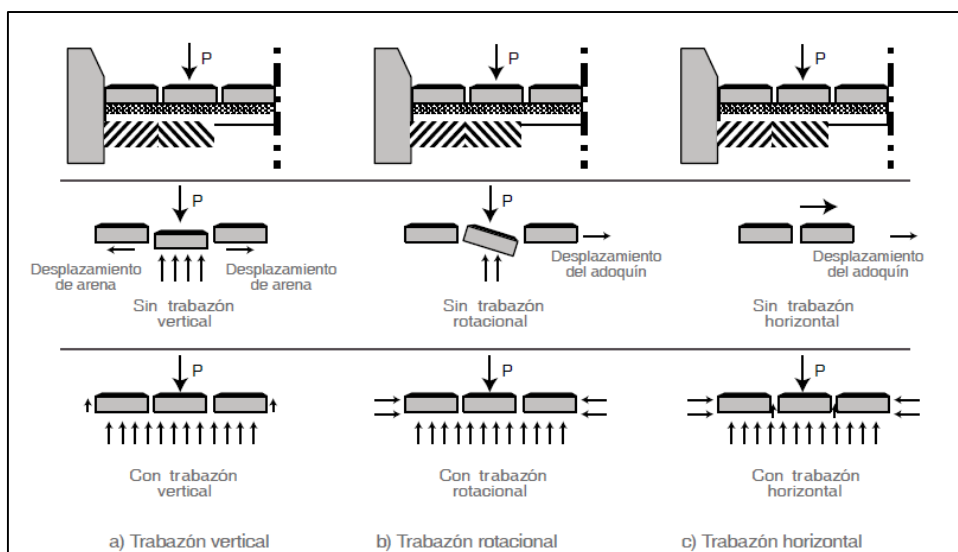


Figura N° 18: Trabazón vertical, horizontal y rotacional de un pavimento articulado.

Fuente: (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile., 2013, pág. 35)

- **Requerimientos de construcción:** (Comisión Guatemalteca de Normas, 2015)
 - ✓ **Preparación de la sub-rasante:** Cualquier capa vegetal o material indeseable es retirada, se procede a la construcción de cortes o terraplenes necesarios para la obtención del nivel de terracería. En general se procede conforme al diseño de la estructura de pavimento. La compactación de la sub-rasante se realiza con la utilización de una cisterna para el riego del agua, motoniveladora para la conformación y un compactador cuyo uso este de acuerdo con el material que será compactado.
 - ✓ **Construcción de las capas de base y/o sub-base:** El método constructivo se resume en el traslado del material en unidades de acarreo, descargado y colocado en la línea en pilas, los que son tendidos y preparados con motoniveladora, humedeciendo el material con una cisterna hasta alcanzar los niveles deseados así como la humedad óptima para compactar con un vibro compactador de rodillo, generalmente mixto, hasta obtener la mayor densidad seca, normalmente se requiere un 100 % de la densidad máxima seca obtenida con Proctor Modificado para la base y 95 % de la densidad máxima seca obtenida con Proctor Modificado para la sub-base
 - ✓ **Construcción de Confinamientos:** Construir el confinamiento antes de esparcir la capa de arena, para poder enrasarla y nivelarla, para luego colocar los adoquines dentro de una caja, cuyo fondo sea la base compactada y sus paredes las estructuras de confinamiento.
 - ✓ **Construcción de la cama de arena de asiento:** Regar la arena con la utilización de unidades de acarreo y luego extender y nivelar a mano con una pala, con el fin de obtener una cama uniforme sin compactar. No se usara para corregir irregularidades de la base, ya que puede producir ondulaciones en la superficie del pavimento. Todos los pavimentos articulados deben quedar por encima de cualquier estructura de confinamiento externo o interno, por lo que espesor final de esta capa, una vez colocados y vibrados los adoquines, debe estar comprendido entre 3 y 5 cm.

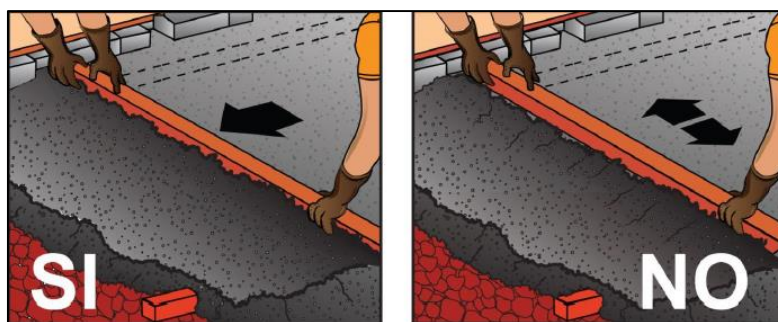


Figura N° 19: Nivelación de la cama de arena de asiento.

Fuente: (Comisión Guatemalteca de Normas, 2015, pág. 27)

- ✓ **Colocacion de adoquines:** Los adoquines deben colocarse en seco sin ningún tipo de cementante entre las juntas y aproximadamente entre 1 y 1,5 cm. Se comienza colocando los adoquines de cualquier lado, la mayoría de las veces del centro y luego el tendido se va haciendo transversalmente, nivelando uno por uno los adoquines con la ayuda de un mazo, regla y llana se trata que el adoquín quede aproximadamente 1cm. Los huecos de forma irregular entre los adoquines y los bordes de confinamiento deben rellenarse utilizando trozos de adoquín obtenidos mediante corte ó mortero de cemento portland, según sea el tamaño del hueco.



Figura N° 20: Colocación de adoquines.

Fuente: (Comisión Guatemalteca de Normas, 2015, pág. 33)

- ✓ **Compactación inicial:** Iniciar la compactación de la capa de arena bajo los adoquines y hacer que esta llene parcialmente las juntas de abajo hacia arriba, con lo cual se amarran los adoquines. Tanto la compactación inicial como la final, se debe hacer con un vibrocompactador de placa o "ranita", de tamaño corriente, teniendo cuidado de no utilizar equipos muy grandes en pavimentos con adoquines de 6 cm de espesor porque pueden fisurarlos.

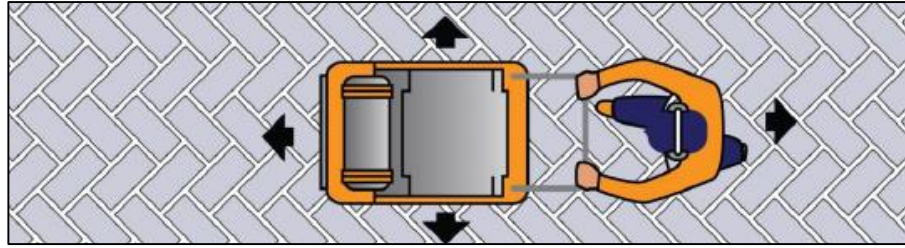


Figura N° 21: Procedimiento de Compactación inicial.
Fuente: (Comisión Guatemalteca de Normas, 2015, pág. 35)

- ✓ **Sellado de juntas:** Una vez colocados y compactados los adoquines se procede a esparcir la arena sobre los adoquines, formando una capa delgada, que no los alcance a cubrir totalmente, y se barre, con escobas o cepillos de cerdas duras, tantas veces como sea necesario para que llene la junta. Este barrido se hace alternado con la compactación final o simultáneo con ésta.



Figura N° 22: Sellado de juntas.
Fuente: (Comisión Guatemalteca de Normas, 2015, pág. 36)

- ✓ **Compactación final y limpieza:** La compactación final se hará con el mismo equipo y de la misma manera que la compactación inicial; pero con el barrido, simultáneo o alterno del sello de arena. Es muy importante que la arena no se empaste sobre los adoquines ni que forme morros que hagan hundir los adoquines al pasar la placa vibrocompactadora sobre ellas.

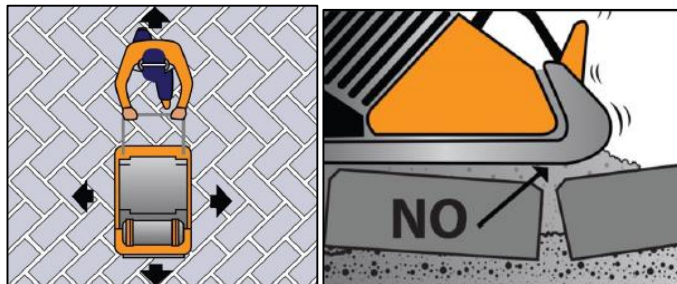


Figura N° 23: : Compactación final con barrido de arena de sello.
Fuente: (Comisión Guatemalteca de Normas, 2015, pág. 36)

- **Mantenimiento de pavimentos articulados:** Son los trabajos de mantenimiento preventivo para el buen funcionamiento de los pavimentos articulados. (Comisión Guatemalteca de Normas, 2015, pág. 38)

- ✓ **Limpieza:** El uso de ácidos, cepillos de alambre o pulidoras, no está permitido, ya que estos elementos deterioran la superficie del concreto, afectando su durabilidad y color inicial. No se debe permitir el lavado del pavimento con chorro de agua a presión, dicho método puede desalojar material dentro de las juntas. Se recomienda el uso de manguera, como para el lavado de automóviles o regado de plantas, siempre y cuando no se traten de lavar las juntas con un chorro de agua.
 - ✓ **Evitar abrasión:** Garantizar que el entorno del pavimento no genere deterioro prematuro del mismo, como cuando se expone a acción abrasiva constante y así preservar la calidad del adoquín.
 - ✓ **Cuidado de juntas:** Para que funcionen bien, la junta entre adoquines debe permanecer llena. Si se pierden más de 10 mm del sello, se debe buscar la causa de esta pérdida, corregirla y barrer arena fina y seca, hasta que la junta quede llena de nuevo. La presencia de grama en la junta no es nociva, pero es mejor retirarla con un punzón metálico y llenar luego la junta con arena.
 - ✓ **Hundimiento:** Si se hunde el pavimento por daños en redes de servicios o por zanjas mal compactadas, se deben retirar los adoquines en la zona del daño, por lo menos 40 cm a su alrededor, hacer la reparación y volver a construir la franja de pavimento. El área reparada debe quedar con el nivel arriba en 20 mm para vías vehiculares y 5 mm para peatonales en la base ya compactada para que al consolidarse la zona reparada quede al nivel del resto del pavimento.
 - ✓ **Ondulaciones:** Cuando se presenten ondulaciones en la superficie del pavimento puede ser indicio de que fue construido con una base insuficiente, de mala calidad o mal compactada. También puede indicar que el tránsito es muy alto y que el pavimento no fue diseñado ni construido para esas cargas. Se deberá investigar cual es la razón de las ondulaciones y efectuar una reparación completa.
- **Comportamiento funcional:** Habilidad del pavimento para proporcionar un buen servicio a los usuarios, con las tasas de tráfico presentes.
 - **Comportamiento estructural:** Habilidad del pavimento para soportar las cargas de tránsito impuestas sin deformarse y que posee características geotécnicas que permiten soportar la estructura de forma adecuada.
 - **Deterioro de pavimentos:** Serie de manifestaciones superficiales de la capa de rodado, haciendo que la circulación vehicular sea menos segura, confortable y que los costos de operación sean mayores.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La investigación se realizó en el Sector Morro Solar Bajo de la ciudad de Jaén exactamente en las siguientes vías:

Tabla N° 19: Coordenadas UTM de las vías evaluadas.

Nombre de Vía	Coordenadas UTM	
	Punto inicial	Punto final
Tramo I: Calle A. Vidal Cuadras (1, 2, 3 y 4)	E:743338.22 N: 9367665.65	E: 743600.72 N: 9367838.83
Tramo II: Calle H. Zevallos Cuadras (4 y 5)	E: 743629.52 N: 9368012.45	E: 743575.52 N: 9368134.34
Tramo III: Calle Los Pinos Cuadras (1, 2 y 3)	E: 743629.52 N: 9368012.45	E: 743755.05 N: 9368087.24
Tramo IV: Calle Los Robles Cuadras (1 y 2)	E: 743456.34 N: 9368196.58	E: 743348.17 N: 9368241.75
Tramo V: Calle Marañón Cuadra 17	E: 743527.12 N: 9368106.38	E: 743575.52 N: 9368134.34



*Figura N° 24: Imagen satelital de los tramos evaluados.
Fuente: Google Earth*

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Con el fin de investigar las causas que han llevado al deterioro de los pavimentos articulados en la Ciudad de Jaén, en primer lugar, se ha seleccionado 5 tramos de vías afectadas por gran cantidad de fallas de la estructura, ubicadas en el Sector Morro Solar Bajo. Se presenta a continuación el flujograma de la metodología seguida para determinar las causas de deterioro:

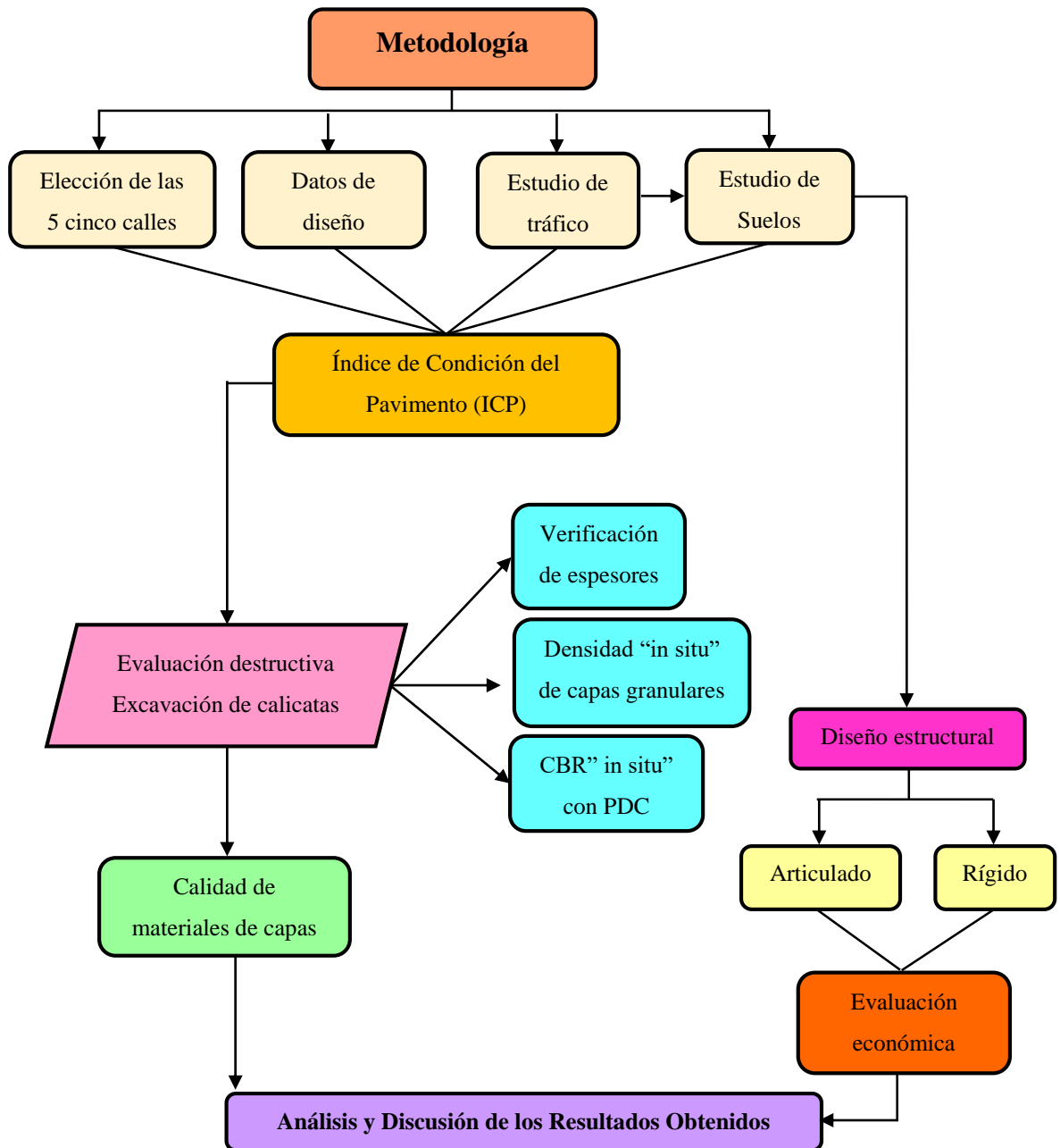


Figura N° 25: Flujograma de la metodología realizada en la presente tesis.
Fuente: Sandy M. Díaz Espinoza.

3.2.1. Estudio de tráfico.

El estudio de tráfico consiste en realizar un aforo vehicular en una vía, diferenciando su sentido de circulación y la clase de vehículo en un período de tiempo determinado. Este estudio constituye el punto de partida para el conocimiento del comportamiento de los 5 tramos de vías analizadas.

La investigación ha sido realizada en el periodo comprendido entre los meses de setiembre a octubre del año 2018, durante siete días consecutivos por vía, de 7:00 am – 7:00 pm. Los resultados se muestran en el Anexo N° 3.

A manera de ejemplo, se presentará el procesamiento de datos del estudio de tráfico par la Calle Alfonso Arana Vidal cuadras (1, 2, 3 y 4).

3.2.1.1. Características del tramo en estudio.

La vía en estudio se caracteriza por ser sobre todo vía colectora, ya que da servicio tanto al tránsito vehicular, como acceso hacia las propiedades adyacentes.

3.2.1.2. Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD).

Es la relación entre el volumen registrado en la hora de máxima demanda y el valor máximo de la circulación durante el periodo de tiempo dado dentro de dicha hora, multiplicado por el número de veces que ese periodo cabe en una hora (generalmente se considera un periodo de 15 minutos).

$$FHMD = \frac{V}{(4 \times V_{15})}$$

.....Ecuación 3.1

Dónde:

FHMD: Factor Horario de Máxima Demanda.

V: Volumen horario en vph.

V₁₅: Volumen durante el periodo pico de 15 minutos en la hora de máxima demanda en veh./15 minutos.

De los siete días aforados en la calle Alfonso Arana Vidal, se determinó que el día viernes es el que posee más flujo vehicular, por lo tanto, se calculará el factor horario de máxima demanda de dicho día:

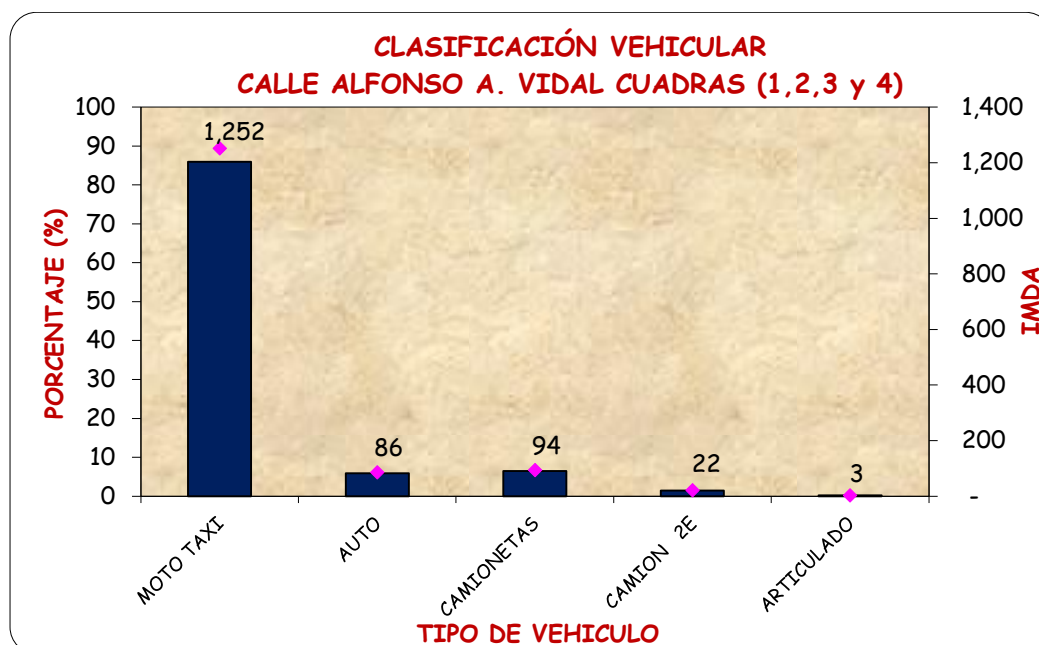
- ✓ Del resumen total de vehículos cada 15 minutos del día viernes, se determinó que la hora de máxima de demanda ocurre entre las 9:30 – 10:30 am, por lo tanto, el volumen horario máximo es $V = 195$ veh./h.
- ✓ El volumen durante el periodo pico de 15 minutos en la hora de máxima demanda es $V_{15} = 65$ veh/15 minuto.
- ✓ Resolviendo la fórmula 3.1, se obtiene:

$$FHMD = \frac{159}{4 \times 65} = 0.75$$

Entonces, el factor horario de máxima demanda (FHMD) es 0.75.

3.2.1.3. Índice medio diario anual.

Para el diseño del pavimento se estableció el volumen y la composición vehicular según el estudio de tráfico.



Como se puede observar en el grafico la mayor cantidad de vehículos que transitan por esta vía son moto taxis seguido de los autos.

Tabla N° 20: Calculo del IMDA de la calle Alfonso A. Vidal cuadras (1, 2, 3 y 4).

DÍAS DE LA SEMANA	TRÁNSITO LIVIANO				TRANSITO PESADO						TOTAL
	AUTOS	CAMIONETAS			OMNIBUS	CAMIONES		SEMI TRAYLER			
		PICK-UP	RURAL	MICRO		2 EJES	3 EJES	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	
LUNES	77	64	25	0	0	22	1	0	3	0	192
MARTES	89	52	31	0	0	21	0	0	3	0	196
MIÉRCOLES	82	72	29	0	0	24	0	0	3	0	210
JUEVES	80	60	35	0	0	20	0	0	2	0	197
VIERNES	107	93	48	0	0	26	0	0	10	0	284
SÁBADO	84	57	21	0	0	20	0	0	0	0	182
DOMINGO	83	52	19	0	0	18	0	0	0	0	172
IMD	86	64	30	0	0	22	0	0	3	0	205
TIPO DE VEHÍCULO	AUTOS	CAMIONETAS			OMNIBUS	CAMIÓN 2E	CAMIÓN 3E	ARTICULADO			TOTAL
% DE PARTICIPACIÓN	86	94				22	0	3			205
	42.01	45.92				10.54	0.07	1.47			

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4. Factores de Ejes equivalentes (FEE).

El factor de eje equivalente define el daño producido en el pavimento por el paso del eje en cuestión relativo al daño producido por un eje estándar, usualmente el de 18 kip u 80 kN. La guía del AASHTO establece estos factores (Tablas) en base a parámetros como el peso del eje, el tipo de eje, el nivel de serviciabilidad final y el número estructural (SN para pavimentos flexibles) o espesor de losa (D para pavimentos rígidos). Las tablas a los cuales se hace referencia serán adjuntadas en el Anexo N° 2.

Tomando en consideración lo que sugiere la AASHTO, el nivel de serviciabilidad final es 2.0 para un pavimento menor tránsito.

Así mismo, se utiliza el SN = 4” para pavimento flexible y D = 8” para rígido.

Para el pavimento articulado se obtienen los siguientes factores de eje equivalente con las consideraciones ya mencionadas:

Tabla N° 21: Factores destructivos de cada vehículo para el pavimento articulado.

Tipo de vehículo	Cargas (Ton)				EE				FEE
	Eje delantero	1 Eje	2 Eje	3 Eje	Eje delantero	1 Eje	2 Eje	3 Eje	
Auto	1	1			0.000383	0.000383			0.000766
Pickup	1.6	3.3			0.001573	0.024633			0.026206
Combi	1.8	2.43			0.00197	0.0074207			0.0093907
B2	7	11			0.5368632	3.493041			4.0299042
B3	7	16			0.5368632	1.2734102			1.8102733
B4	7+7	16			1.0737263	1.2734102			2.3471365
C2	7	11			0.5368632	3.493041			4.0299042
C3	7	18			0.5368632	2.0619357			2.5987989
T2S1	7	11	11		0.5368632	3.493041	3.493041		7.5229452
T2S2	7	11	18		0.5368632	3.493041	2.061936		6.0918399
T2S3	7	11	25		0.5368632	3.493041	1.807746		5.8376502
T3S2	7	18	18		0.5368632	2.0619357	2.061936		4.6607346
T3S3	7	18	25		0.5368632	2.0619357	1.807746		4.4065449

Fuente: Elaboración propia.

Los factores obtenidos para el pavimento rígido son:

Tabla N° 22: Factores destructivos de cada vehículo para el pavimento rígido.

Tipo de vehículo	Cargas (Ton)				EE				FEE
	Eje delantero	1 Eje	2 Eje	3 Eje	Eje delantero	1 Eje	2 Eje	3 Eje	
Auto	1	1			0.0003834	0.0003834			0.000767
Pickup	1.6	3.3			0.0015734	0.023997			0.025570
Combi	1.8	2.43			0.00197	0.00742			0.009390
B2	7	11			0.528576	3.5654568			4.094033
B3	7	16			0.528576	2.265244			2.793820
B4	7+7	16			1.057152	2.265244			3.322396
C2	7	11			0.528576	3.5654568			4.094033
C3	7	18			0.528576	3.678812			4.207388
T2S1	7	11	11		0.528576	3.5654568	3.565457		7.659490
T2S2	7	11	18		0.528576	3.5654568	3.678812		7.772845
T2S3	7	11	25		0.528576	3.5654568	4.456629		8.550662
T3S2	7	18	18		0.528576	3.678812	3.678812		7.886200
T3S3	7	18	25		0.528576	3.678812	4.456629		8.664017

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5. Tránsito de diseño (ESAL)

Una vez obtenidos todos los datos anteriores, se procede a calcular el número de ejes equivalentes o Equivalent Single Axle Load (ESAL) para los dos casos (flexible y rígido). Para esto se necesita el tráfico medio diario el cual se obtiene del conteo vehicular y los factores FEE. Además, son necesarios otros parámetros:

- ✓ Factor de distribución direccional
- ✓ Factor de distribución de carril
- ✓ Periodo de diseño
- ✓ Factor de crecimiento

El factor de distribución direccional depende como su nombre lo indica de la cantidad de direcciones que tendrá la vía a diseñar. En este caso como son dos direcciones según la Tabla N° 25, se considera 0.5.

Tabla N° 23: Factor de sentido.

Número de carriles en ambas direcciones	% LD
2	50
4	45
6 o mas	40

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

El factor de distribución de carril depende de la cantidad de carriles que haya en cada dirección ya que los vehículos se reparten entre ellos. Para el caso de dos carriles según la Tabla N° 26, LC vale 80%.

Tabla N° 24: Factor carril.

Número de carriles en una sola dirección	LC
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

El período de diseño se considera de 20 años al tratarse de baja intensidad de tránsito.

Para un periodo de diseño de 20 años y una tasa de crecimiento de 4% (Tabla A-1 Anexo N° 2), el valor del factor de crecimiento es de = 29.78.

• **Procedimiento de cálculo de ESAL:**

1. Multiplique la columna de tránsito actual por la columna del factor de crecimiento y por 365 días, para obtener en tránsito de diseño.
2. Multiplique el tránsito de diseño por el factor de eje equivalente, el sumatorio total de esta columna es el número total de ESAL's para el diseño del pavimento, el cual debe afectarse por el factor de distribución por dirección y el factor de dirección por carril.

Se muestra a manera de ejemplo el cálculo del ESAL's de la calle Alfonso Arana Vidal cuadras (1, 2,3 y 4):

Tabla N° 25: Calculo del IMDA de la calle Alfonso A. Vidal cuadras (1, 2, 3 y 4).

DESCRIPCIÓN	TRÁNSITO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁNSITO DE DISEÑO	FEE	EAL's	FEE	EAL's
				PAVIMENTO ARTICULADO		PAVIMENTO RÍGIDO	
AUTO	86	29.78	934733.89	0.000766	716.01	0.000767	716.75
PICK-UP	64	29.78	698721.34	0.026206	18310.69	0.025570	17866.61
COMBIRURAL	30	29.78	322964.53	0.009391	3032.86	0.009390	3032.64
C2	22	29.78	234459.83	4.029904	944850.64	4.094033	959886.22
T2S3	3	29.78	32607.00	5.837650	190348.24	8.550662	278811.40
				TOTAL	1157258.43	TOTAL	1260313.62
FACTOR DIRECCIÓN				0.5		0.5	
FACTOR CARRIL				1.0		1.0	
EAL's DE DISEÑO				5.8E+05		6.3E+05	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Estudio de Suelos.

3.2.2.1. Exploración de campo.

Consistió en la ejecución de cuatro calicatas excavadas en forma manual hasta 1.50 m de profundidad con respecto a la superficie actual de la calle, denominadas C-1 a C-4.

Tabla N° 26: Ubicación de calicatas – Exploración de campo.

N° Calicata	Profundidad (m)	Ubicación
C-1	1.50	Calle Alfonso Arana Vidal
C-2	1.50	Calle Los Pinos
C-3	1.50	Intersección Calle Marañón y Horacio Zevallos
C-4	1.50	Los Robles

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2. Ensayos de laboratorio.

Se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- ✓ Contenido de humedad.
- ✓ Análisis granulométrico.
- ✓ Límites de consistencia.
- ✓ Proctor modificado.
- ✓ CBR (California Bearing Ratio).

El proceso de cálculo de los ensayos de laboratorio correspondientes a cada una de las calicatas se encuentra en el Anexo N° 04, y fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la U.N.C.

3.2.3. Índice de Condición del Pavimento (ICP)

Se realizó una inspección visual del estado actual del pavimento para la determinación del índice de condición de pavimento (ICP), esto nos permitirá identificar las patologías que se presentan actualmente en la estructura, caracterizándose inicialmente los posibles fallos en el pavimento.

3.2.3.1. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.

Los pasos requeridos para la evaluación de cada tramo o sección de vía están orientados a:

- ✓ Recorrer los tramos caminando o conduciendo lentamente a lo largo de la misma.

- ✓ Seleccionar dentro del tramo, sub-tramos o secciones que representen la condición promedio del pavimento articulado en todo el tramo.
- ✓ Determinar el valor del ICP de cada tramo y de los sub-tramos.

Después de una primera inspección visual, se realiza el cálculo de unidades de muestreo. Cabe destacar que el cálculo de las unidades de muestreo se hizo siguiendo la metodología propuesta por el Manual del PCI (Pavement Condition Index) para pavimentos asfálticos como se describe a continuación:

- **Unidades de muestreo:** Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura. Para efectos de la presente investigación se tomó una longitud estándar para todas las vías analizadas de 30.00 metros, considerando el mismo criterio para carreteras con capa de rodadura asfáltica, en donde el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230 \pm 93 \text{ m}^2$.
- **Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación:** El número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 3.1.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (n - 1) + \sigma^2} \quad \text{.....Ecuación 3.2}$$

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del ICP de la sección (e=5%).

σ : Desviación estándar del ICP entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del ICP de 10. Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$); todas las unidades deberán evaluarse.

- **Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección:** De una forma aleatoria y a intervalos definidos se deben escoger las unidades de muestreo que van a ser representativas para la auscultación mediante la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n} \quad \text{.....Ecuación 3.3}$$

Dónde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número total de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

- **Selección de Unidades de Muestreo Adicionales:** Debido a que la metodología de muestreo es de una forma aleatoria puede existir la posibilidad que se omitan unidades en mal estado o con patologías especiales tal como cruce de línea férrea que ocurren de manera puntual, es por esto que se adopta la unidad adicional para que estas no influyan de manera inapropiada a la unidad que se tomó de forma aleatoria.

Para recopilar los datos correspondientes a los deterioros o fallas del pavimento durante la inspección visual, se desarrolló un formato que permite registrar cada tipo de daño con su severidad y cantidad como el que se muestra en la Figura N° 26.

HOJA DE INSPECCION DE DETERIOROS PARA UNA UNIDAD DE MUESTRA.

TESIS: "LA REVALORACIÓN DE LA PERFORMANCE FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS ARTICULADOS EN LA CIUDAD DE JAÉN".

NOMBRE DE LA VÍA: _____
 AREA DE UNIDAD DE MUESTRA: _____
 INSPECCIONADA POR: _____

CODIGO DE VIA: _____
 UNIDAD DE MUESTRA: _____
 FECHA: _____

TIPO DE DETERIORO		CROQUIS
1 Abultamineto 2 Ahuellamiento 3 Depresiones 4 Desgaste superficial 5 Perdida de arena 6 Desplazamiento de borde 7 Desplazamiento de juntas 8 Fracturamiento 9 Fract. de confinamientos externos 10 Fract. de confinamientos internos 11 Escalonamiento entre adoquines 12 Escal. entre adoquines y confinam. 13 Juntas abiertas 14 Perdida de adoquines* 15 Vegetacion en la calzada	Nivel de severidad B: Bajo M: Medio A: Alto	<p>DIRECCION INSPECCION</p> <p>Registro fotográfico:</p>

Deterioro	Aa (m2)	%Aa	E	F

Calculo del ICE						
Deterioro	FC	PI	FNS	%Ae	FA	FC x FA
Total =						
ICE =						

Matriz para el cálculo del ICP.

ICP	Rangos del ICF					
	86-100	71-85	41-70	21-40	0-20	
Rangos de ICE	86-100	5	4	4	3	2
	71-85	4	4	4	3	2
	41-70	4	3	3	2	1
	21-40	3	3	2	2	1
	0-20	2	2	1	1	1

Calculo del ICF						
Deterioro	FC	PI	FNS	%Ae	FA	FC x FA
Total =						
ICF =						

Calculo del ICP

NIVEL DE SERVICIO = _____

Figura N° 26: : Formato de inspección de condición para pavimentos articulados.
 Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2. Cálculo del ICP de las unidades de muestreo para pavimentos articulados.

- **Etapa 1: Cálculo del área afectada (Aa%) por cada tipo de deterioro e identificación del parámetro (estructural o funcional) afectado.**

1. Contabilice las áreas en las cuales se presenta cada tipo de deterioro y nivel de severidad en el formato que se muestra en la Figura 26.
2. Divida la cantidad de cada tipo de deterioro, entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje (Aa%).
3. Identifique el parámetro afectado (estructural o funcional) para cada tipo de deterioro.

- **Etapa 2: Cálculo del Índice de Condición Estructural (ICE).**

1. Liste los tipos de deterioros afectados por el parámetro estructural identificados en la Etapa 1 inciso “3”.
2. Determine el factor de influencia (FC) de cada tipo de deterioro, empleando la tabla “Tipo y factor de influencia por clase” (Ver ítem 2.2.7).
3. Determine el peso (PI) y el Factor de penalización por nivel de severidad (FNS) de cada tipo de deterioro, empleando la tabla “Factores de penalización para el Índice de Condición Estructural (ICE)”. (Ver ítem 2.2.7).
4. Calcule el porcentaje de área equivalente afectada por cada tipo de deterioro (%Ae) utilizando la ecuación:

$$\%Ae = \sum (PI_i \times \%Aa_i \times FSN_i) \quad \text{.....Ecuación 3.4}$$

Donde:

%Ae: Porcentaje de área equivalente afectada por el deterioro.

PI: Peso del deterioro *i*.

%Aa: Porcentaje de área afectada por el deterioro *i*.

FSN: Factor de penalización por nivel de severidad del deterioro *i*.

i: Deterioro

5. Calcule del factor de penalización por área afectada (FA), ingresando en la misma tabla empleada en el inciso “3”, el porcentaje de área equivalente afectada (%Ae) obtenido en el inciso “4”, de ser necesario interpole entre los rangos.
6. Calcule el ICE de la unidad de muestra utilizando la ecuación:

$$\text{ICE} = 100 - \sum (\text{FC}_i \times \text{FA}_i) \quad \text{.....Ecuación 3.5}$$

• **Etapa 3: Cálculo del Índice de Condición Funcional (ICF).**

1. Liste los tipos de deterioros afectados por el parámetro funcional identificados en la Etapa 1 inciso “3”.
2. Determine el factor de influencia (FC) de cada tipo de deterioro, empleando la tabla “Tipo y factor de influencia por clase”. (Ver ítem 2.2.7).
3. Determine el peso (PI) y el Factor de penalización por nivel de severidad (FNS) de cada tipo de deterioro, empleando la tabla “Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional (ICF)”. (Ver ítem 2.2.7).
4. Calcule el porcentaje de área equivalente afectada por cada tipo de deterioro (%Ae), siguiendo el mismo procedimiento de la Etapa 2, del inciso “4.”
5. Calcule del factor de penalización por área afectada (FA), ingresando en la misma tabla empleada en el inciso “3”, el porcentaje de área equivalente afectada (%Ae) obtenido en el inciso “4”, de ser necesario interpole entre los rangos.
6. Calcule el ICF de la unidad de muestra utilizando la ecuación:

$$\text{ICF} = 100 - \sum (\text{FC}_i \times \text{FA}_i) \quad \text{.....Ecuación 3.6}$$

• **Etapa 4: Cálculo del Índice de Condición del Pavimento (ICP).**

1. Determine el ICP ingresando en la tabla “matriz para el cálculo del ICP” (Ver ítem 2.2.7) el ICE y el ICF obtenido en la Etapa 2 inciso “6” y en la Etapa 3 inciso “6” respectivamente.

3.2.3.3. Cálculo del ICP de una sección de pavimento.

Se pueden presentar 3 casos:

- **Caso 1:** Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el ICP de la sección será el promedio de los ICP calculados en las unidades de muestreo.
- **Caso 2:** Si se utilizó la técnica del muestreo y la selección de las unidades se realizó Mediante la técnica aleatoria y no existieron muestras adicionales, el ICP de la sección será el promedio de los ICP calculados de cada unidad de muestreo.
- **Caso 3:** Si se utilizó unidades de muestreo adicionales se determina el valor del ICP final Mediante la siguiente ecuación:

$$PCI_S = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

.....Ecuación 3.7

Dónde:

PCIS: PCI de la sección del pavimento.

PCIR: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCIA: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección

3.2.4. Evaluación Destructiva de la estructura del pavimento.

Con el fin de evaluar el estado estructural de los pavimentos articulados mediante la aplicación de métodos destructivos, se ha realizado la excavación de calicatas de pequeña sección en forma manual (dos por cada tramo vial), hasta una profundidad donde se detectará la sub rasante.

De esta manera se ha podido medir de manera directa el espesor de las capas de cada uno de los materiales que conforman el pavimento respectivo y extraer muestras representativas para su posterior estudio en el laboratorio.

Además, de la ejecución de ensayos densidad de campo para determinar la compactación a nivel de las capas granulares y ensayos de PDC a nivel de sub rasante.

En la Lamina UC-02, se muestra la ubicación de las calicatas efectuadas y en el Anexo N° 6 y 7 se presentan los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio respectivamente.

3.2.4.1. Ensayos destructivos en campo.

- **Ensayos de densidad de campo – Método del cono de arena:** Los ensayos de densidad de campo fueron realizados de acuerdo a la Norma Técnica NTP 339.143 - ASTM D 1556 y con los resultados obtenidos se procedió a efectuar una verificación con el mínimo especificado en la Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos.
- **Ensayo de Penetración Dinámica de Cono (PDC):** Los ensayos de PDC se realizaron con un dispositivo de 8 kg perteneciente al laboratorio Geocon Vial y fueron realizados de acuerdo a la Norma ASTM D 6951-03 siguiendo las siguientes recomendaciones:
 - ✓ Si hay presencia de partículas de gran tamaño o de un estrato rocoso, el ensayo se debe detener y el equipo se debe remover hacia otro punto de ensayo, si luego de 5 golpes el aparato no ha avanzado más de 2mm o la manija se ha deflectado más de 75 mm de su posición vertical.
 - ✓ La localización del nuevo punto de ensayo debe ser, por lo menos, a 300 mm de la localización anterior, para minimizar el error causado por la perturbación del material.

Procedimiento para el cálculo del CBR in situ:

1. Registre el número de golpes del martillo (A) y la penetración acumulada (B) luego de cada serie de golpes en el formato que se muestra en la Figura N° 27.

2. Calcule (C) mediante la diferencia de penetración acumulada (B) entre lecturas.
3. Divida (C) entre (A) para calcular la penetración por golpe (D).
4. Determine el factor del martillo (E):
 - i. Coloque “1” si el martillo es de 8 kg.
 - ii. Coloque “½” si el martillo de 4.6 kg.
5. Calcule el Índice PDC (F) multiplicando (D) por (E)
6. Estime el CBR in situ (G), utilizando el Índice PDC en alguna de las ecuaciones recomendadas por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, que se indica como sigue:

- ✓ Para todo tipo de suelos con excepción de CH y CL con CBR menores a 10%.

$$\text{CBR} = \frac{292}{(\text{PDC})^{1.12}} \quad \text{.....Ecuación 3.8}$$

Dónde:

CBR: California Bearing Ratio.

PDC: Índice PDC mm/golpe.

- ✓ En el caso de suelos CL con CBR menor a 10%.

$$\text{CBR} = \frac{1}{(0.017019 \text{ PDC})^2} \quad \text{.....Ecuación 3.9}$$

- ✓ Para suelos CH.

$$\text{CBR} = \frac{1}{0.002871 \text{ PDC}} \quad \text{.....Ecuación 3.10}$$

7. Curva PDC: Grafique la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados.

Para el registro de los datos del ensayo del PDC, se desarrolló un formato que permite capturar estos datos. En la Figura N° 27 se aprecia el formato utilizado.

FORMATO DE REGISTRO DE DATOS DEL PDC PARA UN PUNTO DE INVESTIGACIÓN.

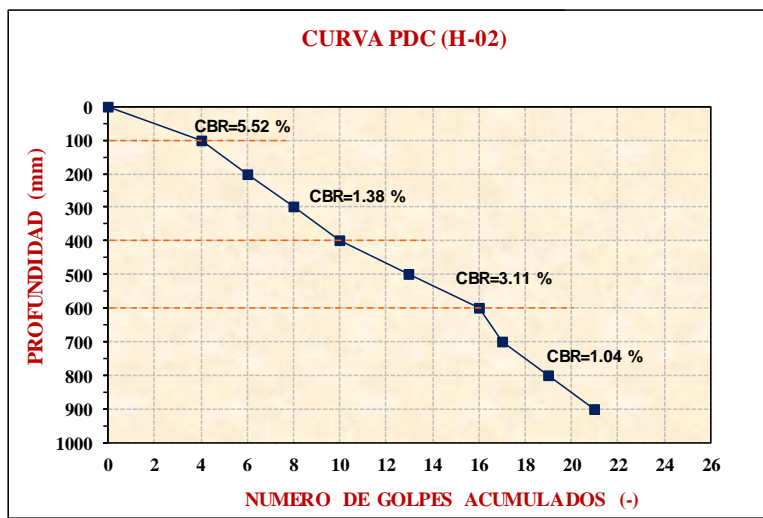
TESIS: "LA REVALORACIÓN DE LA PERFORMANCE FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS ARTICULADOS EN LA CIUDAD DE JAÉN".

NOMBRE DE VÍA: _____ PESO DEL MARTILLO: 8 kg
 SECCION INTERVENID.: _____ HOYO N°: _____ CLAS. DEL MATERIAL: _____
 PROF. DEL PUNTO CERO BAJO LA SUPERFICIE 0 NIVEL FREÁTICO: Desconocido
 EVALUADO POR: Bach. Sandy Medalith Diaz Espinoza. FECHA: Enero del 2018

HOYO N° 02: LADO IZQUIERDO

Numero de Golpes (A)	Penetracion acumulada (mm) (B)	Penetracion entre lecturas (mm) (C)	Penetracion por golpe (mm) (D)	Factor del martillo (E)	Indice PDC (mm/golpe) (F)	CBR % (G)	PROM. CBR %

NOTA: Se usó la ecuación para el caso de suelos CL con CBR menor a 10%: $CBR = \frac{1}{(0.017019 \times PDC)^2}$



CBR IN SITU (%) PROF. > 200 MM	
CLASIFICACION DEL MATERIAL COMO SUB RASANTE	

Figura N° 27: Formato de registro de datos del PDC para un punto de investigación. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.2. Ensayos de laboratorio.

Se ejecutaron pruebas de laboratorio a las muestras de capas extraídas de las calicatas, encaminados a determinar las características de estos materiales que fueron empleados en la construcción de los pavimentos, para posteriormente verificar si cumplen o no con los requisitos mínimos de calidad establecidos por la Norma CE 0.10 de pavimentos urbanos.

Se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio, siguiendo los procedimientos establecidos en las Normas Técnicas:

MATERIAL	NORMA TECNICA	
Sub Base Granular	NTP 339.127- ASTM D 2216	Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
	NTP 339.128 - ASTM D 422	Método de ensayo para el análisis granulométrico.
	NTP 339.129- ASTM D 4318	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.
	NTP 339.135- ASTM C117	Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte.
	NTP 339.141 – ASTM D1557	Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 KN - m/m ³ (56000 pie - lbf/pie ³).
	NTP 339.145 – ASTM D1883	Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en laboratorio.
Cama de arena	NTP 400.012 – ASTM C 136	Método de ensayo para el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.
Adoquines de concreto	NTP 339.034 – ASTM C 39	Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.

Los ensayos de laboratorio correspondientes a cada una de las capas de pavimento de las vías evaluadas, fueron realizados en el laboratorio Geo Con Vial – Ingenieros Consultores E.I.R.L (Jaén). Ver Anexo N° 07.

3.2.5. Diseño estructural de pavimentos.

Se contemplarán dos opciones para el pavimento a diseñar: articulado y rígido. Para el caso del pavimento articulado se diseñará por el método AASHTO 1993, asumiendo que el pavimento se comporta igual que un pavimento flexible. Para el pavimento rígido, también se utilizará la metodología de la AASHTO 1993.

A manera de ejemplo, se presentará el diseño para el pavimento de la Calle Alfonso Arana Vidal cuadras (1, 2, 3 y 4) tanto articulado como rígido. Los diseños que se presentarán a continuación están basados en el Manual “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures” (1993) del cual se extrajeron las tablas y nomogramas a los cuales se hará referencia más adelante.

Para los diseños de los pavimentos se ha tenido en cuenta los requisitos mínimos de la Norma Peruana C.E 0.10 pavimentos Urbanos.

Tabla N° 27: Requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos.

Tipo de pavimento		Pavimentos rígidos	Pavimentos articulados
Elemento			
Subrasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar	
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas	
Subbase		CBR ≥ 30 % 100% compactación Proctor Modificado	
Base		N.A.	CBR ≥ 80% 100% compactación Proctor Modificado
Imprimación/capa de apoyo		N.A.	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras		≥ 80 mm
	Vías arteriales		N.R
	Vías expresas	≥ 200 mm	N.R

Fuente: (Norma C.E 0.10, 2010, pág.30)

3.2.5.1. Método ASSHTO para pavimentos articulados.

El método está basado en el cálculo del Número Estructural “SN” sobre la capa sub rasante mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_0 + 9.36 * \text{log}_{10}(\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{log}_{10} \left[\frac{\Delta\text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{log}_{10}(\text{MR}) - 8.07$$

.....Ecuación 3.11

Dónde:

W_{18} : Número total de ejes equivalentes (EAL's).

Z_r : Desviación estándar normal, para el nivel de confiabilidad R.

S_0 : Error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado.

SN: Numero estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido.

ΔPSI : Diferencia entre índice de serviciabilidad inicial (p_0) y final (p_t).

MR: Módulo de resiliencia de la sub rasante.

- **Datos de entrada:**

1. Numero de ejes equivalentes: Este valor fue determinado en el ítem 3.2.1 con ayuda de los factores destructivos, el IMD y la tasa de crecimiento anual. Resultó 5.8E+05.
2. Período de diseño: Como se trata de una vía de baja intensidad de tránsito, se determina un periodo de diseño de 20 años.
3. Confiabilidad: La confiabilidad es la probabilidad de que una sección del pavimento diseñada mediante el método indicado se comporte satisfactoriamente durante el periodo de diseño bajo las condiciones de tráfico determinadas. La selección de un adecuado nivel de confiabilidad para el diseño depende principalmente del nivel de uso y las consecuencias o riesgos asociados con la construcción de un pavimento de menor espesor.

Tabla N° 28: Valores del Nivel de Confianza de acuerdo al tipo de Camino.

Tipo de camino	Zonas urbanas	Zonas rurales
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Carreteras de primer orden	80 – 99	75 – 95
Carreteras secundarias	80 – 95	75 – 95
Caminos vecinales	50 – 80	50 – 80

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Para una vía colectoras la tabla N° 29, señala niveles recomendados de 50 a 80%, se elige utilizar un valor de 75% para este proyecto.

4. Desviación estándar normal: Para un nivel de confiabilidad de 75%, la desviación estándar es -0.674 según la Tabla N° 30.

Tabla N° 29: Factores de Desviación Normal.

Confiabilidad	ZR	Confiabilidad	ZR
50	0	92	-1,405
60	-0,253	94	-1,555
70	-0,524	95	-1,645
75	-0,674	96	-1,751
80	-0,841	97	-1,881
85	-1,037	98	-2,054
90	-1,282	99	-2,327

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, 2002.

5. Desviación estándar combinada o total: Para pavimentos flexibles el valor de desviación estándar total varía en 0.40-0.50. Se elige utilizar $S_0 = 0.45$.
6. Perdida de serviciabilidad: La serviciabilidad de un pavimento es su capacidad de servir al tipo de tráfico que usa la vía (ligero y pesado). Para pavimentos flexibles, el valor de serviciabilidad inicial es $p_0 = 4.2$ y la serviciabilidad final $p_t = 2.0$. Por lo tanto, la pérdida de serviciabilidad es la diferencia entre el índice inicial y el final lo que da como resultado $\Delta PSI = 2.2$.
7. Módulo de resiliencia: Se tiene el valor de CBR de la subrasante, por lo tanto, es necesario encontrar una correlación para hallar el módulo de resiliencia. Para ello se utilizó las siguientes fórmulas recomendadas:

✓ Para CBR<10%:

$$Mr = 1500 \times CBR \text{ (psi)}$$

.....Ecuación 3.12

✓ Para los CBR de 10% a 20%:

$$Mr = 3000 \times CBR^{0.65} \text{ (psi)}$$

.....Ecuación 3.13

✓ Para CBR>20%:

$$Mr = 4326 \times \ln CBR + 241 \text{ (psi)}$$

.....Ecuación 3.14

Como se definió el tipo de suelo (arcillas inorgánicas de mediana plasticidad) con CBR de diseño igual 3% (sub rasante pobre), es decir $CBR \leq 6\%$ se procederá con la estabilización de los suelos solamente con material adicionado ($CBR \geq 10\%$) construido directamente sobre el suelo natural existente.

Para el caso el valor de CBR de la subrasante mejorada es 10% con lo que resulta un módulo de resiliencia de 11, 153 psi.

El resumen de estos parámetros es el siguiente:

Tabla N° 30: Resumen parámetros de diseño para pavimento articulado Método AASHTO

Parámetro	Valor
Numero de ejes equivalentes (W18)	5.8E+05
Periodo de diseño	20 años
Confiabilidad (R)	75%
Desviación estándar normal (Zr)	-0.674
Desviación estándar combinada o total (S o)	0.45
Índice de serviciabilidad inicial (p ₀)	4.2
Índice de serviciabilidad final (p _t)	2.0
Δ PSI	2.2
CBR de la subrasante existente	3%
CBR de la subrasante mejorada	10%
Módulo de resiliencia de la subrasante mejorada (MR)	11, 153 psi

- **Diseño de la estructura del pavimento:**

La AASHTO presenta en su guía la siguiente fórmula para determinar el número estructural, el que es una función de los espesores de las capas, sus coeficientes estructurales y los coeficientes de drenaje:

$$SN_T = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \quad \dots\dots\dots Ecuación 3.13$$

Dónde:

SN_T : Numero estructural total requerido.

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de los materiales.

m_2, m_3 : Coeficientes de drenaje de materiales granulares.

D_1, D_2, D_3 : Espesores de capas del pavimento.

1. Coeficientes estructurales (a_i): Estos coeficientes son necesarios para determinar el aporte de cada capa a la estructura en su conjunto. Sirven para transformar el espesor de la capa en su equivalente del número estructural (SN). La guía de la AASHTO recomienda el uso de gráficas para hallar estos coeficientes relacionándolos directamente con alguno de los cuatro resultados de pruebas de laboratorio que se muestran, incluyendo el módulo de resiliencia y el valor de CBR.

Para la base se decidió utilizar 80% y para la subbase 30% de CBR. Para el coeficiente de la base (a_2) se usa la Figura N° 28 y para el de la subbase (a_3) la Figura N° 29.

Para determinar el coeficiente estructural de los adoquines de concreto, el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile ,(2013) toma en consideración a las primeras investigaciones desarrolladas por John Knapton a comienzos de la década de 1970, que encontró que la rigidez de una capa de rodadura de adoquines de 80 mm de espesor, con una capa de arena de 40 mm de espesor, debidamente sellada y compactada, era equivalente a la de una carpeta asfáltica de 160 mm de concreto asfáltico.

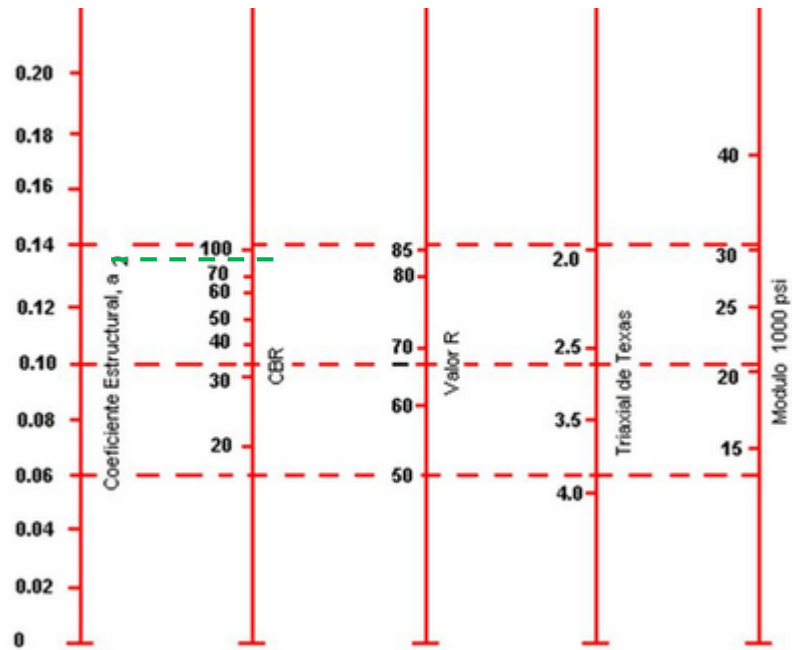


Figura N° 28: Variación en el coeficiente estructural de la capa de base "a2".
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.



Figura N° 29: Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase "a3".
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

O sea que una capa de adoquines de 80 mm y 40 mm de arena puede hacerse equivalente entre 120 mm y 144 mm de concreto asfáltico, y la capa de adoquines de 60 mm y 40 mm de arena puede hacerse equivalente entre 100 mm y 120 mm.

Desde otro punto de vista, a la capa de rodadura se le asignan valores de Módulo de Resiliencia entre 2760 MPa (400 000psi) y 3100 MPa (450 000 psi) para el conjunto de: adoquines de 80 mm y entre 25 mm y 40 mm de capa de arena y un coeficiente estructural $a_1 = 0,42$ y $0,44$.

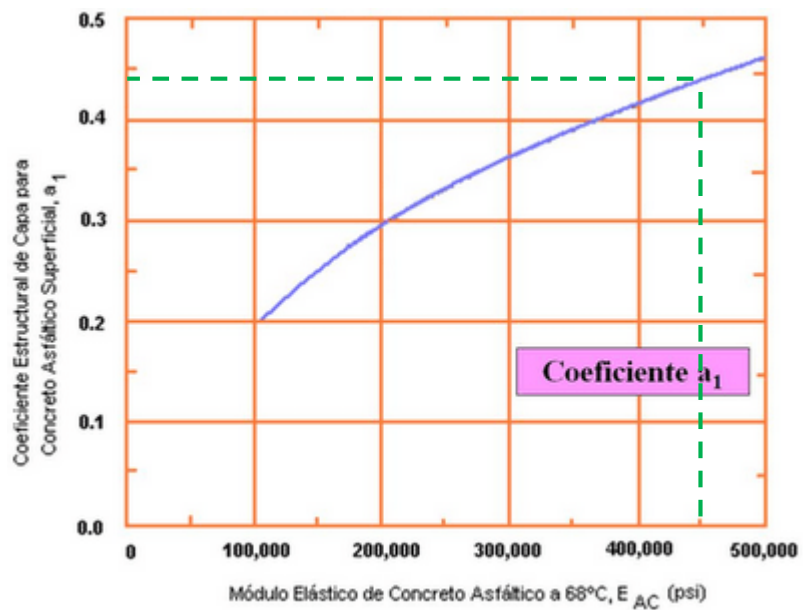


Figura N° 30: Coeficiente estruct. a partir del Módulo Elástico del concreto asfáltico "a1".
Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Los resultados fueron:

Tabla N° 31: Coeficientes estructurales para las capas de pavimento articulado.

Capa	CBR	Coeficiente estructural a_i
Adoquines (a_1)	---	0.44
Base (a_2)	80%	0.13
Subbase (a_3)	30%	0.11

2. Coeficientes de Drenaje (m_i): Los coeficientes de drenaje, están en función de la calidad del drenaje de la capa correspondiente y al porcentaje del tiempo durante el año el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Tabla N° 32: Capacidad del Drenaje.

Calidad del Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser Evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures 1993*.

Como el material elegido tanto para la base como para la subbase es grava pobremente gradada, la calidad de drenaje se ha considerado buena, además se considera que el pavimento se encuentra expuesto a condiciones de humedad cercanas a la saturación de 15%. Los coeficientes (m_i), están dados en la Tabla N° 34.

Tabla N° 33: Valores m_i para modificar los Coeficientes Estructurales o de Capa de Bases y Sub-bases sin tratamiento, en pavimentos flexibles.

Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo que el pavimento estará expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	Menos de 1%	1 a 5%	5 a 25%	≥ 25%
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Malo	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy malo	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures 1993*

A continuación, se presentan los coeficientes de drenaje de la base y subbase junto a los valores de CBR requeridos para ambas capas:

Tabla N° 34: Coeficientes de drenaje para las capas del pavimento articulado.

Capa	CBR	Coefficiente de drenaje m_i
Base (m2)	80%	1.07
Subbase (m3)	30%	1.07

El pavimento articulado es una estructura conformada por varias capas y debe ser diseñada acorde con esta premisa. Se debe hallar el número estructural total requerido sobre la subrasante (SN_T) resolviendo la ecuación 3.11. Así se obtiene lo siguiente:

Tabla N° 35: Número estructural total requerido para el pavimento articulado.

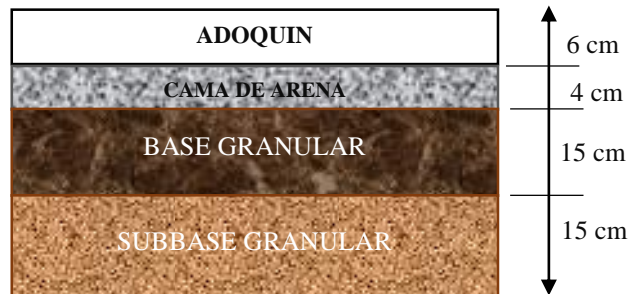
Capa	CBR	SN _T
Subrasante (SN _T)	10%	2.409

Se procede a proponer diversas alternativas, éstas deben cumplir con los requerimientos de espesores mínimos y con que el número estructural sea 2.409 mínimo.

Tabla N° 36: Espesores de capa obtenidos del cálculo para pavimento articulado.

Capa de material	Coefficiente de capa (a)	Coefficiente de drenaje (m)	Espesor (pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	Espesor (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Adoquín	0.44	---	2.40	1.056	6.00	2.64
Base	0.13	1.07	6.00	0.780	15.00	1.951
Subbase	0.11	1.07	6.00	0.664	15.00	1.660
SN (calculado)				2.500		6.251
SN_T (requerido)				2.409		6.118
Comprobación				OK		OK

Fuente: elaboración propia.



3.2.5.2. Método ASSHTO para pavimento rígido.

El método está basado en el cálculo del espesor de losa, que corresponde a las condiciones de diseño, y se puede calcular resolviendo la siguiente ecuación:

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_0 + 7.35 * \text{log}_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{log}_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.625 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * \text{log}_{10} \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63J (D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{E_c}{K})^{0.25}})}$$

.....Ecuación 3.14

Dónde:

W_{18} : Número total de ejes equivalentes (EAL's).

Zr: Desviación estándar normal para el nivel de confiabilidad R.

S_0 : Error estándar.

D: Espesor de la losa en pulgadas.

ΔPSI : Diferencia entre índice de serviciabilidad inicial (P_0) y final (P_t).

P_t : Índice de serviciabilidad final.

S'_c : Módulo de rotura del hormigón (psi).

J: Coeficiente de transferencia de cargas.

Cd: Coeficiente de drenaje.

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón (psi).

K: Módulo efectivo de reacción de la sub rasante (psi/pulg).

• **Datos de entrada:**

1. Numero de ejes equivalentes: Este valor fue determinado en el ítem 3.2.1 con ayuda de los factores destructivos, el IMD y la tasa de crecimiento anual. Resultó $6.3E+05$.
2. Período de diseño: Se determinó un periodo de diseño de 20 años.
3. Confiabilidad: Anteriormente se decidió utilizar un valor de 75%, la justificación se presenta en la sección de diseño del pavimento articulado.
4. Desviación estándar normal: Para un nivel de confiabilidad de 75%, la desviación estándar es -0.674.
5. Desviación estándar combinada o total: Para pavimentos rígidos el valor de desviación estándar total varía en 0.30-0.40. Se elige utilizar $S_0=0.35$.
6. Perdida de serviciabilidad: En la práctica usual la serviciabilidad inicial es $p_0=4.5$ para pavimentos rígidos, y la serviciabilidad final $p_t=2.0$. Por lo tanto, la pérdida de serviciabilidad es la diferencia entre el índice inicial y el final lo que da como resultado $\Delta PSI=2.5$.
7. Propiedades del concreto: Se considera la resistencia a la compresión (f'_c) a los 28 días del concreto en el orden de 280 kg/cm².

- ✓ Módulo de elasticidad del concreto (E_c).

Existe una correlación entre dicho módulo y la resistencia a la compresión. Esta relación es la siguiente:

$$E_c = 15,000 (f_c)^{0.5} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \text{.....Ecuación 3.15}$$

Con el valor de resistencia considerado, resulta un módulo de elasticidad de 220998 kg/cm² o 3570030 psi.

- ✓ Módulo de rotura del concreto ($s'c$).

$$S'c = \alpha (f_c)^{0.5} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \text{.....Ecuación 3.16}$$

Donde el valor de α varía entre 1.99 y 3.18. Para esta tesis se consideró un valor promedio de α igual a 2.59. Lo que da como resultado 43.34 kg/cm² o 616 psi.

8. Módulo de Reacción de la Subrasante (k): Tomando la Figura N° 31 de la página 267 del Manual de carreteras del MTC, se determina que para un CBR de 10% (subrasante mejorada), el módulo de reacción de la subrasante es 5.5 kg/cm³ o 198.70 lb/pulg³ (pci).

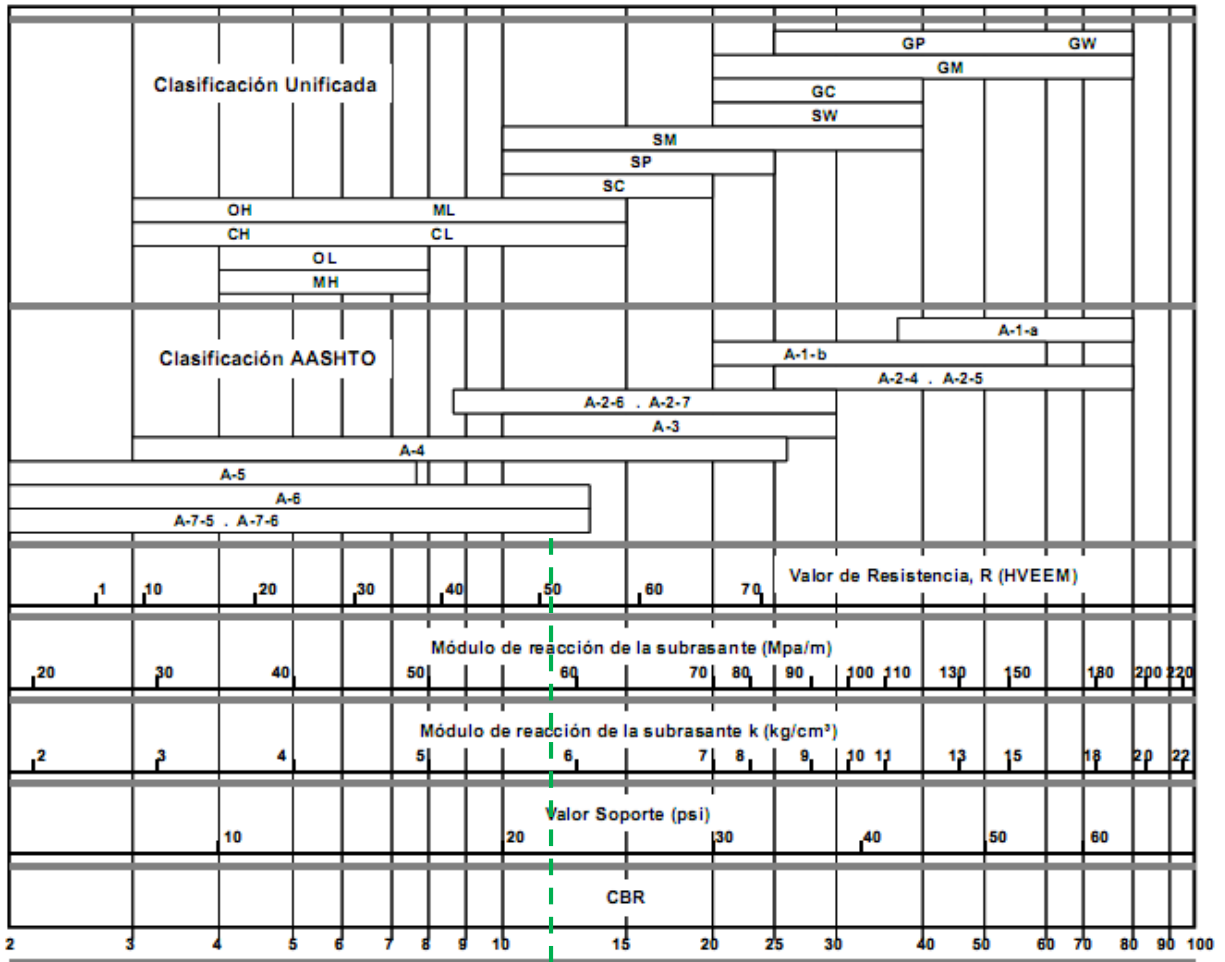


Figura N° 31: Correlación CBR y Módulo de Reacción de la Subrasante (k).
Fuente: (Manual de carreteras, Suelos, Geología y geotecnia y Pavimentos – Sección: Suelos y Pavimentos, pag. 267)

9. Módulo de reacción efectivo: La presencia de la sub base granular o base granular, de calidad superior a la subrasante, permite aumentar el coeficiente de reacción de diseño, en tal sentido se utilizará la ecuación de la página 267 del Manual de carreteras del MTC:

$$K_c = \left[1 + (h/38)^2 (K_1/K_0)^{2/3} \right]^{0.5} K_0 \quad \text{.....Ecuación 3.17}$$

Dónde:

K_1 (kg/cm³): Coeficiente de reacción de la sub base granular.

K_c (kg/cm³): Coeficiente de reacción combinado.

K_0 (kg/cm³): Coeficiente de reacción de la subrasante.

h: Espesor de la subbase granular.

Considerando un espesor de subbase de 15cm resulta un módulo de reacción efectivo (k_{efect}) de 5.936 kg/cm³ o 214.45 lb/pulg³ (pci).

10. Capacidad de Drenaje (Cd): De acuerdo a la Tabla N° 39 para una calidad de drenaje buena, Cd se encuentra en el rango de 1 a 1.1. Como el porcentaje de tiempo que el pavimento está próximo a la saturación 15%, interpolando se obtiene un valor de Cd de 1.05.

Tabla N° 37: Capacidad del Drenaje.

Calidad del Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser Evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	no drena

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Tabla N° 38: Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos.

Calidad de Drenaje	% de tiempo que el pavimento estara expuesto a niveles de humedad proximos a la saturacion.			
	Menos de 1%	1 a 5%	5 a 25%	≥ 25%
Excelente	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10
Bueno	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00
Regular	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90
Pobre	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80
Muy pobre	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,70

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

11. Transferencias de carga (J): El coeficiente de transmisión o transferencia de carga (J) cuantifica la habilidad de la estructura del pavimento para distribuir las cargas a través de las discontinuidades como las juntas o grietas.

Este valor depende de si se decide usar pasadores (dowels) o no y del tipo de berma que se construirá. En este caso se ha decidido utilizar pasadores para procurar mejorar las condiciones de deformación en las juntas. Las bermas serán de asfalto. Bajo este contexto en la Tabla N° 40 se define un valor de 3.2 para J.

Tabla N° 39: Coeficiente de Transferencia de Cargas

Bermas	Concreto Asfáltico		Concreto	
	Si	No	Si	No
Elementos (barras) de transferencia de cargas				
Tipo de pavimento				
No reforzado o reforzado con juntas	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
Reforzado Continuo	2,9 – 3,2	-----	2,3 – 2,9	-----

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

El resumen de estos parámetros se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla N° 40: Resumen de parámetros de diseño para pavimento rígido Método AASHTO.

Parámetro	Valor
Numero de ejes equivalentes (W18)	6.3E+05
Periodo de diseño	20 años
Confiabilidad (R)	75%
Desviación estándar normal (Zr)	-0.674
Desviación estándar combinada o total (S o)	0.35
Índice de serviciabilidad inicial (p ₀)	4.5
Índice de serviciabilidad final (p _f)	2.0
Δ PSI	2.5
Resistencia a la compresión del concreto (f'c)	280 kg/cm ²
Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	3570030 psi
Módulo de ruptura del concreto (s'c).	616 psi
CBR de la subrasante existente	3%
CBR de la subrasante mejorada	10%
Módulo de reacción de la subrasante (k)	198.7 lb/pulg ³
Espesor de subbase	15 cm
Módulo de reacción efectivo (kefect)	214.45 lb/pulg ³
Coeficiente de transferencia de carga (J)	3.20
Coeficiente de drenaje (Cd)	1.05

Fuente: elaboración propia.

- **Calculo del espesor de la losa:**

Con los datos mostrados en la Tabla N° 41 y utilizando la ecuación de diseño, se obtiene un espesor de 5.246 pulgadas o 13.32 cm. Los espesores finales de las capas considerando el proceso constructivo se muestran a continuación:

Tabla N° 41: Espesor de capa obtenida para el pavimento rígido.

Capa	Espesor
Espesor de subbase	15 cm
Espesor de losa de concreto (D)	15 cm

3.2.6. Análisis económico.

En el ítem 3.2.5 se presentaron dos alternativas para el pavimento: articulado y rígido. En este ítem se hará una comparación entre la alternativa del pavimento articulado y la alternativa del pavimento rígido, para evaluar cuál de las dos es la más económica. Para esto se realiza un análisis de precios unitarios de las partidas involucradas en la construcción del pavimento y luego se elabora un presupuesto.

3.2.6.1. Análisis de precios unitarios.

A continuación, se muestran algunos insumos requeridos en la elaboración del análisis de precios unitarios para el pavimento articulado: (Madrid Mesa, 2001).

- ✓ El número de adoquines en un m² depende de la forma y del tamaño de estos, por lo cual no es un número fijo. Para adoquines de 10 x 20 cm, $n = 50$. Se considera un desperdicio de un adoquín a un lado de la vía por corte de los ajustes, que equivale al 3% del área, y un 2% más por piezas defectuosas. $n = 52.5$
- ✓ El volumen de arena para la cama en un m² depende del espesor de ésta. Para 40 mm, $V_{ac}=0.04$ m³, se pide un 25 % más de lo necesario, para pérdidas por manejo. $V_{ac}=0.05$ m³
- ✓ Por lo general no se requiere de más de 3,5 litros de arena para el sello por m², (con desperdicio 25%). $V_{as}=0.0035$ m³.

Se muestra además, el cálculo del encofrado para un m² de pavimento rígido. El procedimiento seguido se basa en libro publicado por Capeco “costos y presupuestos en edificación” segunda edición.

Tabla N° 42: Cálculo de la cantidad de pies² para encofrar un m² de pavimento rígido.

UNIDAD DE MEDIDA (U.M) PAÑO: 4.0x3.5 = 14.00 m ²										
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	SECCIÓN (A)	LONGITUD		CANT. ELEMENTOS (C)	(AxBxC)/12=D (pies ²)	DESPERDICIOS 10% (E)	N° USOS (G)	H=(E/G)	H/U.M
			ML	PIES (B)						
1a	Tablones	1 1/2"x 6"	3.50	11.48	2	17.22	18.94	14	1.35	0.10
1b	Tablones	2 1/2"x 6"	4.00	13.12	2	19.68	21.65	14	1.55	0.11
2a	Soleras	2"x3"	3.50	11.48	2	11.48	12.63	10	1.26	0.09
2b	Soleras	2"x3"	4.00	13.12	2	13.12	14.43	10	1.44	0.10
3	Barrotes	2"x4"	0.25	0.82	25	13.67	15.03	14	1.07	0.08
4a	Tomapunta	2"x3"	0.52	1.71	25	21.32	23.45	7	3.35	0.24
4b	Tomapunta	2"x3"	0.50	1.64	25	20.50	22.55	7	3.22	0.23
5	Estacas	2"x3"	0.50	1.64	25	20.50	22.55	6	3.76	0.27
TOTAL									1.21	

Fuente: elaboración propia.

La cantidad de madera para encofrar un m² de pavimento rígido de espesor 15 cm = 1.21 pies².

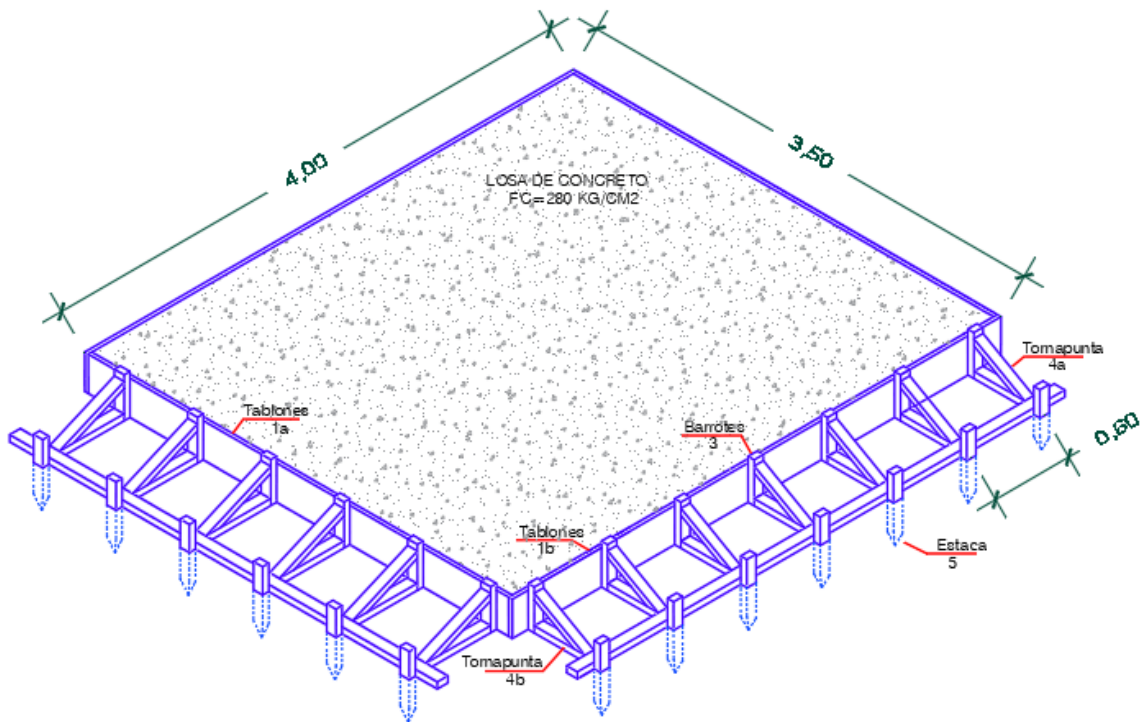


Figura N° 32: Isométrico de encofrado de pavimento rígido.

Fuente: elaboración propia.

Se presentan las partidas necesarias para elaborar el presupuesto:

Partida	CORTE DE MATERIAL SUELTO CON MAQUINARIA					
Rendimiento	m3/DIA	200.00	EQ.	200.00	Costo unitario directo por : m3	9.08
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	1.0000	0.0400	15.59	0.62	
OFICIAL	hh	2.0000	0.0800	12.53	1.00	
PEON	hh	4.0000	0.1600	11.31	1.81	
TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0400	16.25	0.65	
						4.08
Materiales						
YESO	kg		0.1500	0.50	0.08	
						0.08
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		3.0000	4.08	0.12	
CARGADOR FRONTAL CAT-930	hm	1.0000	0.0400	120.00	4.80	
						4.92

Partida	MEJORAMIENTO DE SUELO CON MATERIAL DE OVER D=4-6"					
Rendimiento	m3/DIA	200.00	EQ.	200.00	Costo unitario directo por : m3	45.42
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	0.2000	0.0080	15.59	0.12	
						0.12
Materiales						
OVER PARA MEJORAMINETO D= 4" - 6"	m3		1.5000	15.00	22.50	
						22.50
Equipos						
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROF	hm	1.0000	0.0400	160.00	6.40	
MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.0000	0.0400	200.00	8.00	
CAMION VOLQUETE DE 10 m3	hm	1.0000	0.0400	90.00	3.60	
CAMION CISTERNA (1,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0400	120.00	4.80	
						22.80

Partida	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE					
Rendimiento	m2/DIA	200.0000	EQ.	200.0000	Costo unitario directo por : m2	23.54
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	3.0000	0.1200	15.59	1.87	
PEON	hh	2.0000	0.0800	11.31	0.90	
TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0400	16.25	0.65	
						3.42
Materiales						
AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.1500	5.00	0.75	
						0.75
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		5.0000	3.42	0.17	
RODILLO LISO VIBRATORIO 7- 9 ton	hm	1.0000	0.0400	160.00	6.40	
MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.0000	0.0400	200.00	8.00	
CAMION CISTERNA (1,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0400	120.00	4.80	
						19.37

Fuente: Elaboración propia.

Partida	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM=1 km					
Rendimiento	m3/DIA	625.0000	EQ. 625.0000	Costo unitario directo por : m3		2.88
	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
	OPERARIO	hh	0.2000	0.0026	15.59	0.04
	PEON	hh	1.0000	0.0128	11.31	0.14
						0.18
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		5.0000	0.18	0.01
	CARGADOR FRONTAL CAT-930	hm	1.0000	0.0128	120.00	1.54
	CAMION VOLQUETE DE 10 m3	hm	1.0000	0.0128	90.00	1.15
						2.70

Partida	SUB-BASE GRANULAR E=0.15 m; FACT. COMPAC. =1.20					
Rendimiento	m3/DIA	450.00	EQ. 450.00	Costo unitario directo por : m3		41.00
	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
	OPERARIO	hh	2.0000	0.0356	15.59	0.56
	PEON	hh	4.0000	0.0711	11.31	0.80
	TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0178	16.25	0.29
						1.65
	Materiales					
	MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BAS	m3		1.2000	25.00	30.00
	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.1500	5.00	0.75
						30.75
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		3.0000	1.65	0.05
	RODILLO LISO VIBRATORIO 7-9 ton	hm	1.0000	0.0178	160.00	2.85
	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.0000	0.0178	200.00	3.56
	CAMION CISTERNA (1,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0178	120.00	2.14
						8.60

Partida	BASE GRANULAR E=0.15 m. FACT. COMPAC.=1.20					
Rendimiento	m3/DIA	450.00	EQ. 450.00	Costo unitario directo por : m3		53.00
	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
	OPERARIO	hh	2.0000	0.0356	15.59	0.56
	PEON	hh	4.0000	0.0711	11.31	0.80
	TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0178	16.25	0.29
						1.65
	Materiales					
	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m3		1.2000	35.00	42.00
	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.1500	5.00	0.75
						42.75
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		3.0000	1.65	0.05
	RODILLO LISO VIBRATORIO 7-9 ton	hm	1.0000	0.0178	160.00	2.85
	MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.0000	0.0178	200.00	3.56
	CAMION CISTERNA (1,500 GLNS.)	hm	1.0000	0.0178	120.00	2.14
						8.60

Fuente: Elaboración propia.

Partida	CONFORMACION DE CAMA DE ARENA PARA ASENTADO DE ADOQUINES e=4cm				
Rendimiento	m2/DIA	200.00	EQ. 200.00	Costo unitario directo por : m2	8.35
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0400	15.59	0.62
PEON	hh	4.0000	0.1600	11.31	1.81
					2.43
Materiales					
ARENA GRUESA	m3		0.0500	40.00	2.00
					2.00
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		3.0000	2.43	0.07
MINI CARGADOR	hm	1.0000	0.0400	90.00	3.60
REGLA NIVELADORA	und		1.0000	0.25	0.25
					3.92

Partida	COLOCACION DE ADOQUINES DE CONCRETO 10X20X8cm				
Rendimiento	m2/DIA	100.00	EQ. 100.00	Costo unitario directo por : m2	55.79
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0800	15.59	1.25
OFICIAL	hh	1.0000	0.0800	12.53	1.00
PEON	hh	8.0000	0.6400	11.31	7.24
					9.49
Materiales					
ADOQUIN DE CONCRETO DE 10X20X8cm	und		52.5000	0.85	44.63
					44.63
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		5.0000	9.49	0.47
COMPACTADORA VIBRATORIA TIPO PLANCHA	hm	1.0000	0.0800	10.00	0.80
CORTADORA	hm	1.0000	0.0800	5.00	0.40
					1.67

Partida	COLOCACION DE ADOQUINES DE CONCRETO 10X20X6 cm				
Rendimiento	m2/DIA	100.00	EQ. 100.00	Costo unitario directo por : m2	50.54
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0800	15.59	1.25
OFICIAL	hh	1.0000	0.0800	12.53	1.00
PEON	hh	8.0000	0.6400	11.31	7.24
					9.49
Materiales					
ADOQUIN DE CONCRETO DE 10X20X6cm	und		55.0000	0.75	39.38
					39.38
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		5.0000	9.49	0.47
COMPACTADORA VIBRATORIA TIPO PLANCHA	hm	1.0000	0.0800	10.00	0.80
CORTADORA	hm	1.0000	0.0800	5.00	0.40
					1.67

Fuente: Elaboración propia.

Partida	LLENADO DE JUNTAS Y COMPACTACIÓN						
Rendimiento	m2/DIA	200.00	EQ.	200.00	Costo unitario directo por : m2	1.75	
	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
	PEON		hh	2.0000	0.0800	11.31	0.90
							0.90
	Materiales						
	ARENA FINA		m3		0.0035	90.00	0.32
							0.32
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES		% mo		5.0000	0.90	0.05
	COMPACTADORA VIBRATORIA TIPO PLANCHA		hm	1.0000	0.0400	10.00	0.40
	ZARANDA		hm	1.0000	0.0400	2.00	0.08
							0.53

Partida	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE PAÑOS.						
Rendimiento	m2/DIA	16.00	EQ.	16.00	Costo unitario directo por : m2	27.82	
	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
	OPERARIO		hh	1.0000	0.5000	15.59	7.80
	OFICIAL		hh	1.0000	0.5000	12.53	6.27
							14.07
	Materiales						
	CLAVOS PARA MADERA C/C DE 2 1/2"		kg		0.2500	4.00	1.00
	CLAVOS PARA MADERA C/C DE 3"		kg		0.2500	4.00	1.00
	CLAVOS PARA MADERA C/C DE 4"		kg		0.1500	4.00	0.60
	DESMOLDADOR PARA ENCOFRADO		gl		0.0500	100.00	5.00
	MADERA TORNILLO		p2		1.2100	4.50	5.45
							13.05
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES		% mo		5.0000	14.07	0.70
							0.70

Partida	CONCRETO F'C 280 KG./CM2 PARA LOSA PAVIMENTO						
Rendimiento	m3/DIA	16.0000	EQ.	16.0000	Costo unitario directo por : m3	407.08	
	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
	OPERARIO		hh	2.0000	1.0000	15.59	15.59
	OFICIAL		hh	1.0000	0.5000	12.53	6.27
	PEON		hh	10.0000	5.0000	11.31	56.55
							78.41
	Materiales						
	PIEDRA CHANCADA 3/4"		m3		0.7000	45.00	31.50
	ARENA GRUESA		m3		0.6000	40.00	24.00
	AGUA PUESTA EN OBRA		m3		0.2000	5.00	1.00
	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)		bol		10.5000	24.50	257.25
							313.75
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES		% mo		5.0000	78.41	3.92
	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"		hm	1.0000	0.5000	7.00	3.50
	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (2'		hm	1.0000	0.5000	15.00	7.50
							14.92

Fuente: Elaboración propia.

Partida	DOWELS Ø 1/2" X 0.5m @ 0.45 m					
Rendimiento	kg/DIA	250.0000	EQ. 250.0000	Costo unitario directo por : kg		4.68
	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
	OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	15.59	0.50
	OFICIAL	hh	1.0000	0.0320	12.53	0.40
						0.90
	Materiales					
	ACERO CORRUGADO fy = 4200 kg/cm2 (kg			1.0500	3.50	3.68
						3.68
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		5.0000	0.90	0.05
	CIZALLA	hm	1.0000	0.0320	1.55	0.05
						0.10

Partida	CURADO DE CONCRETO CON ADITIVO CURADOR					
Rendimiento	m2/DIA	240.00	EQ. 240.00	Costo unitario directo por : m2		4.07
	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
	PEON	hh	5.0000	0.1667	11.31	1.89
						1.89
	Materiales					
	CURADOR DE CONCRETO	gal		0.0500	35.00	1.75
						1.75
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		3.0000	1.89	0.06
	MOCHILA PULVERIZADORA	hm	1.0000	0.0050	5.00	0.17
	BROCHA DE NYLON DE 4"	und		0.0200	10.00	0.20
						0.43

Partida	SELLO DE JUNTAS EN PAVIMENTO RIGIDO					
Rendimiento	m/DIA	40.0000	EQ. 40.0000	Costo unitario directo por : m		13.46
	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
	OPERARIO	hh	1.0000	0.2000	15.59	3.12
	PEON	hh	0.5000	0.1000	11.31	1.13
						4.25
	Materiales					
	ASFALTO LIQUIDO MC-30	gal		0.5000	15.00	7.50
	IMPRIMANTE PARA SELLANTE DE JUN	kg		0.0100	150.00	1.50
						9.00
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	% mo		5.0000	4.25	0.21
						0.21

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS VIAS ANALIZADAS

Con el fin de investigar las causas que han llevado al deterioro de los pavimentos articulados en la Ciudad de Jaén, se ha seleccionado 5 tramos de vías afectadas por gran cantidad de fallas y daños de la estructura, ubicadas en el Sector Morro Solar Bajo.

En la Tabla N° 43 se presentan las descripciones generales de los tramos de vía que fueron evaluados.

Tabla N° 43: Tramos de pavimento seleccionados para la evaluación.

Nomenclatura	Nombre de la vía	Desde	Hasta	Longitud (m)
Tramo I	Calle Alfonso Arana Vidal	Cuadra 1	Cuadra 4	258.90
Tramo II	Calle Horacio Zevallos	Cuadra 4	Cuadra 5	133.91
Tramo III	Calle Los Pinos	Cuadra 1	Cuadra 3	143.10
Tramo IV	Calle Los Robles	Cuadra 1	Cuadra 2	148.40
Tramo V	Calle Marañón	Cuadra 17	Cuadra 17	61.90

4.2. INFORMACIÓN DE DISEÑO.

Para la investigación se ha recurrido a la información de los expedientes técnicos originales solicitados a la Municipalidad Provincial de Jaén, que servirá para determinar causas de falla por diseño deficiente de los pavimentos estudiados.

- No se encontró registros del diseño estructural, por lo que se desconoce que consideraciones se tomaron en cuenta para determinar los espesores de capas.

4.3. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE TRÁFICO.

Tabla N° 44: Composición vehicular del Tramo I.

Descripción	Promedio (Veh./día)	% de participación
MOTO TAXIS	1252	85.96%
AUTO	86	5.90%
PICK-UP	64	4.41%
COMBI RURAL	30	2.04%
C2	22	1.48%
T2S3	3	0.21%
TOTAL	1457	100%

El tramo I cuenta con una mayor proporción de vehículos menores y livianos, por lo tanto, su incidencia no es relevante para causar algún tipo de deterioro. La hora de máxima demanda ocurre entre las 9:30-10:30 y $FHMD = 195/(65 \times 4) = 0.75$. Se obtuvo un $IMD = 205 \text{ veh/día}$. Para el diseño del pavimento $EAL's = 5.8E+05$ (articulado) y $EAL's = 6.3E+05$ (rígido).

Tabla N° 45: Composición vehicular del Tramo II

Descripción	Promedio (Veh./día)	% de participación
MOTO TAXIS	2782	94.24%
AUTO	71	2.40%
PICK-UP	71	2.41%
COMBI RURAL	21	0.71%
C2	7	0.25%
TOTAL	2952	100%

El tramo II cuenta con una mayor proporción de vehículos menores y livianos, por lo tanto, su incidencia no es relevante para causar algún tipo de deterioro. La hora de máxima demanda ocurre entre las 7:15-8:15 y $FHMD = 316/(81 \times 4) = 0.98$. Se obtuvo un $IMD = 170 \text{ veh/día}$. Para el diseño del pavimento $EAL's = 1.7E+05$ (articulado) y $EAL's = 1.7E+05$ (rígido).

Tabla N° 46: Composición vehicular del Tramo III.

Descripción	Promedio (Veh./día)	% de participación
MOTO TAXIS	749	89.03%
AUTO	43	5.15%
PICK-UP	29	3.50%
COMBI RURAL	15	1.78%
C2	5	0.54%
TOTAL	841	100%

El tramo III cuenta con una mayor proporción de vehículos menores y livianos, por lo tanto, su incidencia no es relevante para causar algún tipo de deterioro. La hora de máxima demanda ocurre entre las 10:15-11:15 y $FHMD = 112/(31 \times 4) = 0.90$. Se obtuvo un $IMD = 92$ veh/día. Para el diseño del pavimento $EAL's = 1.1E+05$ (articulado) y $EAL's = 1.1E+05$ (rígido).

Tabla N° 47: Composición vehicular del Tramo IV.

Descripción	Promedio (Veh./día)	% de participación
MOTO TAXIS	2743	93.23%
AUTO	84	2.85%
PICK-UP	68	2.32%
COMBI RURAL	35	1.18%
C2	9	0.29%
C3	3	0.10%
T3S3	1	0.04%
TOTAL	2942	100%

El tramo IV cuenta con una mayor proporción de vehículos menores y livianos, por lo tanto, su incidencia no es relevante para causar algún tipo de deterioro. La hora de máxima demanda ocurre entre las 7:30-8:30 y $FHMD = 327/(100 \times 4) = 0.82$. Se obtuvo un $IMD = 199$ veh/día. Para el diseño del pavimento $EAL's = 2.7E+05$ (articulado) y $EAL's = 3.3E+05$ (rígido).

Tabla N° 48: Composición vehicular del Tramo V.

Descripción	Promedio (Veh./día)	% de participación
MOTO TAXIS	5725	94.66%
AUTO	109	1.80%
PICK-UP	122	2.02%
COMBI RURAL	41	0.69%
C2	42	0.69%
C3	5	0.09%
T3S3	3	0.04%
TOTAL	6047	100%

El tramo V cuenta con una mayor proporción de vehículos menores y livianos, por lo tanto, su incidencia no es relevante para causar algún tipo de deterioro. La hora de máxima demanda ocurre entre las 13:00-14:00 y $FHMD = 661/(173 \times 4) = 0.96$. Se obtuvo un $IMD = 323$ veh/día. Para el diseño del pavimento $EAL's = 1.1E+06$ (articulado) y $EAL's = 1.2E+06$ (rígido).

4.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS.

Tabla N° 49: Resumen de los resultados del estudio de suelos.

Calicata	Estrato	Profundidad (m)	Granulometría				Clasificación		Propiedades Físicas			Propiedades Mecánicas			
									Límites Consistencia			Proctor Modificado		CBR	
			N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	AASHTO	SUCS	L.L	L.P	I.P	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)	100%	95%
1	E1	0.00 -1.50 m	100.00	99.20	92.20	76.40	A-6 (12)	CL	39%	22.7%	16.3%	1.801	23.07	6.00	3.00
2	E0	0.00 - 0.60 m	ARCILLAS ORGÁNICAS												
	E1	0.60 -1.50 m	100.00	63.80	39.00	12.20	A-1-b (0)	SM	19%	N.P	N.P	2.193	7.40	56.20	23.90
3	E1	0.00 -1.50 m	100.00	98.40	94.20	61.40	A-4 (1)	CL-ML	23.0%	17.3%	5.7%	1.772	15.93	9.55	4.25
4	E1	0.00 -1.50 m	48.60	32.56	17.01	5.73	A-1-a (0)	GW-GM	25%	N.P	N.P	2.153	6.63	51.52	31.50

De la Tabla N° 49, se puede observar que:

- ✓ C.01: Arcillas inorgánicas de plasticidad media. El valor de CBR obtenido para un 100% de la MDS es de 6.00% y al 95% es de 3.00%, lo que evidencia que el material en estudio, es de mala calidad (subrasante pobre).
- ✓ C.02: Arenas limosas exentas de plasticidad. El valor de CBR obtenido para un 100% de la MDS es de 56.20% y al 95% es de 23.90%, lo que evidencia que el material en estudio, es de muy buena calidad (subrasante muy buena).
- ✓ C.03: Arcilla limosa de baja plasticidad. El valor de CBR obtenido para un 100% de la MDS es de 9.55% y al 95% es de 4.25%, lo que evidencia que el material en estudio, es de mala calidad (subrasante pobre).
- ✓ C.04: Grava limosa bien gradada exenta de plasticidad. El valor de CBR obtenido para un 100% de la MDS es de 51.52% y al 95% es de 31.50%, lo que evidencia que el material en estudio, es de excelente calidad (subrasante excelente).

4.5. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL

El ICP se desarrolló para obtener un índice de la condición estructural y funcional del pavimento, investigación que ayudo a definir las posibles causas de los daños encontrados para cada uno de los tramos analizados.

4.5.1. Cálculo de las unidades de muestreo de cada tramo.

En la Tabla N° 50 se muestra un resumen de los valores calculados para la determinación de las unidades de muestreo por tramo, considerando que el área de cada unidad de muestreo debe estar en el rango 230 ± 93 m².

Tabla N° 50: Resumen de las unidades de muestreo para la inspección por tramo.

TRAMO	Longitud Total por tramo (ml)	Ancho de Vía por tramo (ml)	Longitud adoptada por unidad de muestreo	N° de unidades de muestreo a evaluar
Tramo I	258.90	7.20	30.00	9
Tramo II	133.91	6.55	30.00	5
Tramo III	143.10	5.10	30.00	5
Tramo IV	148.40	7.00	30.00	5
Tramo V	61.90	7.00	30.00	2

4.5.2. Cálculo del ICP de las unidades de muestreo de cada tramo.

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utilizó para calcular el ICP. Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo N° 4 en su formato correspondiente.

4.5.3. Cálculo del ICP de los tramos de vías inspeccionadas.

La presente tesis se encuentra en el “Caso 1” para la determinación del ICP de una sección de pavimento, donde se dice que, si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el ICP de la sección será el promedio de los ICP calculados en las unidades de muestreo. Obteniéndose mediante la siguiente ecuación:

$$PCI_S = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_R * N_R)}{\sum_{i=1}^n N_R} \quad \text{.....Ecuación 4.1}$$

Dónde:

PCIS: PCI de la sección del pavimento.

PCIR: PCI de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

n: Número de unidades de muestreo inventariadas.

NR: Área inventariada por unidad de muestreo.

A continuación, se presenta el cálculo de ICP de cada sección de pavimento inspeccionado:

- **Tramo I: Calle Alfonso Arana Vidal Cdra. 1→4**

Tabla N° 51: ICP del Tramo I: Calle Alfonso A. Arana Vidal Cdra. 1→4

MUESTRA	ICP	CLASIFICACIÓN	ÁREA	(ICP)*(ÁREA)
T1-U01	4	Bueno	216.00	864.00
T1-U02	3	Regular	216.00	648.00
T1-U03	4	Bueno	216.00	864.00
T1-U04	4	Bueno	216.00	864.00
T1-U05	4	Bueno	216.00	864.00
T1-U06	2	Malo	216.00	432.00
T1-U07	3	Regular	216.00	648.00
T1-U08	4	Bueno	216.00	864.00
T1-U09	4	Bueno	136.08	544.32
SUMA			1864.08	6592.32

$$ICP_{\text{Tramo I}} = \frac{6592.32}{1864.08} = 4$$

Clasificación: **BUENO**

El ICP de 4 obtenido para el tramo I, nos hace concluir de forma generalizada que el pavimento ha comenzado a mostrar pequeñas fallas localizadas, es decir, el punto en que deben iniciarse acciones de mantenimiento rutinario y recurrente.

Casi todas las unidades de muestra evaluados obtuvieron una condición de pavimento de regular a bueno, a excepción de la unidad de muestra T1-U06, que mostró una condición MALA, con un ICP de 2, debido a que existe una cantidad importante de área afectada por pérdida de adoquines.

- **Tramo II: Calle Horacio Zevallos Cdra. 4→5**

Tabla N° 52: ICP del Tramo II: Calle Horacio Zevallos Cdra. 4→5

MUESTRA	ICP	CLASIFICACIÓN	ÁREA	(ICP)*(ÁREA)
T2-U01	3	Regular	196.50	589.50
T2-U02	4	Bueno	169.71	678.84
T2-U03	4	Bueno	208.50	834.00
T2-U04	3	Regular	208.50	625.50
T2-U05	3	Regular	125.10	375.30
SUMA			908.31	3103.14

$$ICP_{\text{Tramo II}} = \frac{3103.14}{908.31} = 3$$

Clasificación: **REGULAR**

El ICP de 3 obtenido para el tramo II, nos hace concluir de forma generalizada que el pavimento presenta daños de alta severidad, es decir, el punto en que deben iniciarse acciones de refuerzo - mantenimiento rutinario.

Tabla N° 53: ICP del Tramo III: Calle Los Pinos Cdra. 1→3

MUESTRA	ICP	CLASIFICACIÓN	ÁREA	(ICP)*(ÁREA)
T3-U01	3	Regular	153.00	459.00
T3-U02	2	Malo	153.00	306.00
T3-U03	3	Regular	153.00	459.00
T3-U04	3	Regular	153.00	459.00
T3-U05	4	Bueno	117.81	471.24
SUMA			729.81	2154.24

$$ICP_{\text{Tramo III}} = \frac{2154.24}{729.81} = 3$$

Clasificación: **REGULAR**

El ICP de 3 obtenido para el tramo III, nos hace concluir de forma generalizada que el pavimento presenta daños de alta severidad, es decir, el punto en que deben iniciarse acciones de refuerzo - mantenimiento rutinario.

Casi todas las unidades de muestra evaluados obtuvieron una condición de pavimento de regular a bueno, a excepción de la unidad de muestra T3-U02, que mostró una condición MALA, con un ICP de 2, debido a que existe una cantidad importante de área afectada por depresiones.

Tabla N° 54: ICP del Tramo IV: Calle Los Robles Cdra. 1→2

MUESTRA	ICP	CLASIFICACIÓN	ÁREA	(ICP)*(ÁREA)
T4-U01	3	Regular	210.00	630.00
T4-U02	3	Regular	210.00	630.00
T4-U03	2	Malo	210.00	420.00
T4-U04	4	Bueno	210.00	840.00
T4-U05	4	Bueno	198.80	795.20
SUMA			1038.80	3315.20

$$ICP_{\text{Tramo IV}} = \frac{3315.20}{1038.80} = 3$$

Clasificación: **REGULAR**

El ICP de 3 obtenido para el tramo IV, nos hace concluir de forma generalizada que el pavimento presenta daños de alta severidad, es decir, el punto en que deben iniciarse acciones de refuerzo - mantenimiento rutinario.

Casi todas las unidades de muestra evaluados obtuvieron una condición de pavimento de regular a bueno, a excepción de la unidad de muestra T4-U03, que mostró una condición MALA, con un ICP de 2, debido a que existe una cantidad importante de área afectada por depresiones ocasionadas por la rotura y reposición de instalaciones de servicios públicos.

Tabla N° 55: ICP del Tramo V: Calle Marañón Cdra. 17

MUESTRA	ICP	CLASIFICACIÓN	ÁREA	(ICP)*(ÁREA)
T5-U01	3	Regular	210	630.00
T5-U02	3	Regular	223.3	669.90
SUMA			433.30	1299.90

$$ICP_{\text{Tramo V}} = \frac{1299.90}{433.30} = 3$$

Clasificación: **REGULAR**

El ICP de 3 obtenido para el tramo V, nos hace concluir de forma generalizada que el pavimento presenta daños de alta severidad, es decir, el punto en que deben iniciarse acciones de refuerzo - mantenimiento rutinario.

4.5.4. Resultados obtenidos según el tipo de patología existente en el pavimento.

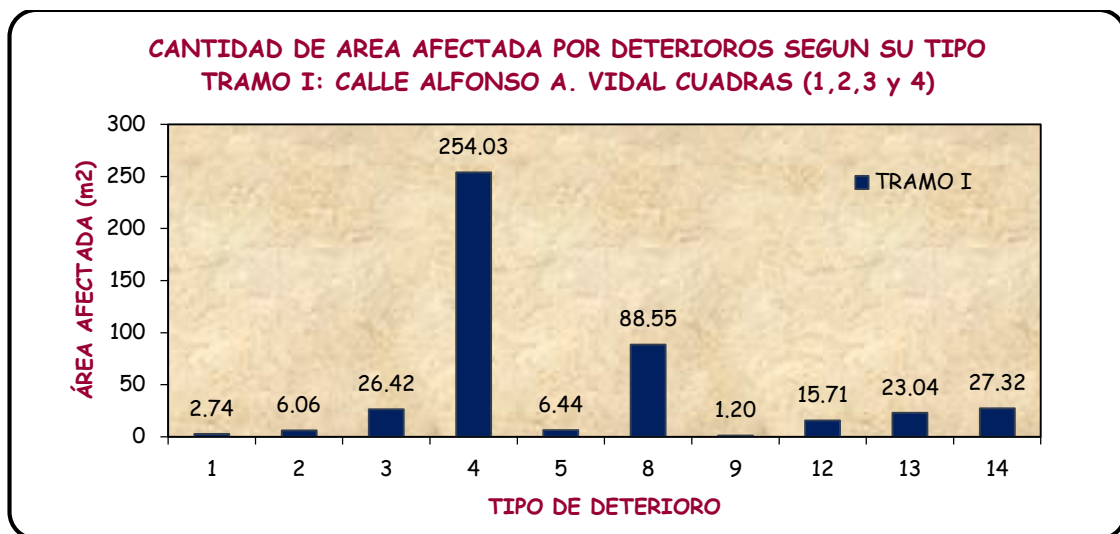
En los segmentos de vías tomadas, se inspeccionaron un total de 26 unidades de muestra, en todos los tramos se encontraron casi los mismos tipos de patologías, sin embargo, sus severidades y densidades fueron distintas.

- Tramo I: Calle Alfonso Arana Vidal Cdra. 1→4

Tabla N° 56: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo I según su tipo.

N°	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	SEVERIDAD			AREA AFECTADA (m2)
		BAJO	MEDIO	ALTO	
1	Abultamineto	-	-	2.74	2.74
2	Ahuellamiento	-	6.06	-	6.06
3	Depresiones	-	-	26.42	26.42
4	Desgaste superficial	-	254.03	-	254.03
5	Perdida de arena	-	6.44	-	6.44
8	Fracturamiento	-	3.60	84.95	88.55
9	Fract. de confinamientos externos	-	-	1.20	1.20
12	Escal. entre adoquines y confinamientos	-	2.92	12.79	15.71
13	Juntas abiertas	-	15.00	8.04	23.04
14	Perdida de adoquines*	-	6.00	21.32	27.32
				SUMA	451.51

En el gráfico siguiente, se puede observar los tipos de deterioros existentes en el segmento de vía en estudio con sus cantidades respectivas.

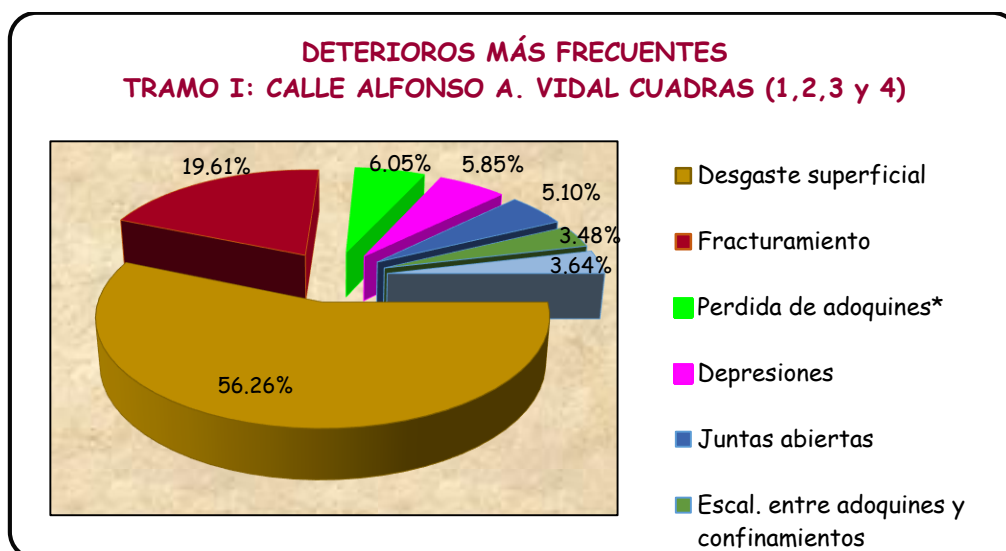


Para poder obtener los deterioros más frecuentes encontrados en las distintas unidades de muestra del Tramo I, se ordenó de forma descendente los valores resultantes de la Tabla N° 56 y se agruparon los valores menores a 6.44 en otros tipos de deterioros, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 57: Deterioros más frecuentes encontrados en el Tramo I.

Nº	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	AREA AFECTADA	%
4	Desgaste superficial	254.03	56.26%
8	Fracturamiento	88.55	19.61%
14	Perdida de adoquines*	27.32	6.05%
3	Depresiones	26.42	5.85%
13	Juntas abiertas	23.04	5.10%
12	Escal. entre adoquines y confinamientos	15.71	3.48%
*	Otros tipos de detrioros	16.44	3.64%
SUMA		451.51	100%

En el gráfico siguiente, se puede observar los deterioros más frecuentes en el segmento de vía en estudio con sus porcentajes respectivos.



Como se puede observar, los deterioros más frecuentes en el tramo I son: el desgaste superficial con un 56.26%, el fracturamiento con un 19.61%, la pérdida de adoquines con un 6.05% y las depresiones con un 5.85%.

- **Tramo II: Calle Horacio Zevallos Cdra. 4→5**

Tabla N° 58: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo II según su tipo.

N°	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	SEVERIDAD			AREA AFECTADA (m2)
		BAJO	MEDIO	ALTO	
3	Depresiones	0.62	-	9.68	10.30
4	Desgaste superficial	-	160.83	-	160.83
5	Perdida de arena	1.52	6.65	-	8.17
8	Fracturamiento	-	60.05	-	60.05
9	Fract. de confinamientos externos	-	7.65	1.31	8.96
10	Fract. de confinamientos internos	-	-	8.05	8.05
13	Juntas abiertas	-	48.46	-	48.46
SUMA					304.817

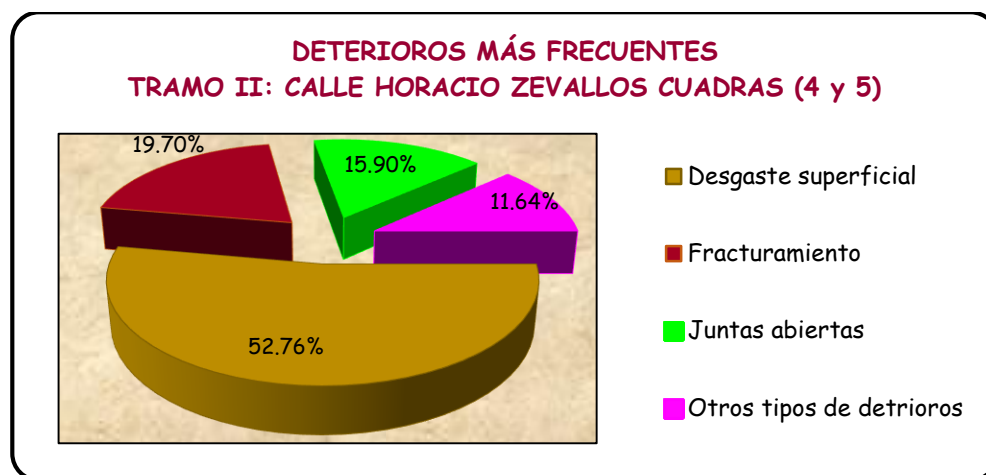
En el gráfico siguiente, se puede observar los tipos de deterioros existentes en el segmento de vía en estudio con sus cantidades respectivas.



Para poder obtener los deterioros más frecuentes encontrados en las distintas unidades de muestra del Tramo II, se ordenó de forma descendente los valores resultantes de la Tabla N° 58 y se agruparon los valores menores a 10.30 en otros tipos de deterioros, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 59: Deterioros más frecuentes encontrados en el Tramo II.

Nº	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	AREA AFECTADA	%
4	Desgaste superficial	160.83	52.76%
8	Fracturamiento	60.05	19.70%
13	Juntas abiertas	48.46	15.90%
*	Otros tipos de detrioros	35.48	11.64%
SUMA		304.82	100%



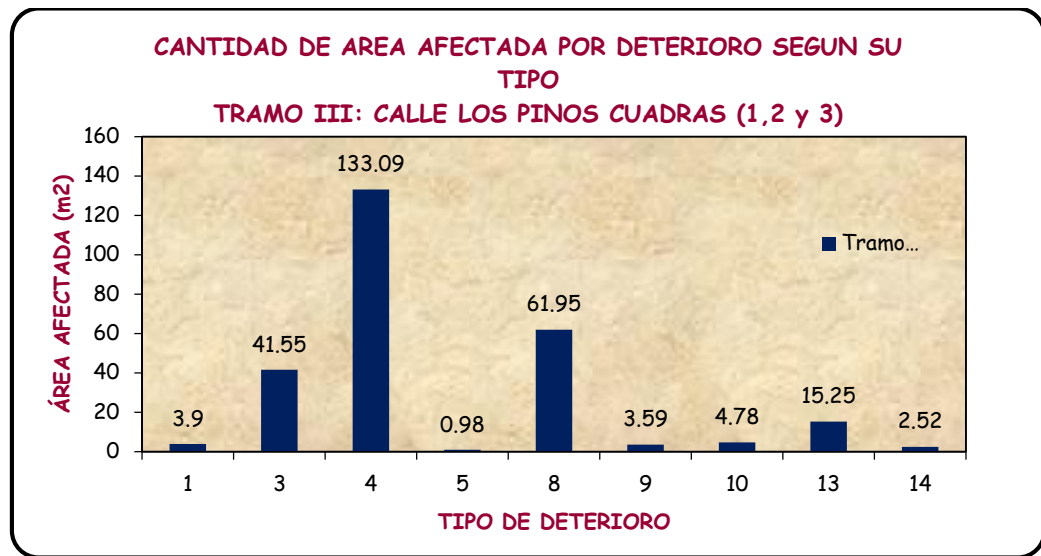
Como se puede observar los deterioros más frecuentes en el tramo II son: el desgaste superficial con un 52.76%, el fracturamiento con un 19.70% y juntas abiertas con un 11.64%.

• **Tramo III: Calle Los Pinos Cdra. 1→3**

Tabla N° 60: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo III según su tipo.

Nº	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	SEVERIDAD			AREA AFECTADA (m2)
		BAJO	MEDIO	ALTO	
1	Abultamineto	1.20	-	2.70	3.90
3	Depresiones	-	-	41.55	41.55
4	Desgaste superficial	-	133.09	-	133.09
5	Perdida de arena	-	0.98	-	0.98
8	Fracturamiento	-	51.29	10.66	61.95
9	Fract. de confinamientos externos	0.53	3.06	-	3.59
10	Fract. de confinamientos internos	-	-	4.78	4.78
13	Juntas abiertas	0.60	14.65	-	15.25
14	Perdida de adoquines*	-	1.12	1.40	2.52
SUMA					267.61

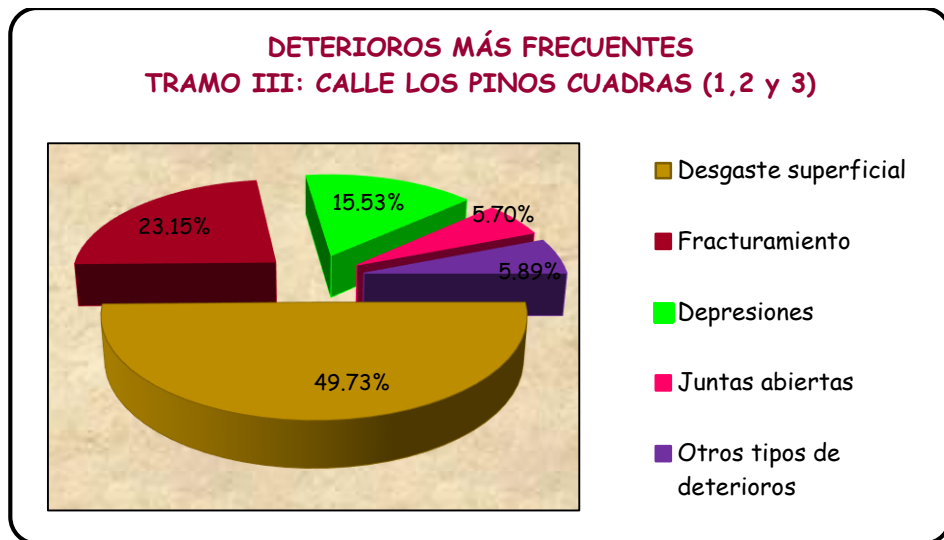
En el gráfico siguiente, se puede observar los tipos de deterioros existentes en el segmento de vía en estudio con sus cantidades respectivas.



Para poder obtener los deterioros más frecuentes encontrados en las distintas unidades de muestra del Tramo III, se ordenó de forma descendente los valores resultantes de la Tabla N° 60 y se agruparon los valores menores a 4.78 en otros tipos de deterioros, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 61: Deterioros más frecuentes encontrados en el Tramo III.

Nº	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	AREA AFECTADA	%
4	Desgaste superficial	133.09	49.73%
8	Fracturamiento	61.95	23.15%
3	Depresiones	41.55	15.53%
13	Juntas abiertas	15.25	5.70%
*	Otros tipos de deterioros	15.77	5.89%
SUMA		267.61	100%



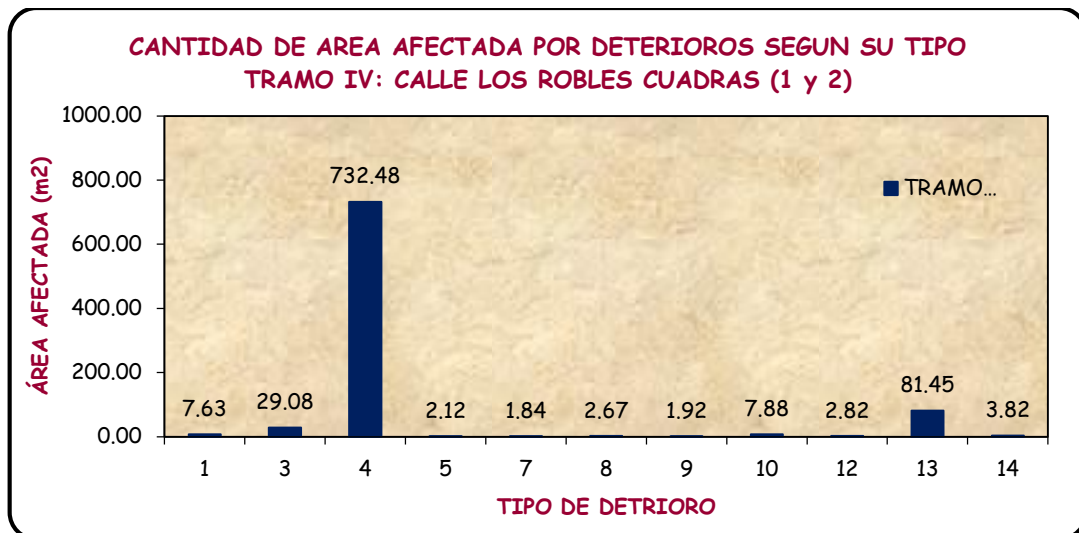
Como se puede observar los deterioros más frecuentes en el tramo III son: el desgaste superficial con un 49.73%, el fracturamiento con un 23.15%, depresiones con un 15.53 y las juntas abiertas con un 5.70%.

- **Tramo IV: Calle Los Robles Cdra. 1→2**

Tabla N° 62: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo IV según su tipo.

N°	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	SEVERIDAD			AREA AFECTADA (m2)
		BAJO	MEDIO	ALTO	
1	Abultamiento	1.63	-	6.00	7.63
3	Depresiones	-	-	29.08	29.08
4	Desgaste superficial	-	732.48	-	732.48
5	Perdida de arena	2.12	-	-	2.12
7	Desplazamiento de juntas	1.84	-	-	1.84
8	Fracturamiento	0.62	0.43	1.62	2.67
9	Fract. de confinamientos externos	-	1.92	-	1.92
10	Fract. de confinamientos internos	-	7.88	-	7.88
12	Escal. entre adoquines y confinam.	2.28	-	0.54	2.82
13	Juntas abiertas	-	73.65	7.80	81.45
14	Perdida de adoquines*	-	1.42	2.40	3.82
SUMA					873.71

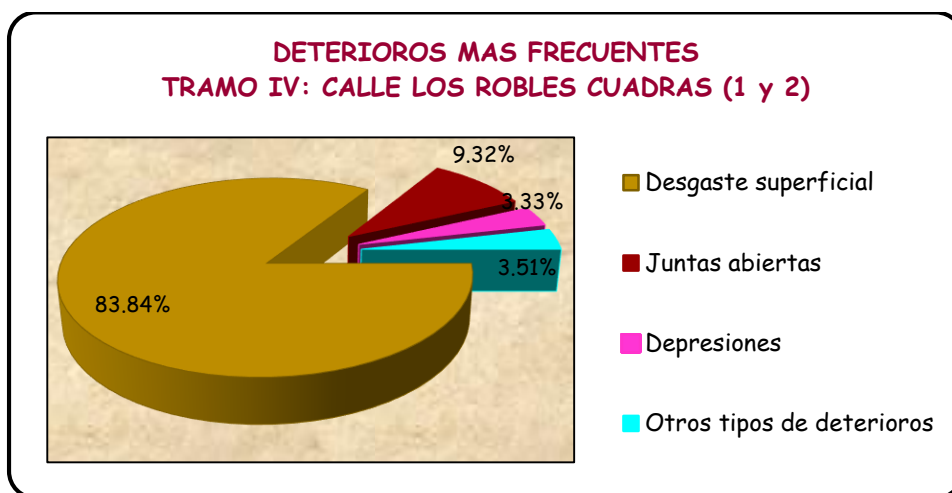
En el gráfico siguiente, se puede observar los tipos de deterioros existentes en el segmento de vía en estudio con sus cantidades respectivas.



Se ordenó de forma descendente los valores resultantes de la Tabla N° 62 y se agruparon los valores menores a 7.88 en otros tipos de deterioros, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 63: Deterioros más frecuentes encontradas en el Tramo IV.

N°	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	AREA AFECTADA	%
4	Desgaste superficial	732.48	83.84%
13	Juntas abiertas	81.45	9.32%
3	Depresiones	29.08	3.33%
*	Otros tipos de deterioros	30.70	3.51%
SUMA		873.71	100%



Como se puede observar los deterioros más frecuentes en el tramo IV son: el desgaste superficial con un 83.84%, juntas abiertas con un 9.32% y las depresiones con un 3.33%. Donde las fallas por depresiones, son debidas a la rotura y reposición de instalaciones de servicios públicos.

- Tramo V: Calle Marañón Cdra. 17

Tabla N° 64: Cantidad de área afectada por deterioros en el Tramo V según su tipo.

N°	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	SEVERIDAD			AREA AFECTADA (m2)
		BAJO	MEDIO	ALTO	
3	Depresiones	-	5.10	3.61	8.71
4	Desgaste superficial	-	181.12	-	181.12
5	Perdida de arena	-	27.81	-	27.81
8	Fracturamiento	-	-	60.57	60.57
9	Fract. de confinamientos externos	-	1.71	-	1.71
10	Fract. de confinamientos internos	-	2.73	-	2.73
12	Escal. entre adoquines y confinam.		1.36		1.36
					284.01

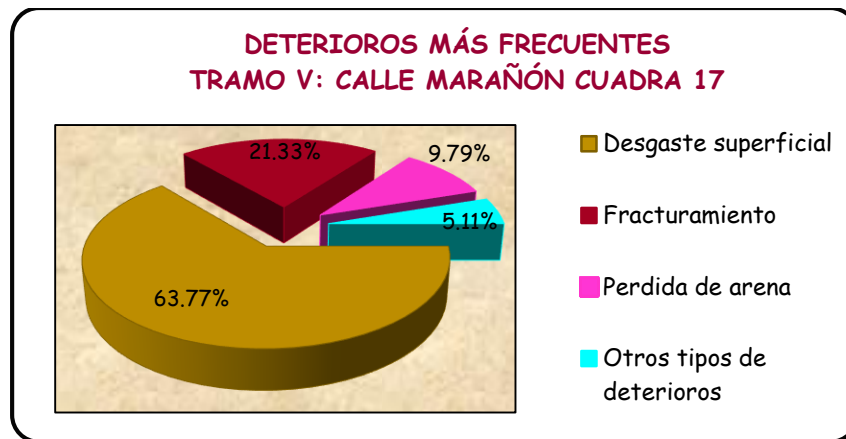
En el gráfico siguiente, se puede observar los tipos de deterioros existentes en el segmento de vía en estudio con sus cantidades respectivas.



Se ordenó de forma descendente los valores resultantes de la Tabla N° 64 y se agruparon los valores menores a 8.71 en otros tipos de deterioros, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 65: Deterioros más frecuentes encontradas en el Tramo V.

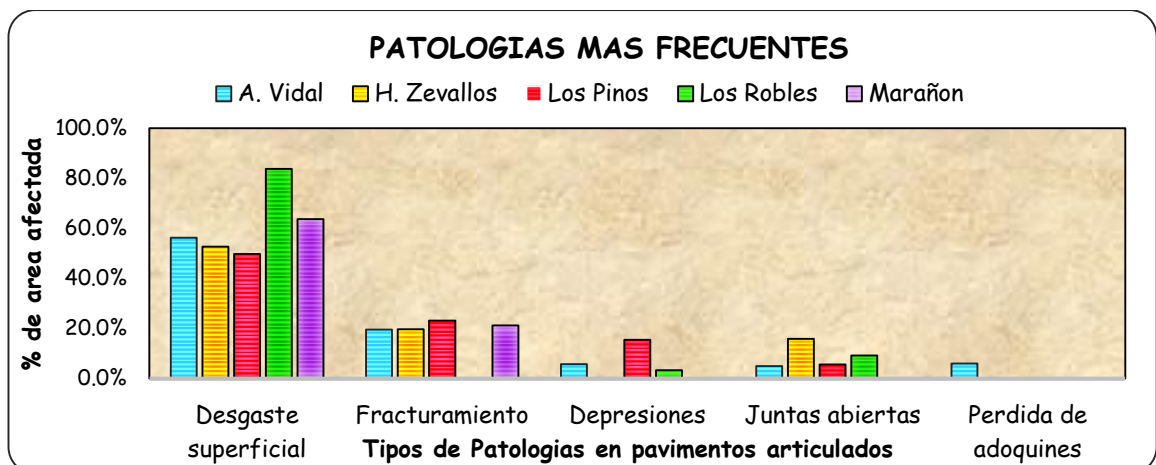
N°	TIPO DE DETERIORO EN EL PAVIMENTO ARTICULADO	AREA AFECTADA	%
4	Desgaste superficial	181.12	63.77%
8	Fracturamiento	60.57	21.33%
5	Perdida de arena	27.81	9.79%
*	Otros tipos de deterioros	14.51	5.11%
SUMA		284.01	100%



Como se puede observar los deterioros más frecuentes en el tramo V son: el desgaste superficial con un 63.77%, el fracturamiento con un 21.33% y pérdida de arena con un 9.79%.

4.5.5. Resumen de los resultados obtenidos de la evaluación superficial.

- ✓ Las patologías más frecuentes encontradas en los 5 tramos evaluados son:



- ✓ El desgaste superficial en los adoquines, es causado por el uso de agregados sintéticos o de escorias para su fabricación, agregados que contienen impurezas que en contacto con el ambiente se degradan rápidamente.
- ✓ Los fracturamientos en los adoquines, es causado por las deformaciones en su base producidas por la presencia de suelos de mala calidad.
- ✓ Las juntas abiertas y pérdida de adoquines, es causado por el drenaje inadecuado, puesto que, los pavimentos trabajan como canal colector de aguas de lluvia con corrientes voluminosas, causando la pérdida del sello de las juntas, lo cual conlleva a la pérdida de trabazón en los adoquines dejándolos sueltos con posibilidad de ser arrastrados. (Ver anexos Foto N° 47 y 48).

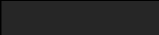

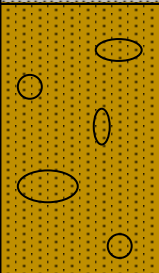
4.6. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DESTRUCTIVA.

4.6.1. Perfil de los pavimentos existentes.

- **Tramo I: Calle Alfonso Arana Vidal:**

El pavimento de la calle Alfonso Arana Vidal existente entre la cuadra 1 y 4 es articulado y está conformado por las siguientes capas:

Tabla N° 66: Perfil del pavimento encontrado en el Tramo I.

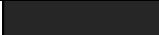

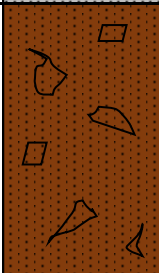
PROFUNDIDAD (cm)	GRÁFICO	CALICATA - 01	CALICATA - 02
0.00-6.00		Adoquines de concreto	Adoquines de concreto
6.00-10.00		Cama de arena	Cama de arena
10.00-30.00		Subbase de arena limosa color amarillo oscuro con apreciable cantidad de grava de río.	Subbase de arena limosa color amarillo oscuro con apreciable cantidad de grava de río. Se encuentra húmedo.

Cabe resaltar que, la zona excavada en la C.02 fue elegida por presentar falla importante de pérdida de adoquines.

- **Tramo II: Calle Horacio Zevallos:**

El pavimento de la calle Horacio Zevallos existente entre la cuadra 4 y 5 es articulado y está conformado por las siguientes capas:

Tabla N° 67: Perfil del pavimento encontrado en el Tramo II.

PROFUNDIDAD (cm)	GRÁFICO	CALICATA - 01	CALICATA - 02
0.00-6.00		Adoquines de concreto	Adoquines de concreto
6.00-11.00		Cama de arena	Cama de arena
11.00-31.00		Subbase de arena limosa color café oscuro con apreciable cantidad de grava triturada.	Subbase de arena limosa color café oscuro con apreciable cantidad de grava triturada. Se encuentra húmedo.

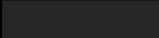

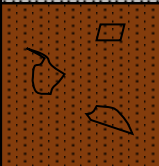
Cabe resaltar que, la zona excavada en la C.02 fue elegida por presentar falla importante de depresión (nivel de severidad alta 16 cm de flecha).

Durante el trabajo de campo realizado, se descubrió una zona abierta en el jardín cerca del área donde se efectuó la C.02, de aproximadamente 0.80 m de profundidad medido desde la superficie del jardín, protegida con tablas para evitar accidentes. Dentro de la cual se observó que se ha desarrollado una continua socavación debajo de la superficie del pavimento de aproximadamente 10 m de longitud y ancho 1.50 m, producida por filtración de las tuberías de agua (Ver Fotos N° 111, 112, 113 y 114) lo cual resulta preocupante puesto que en cualquier momento toda esa área podría colapsar.

- **Tramo III: Calle Los Pinos.**

El pavimento de la calle Los Pinos existente entre la cuadra 1 y 3 es articulado y está conformado por las siguientes capas:

Tabla N° 68: Perfil del pavimento encontrado en el Tramo III.

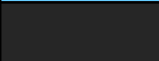

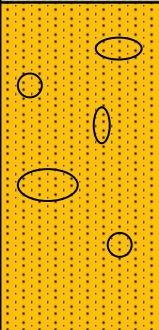
PROFUNDIDAD (cm)	GRÁFICO	CALICATA - 01	CALICATA - 02
0.00-6.00		Adoquines de concreto	Adoquines de concreto
6.00-11.00		Cama de arena	Cama de arena
11.00-26.00		Subbase de arena limosa color café oscuro con apreciable cantidad de grava triturada.	Subbase de arena limosa color café oscuro con apreciable cantidad de grava triturada. Se encuentra húmedo.

Cabe resaltar que, la zona excavada en la C.02 fue elegida por presentar falla importante de depresión (nivel de severidad alta 8.5 cm de flecha).

- **Tramo IV: Calle Los Robles.**

El pavimento de la calle Los Robles existente entre la cuadra 1 y 2 es articulado y está conformado por las siguientes capas:

Tabla N° 69: Perfil del pavimento encontrado en el Tramo IV.

PROFUNDIDAD (cm)	GRÁFICO	CALICATA - 01	CALICATA - 02
0.00-8.00		Adoquines de concreto	Adoquines de concreto
8.00-12.00		Cama de arena	Cama de arena
12.00-30.00		Subbase de arena limosa color amarillo claro con apreciable cantidad de grava de río.	Subbase de arena limosa color amarillo claro con apreciable cantidad de grava de río. Se encuentra húmedo.

Cabe resaltar que, la zona excavada en la C.02 fue elegida por presentar falla importante de abultamiento (nivel de severidad alta 6.5 cm de flecha).

- **Tramo V: Calle Marañón.**

No se pudo realizar la excavación de calicatas por impedimento de los moradores de la zona, a pesar de que se contaba con autorización. Por lo que se desconoce el perfil completo del pavimento evaluado, únicamente se sabe que el adoquín utilizado es 6 cm.

4.6.2. Resultados de los ensayos de Densidad de campo.

Tabla N° 70: Resultados de los ensayos de densidad de campo sobre la capa de sub-base.

TRAMO	MATERIAL	CALICATA	CONTROL DE COMPACTACION	
			Compactación (%)	Aceptabilidad (A) Rechazo (R)
Tramo I Calle A. Vidal	Sub base	C.01	100	Aceptable
		C.02	94	Rechazado
Tramo II Calle H. Zevallos	Sub base	C.01	100	Aceptable
		C.02	94	Rechazado
Tramo III Calle Los Pinos	Sub base	C.01	100	Aceptable
		C.02	88	Rechazado
Tramo IV Calle Los Robles	Sub base	C.01	97	Aceptable
		C.02	100	Aceptable

De la Tabla N° 70, se puede observar que:

- ✓ La C.01 de los Tramos I, II, III y las del Tramo IV, se encuentran compactadas por encima del porcentaje de compactación recomendado para capas de sub-base granular (95% de la MDS).

- ✓ Para el caso de la C.02 en los Tramos I, II y III, la compactación es deficiente, debido generalmente a la presencia de humedad excesiva que se encontró en las zonas de excavación (depresiones).

4.6.3. Resultados de los ensayos de PDC.

Tabla N° 71: Resultados de los ensayos de PDC sobre la subrasante.

TRAMO	CAPA ENSAYADA	CALICATA	CBR (%)	CATEGORIZACIÓN DEL SUELO
Tramo I Calle A. Vidal	Subrasante	C. 01	3.11%	Pobre
		C.02	1.38%	Inadecuada
Tramo II Calle H. Zevallos	Subrasante	C. 01	23.32%	Muy buena
		C. 02	3.61%	Pobre.
Tramo III Calle Los Pinos	Subrasante	C. 01	27.65%	Muy buena
		C. 02	4.59%	Pobre
Tramo IV Calle Los Robles	Subrasante	C. 01	-	No se completó el ensayo.
		C. 02	-	

De los resultados mostrados en la Tabla N° 71, se deduce lo siguiente:

- **Tramo I:** Los valores de CBR obtenidos en el ensayo de PDC (C.01, C.02) y el estudio de suelos (3%) no difieren mucho, y estos son menores al 6%, es decir que, el suelo encontrado es de mala calidad y debió estabilizarse previamente.
- **Tramo II:** El valor de CBR obtenido en el ensayo de PDC (C.01) y el del estudio de suelos (23.9%) no difieren mucho, es decir que, el suelo encontrado es apto para subrasante. Sin embargo, el resultado en la C.02 (3.61%) evidencia la existencia de zonas húmedas locales o áreas blandas que debieron estabilizarse.
- **Tramo III:** El valor de CBR obtenido en el ensayo de PDC (C.01) y el del estudio de suelos (23.9%) no difieren mucho, es decir que, el suelo encontrado es apto para subrasante. Sin embargo, el resultado en la C.02 (4.59%) evidencia la existencia de zonas húmedas locales o áreas blandas que debieron estabilizarse.

En conclusión, los deterioros por depresiones, abultamientos y fracturamiento de adoquines existentes en los tramos evaluados, se deben principalmente a la presencia de suelos de mala calidad.

4.7. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LOS MATERIALES DE CAPAS.

4.7.1. Sub-base Granular.

Tabla N° 72: Resumen de los resultados del estudio del material de sub-base.

Tramo	Material	Espesor (cm)	Granulometría					Clasificación		Propiedades Físicas			Propiedades Mecánicas		
			N° 4	N° 10	N° 40	N° 200	Gradación que cumple	AASHTO	SUCS	Límites Consistencia			Proctor Modificado		CBR
										L.L	L.P	I.P	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)	100%
I	Sub-base	20	60.99	51.07	32.71	16.38	D	A-2-4 (0)	SM	21%	18.3%	2.7%	2.198	7.20	32.80
II	Sub-base	20	76.27	50.22	27.52	15.72	D	A-2-4 (0)	SM	22%	16%	6%	2.174	8.30	54.50
III	Sub-base	15	57.88	40.45	23.89	12.51	B	A-2-4 (0)	SM	17%	N.P	N.P	2.158	8.35	57.70
IV	Sub-base	30-40	57.77	40.43	26.06	13.22	B	A-2-4 (0)	SM	18%	N.P	N.P	2.204	8.50	77.00

De la Tabla N° 72, se puede observar que:

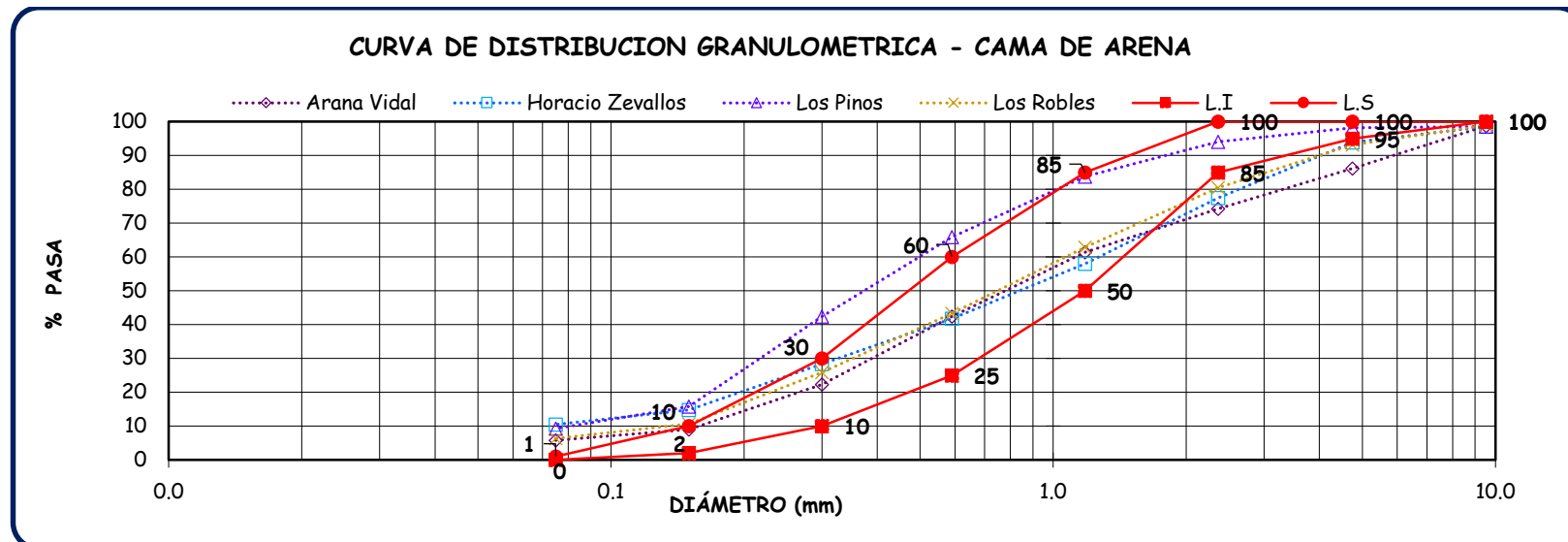
- ✓ De los ensayos de granulometría, los materiales de sub-base cumplen casi en su totalidad con las gradaciones exigidas por la Norma C.E. 0.10 Pavimentos Urbanos.
- ✓ Respecto a los ensayos de límites de consistencia, los materiales cumplen con la especificación mínima de la Norma ($L.L \leq 25\%$ y $I.P \leq 6\%$), es decir que, poseen poco o ninguna cantidad de arcillas.
- ✓ La capacidad de soporte (CBR) de los materiales de sub-base, cumplen con la especificación mínima de la Norma ($CBR \geq 30\%$ referido al 100 MDS).

En conclusión, el material usado para la capa de sub-base de los Tramos evaluados cumplen con los requisitos exigidos por la Norma, por lo tanto, no es la causa de ningún tipo deterioro.

4.7.2. Cama de arena.

Tabla N° 73: Resumen de los ensayos granulométricos de la cama de arena.

Tramo	Material	Espesor (cm)	% que pasa							
			N° 3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
Especificación Norma C.E 0.10			100-100	95-100	85-100	50-85	25-60	10-30	02-10	0-1
Tramo I	Cama de arena	4	98.79	86.16	74.23	61.44	42.42	22.35	8.99	5.83
Tramo II	Cama de arena	5	98.59	93.91	77.43	58.03	41.8	28.4	14.76	10.45
Tramo III	Cama de arena	5	98.6	98.19	94.05	83.76	65.92	42.43	15.78	9.24
Tramo IV	Cama de arena	4	98.91	93.19	80.53	62.89	43.35	25.89	10.68	6.33



De los ensayos granulométricos de la cama de arena, se determinó que no cumplen con la gradación exigida por la Norma C.E 0.10 Pavimentos Urbanos. Los Tramos II y III, poseen una elevada fracción de finos de 9.24% y 10.45% respectivamente, excediendo el máximo tolerable (5%), por lo tanto, es causa de las deformaciones encontradas en dichos pavimentos.

4.7.3. Adoquines de concreto.

Tabla N° 74: Resumen de los ensayos de resistencia a la compresión de los adoquines.

TRAMO	MUESTRA	ESPESOR (mm)	RESISTENCIA POR UNIDAD		RESISTENCIA PROMEDIO	
			kg/cm2	MPa	MPa	Especificación
Tramo I Calle Alfonso A. Vidal	M-1	60 mm	496.84	48.72	42.43	41 MPa
	M-2		325.44	31.91		
	M-3		475.65	46.65		
Tramo II Calle Horacio Zevallos	M-1	60 mm	604.92	59.32	47.18	41 MPa
	M-2		357.41	35.05		
	M-3		480.96	47.17		
Tramo III Calle Los Pinos	M-1	60 mm	517.77	50.78	47.60	41 MPa
	M-2		513.14	50.32		
	M-3		425.40	41.72		
Tramo IV Calle Los Robles	M-1	80 mm	435.69	42.73	49.56	37 MPa
	M-2		522.56	51.27		
	M-3		557.79	54.70		

De la Tabla N° 74, la resistencia promedio determinada para los Tramos I, II III y IV es mayor a la mínima especificada por la Norma, por lo tanto, no son causa de ningún tipo de deterioro.

4.8. RESULTADOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

4.8.1. Diseño de pavimento articulado.

Tabla N° 75: Diseño de Pavimento Articulado Tramo I: Calle Alfonso A. Vidal.

Número Estructural	2.4088	CBR de diseño	10.00
Design ESALs	5.8E+05	Módulo Resiliente (Psi)	11,152.98
Confiabilidad	75%	Serviciabilidad Inicial	4.20
Desviación Estandar	-0.674	Serviciabilidad Final	2.00

CAPA DE MATERIAL	Coefficiente de Capa (a)	Coefficiente de Drenaje (m)	ESPESOR (Pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	ESPESOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Adoquin de concreto	0.44	---	2.40	1.06	6	2.64
Base Granular	0.13	1.07	6.00	0.78	15	1.951
Sub Base Granular	0.11	1.07	6.00	0.664	15	1.660
SN (calculado)				2.500	6.251	
SNT (requerido)				2.409	6.118	
Comprobación				OK	OK	

Tabla N° 76: Diseño de Pavimento Articulado Tramo II: Calle Horacio Zevallos.

Número Estructural	1.5908	CBR de diseño	23.90%
Design ESALs	1.7E+05	Módulo Resiliente (Psi)	19,478.95
Confiabilidad	75%	Serviciabilidad Inicial	4.20
Desviación Estandar	-0.674	Serviciabilidad Final	2.00

CAPA DE MATERIAL	Coefficiente de Capa (a)	Coefficiente de Drenaje (m)	ESPEJOR (Pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	ESPEJOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Adoquin de concreto	0.44	---	2.40	1.056	6	2.64
Sub Base Granular	0.11	1.07	6.00	0.664	15	1.660
SN (calculado)				1.720	4.300	
SNr (requerido)				1.5908	4.041	
Comprobación				OK	OK	

Tabla N° 77: Diseño de Pavimento Articulado Tramo III: Calle Los Pinos

Número Estructural	1.4554	CBR de diseño	23.90%
Design ESALs	1.1E+05	Módulo Resiliente (Psi)	19,478.95
Confiabilidad	75%	Serviciabilidad Inicial	4.20
Desviación Estandar	-0.674	Serviciabilidad Final	2.00

CAPA DE MATERIAL	Coefficiente de Capa (a)	Coefficiente de Drenaje (m)	ESPEJOR (Pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	ESPEJOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Adoquin de concreto	0.44	1	2.4	1.056	6	2.640
Sub Base Granular	0.11	1	6	0.664	15	1.660
SN (calculado)				1.720	4.300	
SNr (requerido)				1.46	3.697	
Comprobación				OK	OK	

Tabla N° 78: Diseño de Pavimento Articulado Tramo IV: Calle Los Robles.

Número Estructural	1.600	CBR de diseño	31.50%
Design ESALs	2.7E+05	Módulo Resiliente (Psi)	23,243.94
Confiabilidad	75%	Serviciabilidad Inicial	4.20
Desviación Estandar	-0.674	Serviciabilidad Final	2.00

CAPA DE MATERIAL	Coefficiente de Capa (a)	Coefficiente de Drenaje (m)	ESPEJOR (Pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	ESPEJOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Adoquin de concreto	0.44	---	2.4	1.056	6	2.64
Sub Base Granular	0.11	1.07	6	0.664	15	1.660
SN (calculado)				1.720	4.300	
SNr (requerido)				1.600	4.063	
Comprobación				OK	OK	

Tabla N° 79: Diseño de Pavimento Articulado Tramo V: Calle Marañón.

Número Estructural	3.219	CBR de diseño	4.25
Design ESALs	1.1E+06	Módulo Resiliente (Psi)	6,450.00
Confiabilidad	75%	Serviciabilidad Inicial	4.20
Desviación Estandar	-0.674	Serviciabilidad Final	2.00

CAPA DE MATERIAL	Coefficiente de Capa (a)	Coefficiente de Drenaje (m)	ESPEJOR (Pulg)	Numero Estructural de Capa (SN)	ESPEJOR (cm)	Numero Estructural de Capa (SN)
Adoquin de concreto	0.44	---	3.15	1.39	8.00	3.52
Base Granular	0.13	1.07	6	0.78	15	1.951
Sub Base Granular	0.11	1.07	10	1.107	25	2.767
SN (calculado)				3.273	8.238	
SNr (requerido)				3.219	8.176	
Comprobación				OK	OK	

4.8.2. Diseño de pavimento rígido.

Tabla N° 80: Diseño de Pavimento rígido Tramo I: Calle Alfonso A. Vidal.

Espesor de Losa (D)	5.246	CBR de diseño	10.00
Design ESALs	6.3E+05	Espesor Sub Base (cm)	15.00
Confiabilidad	75%	Módulo k efectivo (pci)	214.45
Desviación Estandar	-0.674	Serviciabilidad Inicial	4.50
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm ²	Serviciabilidad Final	2.00

MATERIAL	Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	Módulo de ruptura del concreto (s'c)	Coefficiente de Transferencia de carga (J)	Coefficiente de Drenaje (Cd)	ESPEJOR D (Pulg)	ESPEJOR D (cm)
Losa de concreto	3570030 psi	616 psi	3.20	1.05	5.906	15.00
D (requerido)					5.246	13.32
Comprobación					OK	OK

Tabla N° 81: Diseño de Pavimento rígido Tramo II: Calle Horacio Zevallos.

Espesor de Losa (D)	3.989	CBR de diseño	23.90
Design ESALs	1.7E+05	Espesor Sub Base (cm)	15.00
Confiabilidad	75%	Módulo k efectivo (pci)	206.69
Desviación Estandar	-0.674	Serviciabilidad Inicial	4.50
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm ²	Serviciabilidad Final	2.00

MATERIAL	Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	Módulo de ruptura del concreto (s'c)	Coefficiente de Transferencia de carga (J)	Coefficiente de Drenaje (Cd)	ESPEJOR "D" (Pulg)	ESPEJOR "D" (cm)
Losa de concreto	3570030 psi	616 psi	3.20	1.05	5.906	15.00
D (requerido)					3.989	10.13
Comprobación					OK	OK

Tabla N° 82: Diseño de Pavimento rígido Tramo III: Calle Los Pinos.

Espesor de Losa (D)	3.49	CBR de diseño	23.90
Design ESALs	1.1E+05	Espesor Sub Base (cm)	15.00
Confiabilidad	75%	Módulo k efectivo (pci)	206.69
Desviación Estandar	-0.674	Serviciabilidad Inicial	4.50
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm2	Serviciabilidad Final	2.00

MATERIAL	Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	Módulo de ruptura del concreto (s'c)	Coefficiente de Transferencia de carga (J)	Coefficiente de Drenaje (Cd)	ESPESOR "D" (Pulg)	ESPESOR "D" (cm)
Losa de concreto	3570030 psi	616 psi	3.20	1.05	5.906	15.00
D (requerido)					3.490	8.86
Comprobación					OK	OK

Tabla N° 83: Diseño de Pavimento rígido Tramo IV: Calle Los Robles.

Espesor de Losa (D)	4.616	CBR de diseño	31.50
Design ESALs	3.3E+05	Espesor Sub Base (cm)	15.00
Confiabilidad	75%	Módulo k efectivo (pci)	203.69
Desviación Estandar	-0.67	Serviciabilidad Inicial	4.50
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm2	Serviciabilidad Final	2.00

MATERIAL	Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	Módulo de ruptura del concreto (s'c)	Coefficiente de Transferencia de carga (J)	Coefficiente de Drenaje (Cd)	ESPESOR "D" (Pulg)	ESPESOR "D" (cm)
Losa de concreto	3570030 psi	616 psi	3.20	1.05	5.906	15.00
D (requerido)					4.616	11.72
Comprobación					OK	OK

Tabla N° 84: Diseño de Pavimento rígido Tramo V: Calle Maraón.

Espesor de Losa (D)	5.902	CBR de diseño	4.25
Design ESALs	1.2E+06	Espesor Sub Base (cm)	15.00
Confiabilidad	75%	Módulo k efectivo (pci)	232.09
Desviación Estandar	-0.67	Serviciabilidad Inicial	4.50
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm2	Serviciabilidad Final	2.00

MATERIAL	Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	Módulo de ruptura del concreto (s'c)	Coefficiente de Transferencia de carga (J)	Coefficiente de Drenaje (Cd)	ESPESOR "D" (Pulg)	ESPESOR "D" (cm)
Losa de concreto	3570030 psi	616 psi	3.20	1.05	5.906	15.00
D (requerido)					5.902	14.99
Comprobación					OK	OK

Tabla N° 85: Resumen de los espesores diseñados de articulado y rígido.

Tramo	Tipo de pavimento	Espesores	
Tramo I Calle Alfonso A. Vidal	Articulado	Adoquín	6cm
		Cama de arena	4 cm
		Base	15 cm
		Sub-base	15 cm
	Rígido	Losa de concreto	15 cm
		Sub-base	15 cm
Tramo II Calle Horacio Zevallos	Articulado	Adoquín	6cm
		Cama de arena	4 cm
		Sub-base	15 cm
	Rígido	Losa de concreto	15 cm
		Sub-base	15 cm
Tramo III Calle Los Robles	Articulado	Adoquín	6cm
		Cama de arena	4 cm
		Sub-base	15 cm
	Rígido	Losa de concreto	15 cm
		Sub-base	15 cm
Tramo IV Calle Los Robles	Articulado	Adoquín	6cm
		Cama de arena	4 cm
		Sub-base	15 cm
	Rígido	Losa de concreto	15 cm
		Sub-base	15 cm
Tramo V Calle Marañón	Articulado	Adoquín	8cm
		Cama de arena	4 cm
		Base	15 cm
		Sub-base	25 cm
	Rígido	Losa de concreto	15 cm
		Sub-base	15 cm

Haciendo un contraste con los espesores diseñados y los ejecutados en las vías, se deduce que:

- ✓ El tramo I requería estabilización de suelos y base de 15 cm.
- ✓ Los espesores diseñados de los tramos II y III coinciden con los ejecutados.
- ✓ Para el tramo IV era suficiente adoquín de 6 cm y sub-base de 15 cm.
- ✓ Para el tramo V se requería adoquín de 8 cm.

4.9. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.

- **Tramo I: Calle Alfonso A. Vidal.**

Tabla N° 86: Dimensiones del tramo I a diseñar.

Calle Alfonso A. Vidal cuadras (1, 2,3 y 4)	
Longitud	258.90 m
Ancho	7.20 m
Área	1864.08 m ²

Tabla N° 87: Presupuesto del pavimento articulado Tramo I.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	1118.45	9.08	10,155.51
Mejoramiento de suelo con material de over D=4-6"	M3	559.22	45.42	25,399.95
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	1864.08	23.54	43,880.44
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	12186.61	2.88	35,097.44
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	335.53	41.00	13,756.91
Base granular e=0.15 m. fact. compac.=1.20	M3	335.53	53.00	17,783.32
2. SUPERFICIE ADOQUINADA				
Conformacion de cama de arena para asentado de adoquines e=4cm	M2	1864.08	8.35	15,565.07
Colocacion de adoquines de concreto 10x20x6cm	M2	1864.08	50.54	94,210.60
Llenado de juntas y compactación	M2	1864.08	1.75	3,262.14
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)			259,111.39	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 88: Presupuesto del pavimento rígido Tramo I.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	1118.45	9.08	10,155.51
Mejoramiento de suelo con material de over D=4-6"	M3	559.22	45.42	25,399.95
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	1864.08	23.54	43,880.44
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	12186.61	2.88	35,097.44
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	335.53	41.00	13,756.91
2. LOSA DE CONCRETO				
Encofrado y desencofrado de paños.	M2	1864.08	27.82	51,858.71
Concreto F'C 280 kg/cm para losa de pavimento	M3	279.61	407.08	113,824.45
Dowels Ø 1/2" X 0.5m @ 0.45 m	KG	129.45	4.68	605.83
Curado de concreto con aditivo curador	M2	1864.08	4.07	7,586.81
Sello de juntas en pavimento rígido	M	375.41	13.46	5,052.95
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)			307,218.99	

Fuente: Elaboración propia.

- **Tramo II: Calle Horacio Zevallos.**

Las dimensiones de la vía son las siguientes:

Tabla N° 89: Dimensiones del tramo II a diseñar.

Calle Horacio Zevallos cuadras (4 y 5)	
Longitud	133.91 m
Ancho	6.55 m
Área	877.11 m ²

Tabla N° 90: Presupuesto del pavimento articulado Tramo II.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	131.57	9.08	1,194.62
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	877.11	23.54	20,647.18
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	1433.55	2.88	4,128.62
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	157.88	41.00	6,473.08
2. SUPERFICIE ADOQUINADA				
Conformación de cama de arena para asentado de adoquines e=4cm	M2	877.11	8.35	7,323.87
Colocación de adoquines de concreto 10x20x6cm	M2	877.11	50.54	44,329.16
Llenado de juntas y compactación	M2	877.11	1.75	1,534.94
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)				85,631.48

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 91: Presupuesto del pavimento rígido Tramo II.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	263.13	9.08	2,389.25
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	877.11	23.54	20,647.18
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	2867.10	2.88	8,257.24
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	157.88	41.00	6,473.08
2. LOSA DE CONCRETO				
Encofrado y desencofrado de paños.	M2	877.11	27.82	24,401.21
Concreto F'c 280 kg/cm para losa de pavimento	M3	131.57	407.08	53,558.12
Dowels Ø 1/2" X 0.5m @ 0.45 m	KG	60.91	4.68	285.06
Curado de concreto con aditivo curador	M2	877.11	4.07	3,569.84
Sello de juntas en pavimento rígido	M	188.73	13.46	2,540.30
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)				122,121.28

Fuente: Elaboración propia.

- **Tramo III: Calle Los Pinos.**

Las dimensiones de la vía son las siguientes:

Tabla N° 92: Dimensiones del tramo III a diseñar.

Calle Los Robles cuadras (1 y 2)	
Longitud	143.10m
Ancho	5.10 m
Área	729.81 m ²

Tabla N° 93: Presupuesto del pavimento articulado Tramo III.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	109.47	9.08	994.00
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	729.81	23.54	17,179.73
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	1192.80	2.88	3,435.27
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	131.37	41.00	5,386.00
2. SUPERFICIE ADOQUINADA				
Conformación de cama de arena para asentado de adoquines e=4cm	M2	729.81	8.35	6,093.91
Colocación de adoquines de concreto 10x20x6cm	M2	729.81	50.54	36,884.60
Llenado de juntas y compactación	M2	729.81	1.75	1,277.17
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)				71,250.67

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 94: Presupuesto del pavimento rígido Tramo III.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	218.94	9.08	1,988.00
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	729.81	23.54	17,179.73
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	2385.60	2.88	6,870.54
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	131.37	41.00	5,386.00
2. LOSA DE CONCRETO				
Encofrado y desencofrado de paños.	M2	729.81	27.82	20,303.31
Concreto F'C 280 kg/cm para losa de pavimento	M3	109.47	407.08	44,563.66
Dowels Ø 1/2" X 0.5m @ 0.45 m	KG	50.68	4.68	237.19
Curado de concreto con aditivo curador	M2	729.81	4.07	2,970.33
Sello de juntas en pavimento rígido	M	188.71	13.46	2,540.08
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)				102,038.83

Fuente: Elaboración propia.

- **Tramo IV: Calle Los Robles.**

Las dimensiones de la vía son las siguientes:

Tabla N° 95: Dimensiones del tramo IV a diseñar.

Calle Los Robles cuadras (1 y 2)	
Longitud	148.40 m
Ancho	7.00 m
Área	1038.80 m ²

Tabla N° 96: Presupuesto del pavimento articulado Tramo IV.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	155.82	9.08	1,414.85
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	1038.80	23.54	24,453.35
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	1697.81	2.88	4,889.71
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	186.98	41.00	7,666.34
2. SUPERFICIE ADOQUINADA				
Conformación de cama de arena para asentado de adoquines e=4cm	M2	1038.80	8.35	8,673.98
Colocación de adoquines de concreto 10x20x6cm	M2	1038.80	50.54	52,500.95
Llenado de juntas y compactación	M2	1038.80	1.75	1,817.90
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)				101,417.08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 97: Presupuesto del pavimento rígido Tramo IV.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	311.64	9.08	2,829.69
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	1038.80	23.54	24,453.35
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	3395.63	2.88	9,779.41
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	186.98	41.00	7,666.34
2. LOSA DE CONCRETO				
Encofrado y desencofrado de paños.	M2	1038.80	27.82	28,899.42
Concreto F'c 280 kg/cm para losa de pavimento	M3	155.82	407.08	63,431.21
Dowels Ø 1/2" X 0.5m @ 0.45 m	KG	72.14	4.68	337.61
Curado de concreto con aditivo curador	M2	1038.80	4.07	4,227.92
Sello de juntas en pavimento rígido	M	213.33	13.46	2,871.35
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)				144,496.30

Fuente: Elaboración propia.

- **Tramo V: Calle Marañón.**

Las dimensiones de la vía son las siguientes:

Tabla N° 98: Dimensiones del tramo V a diseñar.

Calle Marañón cuadra (17)	
Longitud	61.90 m
Ancho	7.00 m
Área	433.30 m ²

Tabla N° 99: Presupuesto del pavimento articulado Tramo V.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	173.32	9.08	1,573.75
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	433.30	23.54	10,199.88
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	1888.49	2.88	5,438.86
Sub-base granular e=0.25 m; fact. compac. =1.20	M3	129.99	49.17	6,391.61
Base granular e=0.15 m. fact. compac.=1.20	M3	77.99	53.00	4,133.68
2. SUPERFICIE ADOQUINADA				
Conformación de cama de arena para asentado de adoquines e=4cm	M2	433.30	8.35	3,618.06
Colocación de adoquines de concreto 10x20x8cm	M2	433.30	55.79	24,173.81
Llenado de juntas y compactación	M2	433.30	1.75	758.28
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)				56,287.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 100: Presupuesto del pavimento rígido Tramo V.

PARTIDA	UND	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1. MOVIMIENTO DE TIERRAS				
Corte de material suelto con maquinaria	M3	129.99	9.08	1,180.31
Perfilado y compactado de sub-rasante	M2	433.30	23.54	10,199.88
Eliminación de material excedente DM=1 km	M3	1416.37	2.88	4,079.15
Sub-base granular e=0.15 m; fact. compac. =1.20	M3	77.99	41.00	3,197.75
2. LOSA DE CONCRETO				
Encofrado y desencofrado de paños.	M2	433.30	27.82	12,054.41
Concreto F'C 280 kg/cm para losa de pavimento	M3	65.00	407.08	26,458.16
Dowels Ø 1/2" X 0.5m @ 0.45 m	KG	30.09	4.68	140.82
Curado de concreto con aditivo curador	M2	433.30	4.07	1,763.53
Sello de juntas en pavimento rígido	M	88.98	13.46	1,197.69
COSTO TOTAL DE PAVIMENTO (S/.)				60,271.71

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la relación de costos del pavimento rígido respecto al presupuesto del pavimento articulado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 101: Resumen de costos entre el pavimento articulado y rígido.

Tramo	Tipo de pavimento	Costo total (S./)	Relación de costos
Tramo I Calle Alfonso A. Vidal	Articulado: (sub-base, base y adoquín)	259,111.39	1.00
	Rígido: (sub-base y losa)	307,218.99	1.19
Tramo II Calle Horacio Zevallos	Articulado: (sub-base y adoquín)	85,631.48	1.00
	Rígido: (sub-base y losa)	122,121.28	1.43
Tramo III Calle Los Pinos	Articulado: (sub-base y adoquín)	71,250.67	1.00
	Rígido: (sub-base y losa)	102,038.83	1.43
Tramo IV Calle Los Robles	Articulado: (sub-base y adoquín)	101,417.08	1.00
	Rígido: (sub-base y losa)	144,496.30	1.43
Tramo V Calle Marañón	Articulado: (sub-base, base y adoquín)	56,287.92	1.00
	Rígido: (sub-base y losa)	60,271.71	1.07

De la Tabla N° 101, claramente se observa que:

- ✓ Si el diseño posee igualdad de condiciones para ambas alternativas, como el caso del Tramo II, III y IV la relación de costos es 1.43, relación no despreciable sobre todo si luego se extrapola a una vía de varios kilómetros.
- ✓ Para el caso del Tramo I y V, la relación de costos no es relevante, puesto que, el pavimento articulado requiere de más capas granulares que el rígido lo que hace elevar los costos.
- ✓ Si comparamos costos únicamente de la capa de rodadura, encontraríamos grandes ventajas del pavimento articulado respecto rígido puesto que: el costo por m² de superficie adoquinada es S/.60.64 (incluye capa de arena, colocación de adoquines y llenado y compactado de juntas) y el m² de losa de concreto es S/.116.70 (incluye encofrado, concreto, dowels, curado y sello de juntas).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las cinco calles más críticas del sector Morro Solar Bajo, elegidas para evaluar son:

Nomenclatura	Nombre de la vía	Desde	Hasta	Longitud (m)
Tramo I	Calle Alfonso Arana Vidal	Cuadra 1	Cuadra 4	258.90
Tramo II	Calle Horacio Zevallos	Cuadra 4	Cuadra 5	133.91
Tramo III	Calle Los Pinos	Cuadra 1	Cuadra 3	143.10
Tramo IV	Calle Los Robles	Cuadra 1	Cuadra 2	148.40
Tramo V	Calle Marañón	Cuadra 17	Cuadra 17	61.90

- Del aforo vehicular se determinó que el tramo I posee un IMD = 205 veh/día, el tramo II un IMD = 170 veh/día, el tramo IV un IMD = 199 veh/día y el tramo V un IMD = 322 veh/día, predominando los vehículos menores y livianos en todos los tramos, por lo tanto, la incidencia del tráfico no es relevante para causar algún tipo de deterioro.
- Del estudio de suelos se determinó que: el tramo I posee subrasante pobre, el tramo II y III poseen subrasante muy buena, el tramo IV posee subrasante excelente y el tramo V posee subrasante.
- De la evaluación superficial se concluyó que: el tramo I presenta un ICP de 4, es decir, el pavimento ha comenzado a mostrar pequeñas fallas localizadas; los tramos II, III, IV y V presentan un ICP de 3, es decir, el pavimento presenta daños de alta severidad.
- Los deterioros más frecuentes fueron: el desgaste superficial que se debe al uso de materiales de mala calidad en la fabricación de adoquines, el fracturamiento de adoquines y depresiones causado por la presencia de suelos de mala calidad, juntas abiertas y pérdida de adoquines que se deben principalmente al drenaje inadecuado, puesto que, las vías trabajan como un canal colector de aguas de lluvia.
- De la evaluación estructural se determinó que para todos los tramos: el material de sub-base usado es del tipo (A-2-4), cumplen con la resistencia mínima y gradación exigida; el material de arena usado para la cama de soporte no cumple con la gradación exigida y los adoquines de concreto usados si cumplen con la resistencia mínima.

- El diseño de las dos propuestas se realizó con el Método de AASHTO-93. Haciendo un contraste con el diseño ejecutado de los pavimentos: el tramo I requería estabilización de suelos y base de 15 cm, los espesores diseñados de los tramos II y III coinciden con los ejecutados, para el tramo IV era suficiente adoquín de 6 cm y sub-base de 15 cm, y para el tramo V se requería adoquín de 8 cm.
- De la evaluación económica se encuentra gran ventaja en el costo de la capa de rodadura del pavimento articulado: el costo por m² de superficie adoquinada es S/.60.64 y el m² de la superficie losa de concreto es S/.116.70.

5.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

- Los factores de drenaje inadecuado, suelos de mala calidad y ausencia de mantenimiento, si infieren en la revaloración de la performance funcional y estructural de los pavimentos articulados de la ciudad de Jaén, puesto que, son las causas principales de su fallamiento.

5.3. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para la evaluación de las vías pavimentadas se realice un buen estudio de suelos, de preferencia ejecutar calicatas dentro de las vías, puesto que ofrecen resultados mucho más cercanos a los reales.
- Se recomienda que el uso del equipo de penetración dinámica de cono (PDC), se limite a suelos granulares, pues los resultados se ven alterados por la presencia de materiales de gran tamaño.
- Se recomienda que el uso de catálogos de deterioros para pavimentos articulados elaborados en otros países, sea adecuado a nuestras condiciones, o en todo caso, elaborar uno propio para el Perú, puesto que, aun no se cuenta con uno.
- Se recomienda contar con todos los datos de diseño de los expedientes técnicos y datos de construcción, de tal manera que se pueda hacer una comparación respecto a los datos determinados con la evaluación, de tal manera que, se puedan establecer causas de falla respecto al diseño y ejecución.

5.4. PROPUESTAS

- Para los tramos I, II y III, se propone reemplazar los suelos inadecuados con uno de mejor calidad, en las zonas localizadas de depresiones y abultamientos.
- Para los tramos II y III, se recomienda usar arenas para la cama de asiento que cumplan con la gradación exigida por la Norma, puesto que, favorecen a las deformaciones en la superficie.
- Para todos los tramos evaluados, se recomienda la reposición periódica del sello de arena en las juntas abiertas, puesto que, con esto se aleja la posibilidad de que el agua entre en el pavimento y que los adoquines queden sueltos, perdiendo solidez y provocando la pérdida masiva de los adoquines que se ve favorecida por aplicación de fuerzas por escorrentías superficiales.
- La Municipalidad Provincial de Jaén, debería volver a difundir el uso de pavimentos articulados en nuestra ciudad, puesto que, estos constituyen una alternativa viable frente a pavimentos de concreto y/o asfalto, además de que, trabajan funcional y estructuralmente bien si es que se ejecutan con una tecnología responsable, es decir, con buena investigación y tratamiento del suelo de fundación, el buen diseño y conformación de cada una de sus capas, la provisión de un drenaje adecuado y el estudio afinado de la sumatoria de todos los parámetros que inciden en el diseño del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN STANDARD TESTING MATERIALS ASTM D-6951, Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications, D-6951, 2003, 7p.
- Comisión Guatemalteca de Normas. (2015). *NTG 41085: Guía Técnica de Instalación de Adoquines de Concreto*. Guatemala.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (18 de Febrero de 2013). *Manual de carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" - Sección suelos y pavimentos*. Obtenido de www.mintc.gob.pe
- Acurio, M. I. (2015). *Ingeniería de Pavimentos: Materiales y Variables de Diseño*. Lima: ICG, Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional y Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala.
- Castillo, J. A. (2017). *Fallas y causas en los pavimentos articulados de las vías urbanas de la ciudad de Jaén*. Jaén.
- Departamento de Promoción y Servicios Técnicos – PCR S.A. (Agosto de 1997). *Pavimentos Intertrabados de Adoquines de Hormigón*. Recuperado el 16 de Junio de 2017, de Aplicación de adoquines de hormigón para pavimentación.
- Fonseca, A. M. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para carreteras*. Bogotá, Colombia: Agora Editores.
- Gonzalez, R., Soengas, C., & Botas, G. (21 de Enero de 2018). Obtenido de https://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2002_Manten-yRehabilit-Pavimen-Areas-Urbanizadas_III-Provincial-de-las-Américas_noPW.pdf
- Gordillo, I. T. (2006). El sistema de pavimentación más versátil, estético, económico y resistente para todo tipo de carga. *Asociación Argentina del bloque de hormigón*, 9.
- Guillermo Thenoux Z. & Rodrigo Gaete P. (2011). Evaluación Técnica del Pavimento y Comparación de Métodos de Diseño de capas de Refuerzo asfáltico.
- Higuera Sandoval, C., & Pacheco Merchán, Ó. (2010). Patología de pavimentos articulados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 75-94.

- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2013). *Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón*. Chile, Chile: Grafica LOM.
- Madrid Mesa, G. G. (2001). Construcción de pavimentos de adoquines de concreto. *INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO (ICPC), Serie Popular 12-4. 3ed.*, 38.
- Madrid Mesa, G. G. (2014). *Ventajas y Aplicaciones de los pavimentos de adoquines de concreto*. Obtenido de <http://www.arqcon.com.ar/pprof/Aadh/pppavhormigon1.htm>
- Manual Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. Preparado por: Ing. Esp. Luis Ricardo Vásquez Varela. Manizales, febrero de 2002
- Pacasmayo, C. (Agosto de 2010). *Adoquines de concreto Pacasmayo*. Obtenido de www.cementospacasmayo.com.pe
- RNE. (2010). *Norma CE. 010 Pavimentos urbanos*. Lima: Industrial Gráfica Apolo S.A.C.
- Rondon Quintana, H., & Reyes Lizcano, F. (2015). *Pavimentos: materiales, contruccion y diseño*. Lima: Editorial Macro.
- Solminihac, H. d. (2005). *Gestión de Infraestructura Vial* (Tercera ed.). Colombia: Alfaomega Grupo Editor.
- Vásquez, J. A. (2015). *Análisis y evaluación patológico de la superficie del pavimento intertrabado en la Av. Sanchez Cerro cuadras 11 y 12, desde la av. Sullana Norte hasta la av. Country, vía auxiliar izquierda, Piura*. Piura.