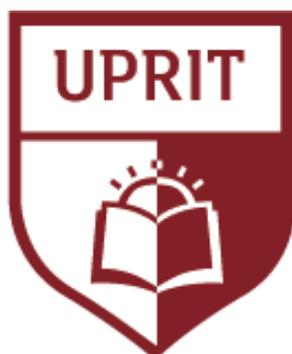


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACION DE FACTORES TÉCNICOS VIALES Y FALLA
ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO DE LA AV. LEONCIO PRADO,
PUNO, 2021**

TESIS

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

AUTOR:

**Bach. Ccasa Huaynacho, Angel
Bach. Ccasa Huaynacho, Felimon Mauro
Bach. Tipo Chambi, Lucio Eber**

ASESOR:

ING. ENRIQUE DURAND BAZAN

**TRUJILLO – PERÚ
2021**

TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

HOJA DE FIRMAS

PÁGINA DE JURADO

Ing. Enrique Durand Bazán
PRESIDENTE

Ing. Guido Marín Cubas
SECRETARIO

Ing. Elton Galarreta
VOCAL

DEDICATORIA

A nuestras familias que nos motivaron durante el proceso de emprender nuestro camino profesional. A nuestros docentes por el apoyo, conocimientos e información necesaria para continuar nuestro aprendizaje, a nuestra universidad que nos dieron todos los servicios para poder empezar y sobre todo culminar nuestra carrera.

Finalmente, a nuestros asesores que con su experiencia y recomendaciones nos proporcionaron las adecuadas herramientas para culminar nuestras carreras

Bach. Ccasa Huaynacho, Angel
Bach. Ccasa Huaynacho, Felimon Mauro
Bach. Tipo Chambi, Lucio Eber

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la oportunidad de encaminarnos y finalizar esta etapa que cierra una etapa para nuestro desempeño profesional y crecimiento personal. A nuestros seres queridos que nos apoyan en la nuestra etapa de crecimiento profesional, a nuestros docentes que nos encaminaron con sus conocimientos para desarrollar la presente investigación. A nuestra universidad por darnos las facilidades de poder culminar nuestra carrera para afrontar en el mercado laboral. Finalmente, también agradecemos a nuestros docentes que en cada clase nos recomendaban y aconsejaban con sus experiencias profesionales.

Bach. Ccasa Huaynacho, Angel
Bach. Ccasa Huaynacho, Felimon Mauro
Bach. Tipo Chambi, Lucio Eber

INDICE DE CONTENIDOS

HOJA DE FIRMAS	2
DEDICATORIA	3
Bach. Ccasa Huaynacho, Angel	
Bach. Ccasa Huaynacho, Felimon Mauro	
Bach. Tipo Chambi, Lucio Eber.....	3
AGRADECIMIENTO	4
Bach. Ccasa Huaynacho, Angel	
Bach. Ccasa Huaynacho, Felimon Mauro	
Bach. Tipo Chambi, Lucio Eber.....	4
INDICE DE CONTENIDOS	5
RESUMEN	10
ABSTRACT	12
I. Introducción	14
1.1. Realidad Problemática	14
1.2. Formulación Del Problema	16
1.3. Justificación	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo General	18
1.4.2. Objetivo Especifico	18
1.5. Antecedentes	18
1.6. Bases Teóricas	22
1.6.1. Levantamiento topográfico	22
1.6.2. Definición de Pavimentos	23
1.6.3. Clasificación de Pavimentos	23
1.6.4. Índice de Condición del Pavimento (PCI)	24
1.6.5. Tipo de Fallas en los Pavimentos	25
1.6.6. Clasificación de Fallas Superficiales en Pavimento Rígido	26
1.6.7. Procedimiento de Cálculo del PCI	30
1.6.8. Hidrología y Drenaje	33
1.6.9. Importancia y Conceptos Básicos del Sistema de Drenaje	38
1.6.10. Métodos de Diseño de Pavimentos	41
1.6.11. Método de la Portland Cement Association (PCA)	44
1.6.12. Sobrecapas Asfálticas sobre Pavimentos de Concreto de Cemento Portland (PCC)	51

1.6.13. Preparación de Los Pavimentos de Concreto de Cemento Portland (PCC) Para Sobrecapas	54
1.6.14. Mejoras Geométricas	57
1.6.15. Geotextiles en Repavimentación	58
1.6.16. Seguridad Vial	60
1.6.17. Mantenimiento Vial	62
1.7. Definición De Términos Básicos	65
1.8. Formulación De La Hipótesis	66
1.8.1. Hipótesis General	66
II. MATERIALES Y METODOS	67
2.1. Material	67
2.2. Material de estudio	68
2.2.1. Población	68
2.2.2. Muestra	69
2.2.2.1. Tamaño de la muestra evaluación pavimento PCI.....	70
2.2.2.2. Conteo de tráfico	70
2.3. Técnicas, Procedimientos e Instrumentos	71
2.3.1. Para Recolectar Datos	71
2.3.2. Para Procesar Datos	74
2.4. Operacionalización De Variables	75
III. RESULTADOS	76
3.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS ACTUALES	76
3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA VÍA	77
3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SEGURIDAD DE LA VÍA 78	
3.4. ESTUDIO DE TRÁFICO	79
3.4.1. Determinación del Índice Medio Diario por carril.....	81
3.4.2. Determinación del Índice Medio Diario para Diseño:.....	81
3.5. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE	82
3.5.1. Cunetas	83
3.5.2. Evaluación del Funcionamiento del Sistema de Drenaje	86
3.5.2.1. Trabajos de Campo:	86
3.5.2.2. Trabajos de Procesamiento de Información:.....	86
3.6. INFORMACIÓN DISPONIBLE	87
3.6.1. Cartografía	87

3.6.2. Pluviometría	87
3.6.3. Determinación de la Intensidad Máxima horaria.	88
3.7. EVALUACIÓN DE CUNETAS	89
3.7.1. Determinación de Áreas Tributarias	89
3.7.2. Verificación de la Sección de las Cunetas	90
3.7.2.1. Cálculo de las Áreas Total e Hidráulica de las Cunetas.....	90
3.7.2.2. Cálculo del Caudal Hidráulico en las Cunetas	92
3.7.2.3. Verificación de Caudales en las Cunetas.....	93
3.8. EVALUACIÓN DE LA SUPERFICIE DE RODADURA	94
3.8.1. Cálculo del PCI para una Unidad de Muestra	94
3.8.1.1. Paso 1:	94
3.8.1.2. Paso 2:	96
3.8.1.3. Paso 3:	100
3.8.1.4. Paso 4:	101
3.8.1.5. Paso 5:	101
3.9. DETERMINACIÓN DEL INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LEONCIO PRADO	102
3.9.1. Características Generales de la Avenida Leoncio Prado	102
IV. IDENTIFICACIÓN, DIVISIÓN Y OBTENCIÓN DEL PCI.	102
4.1. IDENTIFICACIÓN DE LA RAMA	102
4.2. RAMA Y SECCIÓN	102
4.3. DIVISIÓN DE LA SECCIÓN EN UNIDADES DE MUESTRA	103
4.4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	104
4.4.1. Primer método	104
4.4.2. Evaluación de La Resistencia a La Compresión de la Losa de Concreto del Pavimento.....	106
4.4.3. Evaluación del Espesor de la losa del Pavimento.....	113
V. DISCUSION	116
VI. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	121
VII. CONCLUSIONES	124
VIII. RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
ANEXO N°1	130
ANEXO N°2	136
ABACOS	136
Ábacos del PCI	136

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura N°1. Condición del Pavimento PCI	29
Figura N°2. Resumen del procedimiento de obtención del PCI.....	32
Figura N°03. Localización A Nivel Regional y local.....	68
Figura N°04. Localización A Nivel Distrital	69
Figura N°05. Hoja de evaluación Superficial del Pavimento Rígido.....	71
Figura N°06. Formulario de Inspección de Pavimento Rígido.....	73
Figura N°07. Cuneta colmatada en su totalidad	84
Figura N°08. Cuneta colmatada, el agua discurre sobre la berma	85
Figura N°11. Agrietamiento lineal de severidad alta	96
Figura N°12. Agrietamiento de Contracción	97
Figura N°13. Deterioro de Berma	98
Figura N°14. Losas divididas.....	99
Figura N°15. Quiebre de Esquina.	100
Figura N°16. (Paso 4) Curvas de corrección de valor deducido para pavimentos rígidos.	101
Figura N°17. Rama en Sección	103
Figura N°18. Esclerómetro.	107
Figura N°18.1. Esquema del Esclerómetro	108
Figura N°18.2. Ensayo con el equipo de esclerómetro.....	109
Figura N°18.2. Funcionamiento del Esclerómetro.....	109
Figura N°18.3. Ensayo con el equipo de esclerómetro.....	110
Figura N°18.4. Vista Lateral Esclerómetro en campo.	110
Figura N°19. Abaco - Resistencia a la Compresión del Cilindro	111
Tabla N°01: Coeficiente de Escorrentía para Distintas Zonas.....	38
TABLA N°02: Calculo del Pavimento Método PCA.....	48
TABLA N°03: Esfuerzo equivalente - sin berma de concreto	49
TABLA N°04: Factor de Erosión - Juntas con Dowels, sin berma de concreto.....	50
TABLA N°05: FACTOR DE CONVERSIONES PARA CONVERTIR ESPESORES DE COMPONENTES DEL PAVIMENTO EXISTENTE A ESPESOR EFECTIVO (Te)	53
TABLA N°06: PRESUPUESTO – MATERIALES	67
TABLA N°07: PRESUPUESTO – PERSONAL HUMANO.....	67
TABLA N°08: PRESUPUESTO - SERVICIOS PRESTADOS.....	67
TABLA A: Coordenadas de Tramo Carretera.....	68

TABLA N°09: OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	75
TABLA N°10: COORDENADAS Y BM (COORDENAS UTM WGS 84 – 17S)	76
TABLA N°11: RESUMEN DE TRÁFICO DIARIO POR TIPO DE VEHÍCULO	80
TABLA N°12: RESUMEN DE TRÁFICO DIARIO POR TIPO DE VEHÍCULO	80
TABLA N°13: RESUMEN IMD DIARIO POR TIPO DE VEHÍCULO	81
TABLA N°14: Determinación del ESAL Actual	82
TABLA N°15: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)	88
TABLA N°16: CÁLCULO DE ÁREAS TRIBUTARIAS	89
TABLA N°17: CÁLCULO DE CAUDALES ÁREAS TRIBUTARIAS (QAT)	90
TABLA N°18: CÁLCULO DE ÁREAS	92
TABLA N°19: CÁLCULO DE CAUDAL HIDRÁULICO	92
TABLA N°20: VERIFICACIÓN DE CAUDALES	93
TABLA C: Velocidad de Diseño	93
TABLA E: Índices de Condición de Pavimento de la Muestra	104
TABLA F: Promedio Índices de Condición de Pavimento de la Muestra	105
TABLA G: Evaluación Muestral Mediante Análisis de Componentes	106
TABLA N°21: ENSAYO CON ESCLERÓMETRO	112
TABLA N°22: Número de vehículos IMD	113
TABLA N°23: RESUMEN MODULO DE REACCIÓN SUBRASANTE “k”	114
TABLA N°24: EFECTO DE LA SUB BASE NO TRATADA SOBRE LOS VALORES “k”	114
TABLA N°25: MODULO DE REACCIÓN SUBRASANTE - SUB BASE “k”	114
TABLA N°26: FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA	114
TABLA N°27: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL PAVIMENTO RÍGIDO (e = 4 pulg)	115
TABLA N°28: FACTORES TÉCNICOS CAUSALES DE FALLA ESTRUCTURAL	120
TABLA N°29: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	121
TABLA N°30: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRAS LINEALES	131
TABLA N°31: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRAS NO LINEALES	131
TABLA N°33: TOLERANCIA DE POLIGONALES TOPOGRÁFICAS	132
TABLA N°34: Datos de Los Elementos del Eje del Alineamiento Horizontal de la AV. LEONCIO PRADO	134
TABLA N°35: Datos de Los Elementos del Eje del Alineamiento Actual en AV. LEONCIO PRADO	135

RESUMEN

Las vías terrestres se proyectan y construyen para que estén en servicio por un determinado número de años (como mínimo) llamado horizonte de proyecto o vida útil del proyecto. Los programas de mantenimiento de carreteras están diseñados para compensar los efectos del clima, vandalismo, crecimientos orgánicos, desgaste y daños provocados por el tránsito, así como el deterioro debido a los efectos del envejecimiento, fallas de los materiales, fallas en el diseño y construcción (Corporación Andina de Fomento –CAF, 2020). Dado que la Av. Leoncio Prado presentó fallas en su estructura tempranamente, es por eso que se plantea la necesidad de efectuar la presente investigación, con la finalidad de determinar los factores técnicos (Topografía, Drenaje, Tránsito y Mantenimiento Vial), que generan la falla estructural en el pavimento rígido. Se pretende identificar los tipos de fallas estructurales que presenta en pavimento rígido de la Av. Leoncio Prado y Cuáles son los factores técnicos viales que tiene mayor grado de relación con la falla estructural en el pavimento. Con esto se logrará definir un plan de mantenimiento o intervención adecuado que beneficie a la población usuaria de la zona. Esta es una vía que se encuentra enmarcado dentro del radio urbano, tiene la particularidad de ser una vía colectora y distribuidora para el tránsito urbano, provincial y departamental; es una vía muy importante en el plan de desarrollo de la ciudad de Puno.

Como conclusión se encontró que la resistencia del pavimento existente por métodos no destructivos si cumple con la resistencia de diseño de 210 kg/cm²; sin embargo, la evaluación del pavimento mediante el método de la Portlan Cement Association (PCA), determina que el pavimento rígido de la vía (losa de concreto de 0.10 m y sub base de 0.10 m de espesor), llega a fallar cuando las propiedades de capacidad de soporte de la subrasante tenga un valor de CBR menor al 7%, por lo que el pavimento existente no cumpliría con el espesor mínimo requerido en gran parte del tramo. De la evaluación superficial de fallas del pavimento por el método del PCI, de todas las unidades de muestra se observa que los índices resultantes son de 15 y 10, que corresponden a una condición de pavimento de “Muy pobre”. De la evaluación del sistema de drenaje existente las cunetas están bien diseñadas para el caudal de la zona; sin embargo, debido a la falta de mantenimiento vial, las cunetas se encuentran colmatadas por material sedimentado de la zona, lo que ha provocado que el volumen de agua que circula en las cunetas rebasen su

nivel, afectando las bermas y en algunos casos el agua llega a circular sobre la plataforma de rodadura.

Finalmente se concluye que los factores técnicos (Topografía, Drenaje, Tránsito y Mantenimiento Vial), considerados y analizados en la presente investigación generan falla estructural en el pavimento rígido de la Av. Leoncio Prado. Se recomienda el Mejoramiento integral de 1,000 ml. Por una parte, re encarpelado con concreto asfáltico en caliente con aplicación de geotextil sobre una longitud de 100ml. Y la demolición y/o construcción de pavimento flexible en una longitud de 900 ml del tramo en estudio

Palabras Clave: Pavimento rígido, falla estructural, mejoramiento

ABSTRACT

The roads are projected and built to be in service for a specified number of years (at a minimum) called the project horizon or project useful life. Road maintenance programs are designed to compensate for the effects of weather, vandalism, organic growth, wear and tear and damage caused by traffic, as well as deterioration due to the effects of aging, material failures, design and construction failures. (Andean Development Corporation –CAF, 2020). Given that Leoncio Prado Avenue presented failures in its structure early, that is why the need to carry out the present investigation arises, in order to determine the technical factors (Topography, Drainage, Traffic and Road Maintenance), which generate the structural failure in rigid pavement. It is intended to identify the types of structural failures that present in the rigid pavement of Av. Leoncio Prado and which are the technical road factors that have a greater degree of relationship with the structural failure in the pavement. With this, it will be possible to define a maintenance or adequate intervention plan that benefits the user population of the area. This is a road that is framed within the urban radius, it has the particularity of being a collecting and distributing road for urban, provincial and departmental traffic; it is a very important road in the development plan of the city of Puno.

As a conclusion, it was found that the resistance of the existing pavement by non-destructive methods does comply with the design resistance of 210 kg / cm²; However, the evaluation of the pavement using the method of the Portlan Cement Association (PCA), determines that the rigid pavement of the road (concrete slab of 0.10 m and sub-base of 0.10 m of thickness), fails when the properties of subgrade bearing capacity has a CBR value of less than 7%, so the existing pavement would not meet the minimum thickness required in much of the section. From the superficial evaluation of pavement failures by the PCI method, of all the sample units it is observed that the resulting indices are 15 and 10, which correspond to a pavement condition of "Very poor". From the evaluation of the

existing drainage system, the ditches are well designed for the flow of the area; However, due to the lack of road maintenance, the ditches are clogged by sedimented material from the area, which has caused the volume of water circulating in the ditches to exceed their level, affecting the berms and in some cases the water gets to circulate on the rolling platform.

Finally, it is concluded that the technical factors (Topography, Drainage, Traffic and Road Maintenance), considered and analyzed in this investigation, generate structural failure in the rigid pavement of Av. Leoncio Prado. The 1,000 ml Comprehensive Enhancement is recommended. On the one hand, re-veneered with hot asphalt concrete with application of geotextile over a length of 100ml. And the demolition and / or construction of flexible pavement in a length of 900 ml of the section under study

Key Words: Rigid pavement, structural failure, improvement

I. Introducción

1.1. Realidad Problemática

La construcción de los pavimentos flexibles viene desde décadas anteriores, aproximadamente desde el siglo XIX, teniendo lugar las primeras construcciones en las calles de las ciudades de Europa, luego en los Estados Unidos, el cual en estos países se desarrolló rápidamente la tecnología para construir pavimentos, a su vez en los países de Argentina y Chile tienen gran experiencia y muchas obras de Construcción de Carreteras y pavimentos durante el siglo XX, los cuales tienen un excelente comportamiento por muchos años (Escudero, 2018).

En el Perú, según Corporación Andina de Fomento –CAF (2020) en los últimos años ha experimentado un fuerte proceso de crecimiento económico asentado en la apertura comercial, lo cual ha redundado en un aumento de los ingresos de la población hasta llevarla a la zona de ingresos medio-altos en la comparación internacional; sin embargo la infraestructura del país no presenta un grado de desarrollo acorde a esta evolución, de hecho, las redes de transporte terrestre se hallan particularmente rezagadas en la comparación internacional con los países de la OCDE y con los socios de la Alianza del Pacífico.

Las vías terrestres se proyectan y construyen para que estén en servicio por un determinado número de años (como mínimo) llamado horizonte de proyecto o vida útil del proyecto. Al alcanzar este tiempo, los caminos se rescatan o se reconstruyen para continuar ofreciendo el servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede. Los programas de mantenimiento de carreteras están diseñados para compensar los efectos del clima, vandalismo, crecimientos orgánicos, desgaste y daños provocados por el tránsito, así como el deterioro debido a los efectos del envejecimiento, fallas de los materiales, fallas en el diseño y construcción, los mismos que no fueron aplicados en el tramo en estudio (Corporacion Andina de Fomento –CAF, 2020)

Según lo observado por los investigadores, la ubicación del tramo de carretera en estudio se desarrolla sobre una topografía variada, geología diversa propia del altiplano, con presencia de fenómenos hidrológicos desfavorables, con particular importancia dentro del sistema vial conllevando a características técnicas propias de diseño para el logro de una eficiente transitabilidad en la vía y el inadecuado diseño de estos factores técnicos originan la falla estructural.

La Avenida Leoncio Prado, según el diseño original contempla su inicio la intersección de la Avenida Laykakota y el Jr. Pacheco Vargas. Considerándose desde el Km. 00+000 al Km. 01+600 como zona urbana. De esta clasificación el diseño estableció la aplicación de un Pavimento Rígido del Km 00+000 al Km 01+000 y un Pavimento Flexible el resto del tramo.

De acuerdo a la información recabada en las entidades encargadas de esta vía, se pudo obtener datos referentes al proceso constructivo los cuales indican que se construyó en dos periodos: Periodo I del Km 00+000 al Km 01+000; Pavimento rígido y Período II se construyó el resto del tramo de la avenida Leoncio Prado.

El actual tramo de carretera con características de pavimento rígido, desde su puesta en servicio no presenta ningún tipo de trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación, motivo que originó el deterioro de la infraestructura vial, generando grandes inconvenientes en la normal transitabilidad de los usuarios.

La Falla Estructural en un Pavimento implica una destrucción de la estructura del pavimento y, en general, se debe a que el tránsito que ha soportado la construcción es mayor al que se calculó para su periodo de diseño; si éste es el caso, la estructura cumplió su cometido aunque en otras ocasiones, la falla estructural se presenta en forma prematura; es decir mucho antes de terminar el periodo de diseño útil, entonces, se debe a espesores reducidos de pavimento a que los materiales usados eran de mala calidad o a uno de estos factores, combinado con un mal drenaje y una baja compactación.

Si bien las vías terrestres se proyectan y construyen para que estén en servicio adecuado por un determinado número de años (Pavimento Rígido 20 a 25 años), la Av. Leoncio Prado presentó fallas en su estructura tempranamente, es por eso que se plantea la necesidad de efectuar la presente investigación, con la finalidad de determinar los factores técnicos (Topografía, Drenaje, Tránsito y Mantenimiento Vial), que generan la falla estructural en el pavimento rígido.

En la presente investigación se exponen los análisis y conceptos en la determinación de la capacidad estructural y calidad de servicio de una carretera en determinado momento, tomando en consideración las experiencias sobre Sistemas de Administración de Pavimentos de otros países, pero con aplicación a nuestra realidad, en cuanto a vías, suelos y vehículos permisibles; compatibilizando las diferentes normas, reglamentos y especificaciones del país y del extranjero.

1.2. Formulación Del Problema

Pregunta General

- ¿Cuál es la evaluación de los factores técnicos viales (topografía, Drenaje, Tránsito y Mantenimiento Vial) y la falla estructural en el pavimento rígido de la Av. Leoncio Prado progresiva 00+000 al 01+000?

Pregunta específica

- ¿Cuáles son los factores técnicos viales (topografía, Drenaje, Tránsito y Mantenimiento Vial) que presentan los pavimentos rígidos de la Av. Leoncio Prado?
- ¿Cuáles son los tipos de fallas estructurales que presenta en pavimento rígido de la Av. Leoncio Prado?

- ¿Cuáles son los factores técnicos viales que tiene mayor grado de relación con la falla estructural en el pavimento rígido de la Av. Leoncio Prado?

1.3. Justificación

La presente investigación se justifica por su relevancia social en la solución de los problemas de transporte de todo el sector y la ciudad de Puno en general. La Av. Leoncio Prado es una vía que se encuentra enmarcado dentro del radio urbano, tiene la particularidad de ser una vía colectora y distribuidora para el tránsito urbano, provincial y departamental. Es una vía muy importante en el plan de desarrollo de la ciudad de Puno. Es importante mencionar que años anteriores a la construcción de la carretera Binacional Desagüadero – Ilo (1999), el transporte en general que tenía el circuito Puno (ciudad) – Moquegüa en su gran mayoría, utilizaba esta carretera. La Av. Leoncio Prado es uno de los accesos a la ciudad de Puno de los vehículos provenientes del departamento de Moquegüa, además, de que el Proyecto de Carretera Interoceánica Perú Brasil, contempla a la carretera Puno – Moquegüa como parte de este Proyecto Binacional, esta avenida por su ubicación estratégica es de mucha importancia.

La presente investigación se justifica por su aporte metodológico, ya que servirá de guía para hacer estudios similares en otras zonas del país. Como mencionamos en la realidad problemática de esta investigación el mantenimiento de las vías es actualmente un gran problema en muchos lugares. Asimismo, es importante mencionar que este trabajo ha sido viable porque se ha contado con información suficiente y los recursos necesarios para llegar a culminarlos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar los factores técnicos (topografía, drenaje, tránsito y mantenimiento vial) y la falla estructural en el pavimento de la Av. Leoncio Prado progresiva 00+000 al 01+000

1.4.2. Objetivo Especifico

- Realizar el levantamiento topográfico detallado de la zona
- Realizar el conteo de tráfico detallado de la zona
- Definir las características del drenaje y mantenimiento vial en los pavimentos rígidos en estudio.
- Identificar los tipos de fallas estructurales que se presenta en el pavimento rígido.
- Precisar los factores técnicos viales (topografía, Drenaje, Tránsito y Mantenimiento Vial) que presenta mayor grado de relación con la falla estructural en el pavimento rígido.

1.5. Antecedentes

Ramos & Romero (2017), en su tesis titulada Diseño geométrico del camino vecinal a nivel de afirmado y sus obras de arte para optimizar la transitabilidad entre los caseríos Sinai - Cruce Hualango, distrito de Cumba, Utcubamba, Amazonas; desarrolló como objetivos específicos el diseño geométrico de una carretera no pavimentada de bajo volumen de tránsito. El trabajo Topográfico, implica una trocha de 5+700 km aproximadamente, el que se inicia en la localidad de Sinaí hasta el cruce de Hualango y amplitud de vía que varía entre 4 a 6m. Asimismo, el estudio de Mecánica de Suelos se ha realizado de acuerdo a lo normado por el Manual de Carreteras DG-2014, de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de

Transportes y Comunicaciones, brindando los datos necesarios para el diseño.

La población que se ha tomado es la red vial del distrito de Cumba en la provincia de Utcubamba región Amazonas y como muestra de la presente investigación se trabajó con una muestra de 10 km. del camino vecinal a nivel de afirmado.

Esta Tesis nos permitió plantear los procedimientos de recolección de datos y procesamiento de datos, así como ampliar marco teórico.

(Valdes, Perez, & Calabi, 2012), en el artículo científico "la fisuración en pavimentos asfálticos y sus mecanismos de deterioro", tiene por propósito otorgar una verificación en donde se presenta este tipo de fallas, obteniendo los principales tipos de causas que generan el deterioro en los pavimentos asfálticos los cuales originan la fisuración, sus diferentes tipologías, los diferentes enfoques utilizados para su representación y análisis, y los procesos de fisuración observados en las capas asfálticas. Los principales agentes causantes en los pavimentos asfálticos se dan por las cargas producidas del tránsito y las condiciones ambientales, ósea el cambio en la temperatura o estación a las que está expuesto el pavimento durante su periodo de diseño o a lo largo de su vida útil. En el presente artículo de trabajo, se describe la incidencia y los mecanismos de uno de los principales deterioros más frecuentes en las carreteras, la fisuración de las capas asfálticas. Por ello, se realizó un análisis descriptivo de los procedimientos actuales que tratan de aparentar los mecanismos de fisuración a través de ensayos experimentales, indicando las ventajas y desventajas de los mismos. Este antecedente es considerado en la presente investigación para tener en cuenta la influencia y los mecanismos de fisuración del pavimento en la discusión de resultados y formulación del plan de mantenimiento.

Leguia & Pacheco (2016), en su tesis de pregrado "evaluación superficial o exterior del pavimento flexible por el método o criterio pavement condition

index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colon y Miguel Grau”, considerando su objetivo de realizar la evaluación superficial del pavimento flexible de las vías a estudiar aplicando el método Pavement Condition Index (PCI), con el fin de conocer la condición del pavimento flexible existente. La presente metodología en la tesis es el Método PCI. al efectuar la evaluación superficial del pavimento flexible mediante el (PCI), se describe que el estado que se encuentra la Av. Cincuentenario según la escala de condición regular con valor de PCI de 51.84, entre tanto la Av. Colón y Miguel Grau se encuentra según la escala de condición bueno con un PCI de 59.29. El presente antecedente es importante para realizar la presente investigación porque ha permitido formular la metodología de recolección de datos y análisis de información. (Leguia & Pacheco , 2016),

En el ámbito Local, Jamachi (2018) desarrollo su tesis titulada “Evaluación comparativa del deterioro de pavimentos de la Ciudad de Puno con Aplicación de los Métodos PCI y ASOCEM”, con el objetivo de realizar la evaluación de la condición actual del pavimento rígido de la Av. Leoncio Prado en sus progresivas 00+00 al 00+600, de la ciudad de Puno por los métodos PCI Y ASOCEM, ambas metodologías permiten analizar el comportamiento estructural del pavimento rígido mediante un análisis superficial no destructivo, por lo que la estructura del pavimento no sufre algún tipo de alteración física mientras esta en evaluación. Como medida complementaria a la investigación se desarrolló la evaluación estructural mediante el análisis de componentes de la estructura del pavimento, para ello se realizó la perforación de calicatas ubicado en los dos tramos en estudio, y su posterior toma de muestras para su ensayo en el laboratorio y el análisis de cada uno de los componentes para deducir las características estructurales del mismo. Luego de la evaluación concluyeron que el comportamiento estructural actual de la avenida Leoncio según la evaluación PCI, determina que esta se encuentra en un estado malo con un índice de condición de pavimento 27, la circulación no es confortable, punto en que el pavimento requiere una reconstrucción total de la estructura, el mismo que es a causa de un mal control de calidad de los materiales pétreos utilizados

en la conformación de la estructura del pavimento. De acuerdo a la evaluación realizada por el método planteado por la ASOCEM se identifica como falla predominante el sello contaminado con material extraño (J-SC) 3-III (Junta con sello contaminado con partículas de tamaño menor de 3/4 de ancho de la junta, en una extensión mayor del 50% de juntas.), que representa el 93% de afectación en la vía ello implica que las juntas no cumple su función, por lo que el nivel de intervención en la vía planteada por el método es la reparación en todo el espesor de la losa. El presente antecedente es importante para realizar la presente investigación porque ha permitido formular la metodología de recolección de datos, procesamiento de información y discusión de resultados.

Finalmente también , Pachas (2009) en el artículo Titulado El Levantamiento Topográfico : Uso Del GPS Y Estación Total, concluye sin lugar a dudas que las nuevas tecnologías han revolucionado de manera contundente el cómo hacer topografía la era digital pone a disposición del profesional de la topografía el manejo en formatos digitales que contiene los datos capturados en campo, software o programas especializados para el proceso de esos datos y cálculo de coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, base de datos para ser procesados por el software de aplicación en un sistema CAD, lo que conlleva a la obtención del producto final del levantamiento: el plano topográfico. Como conclusión presentan la realidad de hoy es que la estación total y el GPS (McCormac, 2008) se utilizan juntos, este último, en principios, para el posicionamiento de control y la estación para la obtención de la información topográfica de los puntos de interés. Esta investigación nos sirvió para formular el procedimiento de recolección de datos.

1.6. Bases Teóricas

1.6.1. Levantamiento topográfico

Se entiende por levantamiento topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo, con los cuales se obtiene a representación gráfica del terreno levantado, el area y volúmenes de tierra cuando así se requiera; **(Torres Y Villate, 2001. P. 17)** lo resume como el proceso de medir, calcular y dibujar para determinar la posición relativa de los puntos que se conforma una extensión de la tierra”. En los últimos años, la aparición de los levantamientos por satélite que se pueden operados de día o de noche **(Wolf y Brinker, 1997)** incluso con lluvia y que no requiere de líneas de visual libres entre estaciones. Ha representado un gran avance respecto a los procedimientos de levantamientos convencionales, que se basan en la medición de ángulos y distancias para determinación de posiciones de puntos.

Todo levantamiento topográfico debe contemplar una planificación entendiéndose esta como el conjunto de actividades previas que se realizan con la finalidad de hacer uso óptimo a los recursos disponibles, en cuanto a equipos recursos, humanos, financieros e el factor tiempo, con la finalidad de obtener un producto de calidad en tanto ala precisión y exactitud que cumpla con las exigencias del proyecto que se tiene planteado desarrollar. Las activadas de campo y de oficina incluyen tanto las meramente técnicas como las de logística. Esta etapa de planificación es importante para poder elaborar el plan de actividades o plan de trabajo de manera que el mismo pueda desarrollarse como los recursos que se tienen previstos.

Para **Casanova, (2008)** la topografía es representada gráficamente de manera precisa; debido a que los planos topográficos son utilizados para el

desarrollo de proyectos de infraestructura se hace necesario plasmar en ellos en forma resumida la mayor información posible.

1.6.2. Definición de Pavimentos.

Juárez Y Rodríguez (2005) define pavimentos como "capa o conjunto de capas comprendida (s) entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Como función estructural un pavimento tiene la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial". (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005)

El pavimento es una base vertical que está constituido de varias capas de diferente espesor, los cuales son capaces de soportar una sobrecarga en su forma natural o con intervención del hombre basado en un diseño específico.

1.6.3. Clasificación de Pavimentos

Los pavimentos dependen del material que los compone, este nos permite determinar su clasificación: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005).

- a. Pavimentos flexibles: Estos pavimentos están constituidos por capas de material granular el cual tiene una capa de superficie de material asfáltico. Este pavimento permite que la distribución de las cargas que recibe sea distribuida de forma uniforme en toda su estructura permitiendo que no haya alguna falla estructural en él.
- b. Pavimentos rígidos: Este pavimento está constituido por diversas capas y tiene una capa de superficie de rodadura de concreto y en algunos casos esta reforzada con acero, esta carpeta de rodadura se encuentra apoyada

en la subrasante, la construcción de una sub base solo será si la sub rasante no tiene las propiedades necesarias para soportar las cargas producidas por el tránsito, este pavimento se caracteriza por ser resistente al agua.

1.6.4. Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El método Índice de Condición del Pavimento (PCI), consiste en la obtención de un índice global de la condición que presenta un pavimento. Para lograr este objetivo, la metodología recurre a una serie de gráficos experimentales que ponderan, según su repercusión sobre el usuario, los distintos deterioros que pueden presentarse en una vía.

El PCI es un índice global que entrega información de la condición del pavimento, tomando como base la información de los diversos deterioros que se tienen presentes y los niveles de severidad que estos deterioros poseen, a través de la identificación y cuantificación de las fallas de los mismos en el campo.

El Método PCI (PavementConditionIndex) fue desarrollado por el Cuerpo de los Ingenieros del Ejército Americano y publicado en el ArmyTechnical Manual 5-623. [ARMY82]. El método PCI asigna un índice 100 a un pavimento que está en “perfectas” condiciones y cero cuando esté completamente destruido.

El método PCI se resume principalmente en 5 etapas. La primera consiste en la inspección de la vía para cuantificar los deterioros y los niveles de severidad que presenta ésta. La segunda etapa indica la relación con la obtención de las densidades de deterioro para determinar posteriormente los Valores Deducidos individuales. Como tercer paso se debe cuantificar el Valor Deducido Total para dar paso a la cuarta etapa consistente en el ajuste de este valor. Finalmente, la última etapa, es la obtención del PCI.

Las investigaciones realizadas en el ámbito de la gestión de la infraestructura vial han concluido que la optimización de los recursos pasa por llevar a cabo

un mantenimiento adecuado y oportuno; adecuado en el sentido de proveer de actividades técnicamente correctas (sellado de grietas y juntas, parches, reencarpetados, etc.) y oportuno en el sentido de realizarse en el momento óptimo. Es en este último punto donde el método PCI, presentado en esta investigación, provee la información necesaria.

1.6.5. Tipo de Fallas en los Pavimentos

Cuando una obra vial se pone en servicio, debe presentar las condiciones óptimas para su operación; al transcurrir el tiempo, se deteriora por el uso, dificultándose así cada vez más el tránsito, por lo que es preciso hacer una conservación normal adecuada y rehabilitaciones oportunas, para que la obra no llegue a tener una falla prematura.

Las fallas de pavimentos pueden ser funcionales o estructurales, según los parámetros existentes para definirlos:

- ✓ **La falla funcional:** es aquella que tienen las carreteras cuando las deformaciones superficiales son mayores que las tolerables y provoca ciertas incomodidades al tránsito, de acuerdo con el tipo de camino del cual se trate, pues se puede tener una superficie de rodamiento con deformaciones que son aceptables para caminos secundarios; pero inconvenientes para autopistas.
- ✓ **La falla estructural:** implica una destrucción de la estructura del pavimento y, en general, se debe a que el tránsito que ha soportado la construcción es mayor al que se calculó para su vida útil; si éste es el caso, la estructura cumplió su cometido aunque en otras ocasiones, la falla estructural se presenta en forma prematura; es decir mucho antes de terminar el periodo útil y, entonces, se debe a espesores reducidos de pavimento a que los materiales usados eran de mala calidad o a uno de estos factores, combinado con un mal drenaje y una baja compactación.

1.6.6. Clasificación de Fallas Superficiales en Pavimento Rígido

Durante el estudio de la condición del pavimento y la valoración del PCI se deben comprender adecuadamente los deterioros en cuanto a su identificación y medición, los cuales están determinados por la Army Technical Manual 5-623. [ARMY82]. El manual considera las siguientes fallas:

- 1) Levantamiento de la junta.
- 2) Quiebre de esquina
- 3) Losas divididas
- 4) Grietas de durabilidad (“D”)
- 5) Escalonamiento
- 6) Sellado de juntas dañado
- 7) Deterioro en la zarpa
- 8) Agrietamiento lineal (grietas longitudinales, transversales y diagonales)
- 9) Parches y cortes (mayores a 0.5 m².)
- 10) Parches pequeños (menores a 0.5 m².)
- 11) Pulimiento de agregado
- 12) Popouts
- 13) Bombeo
- 14) Cruce de ferrocarril
- 15) Agrietamiento de mapa
- 16) Agrietamiento por contracción
- 17) Esquinas saltadas
- 18) Juntas saltadas

El Índice de Condición del Pavimento o PCI es un índice global que entrega información de la condición del pavimento, tomando como base la información de los diversos deterioros que se tienen presentes y los niveles de severidad que estos deterioros poseen.

El método PCI asigna un índice 100 a un pavimento que está en “perfectas” condiciones, este valor va disminuyendo de acuerdo a la incidencia que tiene la combinatoria de los deterioros y los niveles de severidad que están presentes en el pavimento.

La inspección del pavimento comienza con la determinación de los deterioros que están presentes en el mismo, estos datos se incluyen en una hoja de inspección especial para pavimentos rígidos. Debido a que los deterioros pueden repetirse a lo largo de la inspección, se deben calcular los totales de cada deterioro y nivel de severidad.

En una etapa posterior, se determinan las densidades asociadas a los deterioros y a su nivel de severidad, por medio de las cuales se ingresa a los gráficos de Valor Deducido. Cada deterioro tiene su gráfico de Valor Deducido, en el cual se tienen 3 curvas, donde cada una representa la incidencia de los niveles de severidad (bajo, medio y alto) en la condición que presenta el pavimento. Con los datos de entrada de densidad y nivel de severidad se obtiene un Valor Deducido Individual.

Posteriormente se debe determinar el Valor Deducido Total que corresponde a la sumatoria de los Valores Deducidos Individuales. Cuando en el estudio se presentan Valores Deducidos Individuales mayores a 5 puntos, se debe realizar una corrección sobre el Valor Deducido Total, ya que se considera que la apreciación de incomodidad disminuye cuando se tienen varios deterioros, ya que la percepción de la condición se homogeniza.

El PCI se obtiene de la sustracción de 100 menos el Valor Deducido Total Corregido. Con el valor del PCI se establece una escala que aporta un juicio de valor de condición de pavimento (Excelente, Muy bueno, Bueno, etc.) para definir al pavimento.

La metodología PCI considera como una etapa previa a su aplicación la división de la red vial en estudio. A continuación, se presentan y profundizan los conceptos asociados a la división antes señalada, para lo

cual se toman como base los procedimientos definidos por el centro de Estudios Técnicos de la Armada de E.E.U.U. [ARMY82]:

a. Rama

Una rama es cualquier parte identificable de una red de pavimento, es una entidad particular que tiene una función distintiva. En el caso de la red urbana, una rama puede ser cualquiera de las componentes de la red, es decir: Vías Expresas (autopistas y autovías), Vías Troncales, Vías Colectoras-Distribuidoras, Vías de Servicio, Vías Locales y Pasajes.

b. Sección

Una sección es una sub-división de una rama que tiene ciertas características consistentes. Estas características son:

- Estructura del pavimento (espesores y materiales).
- Tráfico.
- Historia constructiva.
- Instalaciones.
- Condición de pavimento.

c. Unidad de muestra

Una unidad de muestra es cualquier área identificable de una sección del pavimento y es el componente más pequeño de una red. Se debe realizar una división de la sección en unidades de muestra con el objetivo de simplificar el proceso de inspección, esto principalmente debido a que las unidades de muestra son elementos manejables desde el punto de vista de su extensión. La división de las unidades de muestra difiere dependiendo de la composición estructural del pavimento.

Para pavimentos rígidos, la unidad de muestra se define para una cantidad de losas que va desde las 12 a 28 losas, tomándose como lo más adecuado 20 losas.

d. Valor Deducido

El “Valor Deducido” es un ítem importante en el cual se basa el cálculo del PCI. El Valor Deducido se define como un número que se encuentra entre 0 y 100, donde 0 indica que el deterioro no tiene impacto alguno en la condición del pavimento, y 100 indica que un deterioro es extremadamente serio y causa la falla total del pavimento.

Con el cálculo del PCI se obtiene un índice al cual se le asocia un juicio de la condición del pavimento. La escala que muestra la relación existente entre los índices y los juicios de condición se muestra en la Figura 1.

PCI	Condición
100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Suficiente
40	Pobre
25	Muy pobre
10 0	Fallado

Figura N°1. Condición del Pavimento PCI

1.6.7. Procedimiento de Cálculo del PCI

A continuación, se explica el procedimiento para calcular el PCI en una unidad de muestra particular, y como calcular el PCI para una sección del pavimento basándose en los estudios realizados por el Departamento General de la Armada de E.E.U.U. [ARMY82].

El cálculo del PCI en una unidad de muestra es un procedimiento simple que se resume en 5 pasos, ver (Figura 2):

- **Paso 1:** Cada unidad de muestra se inspecciona, registrándose todos los deterioros y los niveles de severidad presentes. Estos datos son anotados en el formulario de evaluación de pavimentos rígidos. Para cada combinación de deterioro y severidad se debe calcular la densidad de deterioro.
- **Paso 2:** Se determinan los Valores Deducido Individuales, para ello se ingresa a las curvas del mismo nombre con la densidad de deterioro, estas curvas se encuentran en gráficos que son definidos para cada tipo de deterioro y nivel de severidad (Anexo 2 CURVAS DE VALOR DEDUCIDO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS)). Estas curvas provienen de estudios 100% empíricos que se realizaron a los usuarios de los pavimentos, en éstos, por medio de encuestas se solicita a los usuarios realizar una ponderación de la incidencia de los deterioros y severidades, en la incomodidad que producen, esta ponderación va de 0 a 100, donde 0 indica que el deterioro no tiene incidencia en la condición que presenta el pavimento y 100 indica que la incidencia es tan grave que provoca la falla de la vía.
- **Paso 3:** Se calcula el Valor Deducido Total (VDT) que es la suma de los Valores Deducidos Individuales.
- **Paso 4:** Una vez calculado el Valor Deducido Total (VDT), se debe determinar el Valor Deducido Corregido (VDC) por medio de las CURVAS DE CORRECCIÓN DE VALOR DEDUCIDO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS(vea Anexo 2). Esta corrección se realiza en función del número de Valores Deducidos Individuales (q), cuyo valor es mayor a 5. Si al determinar el Valor Deducido Corregido (VDC) se observa que algún Valor Deducido Individual es mayor que

el VDC, el VDC se establece igual al mayor Valor Deducido Individual. Por ejemplo, asuma que se tienen dos deterioros en un pavimento rígido, uno con un Valor Deducido de 50, y el otro con un Valor Deducido de 10. Usando la Figura del Anexo 2). el VDC para $q = 2$ ($q =$ número de Valores Deducidos Individuales cuyo valor es mayor que 5) es 45. Ya que 45 es menor que 50, el VDC se fija en 50. La corrección del Valor Deducido Total se realiza debido a la disminución del impacto que se produce cuando se tienen varios deterioros que inciden en forma conjunta en una muestra. Este efecto se produce por la homogeneización de las fallas en el área.

- **Paso 5:** Se calcula el PCI usando la relación $PCI = 100 - VDC$.

La siguiente figura, resume todos los pasos para determinar el Índice de Condición de Pavimento.

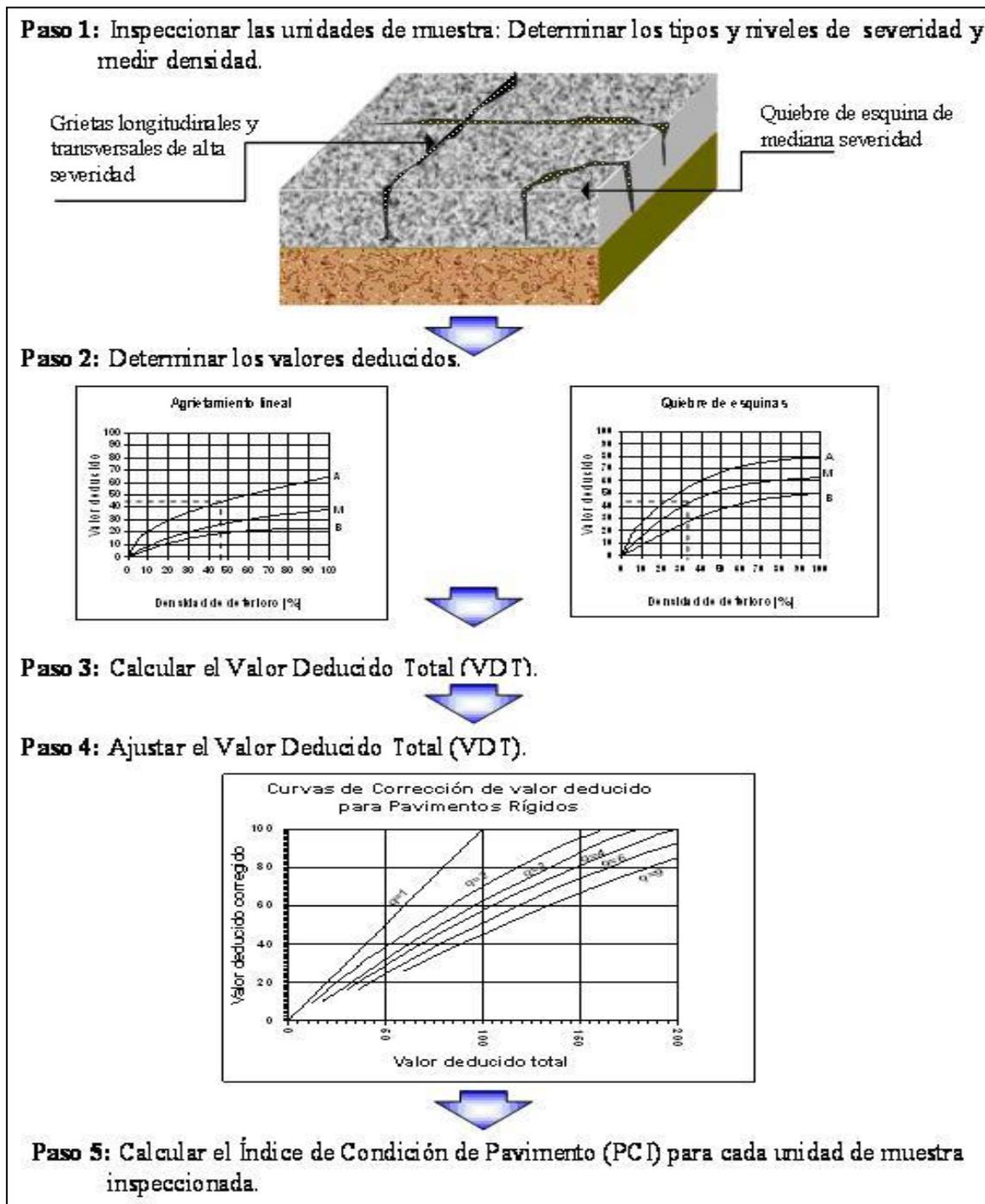


Figura N°2. Resumen del procedimiento de obtención del PCI

1.6.8. Hidrología y Drenaje

Para la evaluación de un sistema de drenaje en carreteras, lo más importante es la estimación de la magnitud y frecuencia de los volúmenes máximos de descarga probables procedentes de las cuencas o sub cuencas adyacentes a una carretera, con el caudal resultante se procederá a verificar si las secciones de diseño de las principales estructuras hidráulicas existentes cumplen su función eficientemente, surge así la necesidad de recurrir a la ciencia de la hidrología y resolver su problema clásico que es la obtención de la avenida máxima para un cierto periodo de retorno.

El diseño apropiado del sistema de drenaje se logra considerando las tormentas más severas que se presentan a intervalos y durante las cuales la intensidad de la precipitación pluvial y del escurrimiento del agua superficial es mucho mayor que en otros periodos.

La selección de la frecuencia de ocurrencia de la tormenta de diseño es un asunto de experiencia, criterio y se debe analizar los factores determinantes tales como la importancia de la carretera, de las estructuras hidráulicas a diseñarse, condiciones aguas abajo de la estructura (poblaciones, infraestructuras aledañas, áreas de cultivo, etc.) y finalmente la duración esperada de la obra, determinada por criterios de aspecto económico y técnico social.

El estudio hidrológico tiene por objeto realizar el análisis y evaluación de los factores hidrológicos que originan la presencia de las aguas superficiales que provocan problemas en la estabilidad y transitabilidad de la vía; para evitar los daños en la estructura de la vía se genera los caudales de diseño, a fin de plantear soluciones convenientes, proyectando y dimensionando obras de arte y drenaje (cunetas, alcantarillas, etc.) para así lograr un drenaje adecuado en la vía.

En la zona por donde se desarrolla el tramo carretero se presentan precipitaciones pluviales características de la región; por tanto, resulta necesario realizar estudios hidrológicos que nos permitan:

- Evaluar las máximas precipitaciones, para así estimar las máximas descargas instantáneas que podrían ocurrir en los riachuelos y quebradas que interceptan a la carretera.
- Determinar las características geométricas e hidráulicas estructurales de las estructuras de acuerdo a los caudales de diseño de las diversas obras de drenaje requeridos en la construcción de una carretera.

Estas avenidas se calculan para evitar riesgos en las obras, orientado a razones lógicas, puesto que el sobre dimensionamiento de las estructuras conlleva a costos excesivos, mientras la reducción del diseño puede devenir en la destrucción o colapso de las mismas, ocasionando en ambos casos pérdidas económicas a largo plazo.

- **Micro Cuenca**

Se denomina micro cuenca a una pequeña extensión de terreno definida topográficamente, que es drenada por un sistema conectado de cursos de agua a través de drenes naturales como las quebradas, producto de la precipitación, de tal modo que todo el caudal efluente es concentrado y descargado mediante un solo curso común de agua.

En una micro cuenca interesan fundamentalmente la topografía y la climatología, ya que estos dos factores determinan en gran medida las condiciones de recepción y escurrimiento de las aguas que caen por precipitación para luego formar los cursos de agua, manantiales, nevados, etc.

La delimitación y la obtención del área de una micro cuenca se determina siguiendo las líneas divisorias de las aguas y teniendo en cuenta que las líneas de flujo son perpendiculares a las curvas a nivel del terreno y hasta un punto del curso principal de agua que caen en esta micro cuenca. Es una operación que se realiza sobre un plano a curvas a nivel, de la micro cuenca considerada,

después de haberla delimitado, debemos determinar el área de ésta, la cual se expresa en hectáreas cuando la micro cuenca es pequeña o en Km² cuando ésta es mayor.

- **Precipitación**

El estudio de precipitación implica determinar el volumen de agua precipitado, que se obtiene conjugando este fenómeno (profundidad de lámina de agua) con la superficie en la cual se produce y el tiempo durante el cual tiene lugar. Para dicho propósito se recurre a observaciones sistemáticas a lo largo de un período de tiempo dado, lo que permite conocer las variaciones sucesivas de la magnitud del fenómeno y las fluctuaciones del área en la cual se produce.

La lluvia como fenómeno fundamental en la precipitación, requiere de un acucioso registro en su medición en las estaciones pluviométricas, pluviográficas o meteorológicas, pues dicha información cuando es completa, consistente y de extensión suficiente tiene como objetivo inmediato y trascendente definir y encarar problemas de escorrentía, dada la estrecha relación que existe entre ambos fenómenos.

A partir de tales datos pluviométricos es posible determinar las características de las aguas superficiales, definiendo razonablemente el régimen y la periodicidad de su ocurrencia.

- **Duración**

Es el período durante el cual se produce, uniformemente, una lluvia de intensidad dada. La intensidad de la lluvia no es necesariamente constante a lo largo del tiempo, puesto que durante la tormenta se producen consecutivamente diversas intensidades, cada una de las cuales puede ser constante durante los periodos parciales.

- **Intensidad**

Se refiere al volumen de agua precipitada en un período de tiempo dado, expresado como una tasa de precipitación, es decir, el volumen (profundidad de la lámina) de agua que se deposita en el área receptora a lo largo del tiempo durante el cual ocurre la precipitación, siendo su expresión matemática:

$$I = \frac{P}{t}$$

Donde: I = Intensidad (mm/h)
 P = Precipitación (mm)
 t = Tiempo (h)

- **Intensidad Máxima de Precipitación**

En las precipitaciones, la intensidad de lluvia en general no permanece constante durante un periodo considerable de tiempo. Al contrario la precipitación puede variar desde una lluvia ligera hasta una tormenta.

Debido a estas limitaciones las intensidades máximas de precipitación serán calculadas mediante el modelo matemático de YANCE TUEROS, según la siguiente expresión:

$$I_{\text{máx}} = 0.4602 (P_{\text{máx.24h}})^{0.875}$$

Donde:

I máx. = Intensidad máxima horaria de lluvia (mm/h).
P máx. 24 hr = Precipitación máxima en 24 horas (mm).

○ **Tiempo de Concentración**

Es el tiempo que tarda la gota de agua caída en la parte más alejada de la cuenca o zona drenada en llegar al punto de desagüe; este tiempo se determinará en función de la máxima distancia que tiene que recorrer el agua superficial y de la velocidad media con que discurre.

○ **Escurrimiento Superficial**

Del agua precipitada, se produce la escurrimiento la cual alcanza los cauces bien sea superficialmente o bien filtrándose a través del terreno. La escurrimiento es mayor en lluvias intensas y en épocas lluviosas cuando el terreno está saturado. Es usual evaluarla mediante el empleo del coeficiente de escurrimiento que viene dado por el cociente entre la escurrimiento y la precipitación.

○ **Método Racional**

Uno de los métodos más comunes para calcular el escurrimiento en un área de drenaje es el método racional. La gran aceptación que ha tenido se debe al hecho de que combina juicios de ingeniería con cálculos hechos a partir de análisis, mediciones u otros cálculos. El método racional tiene como base la relación directa entre la lluvia y el escurrimiento y se expresa por la ecuación:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Donde:

Q = Caudal máximo de escurrimiento, en m³/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento.

I = Intensidad de precipitación, en mm/hora.

A = Área de drenaje, en Ha.

Los escurrimientos obtenidos por este método se utilizarán para dimensionar cunetas y alcantarillas por ser el más sencillo y directo de aplicar en caso de estas obras.

○ **Coeficiente de Escorrentía (C).**

STANLEY, V.B. (1982): Indica que, el coeficiente de escorrentía, depende de la intensidad de la lluvia y de su duración; cuando la duración aumenta, el coeficiente comienza a aumentar, ya que las lluvias caídas al comienzo son retenidas en las capas superficiales del suelo. En cambio, cuando la lluvia sobrepasa una cierta duración, el coeficiente de escorrentía comienza a disminuir pues el agua comienza a infiltrarse en profundidad y la evaporación se deja sentir mejor.

Tabla N°01: Coeficiente de Escorrentía para Distintas Zonas

TIPO DE SUPERFICIE	FACTOR C
Superficies Impermeables de Techos	0.75 a 0.95
Pavimentos Asfaltados	0.80 a 0.95
Pavimentos de Concreto	0.70 a 0.90
Pavimento de Piedra o Ladrillo con Juntas Bien Hechas	0.35 a 0.90
Suelos Impermeables	0.40 a 0.65
Suelos Impermeables con Césped	0.30 a 0.55
Suelos Ligeramente Permeables	0.15 a 0.65
Suelos Moderadamente Permeables	0.05 a 0.20
Suelos Moderadamente Permeables con Césped	0.00 a -0.10

1.6.9. Importancia y Conceptos Básicos del Sistema de Drenaje

El objeto del drenaje en los caminos, es en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una u otra forma llega al mismo, y en segundo término dar salida rápida al agua que llega al camino.

Las estructuras que se levantan para controlar el flujo de agua superficial se llaman por lo general “drenaje superficial”, en tanto que aquéllas relacionadas con el agua subterránea en sus diferentes formas se designan “drenaje subterráneo”.

● **Drenaje Superficial**

El drenaje superficial tiene el fin de alejar las aguas de la carretera, para evitar la influencia negativa de las mismas sobre su estabilidad y transitabilidad, así como para limitar las operaciones de conservación.

El drenaje superficial se considera longitudinal o transversal, según la posición que las obras guarden con respecto al eje del camino.

- **Drenaje Longitudinal**

Tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él, de tal manera que le causen deterioros. Aquí es importante determinar el caudal, para luego determinar el tipo de obra adecuada tal que cumpla con un óptimo servicio para el que fue diseñado, quedan comprendidos en este tipo de drenaje las obras como las cunetas, zanjas de coronación, bombeo, canales de encauzamiento etc.

- **Cunetas**

Las cunetas son zanjas que se hacen en ambos lados del camino con el propósito de recibir y conducir el agua pluvial de la mitad del camino (o de todo el camino) en las curvas), el agua que escurre por los cortes y a veces la que escurre de pequeñas áreas adyacentes.

La construcción de las cunetas debe tener una sección transversal eficiente y que sea fácil de construir y de conservar. En la práctica, las cunetas se construyen de sección trapezoidal o triangular

La capacidad hidráulica de la cuneta como canal, define principalmente la posibilidad de cumplir la función de canalizar y eliminar con rapidez las aguas acumuladas. El gasto por drenar depende del área de influencia, del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de lluvia durante un tiempo igual al de concentración.

- **Zanjas de Coronación**

Son zanjas excavadas en el terreno natural, que se localizan en la parte superior de los taludes de los cortes, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladero abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del y el congestionamiento de las cunetas y la corona de la carretera por el agua y sus materiales de arrastre.

- **Bombeo del Camino**

Se denomina bombeo de un camino a la forma de la sección transversal del mismo y que tiene como fin principal el drenar hacia los lados el agua que cae en el camino mismo. El bombeo que debe emplearse depende de la clase de superficie de rodadura, facilidad de circulación de los vehículos y aspecto del camino.

- **Drenaje Transversal**

Es el que tiene por objeto dar paso expedito a cursos de agua que cruzan de un lado al otro del camino, quedan comprendidos en este tipo de drenaje los badenes alcantarillas, puentes, pontones, badenes, etc.

- **Alcantarillas**

Las alcantarillas son estructuras transversales de forma diversa cuya función es conducir y desalojar, con la mayor rapidez posible, el agua de las hondonadas y las partes bajas del terreno (Thalwegs) que atraviesan el camino. Por la forma de la sección y el material de que están construidas estas estructuras de drenaje menor se clasifican en tubos, bóvedas, losas sobre estribos y cajones.

- **Drenaje Subterráneo de Carreteras**

Se refiere al control de las aguas freáticas que se encuentran donde se localizan las carreteras. El drenaje subterráneo de una carretera, consiste por lo regular de un tubo circular colocado en una zanja a una profundidad adecuada, la cual se rellena con material poroso o granular.

El drenaje subterráneo se instala para cumplir con cierto número de objetivos, la mayoría de los cuales está incluido en las clasificaciones siguientes:

- Control de la filtración en cortes o sobre laderas. Generalmente, estas instalaciones se conocen como “drenes interceptores”.
- Abatimiento del nivel de las aguas freáticas, como en las áreas pantanosas.
- Drenaje poco profundo de la base y la subrasante.

El agua al fluir a través de los vacíos de suelos o rocas muy intemperizadas, el líquido puede causar erosiones; por ejemplo, cuando se construye un camino en corte, si el flujo del agua no se controla, éste puede aflorar por los taludes y la cama del camino. Asimismo, es la causante de la elevación de las presiones neutras reduciendo así la resistencia al esfuerzo cortante que, al aumento de peso de la masa, es la razón de la falla de los taludes.

Los drenes interceptores se colocan por lo regular paralelos al eje y se llaman “drenajes longitudinales”. En algunos casos, puede ser que la filtración se presente paralela al eje, entonces puede ser necesario disponer de drenes transversales para interceptar esta filtración longitudinal.

1.6.10. Métodos de Diseño de Pavimentos

Se distinguen los siguientes métodos para calcular estructuras de pavimentos rígidos:

A. Métodos teóricos:

Estos consideran al pavimento como una estructura a la que le son aplicadas los procedimientos de elasticidad.

Estos métodos, en la práctica poco utilizados, sirven de base a investigadores que realizan trabajos en esta materia, se limitan al estudio elástico de sistemas multicapas sometidos a cargas elásticas. Así tenemos: Boussinesq, Burmister, How, Jeuffroy-Bacheles, Ivanoff, Peattic y Jones, etc.

Pueden incluir propiedades visco-elásticas de algunas capas de pavimentos y problemas de cargas variables (Estudios por el Laboratorio Central de puentes y calzadas).

B. Métodos Empíricos:

Estos métodos renuncian a utilizar resultados de la mecánica y se limitan a una clasificación de suelos y de tipos de calzadas más corrientes.

Se tienen los métodos de Steele, de la Aviación Civil Americana, entre otros.

C. Métodos semiempíricos

Estos métodos combinan los resultados de estudios teóricos y de ensayos realizados en cimientos preparados o en pavimentos y pistas que están en servicio y son a la vez, los más racionales. Se tienen las Fórmulas de Westergaard, Bradbury, Pickett, etc.

D. Métodos computarizados

Son métodos modernos y de actualidad, cuya importancia radica en que las soluciones que se obtienen son múltiples y para diferentes factores ya sea de diseño o de rehabilitación.

Los pavimentos deben poseer ciertas características funcionales que corresponden prácticamente a las de la superficie de rodamiento y que afectan especialmente a los usuarios. Por otra parte, han de tener también unas características estructurales que son de mayor importancia para los técnicos encargados de la conservación de los pavimentos y de la explotación de las carreteras.

Por otra parte, las características estructurales están íntimamente relacionadas con las de los materiales empleados en las capas del pavimento, muy particularmente las propiedades mecánicas que tienen una relación con los espesores de las capas. La diferente deformabilidad de las mismas da lugar a discontinuidades de tensiones y/o deformaciones recuperables (elásticas o resilientes) en los planos de contacto, por lo que el diseño de cualquier capa ha de armonizarse con el de las restantes con el fin de lograr un buen comportamiento estructural en conjunto.

Las técnicas de evaluación estructural de pavimentos pueden ser:¹

- **Análisis de componentes:** utiliza las relaciones entre resistencia de la subrasante, estructura del pavimento y cargas de tránsito, es un procedimiento similar al empleado en el diseño de pavimentos nuevos.
- **Análisis de deflexiones:** Analiza las deflexiones medidas en el pavimento con respecto al tránsito.

De las técnicas de evaluación, en la presente investigación adoptamos el método de Análisis de Componentes, el cual se considera además como un método “destrutivo”.

¹ LOS PAVIMENTOS EN LAS VÍAS TERRESTRES. Ing. José Céspedes Abanto. (Pág. 299).

1.6.11. Método de la Portland Cement Association (PCA).

El propósito del presente método, es hallar los espesores mínimos de pavimentos que se traduzcan en menores costos de construcción y mantenimiento.

A. Consideraciones de Diseño

Los procedimientos de diseño que brinda la PCA, tiene en cuenta algunas condiciones que antes no se habían cubierto por otros métodos, el método incluye el reconocimiento de:

- El grado de transferencia de carga que proporciona en las juntas transversales, por los diferentes tipos de pavimentos descritos.
- El efecto de usar bermas de concreto, adyacentes al pavimento, las cuales reducen los esfuerzos de flexión y las deflexiones producidas por las cargas de vehículos.
- El efecto de usar una sub base de concreto pobre, la cual reduce los esfuerzos y las deflexiones, proporciona un soporte considerable cuando los camiones pasan sobre juntas y además proporciona resistencia a la erosión que se produce en la sub base a causa de las deflexiones repetidas del pavimento.
- Dos criterios de diseño:
 - Fatiga, para lograr proteger al pavimento contra la acción de los esfuerzos producidos por la acción repetida de cargas.
 - Erosión, para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas y esquinas, y controlar así la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas. Este criterio de erosión es necesario, puesto que algunas formas de falla del pavimento, tales como el bombeo, el desnivel entre losas y el

deterioro de las bermas, son independientes de la fatiga.

B. Factores de Diseño

a. Resistencia del concreto a la flexión:

Esta resistencia se considera en el procedimiento de diseño por el criterio de fatiga, el cual controla el agrietamiento del pavimento bajo la acción repetida de las cargas de los vehículos pesados.

El presente método utiliza la resistencia a la flexión, medida por ensayos de módulo de rotura sobre vigas de 15 x 15 x 73 cm, cargándolas en los tercios de la luz, para un período de curado de 28 días. Las pruebas de módulo de rotura son comúnmente realizadas a los 7, 14, 28, y 90 días. Los resultados de prueba a los 7 y 14 días son comparados con los requerimientos de las especificaciones para control de trabajo y para determinar cuándo los pavimentos pueden ser abiertos al tráfico. Los resultados del ensayo a los 28 días han sido comúnmente usados para el diseño de espesores de pavimentos.

El módulo de resistencia a la tensión en flexión MR, también se valúa a partir de correlaciones con el valor de $f'c$, resistencia del concreto a la compresión mediante la siguiente correlación:²

$$0.10f'c \leq MR \leq 0.17f'c$$

El Módulo de Ruptura adoptado en la presente evaluación, $MR = 0.15 f'c$; donde el valor del $f'c$ es el determinado mediante el Ensayo del Esclerómetro (Ítem 6.2.2.1), $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (2986.83psi), reemplazando se obtiene MR= 448 psi.

² LA INGENIERÍA DE SUELOS EN LAS VÍAS TERRESTRES VOL. II. Rico. Del Castillo. (Pág. 209)

b. Soporte de la Sub Rasante y la Sub Base:

El soporte de la subrasante y la sub base es definido en términos del módulo de reacción de la subrasante “k” de Westergaard.

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere de tiempo y es costosa, el valor de “k” es estimado generalmente por correlación con otros ensayos, tal como la razón de de Soporte de California (California Bearing Ratio – CBR), pueden calcularse a partir las siguientes expresiones que la AASHTO acepta:

$$K = 2.55 + 52.5(\text{Log CBR}) \quad \text{Mpa/mCBR} \leq 10$$

$$K = 46.0 + 9.08(\text{Log CBR})^{4.34} \quad \text{Mpa/mCBR} > 10$$

Los valores de “k” son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (psi/pulg), es decir como libras pulgada cúbica (pci).

c. Período de Diseño.

El período de diseño influye en el diseño de espesores, puesto que determina cuantos años y consecuentemente cuantos vehículos comerciales podrán circular sobre el pavimento. Se toma por lo general un lapso de 20 años. En la presente evaluación, el periodo de diseño se adopta como actual, considerando a este el de un año (365 días).

d. El Tránsito

Los principales factores de tránsito que inciden en el diseño de un pavimento rígido, son el número y la magnitud de las cargas por eje más pesadas, que se esperan durante el período de diseño. Estos valores se obtienen a partir de estimativos de:

- ADT: Tráfico promedio diario en ambas direcciones, de todos los

vehículos (average daily traffic – ADT) = IMD índice medio diario.

- ADTT: Trafico promedio diario de camiones en ambas direcciones (average daily truck traffic ADTT) = IMDVP índice medio diario vehículos pesados.
- Cargas por eje de los vehículos comerciales.

La información sobre el ADT ó IMD, se determinaron mediante aforos, esta información se encuentra detallado en el (Capítulo V).

e. Proyección del Tránsito

Al tratarse de una evaluación estructural; con la finalidad de determinar el estado actual de la vía, el diseño del pavimento se efectuará considerando el Índice Medio Diario Actual proyectado a la de un año (365 días).

f. Tránsito Promedio Diario de Vehículos Pesados

Los valores admisibles del ADTT ó IMDVP, se obtienen mediante un conteo de clasificación de camiones para el camino donde se incluyen los camiones de doble eje con seis ruedas y camiones simples o combinación de unidades con tres ejes ó mas. Están excluidos los camiones panel y pickup y otros camiones de dos ejes y cuatro ruedas.

C. Procedimiento de Diseño.

a. Datos necesarios.

- Tipo de juntas y bermas.
- Resistencia a la flexión del concreto a 28 días.
- Valor de “k” de la sub rasante o sub rasante – sub base.
- Factor de seguridad de carga. FSC.
- Distribución de carga por eje.
- Número esperado de repeticiones de las diversas cargas por el eje del carril de diseño y durante el período de diseño.

b. En la hoja de cálculo (Formato 6.2.4.3-b), se presenta dos tipos de análisis requeridos:

- El de fatiga (para controlar el agrietamiento por fatiga)
- El de erosión (para controlar la erosión de la fundación y bermas, el bombeo y las fallas).

TABLA N°02: Calculo del Pavimento Método PCA

CÁLCULO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RÍGIDO MÉTODO PCA						
Proyecto						
Espesor de prueba	Pulg	Juntas con dowels	SI ()	NO ()		
k de la sub base-subrasante	Pci	Bermas de concreto	SI ()	NO ()		
Módulo de rotura (MR)	Psi	Periodo de diseño				
Fac. seguridad de carga FSC						
Carga por eje (kips.) (1)	Multiplicar por Factor seguridad carga (2) = (1) x (FSC)	Repeticiones Esperadas (3)	Análisis por Fatiga		Análisis por Erosión	
			Repeticiones permisibles (4)	% de Fatiga (5) = (3)/(4) x 100	Repeticiones permisibles (6)	% de daño (7) = (3)/(6) x 100
8. Esfuerzo equivalente :			10. Factor de erosión :			
9. Factor de relación esfuerzo :						
11. Esfuerzo equivalente :			13. Factor de erosión :			
12. Factor de relación esfuerzo :						
TOTAL			TOTAL			

c. Se establecerán los datos básicos de entrada y se colocarán en la parte superior de la hoja de trabajo.

d. Deberá conocerse los datos de tránsito y se colocarán en las columnas (1) y (3).

e. Las cargas por eje deberán multiplicarse por el factor de seguridad de carga

f. Se efectuará el análisis por fatiga.

- En la tabla 2, se tiene los esfuerzos equivalentes en función del espesor de la losa supuesta y del valor de "k", y se colocarán en los numerales (8) y (11).
- Dividir este valor por el módulo de rotura y se colocará en el numeral (9) y (12).

- Con la magnitud de las cargas (2) y los factores de relación de esfuerzos, se determinarán el número admisible de repeticiones de carga Figura 4 y se colocarán en la columna (4).
 - Calcular los valores de la columna 5, dividiendo cada valor de la columna 3 entre la columna 4 y multiplicarlo por 100.
- g. Se efectuará el análisis por erosión.
- Utilizando la (tabla 2) y la (Figura 6).
 - De la tabla (tabla 3), se extraerá los datos de erosión y se colocaran estos valores en los numerales (10) y (13).
 - Llenar las columnas (6) con las repeticiones admisibles halladas en la (Figura 6).
 - Dividir cada valor de la columna 3 por el correspondiente de la columna 6 y multiplicar por 100. la suma de esta columna corresponde al daño total por erosión.
- h. El espesor de la losa escogido para el tanteo se considera inadecuado si los totales de fatiga o erosión superan el 100%, en este caso se hará otro tanteo con un espesor mayor. Si los totales son muy inferiores se tomará en el tanteo un espesor menor.

TABLA N°03: Esfuerzo equivalente - sin berma de concreto
(Eje simple/ Eje Tándem)

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - sub base. Pci													
	50	100	150	200	300	500	700							
4	825	679	726	585	671	542	634	516	584	486	523	457	484	443
4.5	699	586	616	500	571	430	540	435	498	406	448	378	417	363
5	602	516	531	436	493	399	467	376	432	349	390	321	363	307
5.5	526	461	464	387	431	353	409	331	379	305	343	278	320	264
6	465	416	411	348	382	316	362	296	336	271	304	246	285	232
6.5	417	340	367	317	341	286	324	267	300	244	273	220	256	207
7	375	349	331	290	307	262	292	244	271	222	246	199	231	186
7.5	340	323	300	268	279	241	265	224	246	203	224	181	210	169
8	311	300	274	249	255	223	242	208	225	188	205	167	192	155
8.5	285	281	252	232	234	208	222	193	206	174	188	154	177	143
9	264	264	232	218	216	195	205	181	190	163	174	144	163	133
9.5	245	248	215	205	200	183	190	170	176	153	161	134	151	124
10	228	235	200	193	186	173	177	160	164	144	150	126	141	117
10.5	213	222	187	183	174	164	165	151	153	136	140	119	132	110
11	200	211	175	174	163	155	154	143	144	129	131	113	123	104
11.5	188	201	165	165	153	148	145	136	135	122	123	107	116	98
12	177	192	155	158	144	141	137	130	127	116	116	102	109	93
12.5	168	183	147	151	136	135	129	124	120	111	109	97	103	89
13	159	176	139	144	129	129	122	119	113	106	103	93	97	85
13.5	152	168	132	138	122	123	116	114	107	102	98	89	92	81
14	144	162	125	133	116	118	110	109	102	98	93	85	88	78

Fuente: Tabla 6a Esfuerzo equivalente – sin berma de concreto (Eje simple – Eje tándem) (Pavimentos de Concreto ACI). Pág. 28.

TABLA N°04: Factor de Erosión - Juntas con Dowels, sin berma de concreto

(Eje simple/ Eje Tándem)

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - sub base. Pci											
	50	100	200	300	500	700						
4	3.74	3.83	3.73	3.79	3.72	3.75	3.71	3.73	3.7	3.7	3.68	3.67
4.5	3.59	3.7	3.57	3.65	3.56	3.61	3.55	3.58	3.54	3.55	3.52	3.53
5	3.45	3.58	3.43	3.52	3.42	3.48	3.41	3.45	3.4	3.42	3.38	3.4
5.5	3.33	3.47	3.31	3.41	3.29	3.36	3.28	3.33	3.27	3.3	3.26	3.28
6	3.22	3.38	3.19	3.31	3.18	3.26	3.17	3.23	3.15	3.2	3.14	3.17
6.5	3.11	3.29	3.09	3.22	3.07	3.16	3.06	3.13	3.05	3.1	3.03	3.07
7	3.02	3.21	2.99	3.14	2.97	3.08	2.96	3.05	2.95	3.01	2.94	2.98
7.5	2.93	3.14	2.91	3.06	2.88	3	2.87	2.97	2.86	2.93	2.84	2.9
8	2.85	3.07	2.82	2.99	2.8	2.93	2.79	2.89	2.77	2.85	2.76	2.82
8.5	2.77	3.01	2.74	2.93	2.72	2.86	2.71	2.82	2.69	2.78	2.68	2.75
9	2.7	2.96	2.67	2.87	2.65	2.8	2.63	2.76	2.62	2.71	2.61	2.68
9.5	2.63	2.9	2.6	2.81	2.58	2.74	2.56	2.7	2.55	2.65	2.54	2.62
10	2.56	2.85	2.54	2.76	2.51	2.68	2.5	2.64	2.48	2.59	2.47	2.56
10.5	2.5	2.81	2.47	2.71	2.45	2.63	2.44	2.59	2.42	2.54	2.41	2.51
11	2.44	2.76	2.42	2.67	2.39	2.58	2.38	2.54	2.36	2.49	2.35	2.45
11.5	2.38	2.72	2.36	2.62	2.33	2.54	2.32	2.49	2.3	2.44	2.29	2.4
12	2.33	2.68	2.3	2.58	2.28	2.49	2.26	2.44	2.25	2.39	2.23	2.36
12.5	2.28	2.64	2.25	2.54	2.23	2.45	2.21	2.4	2.19	2.35	2.18	2.31
13	2.23	2.61	2.2	2.5	2.18	2.41	2.16	2.36	2.14	2.3	2.13	2.27
13.5	2.18	2.57	2.15	2.47	2.13	2.37	2.11	2.32	2.09	2.26	2.08	2.23
14	2.13	2.54	2.11	2.43	2.08	2.34	2.07	2.29	2.05	2.23	2.03	2.19

REFERENCIA: Tabla 7a.
Factor de Erosión -
Juntas con trabazón de
agregado, sin berma de
concreto (Eje simple/
Eje Tándem)
(Pavimentos de
Concreto ACI). Pág. 30.

Los

pavimentos deben poseer ciertas características funcionales que corresponden prácticamente a las de la superficie de rodamiento y que afectan especialmente a los usuarios. Por otra parte, han de tener también unas características estructurales que son de mayor importancia para los técnicos encargados de la conservación de los pavimentos y de la explotación de las carreteras

Por otra parte, las características estructurales están íntimamente relacionadas con las de los materiales empleados en las capas del pavimento, muy particularmente las propiedades mecánicas que tienen una relación con los espesores de las capas. La diferente deformabilidad de las mismas da lugar a discontinuidades de tensiones y/o deformaciones recuperables (elásticas o resilientes) en los planos de contacto, por lo que el diseño de cualquier capa ha de armonizarse con el de las restantes con el fin de lograr un buen comportamiento estructural en conjunto.

Las técnicas de evaluación estructural de pavimentos pueden ser:³

³ LOS PAVIMENTOS EN LAS VÍAS TERRESTRES. Ing. José Céspedes Abanto. (Pág. 299).

- **Análisis de componentes:** utiliza las relaciones entre resistencia de la subrasante, estructura del pavimento y cargas de tránsito, es un procedimiento similar al empleado en el diseño de pavimentos nuevos.
- **Análisis de deflexiones:** Analiza las deflexiones medidas en el pavimento con respecto al tránsito.

De las técnicas de evaluación, en la presente investigación adoptamos el método de Análisis de Componentes, el cual se considera además como un método “destrutivo”.

1.6.12. Sobrecapas Asfálticas sobre Pavimentos de Concreto de Cemento Portland (PCC)

La evaluación estructural involucra determinar la competencia de un pavimento para soportar el tránsito sin desarrollar daño estructural apreciable. El intento de evaluación estructural es determinar la competencia actual del pavimento y predecir su vida futura de servicio, con respecto al tránsito que lo utiliza. Cuando el pavimento es inadecuado para el uso actual o futuro, la evaluación forma una base para diseñar las mejoras necesarias para proporcionar un servicio apropiado.

La incidencia de factores de diverso origen determina alteraciones de la superficie de rodamiento de los pavimentos que afectan la seguridad, comodidad y velocidad con que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro.

No todas las medidas de la condición del pavimento alcanzaran un nivel terminal al mismo tiempo. En un sentido más amplio, la evaluación de la condición ayudará a establecer prioridades para sobrecapa u otras medidas de mejoramiento, y ayuda a establecer los programas a ser seguidos en la corrección de las deficiencias del pavimento.

La finalidad fundamental de todo proceso de mantenimiento o refuerzo de los

pavimentos en servicio, es corregir los defectos mencionados para alcanzar un grado de transitabilidad adecuado durante un periodo de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión necesaria.

Las sobrecapas de asfalto proporcionan uno de los métodos más efectivos desde el punto de vista de los costos, para mejorar pavimentos existentes. Las sobrecapas de asfalto pueden usarse para: reforzar pavimentos existentes, reducir los costos de mantenimiento y aumentar la vida del pavimento, proveer una transitabilidad suave, mejorar el servicio al usuario y reducir los riesgos de seguridad mejorando la superficie del pavimento al patinaje. Además, las sobrecapas de asfalto, conjuntamente con el ensanche en el Espesor-Total y otras mejoras geométricas, pueden usarse para aumentar la capacidad del camino y adicionar mayor seguridad.

Las causas principales de agrietamiento en una sobre capa son las fuerzas creadas por las contracciones y expansiones térmicas horizontales, y las deflexiones diferenciales verticales de las losas PCC subyacentes. Estos factores contribuyen al mismo agrietamiento debido a que comparten el mismo plano de debilitamiento en la PCC. La deflexión diferencial, sin embargo, se considera la más crítica, debido a que su velocidad de carga es mucho más rápida que la desarrollada por contracción y expansión. Por eso, en el diseño, el esfuerzo vertical permisible es mucho menor que el esfuerzo horizontal.

Se deben evaluar los componentes estructurales del pavimento de concreto de cemento portland, de tal manera que se pueda asignar y usar un Espesor Efectivo. El espesor efectivo (T_e) de un pavimento existente es el espesor que tendría si fuera convertido a espesor de concreto asfáltico total (Full Depth). Para determinar T_e , se debe convertir cada capa del pavimento existente, a un espesor equivalente del concreto asfáltico usando los factores de conversión apropiados (Tabla V-2, SOBRECAPAS DE ASFALTO PARA REHABILITACIÓN

DE CALLES Y CARRETERAS. ASPHALT INSTITUTE – MANUAL SERIES N° 17).

Hay, sin embargo, ciertos aspectos peculiares a los pavimentos rígidos – juntas y grietas, losas inestables, losas rotas – que deberían ser consolidados en el diseño. Debería examinarse el concreto de cemento portland para determinar su condición, espesor y soporte. Entre las señales de daño a buscar están: el bombeo, el agrietamiento, el astillamiento, el escalonamiento en las juntas y el movimiento de las losas por acción del tráfico. También debería considerarse en la selección de los factores de conversión apropiados de la tabla 5, si es que el pavimento va a ser subsellado o fracturado y asentado previamente a la sobrecapa.

TABLA N°05: FACTOR DE CONVERSIONES PARA CONVERTIR ESPESORES DE COMPONENTES DEL PAVIMENTO EXISTENTE A ESPESOR EFECTIVO (T_e)

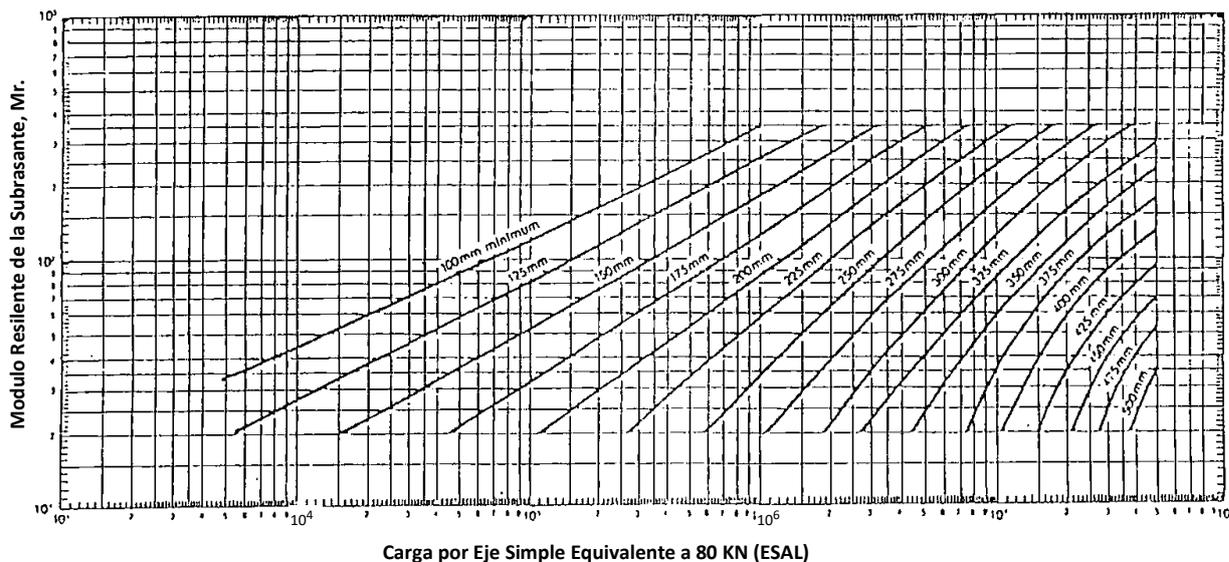
Clasificación del Material	Descripción del Material	Factores de conversión *
I	<ul style="list-style-type: none"> a. Subrasante natural en todos los casos. b. Subrasante mejorada ** predominantemente de materiales granulares – pueden contener algo de limo y la arcilla pero tener I.P. de 10 ó menor. c. Subrasante modificada con cal construida de suelos de alta plasticidad I.P. mayor de 10. 	0.0
II	Sub base o base granular – razonablemente bien gradada, agregados duros con algunos finos plásticos y CBR no menor de 20, Usar la parte superior de rango si I.P. es 6 o menor; la parte inferior del rango si I.P. es mayor de 6.	0.1 – 0.2
III	Sub base y bases ** estabilizadas con cemento o cal – ceniza volante de suelos de baja plasticidad – I.P. 10 o menor.	0.2 – 0.3
IV	<ul style="list-style-type: none"> a) Superficies de asfalto emulsionado o diluido y bases que muestran agrietamiento extenso, considerable desintegración o degradación de agregados, deformación apreciable en las huellas vehiculares y pérdida de estabilidad. b) Pavimentos de concreto de cemento portland, (incluyendo aquellos debajo de superficies asfálticas) que han sido quebrados en pedazos pequeños de 0.6 m (2ft) o menor en su dimensión máxima, con anterioridad a la construcción de la sobre capa. Usar la parte superior del rango cuando la sub base cuando la sub base está presente; la parte inferior del rango cuando las losas están sobre la subrasante. c) Bases** estabilizadas con cemento o cal-ceniza volante, que han desarrollado un modelo de grietas, como las grietas reflejas en la superficie, Usar la parte superior del rango cuando las grietas son angostas y ajustadas; y la parte inferior del rango cuando las grietas son anchas, con evidencia de bombeo o inestabilidad. 	0.3 – 0.5
V	<ul style="list-style-type: none"> a) Superficie y base de concreto asfáltico que exhiba un patrón de agrietamiento apreciable. b) Superficies y bases de asfalto emulsionado o diluido que exhiban algún agrietamiento fino, alguna pérdida de ligante o degradación del agregado, y ligera deformación en las huellas vehiculares, pero que permanecen estable. c) Pavimento de concreto de cemento portland apreciablemente agrietado y escalonado (incluyendo aquellos debajo de superficies asfálticas) que no puede ser subsellado de manera efectiva. Los fragmentos de losa, tienen tamaños de aproximadamente uno a cuatro metros cuadrados (yardas), y han sido bien asentadas sobre la subrasante por rodillado neumático pesado. 	0.5 – 0.7
VI	<ul style="list-style-type: none"> a) Superficies y bases de concreto asfáltico que exponen algún agrietamiento fino, tienen un patrón de agrietamiento intermitente y ligera deformación en las huellas vehiculares, pero permanecen estables. b) Superficies y base de asfalto emulsionado o diluido que son estables, generalmente sin agrietar, no muestran exudación y exhiben ligera deformación en las huellas vehiculares. c) Pavimentos de concreto de cemento portland (incluyendo aquellos debajo de superficies asfálticas) que son estables y subsellados, tienen poco agrietamiento pero no contienen pedazos menores de un metro (yarda) cuadrado(a). 	0.7 – 0.9
VII	<ul style="list-style-type: none"> a) Concreto asfáltico, incluyendo base de concreto asfáltico, generalmente no agrietada, y con poca deformación en las huellas vehiculares. b) Pavimento de concreto de cemento portland que es estable, subsellado y generalmente no agrietado. 	0.9 – 1.0

c) Base de cemento de concreto de cemento portland, debajo de superficie asfáltica, que es estable, sin bombeo y que exhibe poco agrietamiento superficial reflejo.

* Los valores y rangos e los Factores de Conversión son multiplicadores para la conversión de los espesores de capas estructurales existentes, a espesor equivalente de concreto asfáltico.

** Cumplen originalmente con los requerimientos mínimos de resistencia y compactación de la mayoría de los departamentos estatales de carreteras.

Estos factores de conversión se aplican SOLO a la evaluación de pavimentos para el diseño de recapa. En ningún caso son aplicables al diseño de espesores originales.



1.6.13. Preparación de Los Pavimentos de Concreto de Cemento Portland (PCC) Para Sobrecapas.

a. *Métodos de Preparación.*

La preparación de los pavimentos de concreto de cemento portland para sobrecapas debe ser hecha cuidadosa y completamente para evitar daños futuros en la sobrecapa. La preparación puede incluir una o más de los siguientes métodos:

- Subsellado para proveer condiciones de apoyo uniformes y estables
- Reducir las longitudes de losas
- Fracturamiento de las losas en porciones más pequeñas y asentado con rodillos pesados.
- Remoción y reemplazo de las áreas con escalonamiento y levantamientos

- Molienda y fresado
- Bacheo de las áreas desintegradas y astilladas
- Instalación de aliviaderos de la presión en las juntas
- Sellado de grietas y juntas
- Mejora del drenaje.

Algunos de los factores más importantes a ser considerados en la preparación de los pavimentos PCC para sobrecapas se discuten en los párrafos siguientes. Los métodos para corregir agrietamientos, escalonamientos, bombeo, levantamientos, escamado y astillado de pavimentos de concreto de cemento portland, se discuten en mantenimiento de Pavimentos Asfálticos, manual Serie N° 16 (MS – 16), Instituto de Asfalto.

b. Preparación de la Superficie del Pavimento

Una vez que el pavimento ha quedado tan uniformemente estable como sea posible, debe limpiarse completamente e imprimarse con asfalto antes de colocar la sobrecapa.

c. Preparación de las Juntas

La experiencia con las sobrecapas de asfalto sobre pavimentos de concreto de cemento portland con juntas, indica que se tienen problemas adicionales si las juntas existentes no son limpiadas y preparadas adecuadamente para el sobrecapado. Esas juntas empozan agua o proveen un canal desde el cual el agua será expulsada desde debajo de la junta, cuando la sobrecapa de asfalto caliente entre en contacto con la junta. Esta acción queda indicada por un resoplido de la junta inmediatamente después del rodillado de la sobrecapa. Cuando estas fuerzas están presentes, la sobrecapa comúnmente mostrará una grieta refleja al final del día. Otra situación crítica se encuentra en las juntas sobreselladas con materiales de sello y en las juntas selladas con dos componentes, frecuentemente usadas en pavimentos de concreto de cemento portland en aeródromos. Esas situaciones pueden ocasionar un deslizamiento de la sobrecapa de asfalto en caliente y resultar en marcas que frecuentemente se confunden con el

agrietamiento reflejo. En cualquier caso, se deben limpiar las juntas según el artículo sobre resellado de Juntas de El Asfalto en el Mantenimiento de pavimentos (MS-16), del Instituto del Asfalto, antes de la colocación de la nueva sobrecapa.

Superficies Acanaladas o Pulidas

Cuando se sobrecapa un pavimento PCC que ha sido ranurado, es necesario un tratamiento especial para prevenir el ingreso de humedad. En este caso se usa, una imprimación con asfalto pesado, un sello con mortero asfáltico, o una capa nivelante asfalto arena (de gradación fina), para el relleno de las ranuras.

Las superficies viejas de PCC que van desde una textura pulida a una textura gruesa, pueden variar significativamente en su habilidad para la adherencia o unión entre capas. Las superficies pulidas pueden ser retexturadas para mejorar su adherencia con la sobrecapa. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el uso apropiado de un riego de liga, la selección del tipo de mezcla apropiada y del espesor de sobrecapa, junto con los procedimientos correctos de construcción, probarán ser los más económicos para asegurar una buena adherencia.

d. *Losas Inestables*

Los pavimentos de PCC que están sueltos, movedizos son el tráfico o que han bombeado, es probable que continúe moviéndose después de haber sido sobrecapado con asfalto, a menos que las losa hayan sido previamente asentadas o sub-selladas y cualquier problema de sub drenaje eliminado. Las losas sueltas y movedizas, ocasionaran fallas en la sobrecapa. Para mejores resultados en estos casos, se deben estabilizar las losas asentándolas firmemente o mediante sub-sellado para proporcionarles el apoyo necesario.

Asentado

El rodillado de prueba en una sección del pavimento con un rodillo pesado, puede ayudar a estabilizar las losas sueltas, móviles o con bombeo. El objeto es romper las losas soportadas irregularmente en piezas más pequeñas. Cuando cada segmento de losa está asentado, se reduce grandemente el peligro de que continúe el agrietamiento. El quebrar de las losas de concreto de cemento

portland en pedazos menores y el asentado de ellos firmemente, también ayudará a reducir los movimientos horizontales inducidos por temperatura y los movimientos verticales que contribuyen al agrietamiento reflejo.

Sub Sellado

En muchos casos, se puede restablecer el soporte de la losa mediante sub-sellado con inyecciones de asfaltos. Las especificaciones para sub-sellado de pavimentos de concreto de cemento portland con asfalto, folleto de construcción N° 13 (CL-13), del Instituto del Asfalto, provee información detallada sobre este procedimiento.

1.6.14. Mejoras Geométricas

Muchos caminos son diseñados para menores volúmenes de tránsito y velocidades más lentas que las que tienen hoy. Si una evaluación geométrica muestra que un pavimento ha llegado a ser inadecuado para el tránsito moderno, debido a que los carriles son demasiado estrechos, las curvas demasiado bruscas, la distancia de visibilidad demasiado corta, o si la superficie está distorsionada, deberían corregirse las deficiencias. En tales casos, se puede usar la construcción de un pavimento asfáltico para ensanchar, mejorar el alineamiento, reestablecer la sección transversal y mejorar las bermas para cualquier tipo de estructura de pavimento existente.

a. *Ensanchedo del Pavimento*

Los pavimentos con anchos demasiado estrechos deberían rediseñarse para ajustarse a los estándares vigentes.

b. *Sección Transversal*

Las mejoras a la sección transversal de pavimentos existentes, deberían ajustarse a los estándares vigentes para anchos medios, características de seguridad, pendiente de coronación, pendiente de la berma y zanjas u otros elementos de drenaje.

c. *Bermas*

Las bermas pavimentadas con asfalto son dispositivos de seguridad excelentes. Ellas también proveen de un gran soporte lateral, que mejora la resistencia de la estructura del pavimento. Cuando se añaden bermas al ensanche del pavimento, se pueden colocar asfalto Todo-Espesor, con el tipo de mezcla usado para el ensanchamiento, directamente sobre la subrasante preparada.

1.6.15. Geotextiles en Repavimentación

Uno de los campos de aplicación que ha tenido un mayor grado de desarrollo en la Ingeniería Vial, es la utilización de los geotextiles en obras tales como la rehabilitación de pavimentos. Del correcto entendimiento sobre las propiedades de este tipo de materiales, de su aplicación, instalación, funciones a desempeñar, beneficios e incluso las mismas limitaciones que poseen, en buena parte dependerá el éxito que estos puedan tener, brindando de esta forma ahorros sustanciales en el mantenimiento de las obras viales que se ejecuten.

Con la aparición de los geosintéticos y en especial los geotextiles, los investigadores han hecho un aporte significativo a la ingeniería, aclarando el desempeño de estos en aplicaciones específicas, como lo es en este caso, la rehabilitación de pavimentos.

A final de la década de los sesenta, en el departamento de transporte de California, Caltrans, se comienza a experimentar con los geotextiles, teniendo en cuenta que la principal función con la que estos deberían cumplir, era la de evitar la reflexión o calcado de grietas reemplazando a sistemas tradicionales tales como las bases de gradación abierta. Después de casi dos décadas de ensayos en campo, laboratorio y de estudios se logró cuantificar el beneficio de los geotextiles en los proyectos de repavimentación.

Funciones del Geotextil

La definición del geotextil es el de inter capa. Estas inter capas son usadas para prevenir o reducir el calcado de grietas, la aparición de grietas del tipo de piel de cocodrilo y los fenómenos de ahuellamiento y corrugamiento. Las dos funciones básicas que cumple el geotextil impregnado con asfalto para poder suministrar sus beneficios, son las de:

a. Barrera Impermeabilizadora

A pesar de que el concreto asfáltico ha sido sometido a un proceso de compactación y que su relación de vacíos es muy baja, hay que considerársele como un elemento permeable, a través del cual se infiltrará un gran porcentaje del agua superficial que podrá llegar a las capas granulares y a la subrasante, ablandando estos suelos afectando los parámetros de resistencia y deformabilidad.

Con el fin de evitar que el agua superficial se infiltre, es necesario la colocación de una barrera impermeabilizadora que detenga este proceso, prolongando la vida útil del pavimento, disminuyendo los costos de mantenimiento y posponiendo un nuevo proceso de repavimentación.

Tal barrera deberá estar conformada por un geotextil no-tejido especial para aplicaciones de repavimentación, que servirá como medio para albergar una cantidad determinada de cemento asfáltico hasta lograr su saturación, además de una cantidad adicional para permitir la adhesión del geotextil a la capa asfáltica inferior (superficie antigua) y a la nueva capa de rodadura.

b. Membrana Amortiguadora de Esfuerzos

Cuando una capa de repavimentación es colocada sobre la superficie antigua, los esfuerzos inducidos por agrietamiento en la capa de concreto asfáltico antigua, pueden ser transmitidos hacia la nueva capa de repavimentación, originando un agrietamiento por reflexión temprana. Esto resulta del contacto entre agregados del pavimento antiguo y la capa nueva de repavimentación.

Al instalar un geotextil para repavimentación entre las capas de concreto asfáltico nuevas y viejas ayuda a retardar el agrietamiento por reflexión, suministrando una capa flexible de espesor suficiente que absorbe parte de los esfuerzos entre la capa de pavimento antiguo y la capa de pavimento nuevo, permitiendo movimientos leves dentro de la intercapa de geotextil, sin tensionar la capa de repavimentación en concreto asfáltico. De esta forma se prolonga la vida de servicio de las capas repavimentadas. Los geotextiles no tejidos impregnados con asfalto tienen un módulo de elasticidad bajo y absorben las deformaciones sin transferirlas.

El geotextil para repavimentación alivia parcialmente la transferencia de esfuerzos inducidos por el tráfico en la cercanía de las grietas, actuando como una capa aliviadora de esfuerzos. La capa de base se protege de los esfuerzos cortantes generados por las cargas generadas por el tráfico y de aquí que sean toleradas deflexiones mayores. De estudios realizados se ha concluido que las 2/3 partes del alivio de esfuerzos se debe al cemento asfáltico que satura al geotextil y el resto es por el geotextil que funciona como contenedor.

c. ***Geotextiles para Repavimentación***

Los geotextiles que se encuentran accesibles en nuestro medio y cumplen con las especificaciones respectivas son de marcas PAVCO y BIDIM. En la marca PAVCO están los geotextiles REPAV 400 y REPAV 450; y en la marca BIDIM esta los geotextiles de tipo OP15 y OP20.

1.6.16. Seguridad Vial

El Manual de control del tránsito automotor para calles y carreteras del MTC, establece las normas para el diseño y utilización de los dispositivos de control del tránsito; en el tenor del Manual se expone el empleo de los diferentes dispositivos y se establece los diseños y principios fundamentales que deben regir.

Para ser efectivo un dispositivo de control del tránsito es necesario que cumpla con los siguientes requisitos

1. Que exista una necesidad para su utilización.
2. Que llame positivamente la atención.
3. Que encierre un mensaje claro y conciso.
4. Que su localización permita al usuario un tiempo adecuado de reacción y respuesta.
5. Infundir respeto y ser obedecido.
6. Uniformidad.

Para el cumplimiento de las mencionadas condiciones debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- **DISEÑO.** - Debe ser tal que la combinación de sus dimensiones, colores, forma, composición y visibilidad llamen apropiadamente la atención del conductor, de modo que éste reciba el mensaje claramente y pueda responder con la debida oportunidad.
- **UBICACIÓN.** - Debe tener una posición que pueda llamar la atención del conductor dentro de su ángulo de visión.
- **USO.** - La aplicación del dispositivo debe ser tal que esté de acuerdo con la operación del tránsito vehicular.
- **UNIFORMIDAD.** - Condiciones indispensables para que los usuarios puedan reconocer e interpretar adecuadamente el mensaje del dispositivo en condiciones normales de circulación vehicular.
- **MANTENIMIENTO.** - Debe ser condición de primera importancia y representar un servicio preferencial para su eficiente operación y legibilidad.

No se puede concebir el buen funcionamiento de una carretera si ella no cuenta con el señalamiento necesario que le imparta seguridad al usuario de la misma, siendo imprescindible que todos los proyectos deban de contemplar estos.

Se entiende como Señalización Vertical Permanente al suministro, almacenamiento, transporte e instalación de los dispositivos de control de

tránsito que son colocados en la vía en forma vertical para advertir, reglamentar, orientar y proporcionar ciertos niveles de seguridad a sus usuarios. Entre estos dispositivos se incluyen las señales de tránsito (preventivas, reglamentarias e informativas), sus elementos de soporte y los delineadores. Se incluye también dentro de estos trabajos la remoción y reubicación de dispositivos de control permanente.

Las Marcas en el Pavimento o en los obstáculos son utilizados con el objeto de reglamentar el movimiento de vehículos e incrementar la seguridad en su operación. Sirven en algunos casos, como suplemento a las señales y semáforos en el control del tránsito; en otras constituye un único medio, desempeñando un factor de suma importancia en la regulación de la operación del vehículo en la vía.

La forma, color, dimensiones y tipo de materiales a utilizar en las señales y el diseño de las marcas en el pavimento, dimensiones, tipo de pintura y colores a utilizar estarán de acuerdo a las regulaciones contenidas en el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del MTC.

1.6.17. Mantenimiento Vial

Según MTC (2013) El Mantenimiento de Carreteras es el conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica. Se divide en dos grandes actividades que son:

- a. Mantenimiento Rutinario:** Conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como, limpieza o reparación de juntas de dilatación, elementos de apoyo, pintura y drenaje en la superestructura y subestructura de los puentes.

b. Mantenimiento Periódico: Conjunto de actividades programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a:

- i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello,
- ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento,
- iii) reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje, elementos de seguridad vial y señalización,
- iv) reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera y
- v) reparación o reconstrucción puntual de los componentes de los puentes tanto de la superestructura como de la subestructura.

Los Programas de Mantenimiento Vial serán elaborados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Gobiernos Regionales y las Municipalidades respectivamente, y estarán orientados a la preservación del patrimonio vial, así como a la prevención y mitigación de desastres que afecten su infraestructura.

Sin ser limitativo, las pautas para normar los trabajos de Mantenimiento Vial comprenden:

a. Trabajos preliminares: Movilización y desmovilización, topografía y georeferenciación, campamentos y obras provisionales, mantenimiento de tránsito temporal, seguridad vial.

b. Mantenimiento de las explanaciones: Limpieza general, remoción de derrumbes y huaycos, eliminación del material inadecuado de la rasante, reposición del material de la subrasante, relleno de plataforma erosionada por asentamiento, construcción de pasos provisionales, construcción de plazoletas de cruce.

- c. Mantenimiento de la superficie de rodadura:** Reparación y/o mantenimiento de la superficie de rodadura, bacheo superficial, bacheo profundo, requisitos de los materiales, proceso constructivo, colocación y extendido, mezcla de materiales, compactación, exigencias del espesor, requisitos de la capa superior, método medición.
- d. Mantenimiento de obras de arte y drenaje:** Limpieza de cunetas y alcantarillas, reparación y/o mantenimiento de: cunetas (revestidas y/o sin revestir), alcantarillas (de piedra, de concreto, metálica, etc.), badenes y muros (secos y de mampostería de piedra, concreto, etc.).
- e. Señalización Vial:** Señalización regulativa, preventiva, informativa, hitos kilométricos, marcas en el pavimento.

1.7. Definición De Términos Básicos

a) Factores Técnicos Viales

Para los investigadores, se refieren a las características de una vía o carretera referidos a topografía, drenaje existente, tránsito o flujo vehicular existente y estado del mantenimiento vial

b) Falla Estructural

Se refiere a colapso, o pérdida significativa de capacidad de soportar y/o transmitir las cargas ocasionadas por el paso de los vehículos a las capas inferiores. Puede ser por deficiencias constructivas o por fatiga que es la Reducción gradual de la resistencia de un material debido a sollicitaciones repetidas **MTC (2013)**.

c) Pavimento

Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura. **MTC (2013)**.

1.8. Formulación De La Hipótesis

1.8.1. Hipótesis General

La Falla Estructural de pavimentos tendría un alto grado de relación con los factores técnicos (Topografía, Drenaje, Tránsito, y Mantenimiento Vial) no previstos adecuadamente en su debido momento en un tramo de Avenida Leoncio Prado.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Material

TABLA N°06: PRESUPUESTO – MATERIALES

MATERIALES Y EQUIPOS				
DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Estación total	día	6.00	100.00	300.00
Gps	día	3.00	30.00	90.00
TOTAL PRESUPUESTO				390.00

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA N°07: PRESUPUESTO – PERSONAL HUMANO

RECURSO - PERSONAL				
DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Investigador	Glb	3	0.00	0.00
Asesor	Glb	1	0.00	0.00
TOTAL PRESUP'UESTO				0.000

Fuente: Elaboración Propia

SERVICIOS

TABLA N°08: PRESUPUESTO - SERVICIOS PRESTADOS

SERVICIOS				
DESCRIPCION	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Luz	mes	2.00	40.00	80.00
Internet	mes	2.00	40.00	80.00
TOTAL PRESUPUESTO				160.00

Fuente: Elaboración Propia

2.2. Material de estudio

2.2.1. Población

La vía se encuentra ubicado aproximadamente a 1.00 km. del centro de la ciudad de Puno, a una altitud inicial de 3817.00 m.s.n.m. y 3900.03 m.s.n.m. al final del tramo, cuyas coordenadas geográficas U.T.M son:

	INICIO DEL TRAMO	FINAL DEL TRAMO
NORTE	8248947	8244283
ESTE	0390485	0390846

Distrito

: Puno

Provincia : Puno

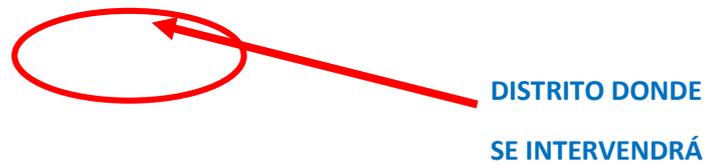
Departamento : Puno

Región : Puno

Figura N°03. Localización A Nivel Regional y local



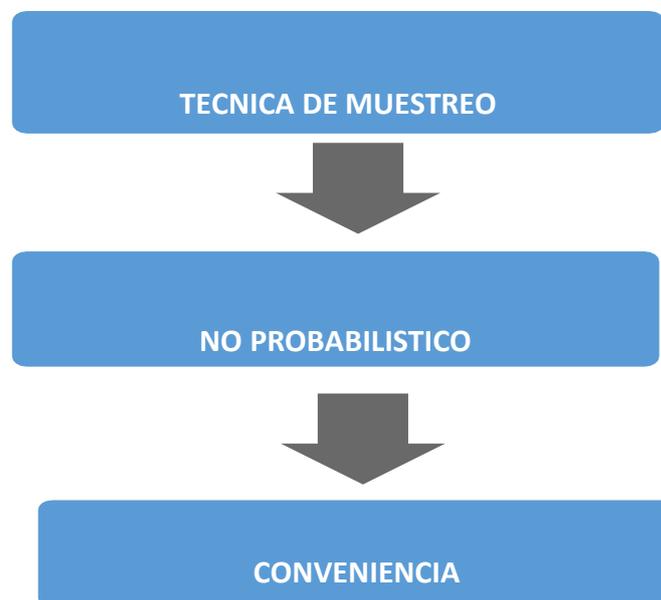
Figura N°04. Localización A Nivel Distrital



Fuente: Google Maps

2.2.2. Muestra

Esta investigación tiene una técnica de muestreo no probabilístico porque es aquel donde cada elemento de la población no tiene la misma probabilidad de pertenecer a la muestra y también es de conveniencia porque es la persona quien realiza la investigación.



2.2.2.1. Tamaño de la muestra evaluación pavimento PCI

Para pavimentos rígidos, es importante que cada unidad de muestra sea identificada en forma precisa de forma que pueda ser localizada para inspecciones adicionales, comparaciones con futuras inspecciones, requerimiento de mantenimiento y para propósitos de ejemplificación. Una forma de hacer esto es mantener un archivo de datos de inspección previa, incluyendo un croquis de la sección, que muestre la localización de cada unidad de muestra

2.2.2.2. Conteo de tráfico

Este estudio se realizó contando los carros por día utilizando estaciones de conteo con la finalidad de cuantificar, clasificar y conocer el volumen de vehículos que se desplazan por la carretera de esta manera proporcionar la información básica para determinar los indicadores de tráfico de los diferentes tramos analizando el tráfico existente,

Figura 9 Formulario de Inspección de Pavimento Rígido.

2.3. Técnicas, Procedimientos e Instrumentos

HOJA DE EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO RIGIDO																				
Rama: _____					Sección: _____					Unidad de Muestra Nro: _____										
Inspeccionado por: _____					Fecha: _____					Paños del: _____ al: _____										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(L)																				
(LD)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

	LADO IZQUIERDO (LI)					LADO DERECHO (LD)				
	TIPO	SEVERIDAD	N° DE LOCAS	% DE LOCAS	VALOR DEDUCIDO	TIPO	SEVERIDAD	N° DE LOCAS	% DE LOCAS	VALOR DEDUCIDO
1	Agrietamiento lineal									
2	Agrietamiento por contracción									
3	Bombeo									
4	Deterioro en la berma									
5	Ercalonamiento									
6	Grietas de durabilidad									
7	Juntas saltadas									
8	Levantamiento de la junta									
9	Losas divididas									
10	Pulimiento de agregados									
11	Quiebre de esquina									
12	Sellado de juntas dañado									
	☑ VALOR DEDUCIDO TOTAL =					☑ VALOR DEDUCIDO TOTAL =				
	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (VDC)					VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (VDC)				
	PCI = 100 - VDC					PCI = 100 - VDC				
	RATING =					RATING =				

Figura N°05. Hoja de evaluación Superficial del Pavimento Rígido

2.3.1. Para Recolectar Datos

Para la recolección de datos se tiene que hacer el levantamiento topográfico los datos si se ha tenido antiguamente una topografía antes del presente estudio si hay algunos puntos fijos para poder facilitar el trabajo.

Para pavimentos rígidos, es importante que cada unidad de muestra sea identificada en forma precisa de forma que pueda ser localizada para

inspecciones adicionales, comparaciones con futuras inspecciones, requerimiento de mantenimiento y para propósitos de ejemplificación.

Una forma de hacer esto es mantener un archivo de datos de inspección previa, incluyendo un croquis de la sección, que muestre la localización de cada unidad de muestra

En esta etapa se obtuvieron los datos necesarios para el levantamiento Topográfico de la franja por donde transcurre la vía. Los datos fueron registrados en la memoria del equipo, para una posterior descarga de datos en un ordenador para su procesamiento de datos.

Etapa que consistió en registrar las medidas en el campo, mediante la utilización del siguiente equipo:

- Teodolito : TOPCON (GTS-236W) Electronic Total Station.
- GPS : Global PosicionSistem (GARMIN GPS 12)

Asimismo, se levantó con la Guía de Observación respectiva el estado de las fallas del pavimento en las unidades de muestra seleccionadas. El equipo necesario para desarrollar el trabajo de medición en campo son los siguientes:

- 1 cinta métrica de acero de 5 m.
- 1 cinta métrica de acero de 25 m.
- 1 regla de madera de 3m.

- Formulario de inspección (hoja de evaluación superficial del pavimento Rígido).

HOJA DE EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO RIGIDO																				
Rama: _____					Sección: _____					Unidad de Muestra Nro: _____										
Inspeccionado por: _____					Fecha: _____					Paños del: _____ al: _____										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(L)																				
(LD)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	LADO IZQUIERDO (LI)										LADO DERECHO (LD)									
	TIPO	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	% DE LOSAS	VALOR	TIPO	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	% DE LOSAS	VALOR	TIPO	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	% DE LOSAS	VALOR	TIPO	SEVERIDAD	N° DE LOSAS	% DE LOSAS	VALOR
	DETERIORO				DEDUCIDO	DETERIORO				DEDUCIDO	DETERIORO				DEDUCIDO	DETERIORO				DEDUCIDO
1	Agrietamiento lineal																			
2	Agrietamiento por contracción																			
3	Bombeo																			
4	Deterioro en la berma																			
5	Escalonamiento																			
6	Grietas de durabilidad																			
7	Juntas saltadas																			
8	Levantamiento de la junta																			
9	Losas divididas																			
10	Pulimiento de agregados																			
11	Quiebre de esquina																			
12	Sellado de juntas dañado																			
	Σ VALOR DEDUCIDO TOTAL =					Σ VALOR DEDUCIDO TOTAL =					Σ VALOR DEDUCIDO TOTAL =									
	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (VDC)										VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (VDC)									
	PCI = 100 - VDC										PCI = 100 - VDC									
	RATING =										RATING =									

Figura N°06. Formulario de Inspección de Pavimento Rígido.

2.3.2. Para Procesar Datos

Para procesar los datos que, en campo mediante utilitarios de software, para transferir los datos del levantamiento topográfico y realizar la confección de curvas de nivel como para la conformación de relieve topográfico se realizara en civil 3d 2016.

Es la etapa en la que se realizan todos los cálculos, compensaciones de ser el caso, considerando errores permisibles. Se elaboran los dibujos según el tipo particular de trabajo, los que finalmente son plasmados en un “Plano Topográfico”.

La presente evaluación superficial del pavimento rígido, se desarrolló siguiendo básicamente cuatro etapas:

La primera de éstas corresponde a una revisión bibliográfica de la metodología PCI, con el fin de comprender los principios y conceptos normativos planteados, además de preparar el material logístico para la evaluación.

La segunda etapa consistió en la adaptación del modelo original tomando en cuenta las características de la vía en estudio.

En la tercera etapa se efectuó la aplicación de la metodología PCI en campo. Para esto, se seleccionó la vía a evaluar “un tramo de la Av. Leoncio Prado”, ubicado en la ciudad de Puno. Luego se estudió la división de esta vía según indica la metodología (ramas, secciones y unidades de muestra) y se realizó la medición de los deterioros que se presentan en campo.

La cuarta etapa consistió en el trabajo en gabinete con la sistematización de datos obtenidos en campo de acuerdo al método PCI, la metodología recurre a una serie de gráficos experimentales que ponderan, según su repercusión sobre el usuario, los distintos deterioros que pueden presentarse en una vía, para finalmente obtener el valor PCI de la vía.

2.4. Operacionalización De Variables

Variable Única: EVALUACION DE FACTORES TÉCNICOS VIALES Y FALLA ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO DE LA AV. LEONCIO PRADO.

TABLA N°09: OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Variables	Dimensiones	Definición Conceptual	definición operacional	indicadores	Ítems
EVALUACION DE FACTORES TÉCNICOS VIALES Y FALLA ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO DE LA AV. LEONCIO PRADO.	Levantamiento topográfico	Es el estudio que se realiza para determinar pendientes alturas y la superficie. Nos ayudara al diseño geométrico	Estudio Topografico	El 10% entre el 15% orografía de la zona	Rutas y acceso a la localidad <hr/> Geo referenciacion de la zona
	Conteo de trafico	Es el estudio que realizamos para poder determinar el diseño del afirmado como también nos dará el índice de vehículos que transitan.	Es el único estudio que se da en un proyecto de carreteras.	Transito menos a los 100 vehículos por día	Conteo diario del número de vehículos en horas puntas
	Revisar Diseño PAVimento	Es el espesor de de cada capa terminada que le dará forma ala carretera.	Espesor dado por el número de vehículos a transitar.	Espesor mínimo o máximo entre 0.25 y 0.15cm	Base estabilizada
	Evaluacion de Hidrológica	Todos los componentes que lo contemple o se encuentren en la carretera	Badenes, cunetas, alcantarillas etc.	Alcantarillas TMC, cunetas de concreto	Creación de la superficie, perfiles longitudinales proyección de las estructuras existentes y por considerar.
	Evaluación de Fallas Pavimento PCI	Planos de proyecto	Todos los componentes relacionados a la carretera plasmado en planos		
	Estimar costos de la propuestas	Presupuesto	Presupuesto referencial de la propuesta	Costo de inversión	

Fuente: Elaboración Propia.

III. RESULTADOS

3.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS ACTUALES

El levantamiento topográfico detallado de la carretera nos ayudara para el diseño de la carretera de bajo volumen tránsito para ello establecimos BM.

TABLA N°10: COORDENADAS Y BM (COORDENAS UTM WGS 84 – 17S)

PUNTOS DE CONTROL BM's			
NORTE	ESTE	ELEVACION	DESCRIPCION
9117475.330	204801.860	3478.690	BM-01
9116637.560	204725.740	3497.100	BM-02
9116223.340	203815.170	3395.570	BM-03
9115837.380	203317.440	3364.090	BM-04
9115346.610	203191.990	3166.590	BM-05
9115228.550	204424.170	2932.730	BM-06
9114852.200	204630.680	2791.480	BM-07
9114170.750	203557.290	2585.490	BM-08
9115390.710	201797.630	2653.520	BM-09
9115407.030	200900.300	3015.490	BM-10
9115118.220	200441.670	3035.560	BM-11
9116095.300	199853.940	3206.110	BM-12
9116289.170	199416.370	3387.000	BM-13
9116403.730	199356.940	3421.230	BM-14

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 1 se muestra el Estudio topográfico completo, con el detalle de las actividades de recolección de datos y procesamiento de la información.

3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA VÍA

Por la topografía, climatología, geología y la geomorfología de la zona en donde se encuentra enmarcada la carretera motivo de la presente investigación, en función del Inventario Vial efectuado a lo largo del tramo, en la actualidad podemos mencionar que se tiene las siguientes características:

- Categoría : Segunda Clase.
- Longitud Total : 1.00 Km.
- Ancho Superficial de Rodadura : 7.00 m.
- Ancho de Bermas : Variable

De acuerdo a las prospecciones realizadas mediante calicatas en diversas progresivas del tramo, se pudo determinar las siguientes características geométricas:

- Espesor de la Losa de Concreto : 0.20 m.
- Espesor de la Sub Base : 0.10 m.

De la información del estudio original en concordancia con el MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO, elaborado por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, se aplican las siguientes características geométricas:

- Velocidad Directriz : 30 Km/Hora
- Radio Mínimo : 30.00 m.
- Peralte Normal : 6.00 %.
- Bombeo : 2.00 %.
- Pendiente Mínima : 0.50 %.
- Pendiente Máxima : 6.00 %.
- Pendiente Máxima Excepcional : 7.00 %.
- Cunetas : 1 m. x 0.5 m

De la evaluación geométrica del alineamiento horizontal se ha podido determinar que las dimensiones de los radios son mayores a 30 m. y las curvas cuentan con peraltes que varían de 2% a 8%, valores que cumplen con los parámetros exigidos por el Manual de Diseño Geométrico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, considerados y para Carretera de Segunda Clase:

- Velocidad directriz : 30 Km/h.
- Radio mínimo normal : 30 m.
- Peralte máximo normal : 6%
- Peralte máximo excepcional : 8%

3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SEGURIDAD DE LA VÍA

El público que viaja está sensiblemente consiente de las condiciones de las calles y carreteras públicas y se inclina a dar a conocer su desaprobación acerca de los baches, marcas en el pavimento desgastados, señales verticales ilegibles y estructuras de drenaje de las carreteras que no cumplen en forma apropiada con su función.

En el trabajo de reconocimiento se realizó el inventario de condiciones de la carretera, observándose que no existe ningún dispositivo de control de tránsito. En consecuencia, la Av. Leoncio Prado no cuenta con los dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras normados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El Manual de control del tránsito automotor para calles y carreteras del MTC, establece las normas para el diseño y utilización de los dispositivos de control del tránsito; en el tenor del Manual se expone el empleo de los diferentes dispositivos y se establece los diseños y principios fundamentales que deben regir.

3.4. ESTUDIO DE TRÁFICO

El método empleado para determinar el aforo del tránsito, se efectuó manualmente durante una semana entre los días 03 al 09 de noviembre del 2020. La ubicación del punto de aforo se determinó en función de obtener el tránsito más crítico en la vía, determinándose esta en la intersección de la Av. Santa Rosa y la Av. Leoncio Prado (Km 00+720), posteriormente se procedió a sistematizar los datos obtenidos para determinar el Índice Medio Diario y Clasificación Vehicular.

En el presente capítulo se realiza el estudio de tránsito de la Av. Leoncio Prado, de acuerdo a las disposiciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones

El aforo de vehículos, se determinó mediante una estación de aforo vehicular ubicada estratégicamente de manera que ésta registre todos los vehículos que ingresen o salgan de la vía en evaluación. La estación de aforo vehicular, fue ubicada en la intersección de las Avenidas Circunvalación y Leoncio Prado, tal como se muestra en la figura 11.

Para el análisis de tráfico se tomó en cuenta el Reglamento Nacional de Vehículos D.S. N.º 058-2003-MTC.

En general, la presente evaluación se desarrolló en tres etapas, las que se mencionan a continuación:

TABLA N°11: RESUMEN DE TRÁFICO DIARIO POR TIPO DE VEHÍCULO
SENTIDO : IZQUIERDO
**ESTACIÓN: INTERSECCIÓN ENTRE Av. CIRCUNVALACIÓN y
Av. L. PRADO**
FECH
A: Del 03 Al 09 de Noviembre del 2019

VEHÍCULOS DÍAS	VEHÍCULOS LIGEROS			CAMIÓN		ÓMNIBUS		SEMI TRAILER			TOTAL
	 Auto	 Pick up	 Camioneta Rural	 C2	 C3	 B2	 B3	 T2-S2	 T2-S3	 T3-S3	
Lunes	1001	129	1344	148	7	30	5	0	3	0	2667
Martes	819	95	1265	113	55	26	1	0	1	0	2375
Miércoles	990	109	1251	107	57	20	8	13	1	1	2557
Jueves	1018	103	1231	79	34	24	2	2	1	0	2494
Viernes	954	121	1292	144	7	32	10	6	1	0	2567
Sábado	1148	127	1330	65	49	24	5	1	1	1	2751
Domingo	1083	119	1269	63	46	29	6	3	1	1	2620
TOTAL	7013	803	8982	719	255	185	37	25	9	3	18,031

Fuente: Tesista

TABLA N°12: RESUMEN DE TRÁFICO DIARIO POR TIPO DE VEHÍCULO
SENTIDO : DERECHO
**ESTACIÓN: INTERSECCIÓN ENTRE Av.
CIRCUNVALACIÓN y Av. L. PRADO**
FECHA
: Del 03 Al 09 de Noviembre del 2019

VEHÍCULOS DÍAS	VEHÍCULOS LIGEROS			CAMIÓN		ÓMNIBUS		SEMI TRAILER			TOTAL
	 Auto	 Pick up	 Camioneta Rural	 C2	 C3	 B2	 B3	 T2-S2	 T2-S3	 T3-S3	
Lunes	800	108	1291	98	24	19		6			2346
Martes	771	123	1273	87	59	14		3			2330
Miércoles	810	110	1260	97	44	19		6			2346
Jueves	861	113	1291	112	29	20		10			2436
Viernes	817	96	1246	94	56	23		9			2341
Sábado	796	89	1245	91	51	24		12			2308
Domingo	799	93	1217	92	54	20		7			2282
TOTAL	5654	732	8823	671	317	139		53			16,389

Fuente: Tesista

De las hojas resumen de clasificación vehicular, se obtiene el Volumen de Tránsito Semanal (Vi), dato que nos permitirá obtener el IMD. Los Vi obtenidos para cada carril son los siguientes:

Volumen Carril Izquierdo (Vii) = 18031.00 Vehículos/semana

Volumen Carril derecho (Vid) = 16389.00 Vehículos/semana

3.4.1. Determinación del Índice Medio Diario por carril

Es importante mencionar que como se trata de determinar el factor técnico vial causante de la falla estructural en el pavimento rígido, el objetivo principal en el análisis del tránsito es la determinación del IMD Actual de la vía.

Formula a Utilizar:

$$IMD = \sum \left(\frac{V_i}{7} \right)$$

Donde:

V_i = Volumen de tránsito vehicular en una semana.

IMD = Índice Medio Diario de la muestra vehicular.

Por lo tanto:

IMD carril Izquierdo = $V_{ii} / 7 = 18031.00 / 7 = 2576$ vehículos/día

IMD carril Derecho = $V_{id} / 7 = 16389.00 / 7 = 2341$ vehículos/día

3.4.2. Determinación del Índice Medio Diario para Diseño:

Tomando en consideración el IMD de cada carril, se toma el mayor índice medio diario de cada tipo de vehiculo, uniendo los autos y camionetas en vehículos ligeros.

TABLA N°13: RESUMEN IMD DIARIO POR TIPO DE VEHÍCULO

VEHÍCULOS	VEHÍCULOS LIGEROS			CAMIÓN		ÓMNIBUS		SEMI TRAILER			TOTAL
											
IMD x CARRIL	Auto	Pick up	Camioneta Rural	C2	C3	B2	B3	T2-S2	T2-S3	T3-S3	
IZQUIERDO	1002	115	1283	103	36	26	5	4	1	0	2576
DERECHO	808	105	1260	96	45	20	0	0	8	0	2341
IMD MAYOR	1002	115	1283	103	45	26	5	4	8	0	2591
IMDs	2400			103	45	26	5	4	8	0	2591

Fuente: Tesista

Del cuadro resumen, considerando los valores mayores por tipo de vehículo en su respectivo carril, se determina un IMD actual de 2591 Vehículos/día.

TABLA N°14. Determinación del ESAL Actual

TIPO DE VEHICULO	IMD (Veh./día)	IMD (Veh./año)	FACTOR CAMIÓN	ESAL
VEHÍCULOS LIGEROS	2400	876000.00	0.02000	17520.000
CAMIÓN C2	103	37595.00	4.46760	167959.422
CAMIÓN C3	45	16425.00	3.09760	50878.080
ÓMNIBUS B2	26	9490.00	4.46760	42397.524
ÓMNIBUS B3	5	1825.00	2.22460	4059.895
SEMI TRAILER T2 S2	4	1460.00	6.90760	10085.096
SEMI TRAILER T2 S3	8	2920.00	5.28260	15425.192
				308325.209
ESAL				3.083E+05

El ESAL determinado es de $3.083 \times 10^{+05}$.

3.5. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse que el agua circule en cantidades excesivas por el mismo destruyendo el pavimento y originando la formación de baches, así como también que el agua que debe escurrir por las cunetas se estanque y reblandezca las terracerías originando pérdidas de estabilidad de las mismas con sus consiguientes asentamientos perjudiciales. Debe evitarse también que los cortes, formados por material de mala calidad, se saturen de agua con peligro de derrumbes o deslizamientos según el tipo de material del corte y debe evitarse, además, que el agua subterránea reblandezca la subrasante con su consiguiente peligro.

Como puede observarse, el prever un buen drenaje es uno de los factores más importantes en el proyecto de un camino y por lo tanto debe preverse desde la localización misma tratando de alojar siempre el camino sobre suelos estables, permanente y naturalmente drenados. Sin embargo, debido a la necesidad de un alineamiento determinado, el camino puede atravesar suelos variables, permeables unos e impermeables otros, obligando ello a la construcción de obras de drenaje de acuerdo con las condiciones requeridas. La experiencia en el análisis y estudio de muchos caminos en mal estado ha enseñado que el drenaje inadecuado más que ninguna otra causa, ha sido el responsable del daño que han sufrido.

Con la finalidad de registrar los componentes del sistema de drenaje existente en la carretera se efectuó un Inventario Vial, actividad que se desarrolló con el recorrido total de la avenida, efectuando un registro de las estructuras del sistema de drenaje, especificando su ubicación, características físicas y el estado de conservación

De la inspección visual del sistema de drenaje, mencionamos lo siguiente:

3.5.1. Cunetas

Las cunetas con que cuenta el tramo son de material de concreto simple ($f'c = 140 \text{ Kg/cm}^2$), de sección triangular, y cunetas de tierra de sección variable, la ubicación y condición se presenta en el Cuadro 4.3.1. Inventario de Cunetas.

Toda la longitud de cuneta existente, se encuentra ubicada al lado derecho de la plataforma; estructuralmente se encuentran en buenas condiciones; funcionalmente estas no cumplen con su función eficientemente, debido a la colmatación de éstas con material sedimentado que van desde un 75 a 100 %, provenientes de la erosión de las calles no pavimentadas que confluyen en la avenida.



Figura N°07. Cuneta colmatada en su totalidad

El material que colmata las cunetas, provoca que las aguas rebosen el nivel de la cuneta haciendo que las aguas discurren por la berma llegando en algunos casos a discurrir sobre la superficie de rodadura.



Figura N°08. *Cuneta colmatada, el agua discurre sobre la*

Las aguas que discurren por la berma son las causantes de la presencia de fallas en el pavimento, estas aguas en temporada de lluvias llegan a erosionar la berma, además, por la infiltración que se presenta llegan a incrementar el contenido de humedad del material de la sub base y subrasante del pavimento provocando que estos suelos se saturen y pierdan la capacidad de soporte, los cuales se ven reflejados en el deterioro de la superficie de rodadura.

Debemos indicar que existen zonas donde el proyecto no contempló cunetas, las razones las desconocemos, sin embargo, esto nos permite mencionar que no se efectuó un análisis exhaustivo en el planteamiento del sistema de drenaje. Al no existir ningún trabajo de rehabilitación y/o mantenimiento, las aguas siguen dañando la estructura del Pavimento.



El tramo presenta deficiencias en el sistema de drenaje longitudinal (por falta de cunetas) en varios sectores; estos son notorios en el periodo de lluvias donde las aguas llegan a discurrir por las bermas.

3.5.2. Evaluación del Funcionamiento del Sistema de Drenaje

Con el fin de reunir los criterios adecuados, para conocer las características hidrológicas y del sistema drenaje de los cursos de agua, se ha realizado el análisis de funcionamiento considerando las siguientes etapas.

3.5.2.1. Trabajos de Campo:

Consistió en inspeccionar la ubicación de las obras de arte existentes, evaluando, midiendo, observando las características, detalles relieve y aspecto hidrológico de los cursos de agua existente en cada uno de los tramos de esta carretera, cuyos resultados se encuentran registrados en el Inventario Vial de Condiciones del Sistema de Drenaje.

3.5.2.2. Trabajos de Procesamiento de Información:

Es la etapa de procesamiento de datos obtenidos de campo y entidades correspondientes como SENAMHI, PELT, etc.

En una carretera el estudio de drenaje superficial se divide según la posición de las obras guardan con respecto al eje de la carretera, en paralelo y

transversal. Estos problemas pueden dividirse en dos partes para su solución: en primer lugar, hay que determinar el caudal de agua que hay que acomodar, y luego se debe dimensionar el dispositivo o estructura encargado de su manejo.

De acuerdo a esta metodología se procederá a realizar el análisis hidrológico y de drenaje para la avenida en evaluación.

3.6. INFORMACIÓN DISPONIBLE

La información disponible utilizada en el estudio proviene y se refiere a los siguientes aspectos:

3.6.1. Cartografía

Se ha utilizado lo siguiente:

BASE CARTOGRÁFICA – PELT. Plano Catastral de la ciudad de Puno (Anexo D)

3.6.2. Pluviometría

La escorrentía existente y producida en el área de estudio, proviene exclusivamente de las precipitaciones pluviales caídas en la zona.

Se consideró a la Estación Meteorológica CP-120708 del SENAMHI (Barrio San José).

TABLA B: Estación Meteorológica CP-120708 del SENAMHI

ESTACIÓN	CATEGORÍA	CÓDIGO	UBICACIÓN			PROVINCIA	DISTRITO
			Latitud	Longitud	Altitud m.s.n.m		
Puno	CP	120708	15°50'	70°01'	3812.00	Puno	Puno

De esta estación se requieren los registros de precipitación máxima de 24 horas, cuyo dato puntual y específico obtenido en la Estación de Puno (San José), precipitación máxima de 71.60 mm, ocurrida en el mes de diciembre de 2013.

TABLA N°15: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

ESTACIÓN: CP -120708 DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: PUNO DISTRITO: PUNO				
AÑOS	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	PREC MAX.
2012	20.9	31.5	13.7	31.5
2013	71.6	38.6	19.4	71.6

Este valor que es el más extremo suscitado en los últimos años, nos permitirá verificar si las estructuras de drenaje cumplen su función sin presentar falla alguna.

3.6.3. Determinación de la Intensidad Máxima horaria.

La precipitación máxima en 24 horas registrada por el SENAMHI hasta el año 2013 es de 71.60 mm. (Cuadro 4.4.1.2), ocurrida en el mes de diciembre del 2013

Con este dato procedemos a determinar la intensidad máxima horaria utilizando la siguiente expresión matemática:

$$I_{\text{máx}} = 0.4602 (P_{\text{máx.24h}})^{0.875}$$

Donde:

I máx. = Intensidad máxima horaria de lluvia (mm/h).

P máx. 24 hr. = Precipitación máxima en 24 horas (mm). (Cuadro 4.4.1.2)

P máx. 24 hr. = 71.6 (mm).

Reemplazando:

$$I_{\text{máx}} = 0.4602 (71.6)^{0.875} = 19.34 \text{ mm/h}$$

$$I_{\text{máx}} = 19.34 \text{ mm/h}$$

El valor de la intensidad máxima horaria determinado, será utilizado en los cálculos de caudal que se generan en las micro cuencas presentes al largo del tramo y comprobar con estos caudales si las estructuras de drenaje existentes están en la capacidad de drenar satisfactoriamente estas aguas.

3.7. EVALUACIÓN DE CUNETAS

Mediante esta evaluación, determinaremos si la sección de la cuneta existente cuenta con las dimensiones necesarias para drenar el volumen de agua superficial que se generan en sus inmediaciones. Las dimensiones estarán en función directa al volumen de agua a drenar; la sección de las cunetas es triangular.

3.7.1. Determinación de Áreas Tributarias

La delimitación y la obtención de las áreas tributarias, se determinaron sobre la BASE CARTOGRÁFICA – PELT. Plano Catastral de Puno.

A continuación, presentamos el cuadro de áreas tributaria de las Cunetas:

TABLA N°16: CÁLCULO DE ÁREAS TRIBUTARIAS

RAMA: Av. Leoncio Prado		MARGEN:		DERECHO	
PROGRESIVAS	LONGITUD	DESNIVEL	PENDIENTE	TIPO DE	ÁREA
INICIO	FINAL	(m.)	S (m/m)	CUNETAS	(Ha.)
00+083	00+628	545.00	17.28	0.032	11.80
00+633	00+850	217.00	7.80	0.036	6.26
00+855	00+905	50.00	5.54	0.022	1.37

Fuente: Tesista

D. Cálculo de Caudales Generados por las Áreas Tributarias

Para el cálculo del caudal que debería circular por las cunetas utilizaremos el método racional. El método racional se expresa por la ecuación:

Donde:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Q = Caudal máximo de escorrentía, en m³/seg.

C = Coeficiente de escorrentía. (Cuadro 4.2.1.9) (*)

I = Intensidad de precipitación, en mm/hora. (**)

A = Área de drenaje, en Ha. (Cuadro 4.4.3.1)

(*) C = 0.5 (Ítem 4.2.1.9)

(**) I = 19.34 mm/h. (Ítem 4.4.1.3)

Determinados el Coeficiente de escorrentía, la intensidad de precipitación y el Área, procedemos a calcular los caudales generados por las áreas tributarias, los resultados se detallan en el siguiente cuadro:

TABLA N°17: CÁLCULO DE CAUDALES ÁREAS TRIBUTARIAS (QAT)

Rama : Av. Leoncio Prado				C	I	A	QAT
Margen : Derecho				COEFICIENTE	INTENSIDAD	ÁREA	CAUDAL
PROGRESIVAS		LONGITUD	CUNETAS	ESCORRENTÍA	DE LLUVIA	TRIBUTARIA	
INICIO	FINAL	(m)	DE		(mm/h)	(Ha)	(m ³ /seg.)
00+083	00+628	545.00	Concreto	0.50	19.32	11.80	0.32
00+633	00+850	217.00	Concreto	0.50	19.32	6.26	0.17
00+855	00+905	50.00	Tierra	0.50	19.32	1.37	0.04

Fuente: Tesista

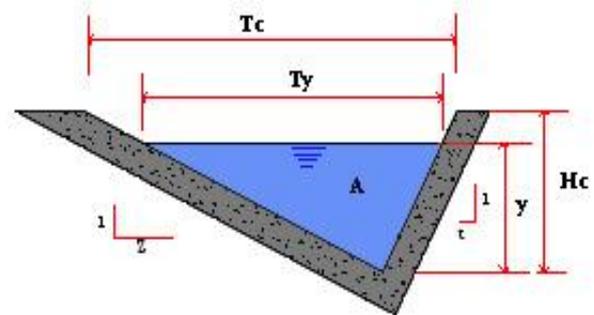
3.7.2. Verificación de la Sección de las Cunetas

Determinados las secciones de las cunetas existentes en la vía, procedemos a verificar si estas secciones cuentan con la capacidad de drenar sin problemas el volumen de agua que son generados por las áreas tributarias en los diferentes tramos de cunetas. Además, se debe verificar el estado actual de las cunetas. (Inventario de cunetas)

3.7.2.1. Cálculo de las Áreas Total e Hidráulica de las Cunetas.

De los trabajos de campo se obtuvo las dimensiones de la sección de las diversas alcantarillas de concreto y tierra, con los cuales determinamos el área de la sección total e hidráulica.

Las cunetas son de sección triangular, la (figura 4.4.2.3.a) muestra las características geométricas que se determinaron para los cálculos de áreas.



Donde:

Hc = Altura máxima

Tc = Ancho de cuneta

Ty = Espejo de agua

y = Tirante de agua

Z = Talud de cuneta

t = Talud de cuneta, en función del talud de corte en la carretera

- **Área Hidráulica.** Es el área ocupada por el líquido en una sección transversal normal cualquiera.

$$A = y^2 \left(\frac{z + t}{2} \right)$$

- **Espejo de Agua.** El espejo de agua T, es el ancho de la superficie libre del agua en la sección transversal del canal.

$$Ty = y^2 (z + t)$$

- **Perímetro Mojado.** Es la parte del contorno del conducto que esta en contacto con el agua, esta expresado matemáticamente por la siguiente expresión.

$$P = y(\sqrt{1+z^2} + \sqrt{1+t^2})$$

- **Radio Hidráulico.** Es la dimensión característica de la sección transversal, hace la función del diámetro en caso de tuberías, se obtiene con la siguiente expresión matemática:

$$R = \frac{A}{P}$$

A continuación, presentamos el cuadro donde determinamos en función de las características geométricas de las secciones de las cunetas el

Área Total e Hidráulica respectivamente:

TABLA N°18: CÁLCULO DE ÁREAS

Rama: Av. Leoncio Prado		Margen:		Derecho							ÁREA (m ²)	
PROGRESIVAS		LONG.	TIPO DE	Hc	Tc	Ty	y	Z	t	TOTAL	HIDRÁULICA	
INICIO	FINAL	(m.)	CUNETA	(m)	(m)	(m)	(m)					
00+083	00+628	545.00	Concreto	0.50	1.25	1.00	0.40	2.0	0.5	0.313	0.200	
00+633	00+850	217.00	Concreto	0.50	1.25	1.00	0.40	2.0	0.5	0.313	0.200	
00+855	00+905	50.00	Tierra	0.30	0.75	0.50	0.20	2.0	0.5	0.113	0.050	

Fuente: Tesista

3.7.2.2. Cálculo del Caudal Hidráulico en las Cunetas

El caudal, se define como el volumen de fluido que circula por una sección en la unidad de tiempo, se expresa en l.p.só m³/seg.

Cualquiera que sea la sección transversal, el cálculo de caudales, se hace a partir de la ecuación de Manning - continuidad, es decir:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

Q = caudal, m³/seg.

n = coeficiente de rugosidad

A = área hidráulica de la sección transversal, m² (Cuadro 4.4.2.3.a)

R = radio hidráulico, m.

S = pendiente de la línea de energía, m/m

Esta opción de cálculo de caudales, generalmente es usada, para canales ya construidos, en el cual se miden los parámetros necesarios, de acuerdo a la sección transversal.

TABLA N°19: CÁLCULO DE CAUDAL HIDRÁULICO

Rama: Av. Leoncio Prado		Longitud: 6.10 Km.								
PROGRESIVAS		LONG.	CUNETA	ÁREA	P	R	S	n	V	QH
INICIO	FINAL	(m.)	DE	HIDRÁULICA	(m)	(m)	(m/m)		(m/seg)	(m ³ /seg)
00+083	00+628	545.00	Concreto	0.20	1.34	0.15	0.032	0.012	4.17	0.83
00+633	00+850	217.00	Concreto	0.20	1.34	0.15	0.036	0.012	4.44	0.89
00+855	00+905	50.00	Tierra	0.05	0.67	0.07	0.022	0.012	2.20	0.11

Fuente: Tesista

3.7.2.3. Verificación de Caudales en las Cunetas

Para verificar si las cunetas cuentan con una sección que garantice la evacuación de las aguas pluviales hacia los puntos de desfogue satisfactoriamente, debemos efectuar la comparación de los caudales, el caudal hidráulico (Q_H) de las cunetas con el generado por el área tributaria adyacente a la cuneta (Q_{AT}). En el siguiente cuadro se efectúa dicha comparación:

TABLA N°20: VERIFICACIÓN DE CAUDALES

Rama: Av. Leoncio Prado							
PROGRESIVAS		LONG. (m.)	CUNETAS DE	V (m/seg)	Q_H (m ³ /seg)	Q_{AT} (m ³ /seg)	VERIFICACIÓN
INICIO	FINAL						
00+083	00+628	545.00	Concreto	4.17	0.83	0.32	$Q_H > Q_{AT}$
00+633	00+850	217.00	Concreto	4.44	0.89	0.17	$Q_H > Q_{AT}$
00+855	00+905	50.00	Tierra	2.20	0.11	0.04	$Q_H > Q_{AT}$

Fuente: Tesistas

De la comparación, el caudal hidráulico es mayor que el caudal a evacuar para todos los tramos de cuneta presentes en la vía. Estos resultados indican que estas estructuras fueron proyectadas adecuadamente.

La Velocidad del agua está dentro de los parámetros de diseño.

- Velocidad mínima: 0.30 m/seg.
- Velocidad máxima:

TABLA C: Velocidad de Diseño

Material	Velocidad (m/s)
Revestido de concreto	3.0 – 6.0
Terreno Areno Arcilloso	0.5 – 0.9

Fuente: HCANALES

Sin embargo, debido a la falta de mantenimiento vial, las cunetas se encuentran colmatadas por material sedimentado de la zona, reduciendo notablemente el área hidráulica, factor que ha provocado que el volumen de agua que circula en las cunetas rebasa su nivel, afectando las bermas y en algunos casos el agua llega a circular sobre la plataforma de rodadura.

3.8. EVALUACIÓN DE LA SUPERFICIE DE RODADURA

La evaluación consiste en la definición del estado superficial de la carretera y su entorno, comprendiendo este último todo tipo de obras o elementos auxiliares relacionados con el pavimento que de manera directa o indirecta puedan afectar a la comodidad y seguridad del usuario. Como resultado del examen superficial del pavimento puede obtenerse una importante serie de conclusiones para el desarrollo de trabajos futuros de conservación, rehabilitación o mejoramiento, a saber:

- Detectar los inicios de posibles fallas y determinar sus causas.
- Determinar zonas prioritarias para conservación.
- Determinar la necesidad de una evaluación de tipo estructural para el diseño de refuerzos.
- Presentar elementos de juicio que permitan confirmar o modificar los criterios de diseño vigentes

3.8.1. Cálculo del PCI para una Unidad de Muestra

Para la inspección de pavimentos rígidos la densidad de deterioro se calcula de la siguiente forma.

$$\% \text{Densidad} = \frac{\text{número de losas con deterioro}}{\text{número de losas en unidad de muestra}} \times (100)$$

Número de losas en unidad de muestra para pavimentos rígidos, se define para una cantidad de losas que va desde las 2 a las 28 losas, **tomándose como lo más adecuado 10 losas en la presente evaluación.**

3.8.1.1. Paso 1:

Cada unidad de muestra es inspeccionada y se registran los deterioros en el croquis y en el respectivo formulario, del ejemplo, se tienen presentes las siguientes características:

- Agrietamiento lineal de severidad alta.
- Agrietamiento por contracción.
- Deterioro en la berma de severidad media.
- Losas divididas de severidad alta, media y baja.
- Quiebre de esquinas de severidad media.
- Sellada de juntas dañado de severidad media.

De las fallas propuestas por el manual, la presente evaluación considera aquellas que con mayor frecuencia e influencia presenta la vía en estudio; debido a la particularidad en sus condiciones y características técnicas viales que tiene, éstas son las siguientes:

- 1) Agrietamiento lineal
- 2) Agrietamiento por contracción
- 3) Bombeo
- 4) Deterioro en la berma
- 5) Escalonamiento
- 6) Grietas de durabilidad
- 7) Juntas saltadas
- 8) Levantamiento de la junta
- 9) Losas divididas
- 10) Pulimiento de agregados
- 11) Quiebre de esquina
- 12) Sellado de juntas dañado

Luego del registro, para cada deterioro, se deben sumar la cantidad de losas que poseen la misma severidad de deterioro.

3.8.1.2. Paso 2:

Para seguir con el método se debe determinar la densidad de deterioro, ya que con estos valores se ingresa a los gráficos de Valor Deducido que se presentan en el Anexo 2. A continuación a modo de ejemplo se realizan algunos cálculos de densidad, se debe recordar que la unidad de muestra posee 20 losas.

- Para el deterioro tipo (Agrietamiento lineal) de severidad alta se presenta en cuatro paños, la densidad es:



Figura N°11. Agrietamiento lineal de severidad alta

Usando la Figura B.2.8 (Anexo 2) se busca 20 en la línea de densidad de deterioro. Se sigue en forma vertical hasta la curva A (alta severidad), luego se sigue en forma horizontal hacia la izquierda para obtener el Valor Deducido de 30(treinta).

- Para el deterioro tipo (Agrietamiento por contracción) el manual no define niveles de severidad, se presentan en siete paños, la densidad es:



Figura N°12. *Agrietamiento de Contracción*

Usando la Figura B.2.6 (Anexo 2) se busca 35 en la línea de densidad de deterioro. Se sigue en forma vertical hasta la curva única, luego se sigue en forma horizontal hacia la izquierda para obtener el Valor Deducido de 1(uno).

- Para el deterioro tipo (Deterioro de la berma) de severidad alta se presenta en seis paños, la densidad es:

$$\frac{6 (\text{paños}) \times 100 \%}{20 (\text{paños})} = 30 \%$$

DETERIORO DE LA BERMA



Figura N°13. Deterioro de Berma

Usando la Figura B.2.7 (Anexo 2) se busca 30 en la línea de densidad de deterioro. Se sigue en forma vertical hasta la curva M (Media severidad), luego se sigue en forma horizontal hacia la izquierda para obtener el Valor Deducido de 12(doce).

- Para el deterioro tipo (Losas divididas) de severidad baja se presenta en siete paños, la densidad es:



Figura N°14. Losas divididas

Usando la Figura B.2.3 (Anexo B) se busca 35 en la línea de densidad de deterioro. Se sigue en forma vertical hasta la curva B (Baja severidad), luego se sigue en forma horizontal hacia la izquierda para obtener el Valor Deducido de 32 (treinta y dos).

- Para el deterioro tipo (Quiebre de esquina) de severidad media se presenta en un paño, la densidad es:



Figura N°15. *Quiebre de Esquina.*

Usando la Figura B.2.2 (Anexo 2) se busca 5 en la línea de densidad de deterioro. Se sigue en forma vertical hasta la curva M (Media severidad), luego se sigue en forma horizontal hacia la izquierda para obtener el Valor Deducido de 8 (ocho).

- Para el deterioro tipo (sellado de juntas dañado) de severidad media, se tiene el caso particular que no se define densidad, sino que se determina el Valor Deducido directamente, o sea, 4 (cuatro). El sellado de juntas dañado no se esquematiza debido a que se observa la condición global del sello en toda la unidad de muestra y se establece el nivel de severidad que se encuentra mayormente presente.

3.8.1.3. Paso 3:

Se contabiliza el Valor Deducido Total por medio de la suma de todos los Valores Deducidos Individuales en la unidad de muestra:

$$\text{Valor deducido total} = 30 + 1 + 12 + 45 + 57 + 32 + 8 + 4 = 189 \%$$

3.8.1.4. Paso 4:

Se calcula el Valor Deducido Corregido (VDC). En el ejemplo dado en el Cuadro 2.4.6.3, recordemos que el Valor Deducido Total (VDT) es de 189. El valor de “q” (número de Valores Deducidos Individuales que son mayores a 5) resultó ser 6 (seis), (los valores deducidos 30, 12, 45, 57, 32, 8). Usando el grafico Curvas de corrección de valor deducido para pavimentos rígidos figura (Paso 4), se busca 189 en la línea de VDT, se procede verticalmente hasta la línea q = 6, luego, hacia la izquierda se obtienen un VDC de 89. Debido a que no hay Valores Deducidos Individuales que sobrepasen a 89, se toma el VDC como 89.

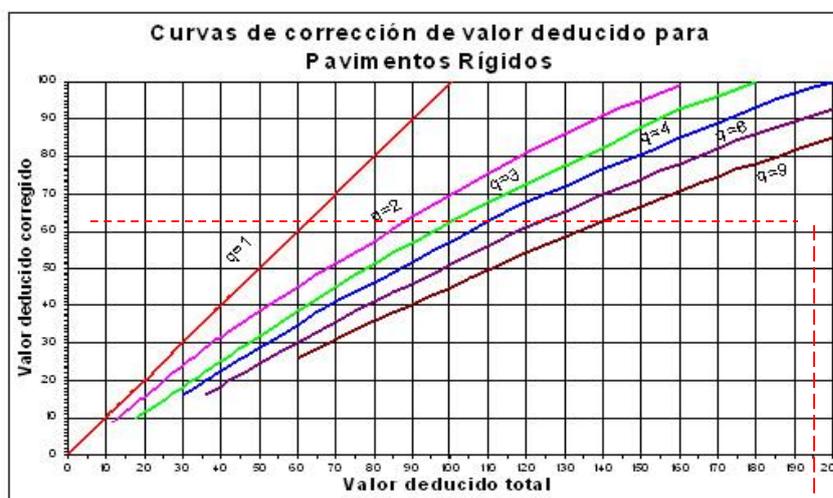


Figura N°16. (Paso 4) Curvas de corrección de valor deducido para pavimentos rígidos.

3.8.1.5. Paso 5:

Se calcula el PCI usando la relación de $PCI = 100 - VDC$.

En el ejemplo, $PCI = 100 - 89 = 11$; el juicio de condición es “Muy Pobre”.

Se recomienda que el personal encargado de realizar las inspecciones y el desarrollo de las Hojas de Inspección posea un nivel de estudios superiores correspondiente a Ingeniero Civil o Técnico en Construcción debido principalmente a que debe poseer conocimientos que le permitan identificar y clasificar deterioros que muchas veces se reconocen por las causas y el entorno donde se desarrollan. Además

de la formación profesional se requiere una capacitación especial en el tema del PCI y un estudio profundo de la guía de deterioros y severidades que plantea el método.

3.9. DETERMINACIÓN DEL INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO EN LA AVENIDA LEONCIO PRADO

3.9.1. Características Generales de la Avenida Leoncio Prado

Para la determinación del PCI de una vía, la metodología contempla la identificación de características técnicas referentes a la Estructura del pavimento (espesores y materiales), Tráfico, Historia constructiva, etc. los cuales nos permitan identificar, dividir y calificar adecuadamente la vía en evaluación.

Estas características técnicas viales se encuentran ampliamente detalladas (**información a evaluar de forma general**), información que nos permite identificar y dividir la rama Av. Leoncio Prado el cual se muestra en la (Figura 2.4.7.2.a).

IV. IDENTIFICACIÓN, DIVISIÓN Y OBTENCIÓN DEL PCI.

4.1. IDENTIFICACIÓN DE LA RAMA

La rama identificada es la Av. Leoncio Prado, ubicada entre la intersección del inicio de esta avenida con el Jr. Pacheco Vargas, hasta el Km. 01+000 carretera Puno - Moquegua.

4.2. RAMA Y SECCIÓN

Para esta rama, se identifican 1 sección (Figura 2.4.7.2.b), estas secciones se definen principalmente por las características de tráfico y de periodos de construcción.

En el siguiente cuadro se presenta la característica relevante de la sección.

sección	Límites	Material	Fecha de Construcción	I.M.D.
1	Jr. P. Vargas al Km 01+000	Concreto	1985	2576

Del cuadro podemos deducir lo siguiente:

- Posee la misma estructura.
- El tráfico para cada tramo es distinto: Tanto para la locomoción colectiva como para la locomoción particular.

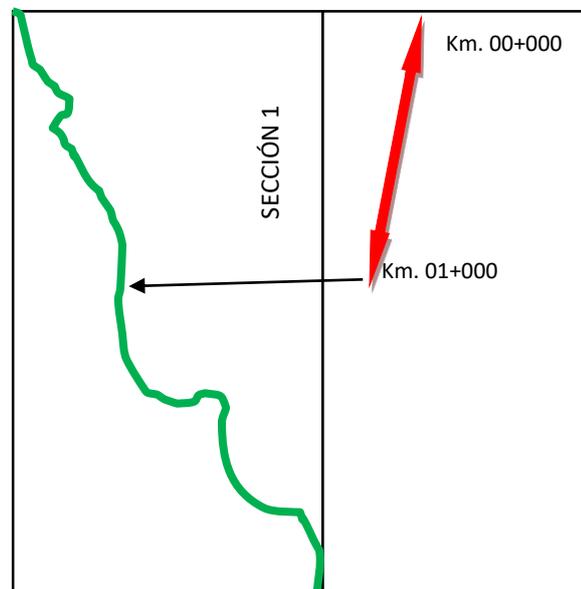


Figura N°17. Rama en Sección

4.3. DIVISIÓN DE LA SECCIÓN EN UNIDADES DE MUESTRA

El manual ARMY-82, para pavimentos rígidos considera, que una unidad de muestra puede variar de 12 a 28 losas, **con un promedio recomendado de 20 losas.**

Se establecen las dimensiones de la unidad de muestra, asumiendo lo recomendado de 20 losas de concreto (3.5m x 5m cada losa aprox.) que corresponden a 100 m lineales aproximadamente. En función de estas

dimensiones, las secciones se dividen en las siguientes unidades de muestra para ambos lados de la avenida:

Sección 1 (Km. 00+000 al Km. 01+000) – 06 unidades de muestra

4.4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

Con los datos obtenidos en campo de cada unidad de muestra registradas en las hojas de evaluación superficial, se procedió a la determinación del PCI mediante los dos métodos planteados por el manual; el primer método establece que se tienen que inspeccionar todas las unidades de muestra de la sección. El segundo método requiere que sólo se inspeccione una porción de las unidades de muestra de la sección.

4.4.1. Primer método

En el siguiente cuadro se presenta el resumen de los índices de condición de pavimento para la unidad de muestra, cuyos valores están procesados en la hoja de evaluación superficial de la muestra, el promedio para la sección con que cuenta la rama en la presente evaluación.

TABLA E: Índices de Condición de Pavimento de la Muestra

RAMA Av. LEONCIO PRADO					
Sección	Unidad de Muestra	Lado Izquierdo		Lado Derecho	
		PCI	CONDICIÓN	PCI	CONDICION
	1	16	Muy Pobre	0	Fallado
	2	10	Fallado	0	Fallado
	3	0	Fallado	13	Muy Pobre
	4	16	Muy Pobre	11	Muy Pobre
	5	25	Muy Pobre	19	Muy Pobre
	6	24	Muy Pobre	22	Muy Pobre
PROMEDIO SECCION		15.16	Muy Pobre	10.8	Muy Pobre

De los promedios obtenidos para la sección, el presente cuadro muestra el promedio de la rama en ambos sentidos de la vía:

TABLA F: Promedio Índices de Condición de Pavimento de la Muestra

RAMA: AV. LEONCIO PRADO					
Sección	N° Unidades de Muestra	Lado Izquierdo		Lado Derecho	
		PCI	Condición	PCI	Condición
1	06		Muy Pobre	15	
		10		Muy Pobre	
Promedio de la Rama		15	Muy Pobre	10	Muy Pobre

Del cuadro anterior se desprende que mediante la evaluación de todas las unidades de muestra se observa que los índices resultantes son de 15 y 10, que corresponden a una condición de pavimento de “Muy pobre”.

4.4.1.1. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL MEDIANTE ANÁLISIS DE COMPONENTES

Análisis también conocido como Método Destructivo, la evaluación del pavimento se efectúa mediante excavación de Calicatas, cuyos estudios de las propiedades físico mecánicas y de calidad de los materiales, en la etapa de campo, laboratorio y gabinete, son efectuados de acuerdo a procedimientos y normas establecidas, el análisis utiliza las relaciones entre resistencia de la subrasante, estructura del pavimento y cargas de tránsito, es un procedimiento similar al empleado en el diseño de pavimentos nuevos.

Realizar una evaluación estructural por medio de sondeos del tipo pozo a cielo abierto con una profundidad que contemple el espesor de la estructura del pavimento más 0.30 metros, en una longitud significativa de kilómetros de las vías a estudiar, con recuperación de muestras de cada una de las capas del pavimento y terracerías, para el correspondiente análisis de laboratorio, considerando como mínimo, una muestra para cada kilómetro, y no menos de tres muestras, para proyectos menores de

tres kilómetros. Esta metodología es considerada como “Método Destructivo” el cual aplicaremos en la siguiente investigación. Estos sondeos sirven para estimar la capacidad estructural de los pavimentos y validar los datos provenientes de los estudios de Viga Benkelman.

En la presente evaluación se ha recurrido a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de los componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego en el sistema (pavimento) y deducir acerca de las características estructurales del mismo.

A las muestras alteradas obtenidas de las calicatas, se les efectuarán los ensayos necesarios para determinar sus características físicas mecánicas, tales como:

TABLA G: *Evaluación Muestral Mediante Análisis de Componentes*

TIPO DE ENSAYO	Norma ASTM	Norma MTC
Análisis Granulométrico	D-422	E107-1,999
Límites de consistencia:		
Límite líquido	D-423	E110-1,999
Límite plástico	D-424	E111-1,999
Proctor Modificado	D-1557	E-116-1,999
California Bearing Ratio (CBR)	D-1883	E-132-1,999
Clasificación SUCS, AASHTO	D-2487	ANEXO 1

4.4.2. Evaluación de La Resistencia a La Compresión de la Losa de Concreto del Pavimento

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 y 400 kg/cm². Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre-esforzado. Cuando se utiliza concreto simple o reforzado, el tamaño de las losas es similar, tendiendo generalmente a ser cuadradas con 3 a 5m de lado, pero en la actualidad existe una tendencia a aumentar su área.

Los factores que afectan al espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice.

El diseño de pavimento de la presente vía, consideró una losa de concreto simple con una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm² y espesor de 0.20m.

Para determinar y comprobar la resistencia del concreto, en la presente evaluación utilizamos el “Esclerómetro”.

4.4.2.1. Método del esclerómetro o martillo Schmidt

Este método consiste básicamente en la utilización de un aparato (esclerómetro) que impacta sobre la superficie del concreto mediante una cierta masa y energía, y se mide el rebote de esta masa. Luego mediante el valor del rebote y unas tablas se determina la resistencia a la compresión del concreto. El método cumple con la norma ASTM C 805-85 y posee la ventaja de ser un método rápido, sencillo, relativamente barato y se evalúa la superficie del concreto que, además de estar sometida a tensiones de compresión/tracción debido a flexión, está sometida a desgaste debido al tráfico.



Figura N°18. Esclerómetro.

a. Descripción del Aparato

Un esquema del aparato está dado en la *Figura N° 18.1*, según la información del fabricante, en el que se singulariza los siguientes elementos:

ESQUEMA DEL ESCLERÓMETRO

1. Percutor
2. Concreto
3. Cuerpo exterior
4. Aguja
5. Escala
6. Martillo
7. Botón de fijación de lectura,
8. Resorte
9. Resorte
10. Seguro.

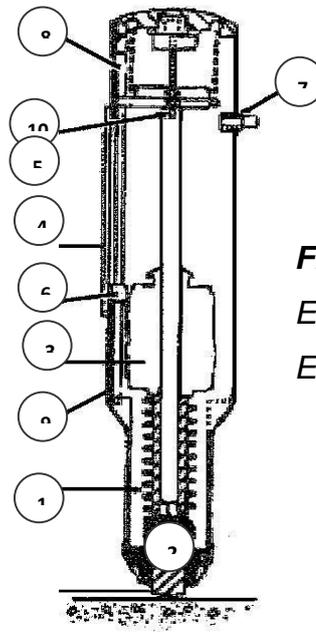


Figura N°18.1.
Esquema del Esclerómetro

b. Descripción del Método.

Este método es conocido como método de Martillo de Rebote. El método consiste en someter la superficie del concreto a un impacto de una forma normalizada usando una determinada masa con una energía dada, midiéndose el valor del rebote, o índice esclerométrico (I.E.).

El ensayo se efectúa apretando el percutor contra la superficie a examinar, hasta que el martillo, impulsado por un resorte, se descargue sobre el percutor. Después del golpe, el martillo rebota una cierta distancia, la cual se indica por una aguja en una escala graduada. La lectura de la posición de la aguja representa la medida del retroceso en porcentaje del avance del martillo.



Figura N°18.2. Ensayo con el equipo de esclerómetro

Básicamente el proceso está constituido por una masa móvil, con una cierta energía inicial, que impacta la superficie de una masa de concreto, produciendo una redistribución de la energía cinética inicial. Parte de la energía es absorbida como fricción mecánica en el instrumento y otra parte como energía de deformación plástica del concreto. La parte restante es restituida a la masa móvil en proporción a la energía disponible. Para tal distribución de energía es condición básica que la masa de concreto sea prácticamente infinita con relación a la masa del percutor del aparato, lo que se da en la mayoría de las estructuras. En consecuencia, el rebote del esclerómetro es un indicador de las propiedades del concreto, con relación a su resistencia y grado de rigidez. (ACI 228, 1989).

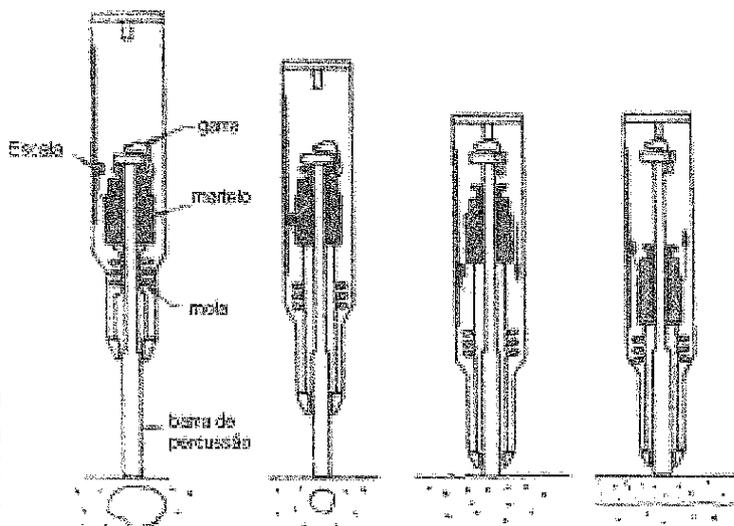


Figura N°18.2.
Funcionamiento del
Esclerómetro.

c. Ensayo con Esclerómetro

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto de la losa del pavimento de la carretera, los puntos de aplicación se distribuyeron uniformemente a una distancia de 250 m en los márgenes derecho e izquierdo a lo largo de la carretera.



Figura N°18.3. Ensayo con el equipo de esclerómetro

Por punto de ensayo, se registró 8 lecturas las cuales se encuentra detallados en el formato utilizado en la presente evaluación (Formato 18-a).



Figura N°18.4. Vista Lateral Esclerómetro en campo.

El valor adoptado de la resistencia a compresión del concreto de la losa del pavimento, es el promedio de todos los puntos registrados, en razón de que los resultados para los distintos puntos de ensayo son aproximados. Del formato $f'c$ adoptado = 253 Kg/cm².

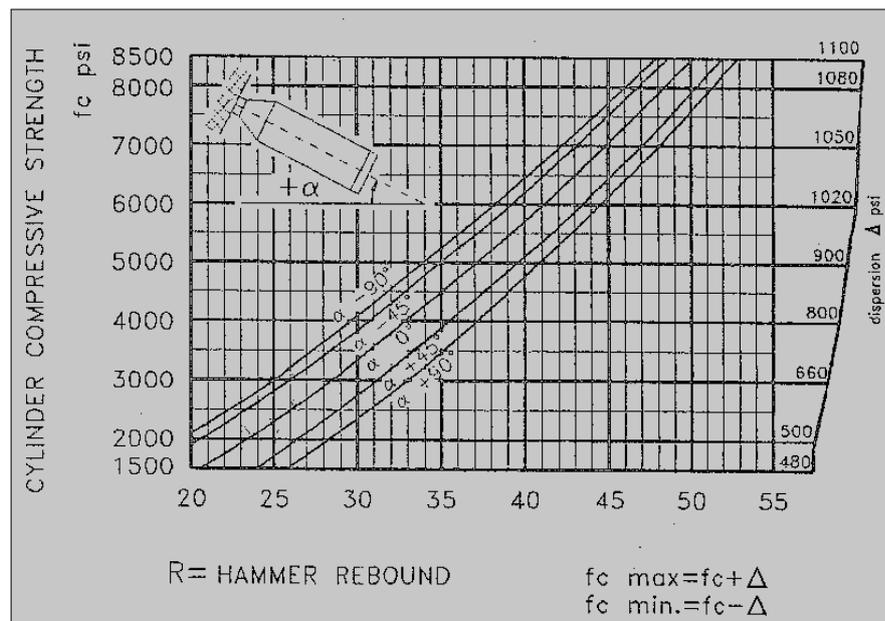


Figura N°19. Abaco - Resistencia a la Compresión del Cilindro

Este valor al ser afectado por el factor de corrección considerado por el equipo dentro de la tabla, se obtiene el $f'c$ mín. y $f'c$ máx., cuyos resultados son 208.7 y 317.4 Kg/cm² respectivamente.

El ensayo se realizó siguiendo las normas establecidas por el fabricante del equipo, a continuación, se presenta los resultados del ensayo con esclerómetro.

FORMATO 18-a:

ENSAYO CON ESCLERÓMETRO

ASTM - C - 805

OBRA : GRADO DE RELACIÓN DE LOS FACTORES TÉCNICOS VIALES Y LA FALLA ESTRUCTURAL EN EL PAVIMENTO RÍGIDO DE LA AV. LEONCIO PRADO

TRAMO : Km 00+000 AL Km 01+000

ESPESOR DE LOSA: 0.20m. Diseño = 210 Kg/Cm² FECHA: noviembre 2020

TABLA N°21: ENSAYO CON ESCLERÓMETRO

Nro	Progr.	Margen	LECTURA										Total	Prom.	f'c (psi)	Δ	f'c Min.	f'c Max.	f'c (kg/cm ²)
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
1	00+000	D	29	25	28	29	27	28	25	28	28	29	276	28	3600	744	2856	4344	253
2	00+000	I	28	25	29	29	28	30	27	29	30	29	283	28	3600	744	2856	4344	253
3	00+250	D	27	24	28	28	29	29	27	29	27	29	277	28	3600	744	2856	4344	253
4	00+250	I	29	25	29	30	29	28	25	29	29	28	281	28	3600	744	2856	4344	253
5	00+500	D	28	25	28	30	29	27	26	28	30	28	279	28	3600	744	2856	4344	253
6	00+500	I	28	25	28	28	28	29	25	27	28	28	274	27	3450	723	2727	4173	243
7	01+000	D	28	24	28	30	27	29	27	27	28	28	276	28	3600	744	2856	4344	253
8	01+000	I	28	24	28	28	27	28	26	28	27	29	272	27	3450	723	2727	4173	243
Valor Promedio												277	28	3600	744	2856	4344	253	

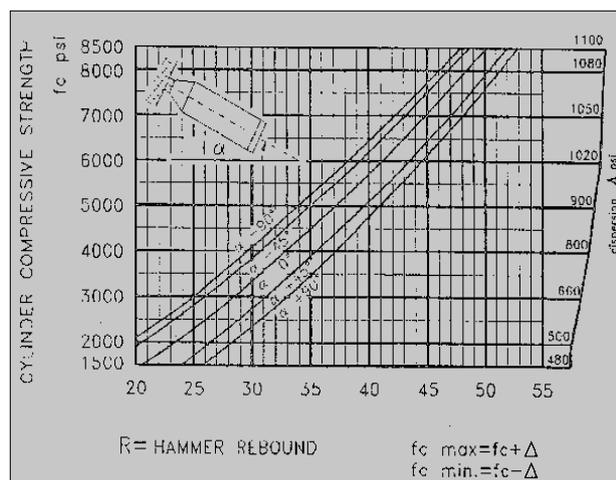
Donde:

D = Factor de corrección

f'c mín. = f'c - D

f'c máx. = f'c + D

f'c adoptado = 210 Kg/cm²



4.4.3. Evaluación del Espesor de la losa del Pavimento

Al tratarse de una evaluación estructural de un Pavimento Rígido, con la finalidad de determinar la presencia de falla estructural de la misma, es que en el presente ítem determinaremos si el espesor de la losa de concreto fue proyectado adecuadamente.

Para el análisis de cálculo del pavimento, consideramos las características físico mecánicas de los materiales (Subrasante y sub base) utilizados en el proceso constructivo de la vía.

a. Datos de Diseño.

- Período de diseño (Pd) : Evaluación actual.
- Número de vehículos IMD. : 2591 vehículos por día.

TABLA N°22: Número de vehículos IMD

TIPO DE VEHICULO	IMD (Veh./día)
VEHÍCULOS LIGEROS	2400
CAMIÓN C2	103
CAMIÓN C3	45
ÓMNIBUS B2	26
ÓMNIBUS B3	5
SEMI TRAILER T2 S2	4
SEMI TRAILER T3 S2	8
IMD	2591

IMDVP (vehículos pesados) : $(2591 - 2400) = 191$ vehículos por día

Módulo de Ruptura : 550 psi.

Módulo de reacción de la Subrasante (k):

El valor de “k” calcularemos a partir de las siguientes expresiones que la AASHTO adopta y se presentan en el siguiente cuadro resumen:

$$K = 2.55 + 52.5 (\text{Log CBR}) \quad \text{Mpa/mCBR} \leq 10$$

$$K = 46.0 + 9.08 (\text{Log CBR})^{4.34} \quad \text{Mpa/mCBR} > 10$$

TABLA N°23: RESUMEN MODULO DE REACCIÓN SUBRASANTE “k”

Nº	PROG.	Ubicación		California Bearing Ratio (C.B.R.)	Modulo de reacción “k” (PCI)
		MARGEN	MUESTRA		
1	00+420	IZQUIERDO	SUBRASANTE	36 %	397.44
2	00+500	IZQUIERDO	SUBRASANTE	2 %	67.60
3	00+700	DERECHO	SUBRASANTE	13 %	222.83
4	01+000	DERECHO	SUBRASANTE	23 %	297.13

Fuente: Tesista

- Módulo de reacción de la Subrasante – Sub base (k):

TABLA N°24: EFECTO DE LA SUB BASE NO TRATADA SOBRE LOS VALORES “k”

Valor de k de la Subrasante, pci	Valor de k de la sub base, pci			
	4 pulg.	6 pulg.	8 pulg.	12 pulg.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

REFERENCIA: Tabla 1 Efecto De La Sub Base No Tratada Sobre Los Valores K (Pavimentos de Concreto ACI). Pág. 11.

En función del cuadro anterior determinamos los módulos de reacción combinado Subrasante – Sub base, para una Sub base de espesor 4 pulgadas (0.10m).

TABLA N°25: MODULO DE REACCIÓN SUBRASANTE - SUB BASE “k”

Nº	PROG.	Ubicación		k subrasante (PCI)	k subrasante-sub base (PCI)
		MARGEN	MUESTRA		
1	00+420	IZQUIERDO	SUBRASANTE	397.44	397.44
2	00+500	IZQUIERDO	SUBRASANTE	67.60	87.88
3	00+700	DERECHO	SUBRASANTE	222.83	242.83
4	01+000	DERECHO	SUBRASANTE	297.13	317.13

Fuente: Tesista

- Factor de seguridad de carga FSC : 1.0 evaluación actual del pavimento.

TABLA N°26: FACTOR DE SEGURIDAD DE CARGA

Tipo de Carretera	Factor de Seguridad de Carga FSC
Para proyectos interestatales y otros de múltiples carriles donde el flujo de tráfico será ininterrumpido y donde habrá altos volúmenes de tráfico de camiones.	1.2
Para carreteras y calles arteriales donde el volumen de tráfico de camiones será moderado.	1.1
Para carreteras, calles residenciales, y otras que soportarán pequeños volúmenes de tráfico de camiones	1.0

REFERENCIA: Factores de seguridad de carga (Pavimentos de Concreto ACI). Pág. 20.

Reemplazando las variables diseño enunciados por el método PCA, se procedió a efectuar el cálculo respectivo para la determinación de la capacidad de carga del tránsito existente en la vía, para el espesor de la losa de concreto del pavimento.

A continuación, presentamos un cuadro resumen de los resultados de la presente evaluación considerando el espesor de la losa de 4 pulgadas. (Método PCA).

TABLA N°27: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL PAVIMENTO RÍGIDO ($e = 4$ pulg)

CBR	K (pci) Subrasante	k (pci) Subrasante – sub base (e SB = 10cm)	Análisis por Fatiga % fatiga	Análisis por erosión % erosión	Observaciones
2%	67.6	87.88	1790.27	3.63	Espesor de diseño insuficiente, por exceso de carga a los requerimientos de tránsito.
3%	101.65	131.79	477.97	2.14	
4%	137.54	163.73	228.62	2.13	
5%	144.54	170.09	152.87	2.03	

Fuente: Tesista

V. DISCUSION

- Realizamos e conteo de tráfico durante la semana para conocer el índice medio diario de transitabilidad de la afluencia vehicular como podemos ver en la tabla N°04 donde se aprecia con más detalles los datos de conteo vehicular.
- Determinamos el tipo de vehículo que transita por medio del conteo de tráfico y según la tabla N°05 encontramos el tipo donde se aprecia con más detalle en las tablas según norma.
- Como proyección del conteo de tráfico obtuvimos la clasificación de la carretera de bajo volumen de tránsito según el índice medio diario vehicular que se hizo en la semana para poder obtener este resultado según tabla N°06.
- En el estudio topográfico señalizamos a la vez los puntos fijos BMS para poder llevar un cierre y de nuestra poligonal y así apoyarnos con la estación para un buen levantamiento topográfico. Según la tabla N°08 donde encontramos los BMS y coordenadas de los mismos.
- Las obras de ingeniería deben realizarse en la forma más económica posible, pero cumpliendo cabalmente con las finalidades para las cuales fueron proyectadas. Se debe entender que una obra es económica cuando los costos de construcción, conservación y operación son mínimos en relación con otras alternativas. Los profesionales de la ingeniería están obligados a considerar variantes en sus proyectos, así como a recomendar y defender las opciones de menor costo, ya que es factible realizar obras sobre diseñadas

que pudieran ser el resultado de proyectos efectuados por personas ajenas a la ingeniería o sin estudios. En resumen, la misión de un ingeniero es proyectar y construir obras con el menor costo posible y que cumplan con los objetivos para los cuales se concibieron.

- Los criterios de proyecto principales para las carreteras son la capacidad de tránsito, la velocidad de proyecto, las características físicas de los vehículos y la cantidad de vehículos de dimensiones diversas que utilizan las carreteras.
- La decisión de la utilización de los dispositivos de control en cualquier localización, sea calle o carretera, debe estar basada en un estudio de ingeniería; el que debe abarcar no solo las características de la señal y la geometría vial sino también su funcionalidad y el entorno. El estudio conlleva la responsabilidad del profesional y de la autoridad respecto al riesgo que pueden causar por una señalización inadecuada.
- Las marcas en el pavimento o en los obstáculos son utilizados con el objeto de reglamentar el movimiento de vehículos o incrementar la seguridad en su operación. Sirven, en algunos casos, como suplemento a las señales y semáforos en el control del tránsito; en otros constituye un único medio, desempeñando un factor de suma importancia en la regulación de la operación del vehículo en la vía.
- Cuando una obra vial se pone en servicio, debe presentar las condiciones óptimas para su operación; al transcurrir el tiempo, se deteriora por el uso, dificultándose así cada vez más el tránsito, por lo que es preciso hacer una conservación normal adecuada y rehabilitaciones oportunas, para que la obra no llegue a tener una falla prematura.

- Mantener pavimentos es bastante simple, si están bien proyectados; es decir, si se han relacionado en forma conveniente los elementos correspondientes como el tránsito y las resistencias del pavimento y de la capa subrasante; de otra manera, lo más probable es que se presente la falla estructural y haya que desechar este pavimento.
- Para construir las vías terrestres, es necesario llevar a cabo diferentes controles, a fin de obtener obras con la calidad necesaria en el tiempo programado y con los costos presupuestados. Sin embargo, los ingenieros se aplican en general a controlar el programa y los costos, y en muchas ocasiones, dejan de lado el control de calidad. Se ha pensado que este control debe estar a cargo de los laboratorios; pero éstos son sólo auxiliares para controlar los materiales y los procedimientos de construcción, cuyas recomendaciones deben atender los ingenieros de obra; si hay discrepancias, es preciso aclarar los puntos de vista.
- Mediante el método PCI se a determinado que los deterioros en la vía se encuentran en gran intensidad y severidad, se destacan principalmente agrietamientos longitudinales y transversales, bombeo, deterioro en la berma, juntas saltadas, quiebre de esquinas, sellado de juntas dañado y en gran magnitud losas divididas, lo cual evidencia la presencia de falla estructural del pavimento rígido en gran parte de su extensión.
- Los resultados de la inspección con la aplicación del método se logró determinar el deterioro físico de la vía mediante un Índice de la Condición Global de “Fallado” condición que posee el pavimento en la actualidad, el cual manifiesta los diversos factores que producen incomodidad a los usuarios de

la vía, indicando claramente que exige como medida de tratamiento la necesidad de una reconstrucción completa de la vía.

- Si bien las curvas de deducción se basan en la experiencia adquirida a través de los años en el estudio de los deterioros y sus consecuencias para los usuarios en países desarrollados, pueden ser un buen parámetro a ser utilizado, debido a que las experiencias prácticas ejecutadas en este trabajo demuestran que, efectivamente, se tiene en resumen las condiciones reales que presenta la rama en evaluación, es decir, se obtienen valores consecuentes a la realidad de los casos. Tal vez, sea necesario en investigaciones posteriores realizar ajustes a estas curvas que se adapten a la realidad Local, pero para esto se requiere invertir recursos que no siempre se tienen disponibles, de todos modos, asociar las problemáticas a las realidades de países más avanzados en la materia, puede elevar la calidad y el estándar de nuestros pavimentos
- La evaluación Hidrológica y del sistema de Drenaje, se efectuó con el objeto de obtener parámetros hidrológicos y en base a análisis adecuados de datos, determinar el máximo caudal de avenida de las precipitaciones, los cuales a su vez, han de servir para comprobar que el diseño, construcción y operación de las diferentes estructuras, cuentan con las características geométricas e hidráulicas para responder eficientemente los caudales generados por los diversos factores hidrológicos en las obras de drenaje presentes en la carretera.
- Las características geométricas e hidráulicas de las cunetas y alcantarillas fueron proyectados adecuadamente, se ha verificado que estas estructuras

cuentan con la capacidad de evacuar los volúmenes de agua generados por precipitaciones pluviales eficientemente.

- La evaluación ha determinado que el funcionamiento del sistema de drenaje superficial es inadecuado a falta de trabajos de mantenimiento y construcción de algunas estructuras, provocando que el pavimento presenta un notable deterioro.
- La carretera no cuenta con un sistema de drenaje subterráneo. Esta deficiencia ha provocado que en ciertos sectores de la carretera se vea afectada en su estructura.
- La superficie de rodadura ha perdido el bombeo, las juntas se encuentran en mal estado y conjuntamente con las fallas en el pavimento han generado que las aguas se infiltren a la sub base incrementando el contenido de humedad y debiliten su capacidad de soporte.
- En el siguiente cuadro se presenta los factores técnicos viales directos que son los causantes de la falla estructural del pavimento en los tramos determinados:

TABLA N°28: FACTORES TÉCNICOS CAUSALES DE FALLA ESTRUCTURAL

FACTOR TÉCNICO VIAL	TRAMOS	
	Km 00+700 al Km 00+800	Km 00+800 al Km 01+000
Topografía	-	+
Drenaje	+	+
Tránsito	-	-
Mantenimiento Vial	+	+

Fuente: Tesista

(+), Nivel de influencia mayor

(-) , Nivel de influencia menor

Como se puede ver la falla se produce por la combinación de diversos factores técnicos los cuales se detallan a continuación:

Tramo Km 00+700 al Km 00+800:

- Drenaje: El tramo no cuenta con drenaje superficial y subterráneo.
- Geotecnia: La capacidad de soporte de la sub rasante y sub base fueron afectados por el mal drenaje
- Mantenimiento vial: No existe ningún Trabajo.

Tramo Km 00+800 al Km 01+000:

- Topografía: El alineamiento horizontal del tramo hizo que gran parte de la sección de la vía este en relleno.
- Drenaje: El agua superficial discurre por la berma a falta de mantenimiento.
- Geotecnia: Existe un ligero asentamiento del talud en relleno, material de relleno de baja capacidad de soporte.
- Mantenimiento vial: No existe ningún Trabajo.

VI. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

La propuesta está basada en la evaluación integral del pavimento de la Avenida Leoncio Prado, tiene como objetivo fundamental el Mejoramiento de 1,000 ml. Por una parte, reencarpelado con concreto asfáltico en caliente con aplicación de geotextil sobre una longitud de 100ml. y/o construcción de pavimento flexible en una longitud de todo el tramo en estudio.

TABLA N°29: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

PROGRESIVA		LONGITUD	TIPO DE FALLA	PROPUESTA
INICIO	FINAL			
Km 00+000	Km 00+700	700	ESTRUCTURAL	RECONSTRUCCION
Km 00+700	Km 00+800	100	FUNCIONAL	REENCARPETADO
Km 00+800	Km 01+000	200	ESTRUCTURAL	RECONSTRUCCION

Fuente: Tesista

El diseño de mejoramiento de una vía urbana se ve condicionado o influenciado

por los siguientes factores:

- Clasificación de la vía: Determina la función que ésta debe de cumplir dentro del sistema vial del cual es parte integrante, propiciando el establecimiento de diversos parámetros de diseño.
- Tránsito que se pretende atender: Debe decidirse cuanto de la demanda prevista será atendida en la vía objeto del diseño, así como el nivel de servicio con el que ella se atenderá.
- Topografía y Limitaciones Físicas del Derecho de Vía: La adecuación de un diseño geométrico al derecho de vía y a las condiciones topográficas no solo está vinculada al respeto del entorno y minimización de impactos, sino también a las posibilidad y conveniencia de adquirir terrenos complementarios requeridos.

El diseño geométrico se efectuará de acuerdo a las exigencias y parámetros especificados por el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001), establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

El mejoramiento vial se ejecutará en función de los nuevos requerimientos que esta vía presenta para lo cual se emplearán las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2000.

En consecuencia, el diseño geométrico de la vía se efectuará contemplando el condicionamiento de una vía urbana.

- Clasificación de la Vía : Primera Clase
- Velocidad directriz : 30 Km/hora (Limitaciones Urbanas)
- Radio mínimo : 30 m
- Peralte de curva máximo : 6 %
- Ancho de Carril : 3.60 m
- Ancho de Vía : 7.20 m
- Berma : 1.20 m

Estas características técnicas implican el ajuste de los componentes de la infraestructura vial, en ensanchar la vía, reestablecer la sección transversal,



mejorar las bermas del pavimento y mejorara el sistema de drenaje.

VII. CONCLUSIONES

- i. Se pudo elaborar el levantamiento topográfico del tramo en estudio en planta y elevación, definiéndose BMs, y las secciones transversales.
- ii. La resistencia del pavimento existente se verifico por métodos no destructivos que si cumple con la resistencia de diseño de 210 kg/cm². Sin embargo, la evaluación del pavimento mediante el método de la Portlan Cement Association (PCA), determina que el pavimento rígido de la vía (losa de concreto de 0.10 m y sub base de 0.10 m de espesor), llega a fallar cuando las propiedades de capacidad de soporte de la subrasante tengan un valor de CBR menor al 7%. Por lo que el pavimento existente no cumpliría con el espesor mínimo requerido en gran parte del tramo.
- iii. De la evaluación superficial de fallas del pavimento por el método del PCI, de todas las unidades de muestra se observa que los índices resultantes son de 15 y 10, que corresponden a una condición de pavimento de “Muy pobre”.
- iv. De la evaluación del sistema de drenaje existente en la vía conjuntamente con la no proyectada, se determinó que si influyen en la generación de la falla estructural del pavimento rígido. Las cunetas están bien diseñadas para el caudal de la zona; sin embargo, debido a la falta de mantenimiento vial, las cunetas se encuentran colmatados por material sedimentado de la zona, lo que ha provocado que el volumen de agua que circula en las cunetas rebase su nivel, afectando las bermas y en algunos casos el agua llega a circular sobre la plataforma de rodadura.
- v. Mediante la evaluación de las características geológicas y geotécnicas de la franja por donde transcurre la vía se determinó que estos factores influyen en la falla estructural. En el Tramo Km 00+800 al Km 01+000 existe un ligero

asentamiento del talud en relleno, material de relleno de baja capacidad de soporte.

- vi. Del análisis efectuado al Mantenimiento Vial de la avenida, se ha determinado que no existe ningún trabajo de mantenimiento; el mantenimiento vial por considerarse un factor preponderante en el normal funcionamiento de los componentes de una vía, es el factor primordial que generó la falla estructural en el pavimento.
- vii. Finalmente se concluye que los factores técnicos (Topografía, Drenaje, Tránsito y Mantenimiento Vial), considerados y analizados en la presente investigación generan falla estructural en el pavimento rígido de la Av. Leoncio Prado.

VIII. RECOMENDACIONES

- Para mayor información, que el INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, ha oficializado hace años el uso del sistema WGS – 1984 en todo el Perú, anteriormente se estaba utilizando el sistema WGS 1956, lo cual ya quedo obsoleto.
- El sistema de evaluación de pavimentos debe de diagnosticar permanentemente la condición o estado físico de los caminos, con el uso de herramientas tales como los sistemas de evaluación (PCI) u otros, proporcionar una calificación el cual permita tomar decisiones de mantenimiento, rehabilitación o mejoramiento adecuados que eficiente la operación del transporte en todos sentidos, optimizando los escasos recursos disponibles y, en especial, minimizando sobre costos de operación.

- Se recomienda contar con un plan adecuado de control de calidad de carreteras; éste interviene en todas las etapas de la obra; es decir, desde el proyecto y construcción hasta la operación y el mantenimiento.
- Se recomienda el Mejoramiento integral de 1,000 ml. Por una parte, reencarpetado con concreto asfáltico en caliente con aplicación de geotextil sobre una longitud de 100ml. Y la demolición y/o construcción de pavimento flexible en una longitud de 900 ml del tramo en estudio.
- En la etapa de proyecto, se deben hacer los estudios necesarios para saber con qué materiales se cuenta e indicar los tratamientos a los que deben sujetarse para utilizarse en las diferentes partes de la estructura.
- En la etapa de proyecto, se debe definir las actividades de mejora de las características técnicas implican el ajuste de los componentes de la infraestructura vial, en ensanchar la vía, reestablecer la sección transversal, mejorar las bermas del pavimento y mejorara el sistema de drenaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Corporación Andina de Fomento -CAF. (2020). *Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040*. CAF. Caracas, Venezuela.

Escudero, W. (2018). *Análisis del estado de preservación del pavimento flexible de la AV. Antenor Orrego tramo urb. Trupal-urb. Los Claveles, utilizando el método del Índice de Condición de Pavimento PCI*. (Tesis Para Obtener el título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad Privada de Trujillo, Trujillo, Perú.

Jamachi, H (2018). *Evaluación comparativa del deterioro de pavimentos de la Ciudad de Puno con Aplicación de los Métodos PCI y ASOCCEM*. Tesis Para Obtener el título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad Andina Néstor Cáceres Velázquez, Puno, Perú.

Juárez Badillo, E., & Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos*. Mexico D.F.: Limusa.

Kogan, J. (2004). Perú: análisis del sector transporte (Serie informes sectoriales. Infraestructura, (2)3). Caracas: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/395>

Leguia, P., & Pacheco, H. (2016). "*Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pavement condition index (PCI) en las vías arteriales: cincuentenario*". Tesis de Pregrado, universidad de san martin de porres, facultad de ingeniería y arquitectura, Lima.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, M. d. (2019). *Manual de Diseño de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*.

Escudero, W. (2018). *Análisis del estado de preservación del pavimento flexible de la AV. Antenor Orrego tramo urb. Trupal-urb. Los Claveles, utilizando el método del Índice de Condición de Pavimento PCI*. (Tesis Para Obtener el título Profesional de Ingeniería Civil). Universidad Privada de Trujillo, Trujillo, Perú.

- Huaccha, L. A. (2019). *Evaluacion Comparativa del Diseño Geometrico del Caino Vecinal Jesus - Laguna San Nicolas, Distrito de Jesus, Cajamarca con e Manua de Carreteras no Pavimentadas de Bajo çvolumen de Transito*. Cajamarca.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos*. Mexico D.F.: Limusa.
- L., R. P. (2009). *el Levantamiento Topografico uso del GPS y Estacion Total*.
- Leguia, P., & Pacheco , H. (2016). *"Evaluacion superficial del pavimentos flexible por el metodo pavement condition index (PCI)en las vias arteriales: cincuentenario,*. Tesis de Pregrado, universidad de san martin de porres, facultad de ingenieria y arquitectura, Lima.
- Lopez, F. G. (2018). *Mejoramiento y Rehabilitacion de la Carretera Vecinal Juan Guerra - Bello Horizonte Con Estabilizacion de Suelo Cemento del Terreno de Fundacion y Capa de Afirmado Distrito de Juan Guerra, Provincia de San Martin, Region an Martin*. Tarapoto.
- Paul, B. A. (2019). *Propuesta de Diseño Geometrico en Perfil Para Caminos de Bajo Volumen de Transito de la Provincia de Canta*. Lima.
- Pezo, L., & Lozano, C. (2018). *Estudio definitivo del mejoramiento de la infraestructura vial urbana de los jirones Jr. Manco Cápac cdra. 01 al 06, Jr. Felipe Saavedra cdra. 03 y 06, Jr. Marcos Ríos Mori cdra 01, Jr. Eladio Pashanace Tapullima y Jr Remigio Reátegui*. Tarapoto: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO.
- Salcedo, F. S. (2018). *Rehabilitacion y Mejoramiento en Vias de Bajo Volumen de Transito a Nivel Tratamiento Superficial Slurry Seal Canayre Puerto Palmeras - Ayacucho*. Lima.
- Valdes, Perez, & Calabi. (2012). La fisuración en pavimentos asfálticos y sus mecanismos de deterioro. *Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles RIOC*. Obtenido de <http://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/1964/1754>

ANEXOS

ANEXO N°1

ESTUDIO TOPOGRAFICO

TOPOGRAFIA:

El Estudio consta de una red de alineamientos que forman una Poligonal abierta de cuarto orden de precisión, que ofrece un procedimiento exacto para el enlace de datos de control de posición, al sistema UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (U.T.M.), el cual rige los sistemas de coordenadas, en la mayoría de los países del mundo, incluido el Perú.

Para los trabajos de levantamiento topográfico; estos serán divididos en tres clases: obras lineales, no lineales y redes, se siguió el siguiente procedimiento:

Apoiados en los vértices de las Poligonales de Control, se levantaron en campo todos los detalles planimétricos compatibles con la escala de presentación de los servicios, tales como: vivienda, veredas, carreteras, postes, etc.

Toda la información obtenida se ha procesado empleando programas, con un software de cálculo en el caso de la Estación Total (indicado en el equipo de software utilizado).

Estos trazos que generan los planos, han sido procesados en dibujos Vectorizados en Auto CAD LAND y CIVL 3D. Los archivos están en unidades métricas. Los puntos son incluidos como bloques en la capa Puntos Topográficos y controlada en tres tipos de información básica (número de punto, descripción y elevación).

EL LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO

se ejecutó con los siguientes límites de precisión.

TABLA N°30: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRAS LINEALES

Descripción	Escala	
	1:500	1:1000
Puntos por ha (en media) y todos los detalles planimétricos compatibles con la escala.	50	36
Cuadrículado (o espacio entre secciones).	10 m	20 m
Tolerancia planimétrica	0,2 m	0,3 m
Tolerancia altimétrica en Puntos Acotados	±5 cm	± 10 cm

TABLA N°31: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRAS NO LINEALES

Descripción	Escala	
	1:200	1:500
Puntos por ha (en media) y todos los detalles planimétricos compatibles con la escala.	200	36
Cuadrículado (o espacio entre secciones).	5 m	10 m
Tolerancia planimétrica	0,1 m	0,2 m
Tolerancia altimétrica en Puntos Acotados	±2 cm	± 5 cm

TABLA N°32: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO E REDES

Descripción	Escala	
	1:1000	1:2000
Puntos por ha (en media) y todos los detalles planimétricos compatibles con la escala.	36	16
Cuadrulado (o espacio entre secciones).	20 m	40 m
Tolerancia planimétrica	0,3m	1 m
Tolerancia altimétrica en Puntos Acotados	±10 cm	± 20 cm

TABLA N°33: TOLERANCIA DE POLIGONALES TOPOGRÁFICAS

Descripción	Control con Estación Total	
	Cuarto Orden	Poligonales Secundarias
Límite de error Acimutal	10" (N) [^] (1/2)	20" (N) [^] (1/2)
Máximo error en la medición de distancia	1:10,000	1:5,000
Cierre después de ajuste Acimutal	1:5,000	1:3,000
Criterio de Cálculo y Compensación	MC ó Crandall	MC ó Crandall

MEDICIÓN DE ÁNGULOS HORIZONTALES Y VERTICALES

Se efectuó apoyado en la Estación Total marca Leica, con precisión al segundo, mediante observaciones a los prismas ubicados en cada vértice de dicha Poligonal; obteniéndose ángulos Internos (Horizontales), y ángulos Directos (Verticales).

MEDICIÓN DE DISTANCIAS Y TAQUIMETRÍA

Se efectuó la medición de los lados de la Poligonal apoyados en el Distanciómetro de la Estación Total cuya precisión es de 0.001 mts. Así mismo se realizó el respectivo levantamiento Taquimétrico para obtener los detalles del terreno en cuestión.

UBICACIÓN DE BMS

Se efectuó la ubicación estratégica de puntos de control verticales denominados BMs, teniendo como apoyo la estación total, la cual determino las cotas de los puntos de control a lo largo del área de estudio, tendiendo como premisa la existencia de una fuerte pendiente que minimiza los errores cometidos al utilizar este instrumento.

PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS

tales como de presión y temperatura utilizadas en la Estación total, para la zona de estudios que adecuan a los trabajos realizados son los siguientes:

- Temperatura Promedio: 12°C
- Altura Promedio (m.s.n.m.)= 900.00
- Presión Atmosférica (ppm.)= 556
- Presión (mm/Hg)= 77

TABLA N°34: Datos de Los Elementos del Eje del Alineamiento Horizontal de la AV. LEONCIO PRADO

Cuadro 1.: DATOS DE LOS ELEMENTOS DEL EJE DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL DE LA AV.LEONCIO PRADO														
N° PI	N° Curva	Sentido	Angulo Inflexión			Radio (m)	Longitud de curva	Tangente (m)	Peralte de la Curva	Progresivas			Coordenadas del PI	
			g°	m'	s'''					PI	PC	PT	Norte	Este
0										00+000.000			1000003.270	1000003.040
1	1	I	33	32	25	75	43.904	22.601	6%	00+035.336	00+020.620	00+064.524	999959.890	1000000.802
2	2	D	11	39	40	550	111.939	56.163	3%	00+175.863	00+119.700	00+231.640	999844.207	1000068.311
3	3	I	11	57	5	217	45.264	22.715	5%	00+285.923	00+263.057	00+308.325	999739.532	1000103.551
4	4	I	3	40	20	1241	79.539	39.783	2%	00+394.587	00+354.805	00+434.343	999645.817	1000158.879
5	5	D	70	0	35	40	48.876	28.013	8%	00+617.053	00+589.040	00+637.916	999461.861	1000284.033
6	6	D	9	6	32	573	91.028	45.610	2%	00+683.526	00+637.916	00+728.944	999402.133	1000240.987
7	7	I	83	48	22	48	70.209	43.073	8%	00+783.839	00+740.766	00+810.976	999330.928	1000170.057
8	8	D	22	10	4	158	61.130	30.952	5%	00+916.089	00+885.137	00+946.267	999215.631	1000263.146
Final del Tramo Km 01+000													995141.874	1000320.889

TABLA N°35: Datos de Los Elementos del Eje del Alineamiento Actual en AV. LEONCIO PRADO

Cuadro 2: DATOS DE LOS ELEMENTOS DEL EJE DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL ACTUAL AV.LEONCIO PRADO															
N° PI	N° Curva	Sentido	Angulo Inflexión			Radio (m)	Longitud de curva	Tangente (m)	Peralte C. Actual	Progresivas			Coordenadas del PI		
			g°	m'	s''					PI	PC	PT	Norte	Este	
0											00+000.000			8248947.973	390485.773
1	1	D	9	58	0	644	112	56.154	2.0%		00+120.114	00+063.960	00+175.985	8248837.400	390532.688
2	2	I	16	51	45	158	47	23.419	2.5%		00+243.314	00+219.895	00+266.395	8248717.370	390560.453
3	3	I	4	58	57	915	80	39.810	2.5%		00+350.985	00+311.175	00+390.744	8248624.018	390614.105
4	4	D	69	50	11	40	49	27.923	7.0%		00+575.238	00+547.314	00+596.069	8248440.028	390742.312
5	5	D	7	54	11	450	62	31.085	2.0%		00+637.144	00+606.059	00+668.130	8248389.297	390706.833
6	6	I	80	27	54	40	56	33.842	6.0%		00+738.711	00+704.870	00+761.045	8248314.858	390637.733
7	7	D	20	32	6	158	57	28.621	5.0%		00+877.376	00+848.755	00+905.383	8248204.989	390722.329

ANEXO N°2

ABACOS

Ábacos del PCI

1.- Piel de Cocodrilo.

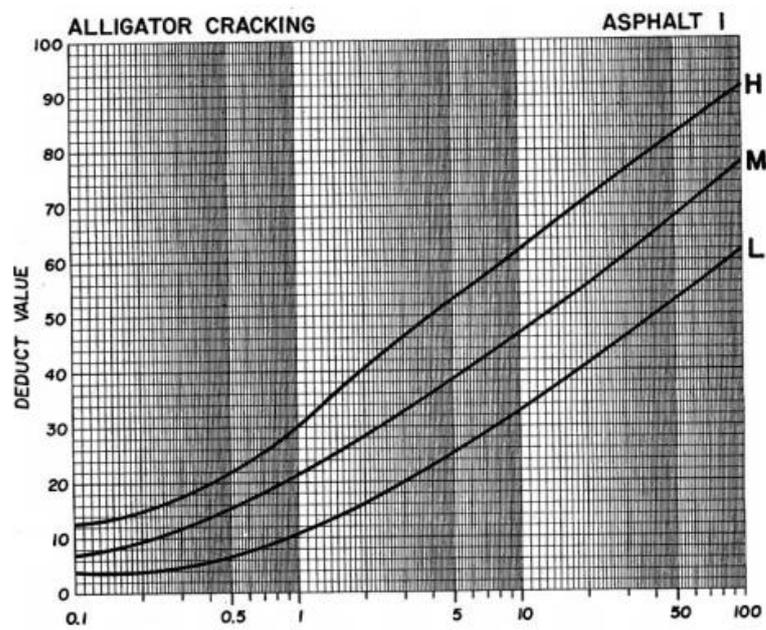


Figure C-1. Deduct value curves for alligator cracking.

2.- Exudación

3.- Agrietamiento en Bloque.

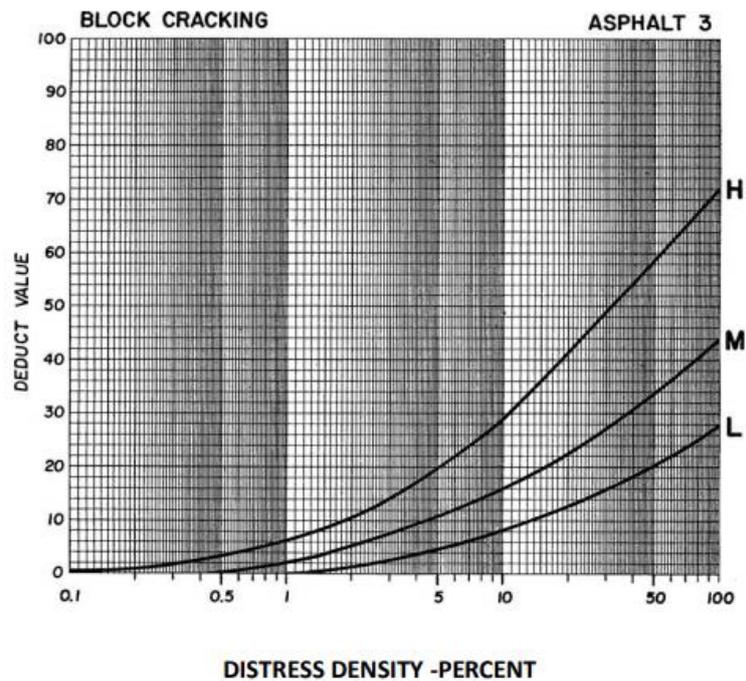


Figure C-3. Deduct value curves for block cracking.

4.- Abultamiento y Hundimiento.

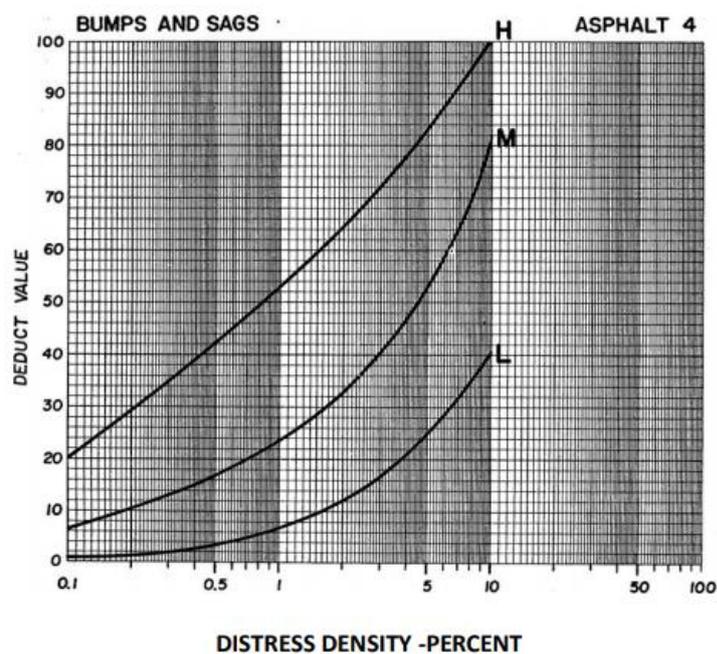


Figure C-4. Deduct value curves for bumps and sags.

5.- Corrugaciones.

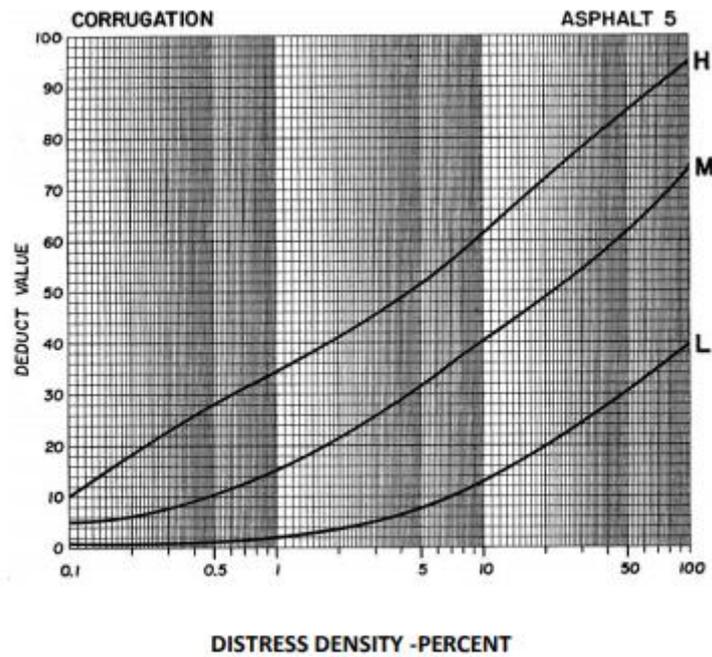


Figure C-5. Deduct value curves for corrugation.

6.- Depresiones.

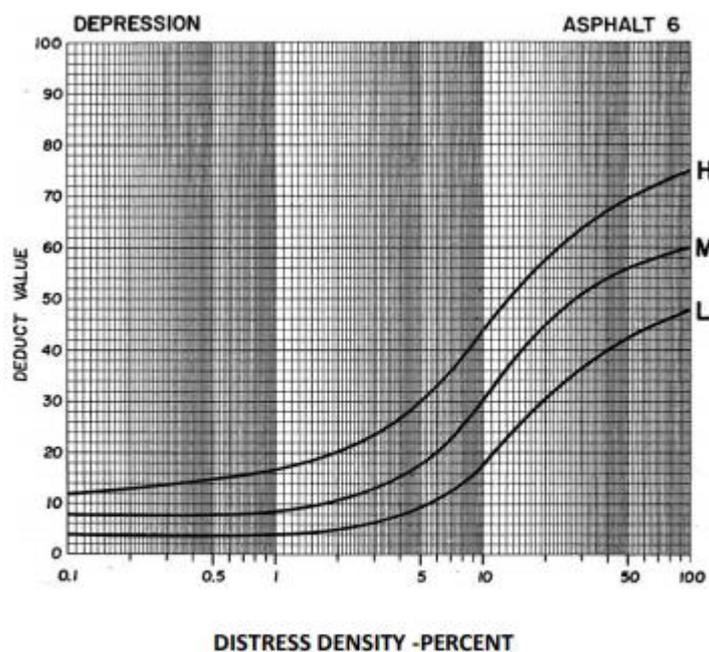


Figure C-6. Deduct value curves for depression.

7.- Grietas de Borde

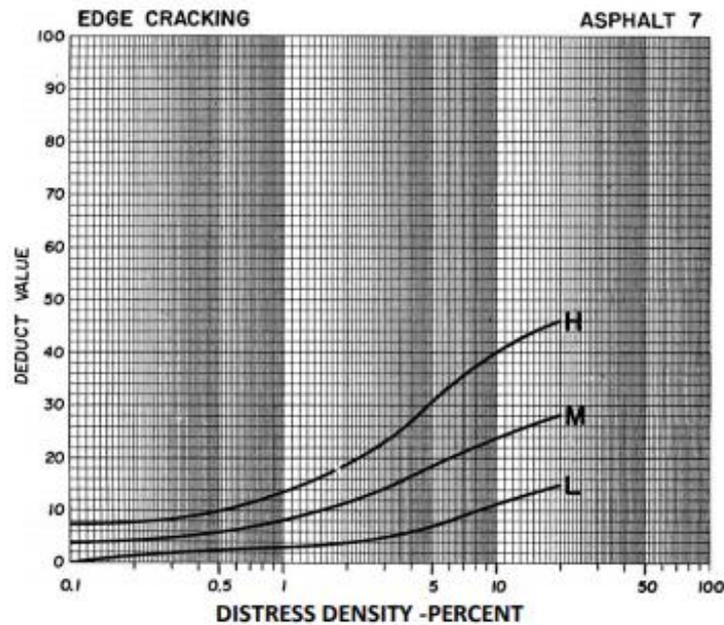


Figure C-7. Deduct value curves for edge cracking.

8.- Grietas de Reflexión de Juntas

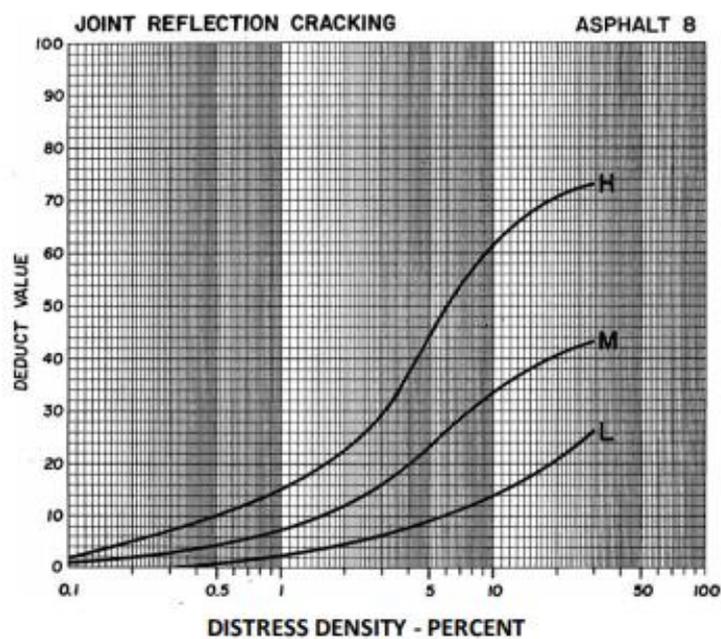


Figure C-8. Deduct value curves for joint reflection cracking.

9.- Desnivel Carril/Berma

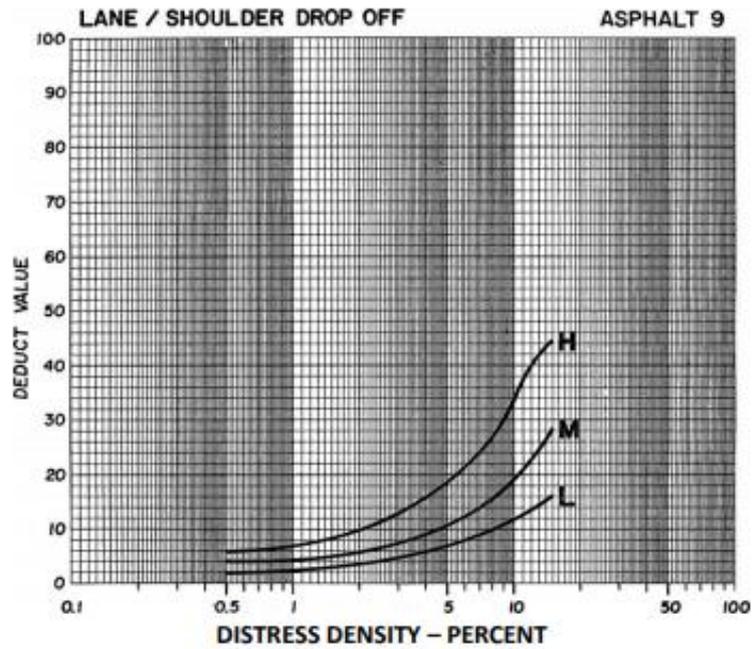


Figure C-9. Deduct value curves for lane/shoulder drop off

10.- Grietas Longitudinales y Transversales

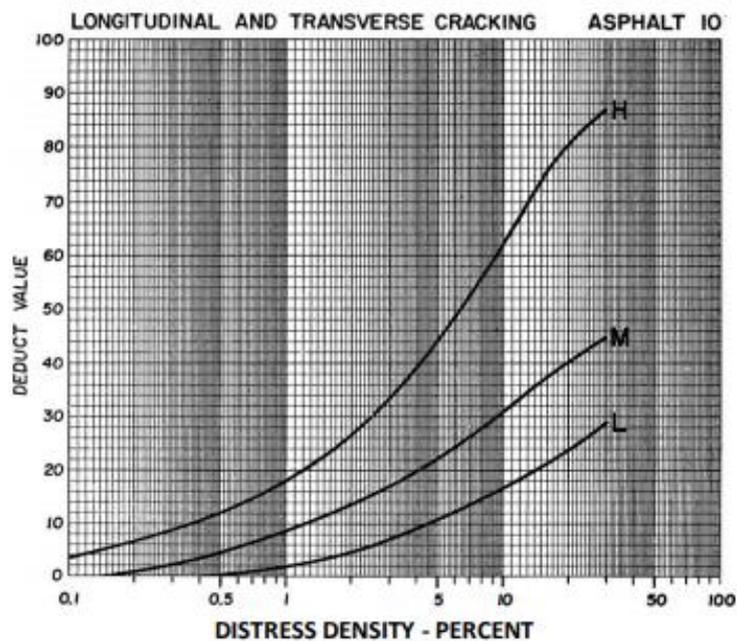


Figure C-10. Deduct value curves for longitudinal and transverse cracking.

11.- Parcheo

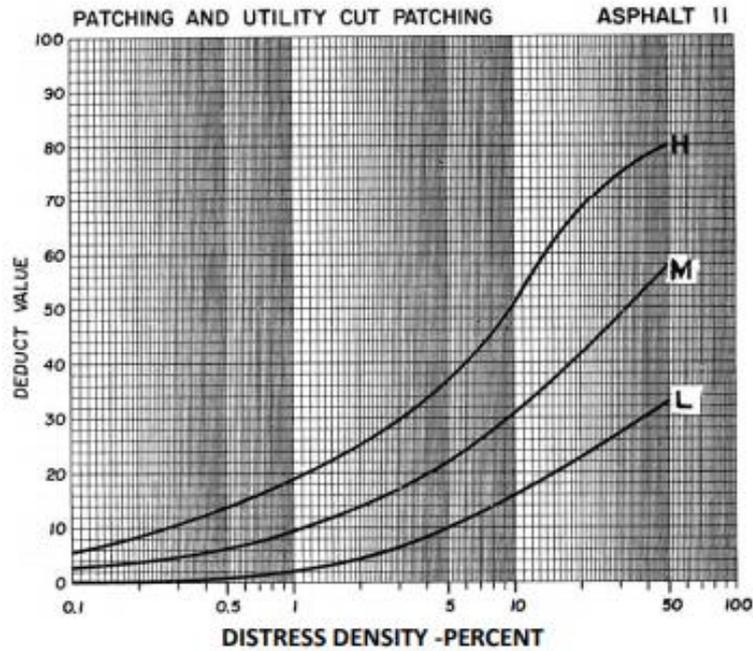


Figure C-11. Deduct value curves for patching and utility cut patching.

12.- Pulimiento de Agregados

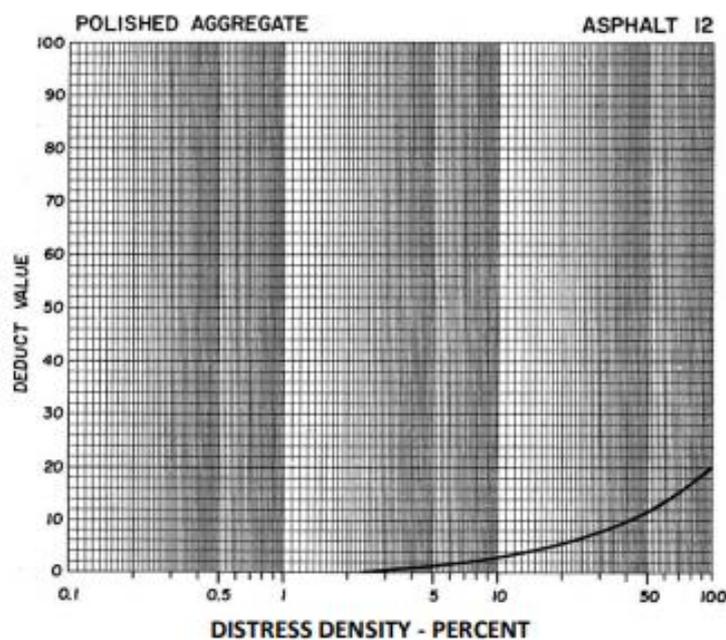


Figure C-12. Deduct value curves for polished aggregate.

13. Huecos

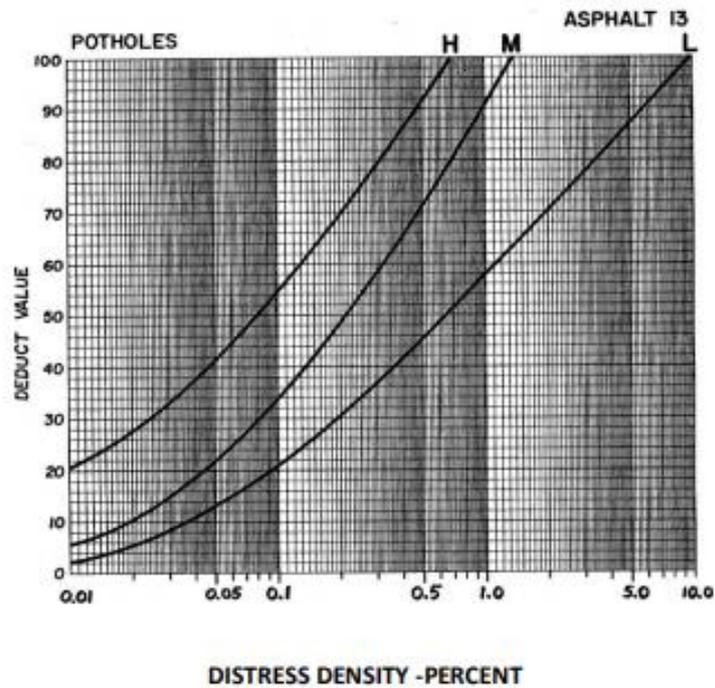


Figure C-13. Deduct value curves for potholes.

14.- Grietas Cruce de Vía Férrea

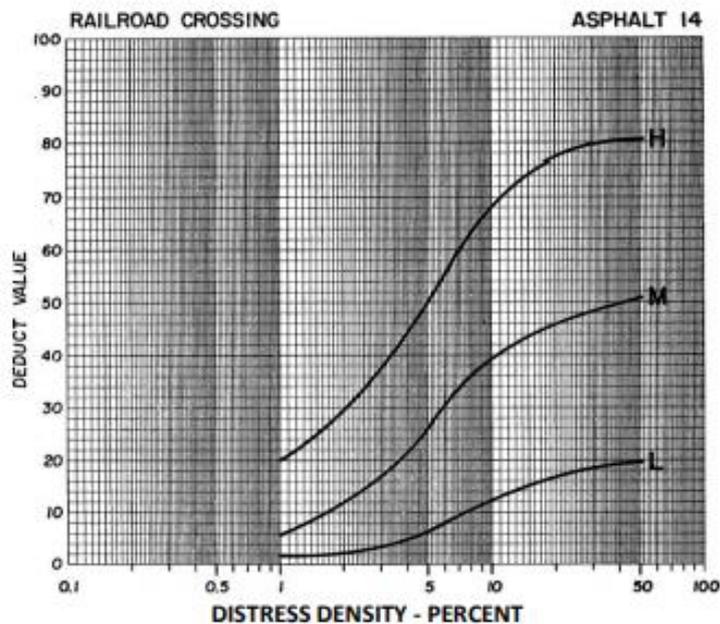


Figure C-14. Deduct value curves for railroad crossing.

15. Ahuellamiento

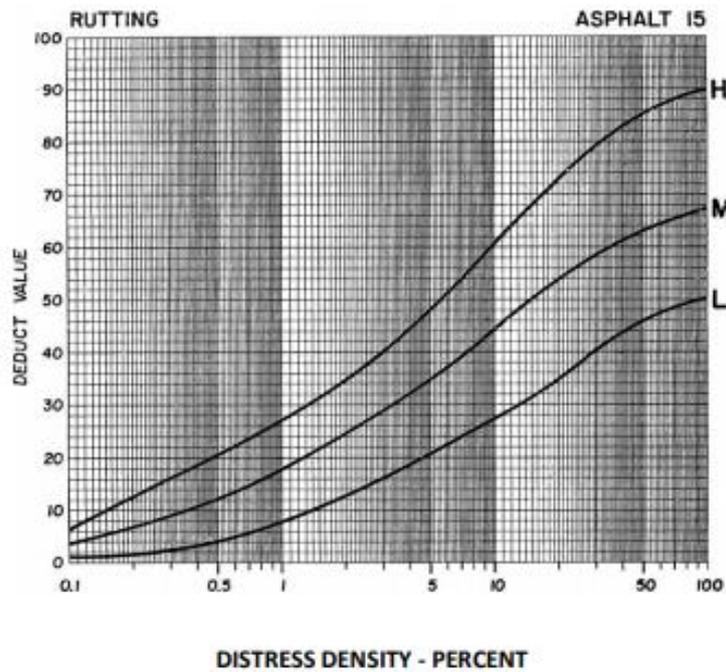


Figure C-15. Deduct value curves for rutting.

16.-Desplazamiento

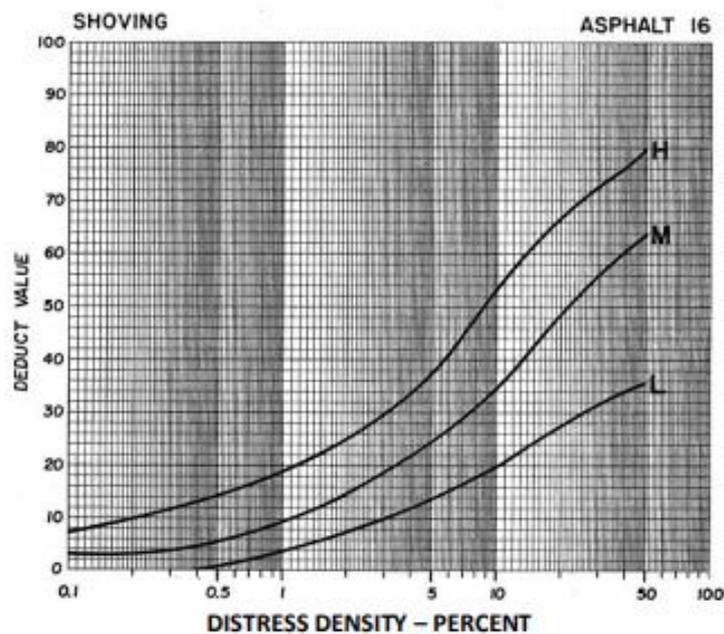


Figure C-16. Deduct value curves for shoving.

17.- Grietas de Deslizamiento

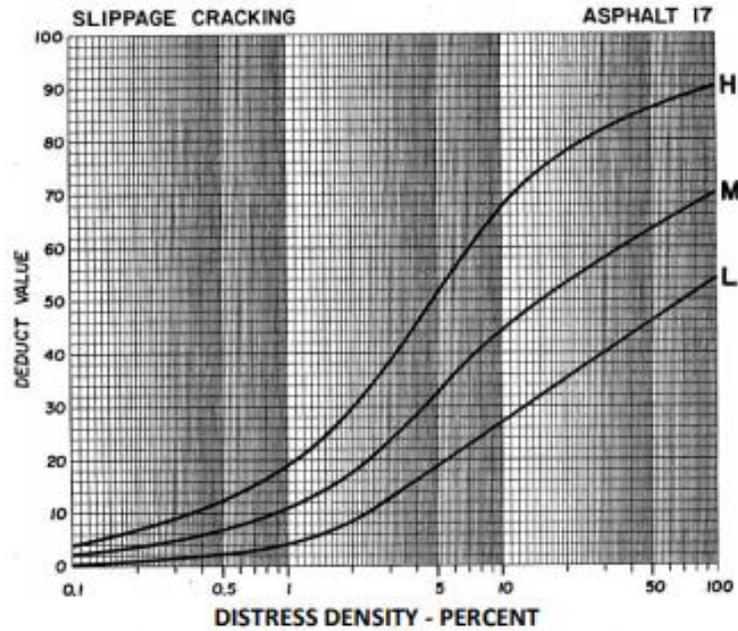


Figure C-17. Deduct value curves for slippage.

18.- Hinchamiento

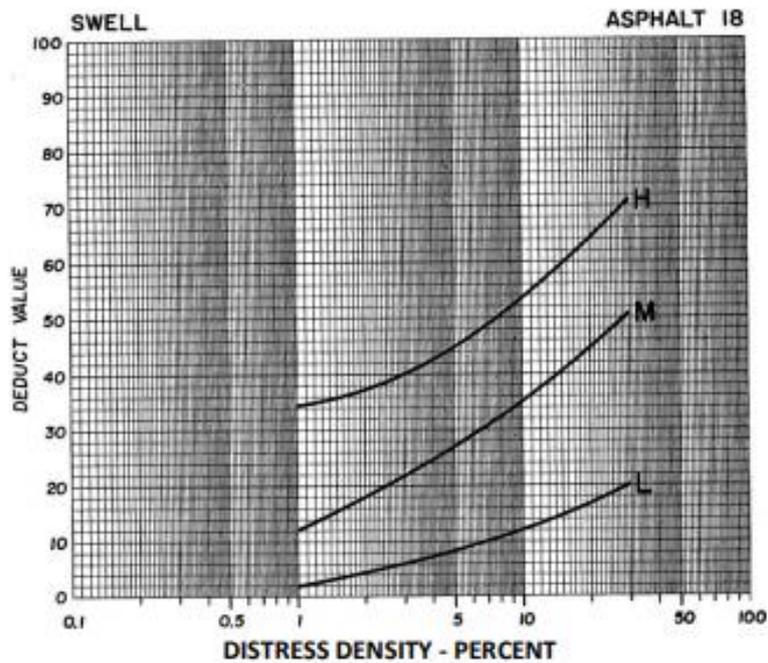


Figure C-18. Deduct value curves for swell.

19.- Disgregación y Desintegración

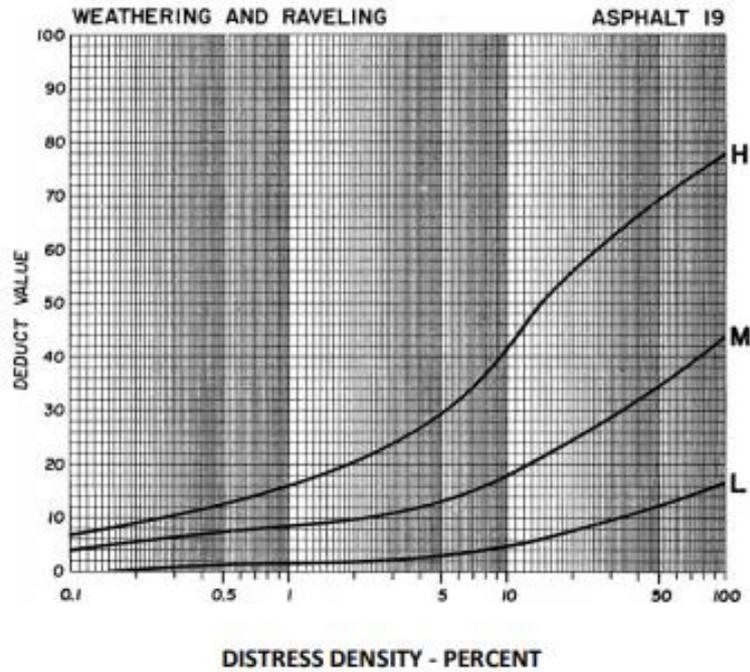


Figure C-19. Deduct value curves for weathering and raveling.

20.- Carreteras y Estacionamientos

