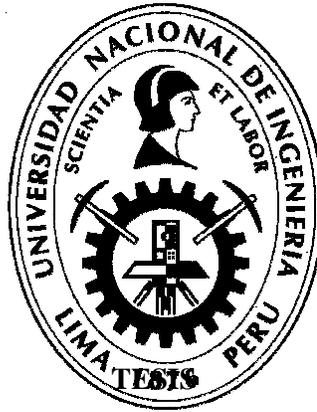


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ECONÓMICA Y C.C. S.S.
SECCION DE POSGRADO



PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN:
PROYECTOS DE INVERSION

LOS ESTUDIOS DE PREINVERSION Y UNA
PROPUESTA DE CÁLCULO DEL VALOR RESIDUAL EN
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL
PERÚ

ORLANDO HUGO RÍOS DÍAZ
OSCAR BERNARDO SALCEDO TORREJON

ASESOR:
DR. VICTOR AMAYA

LIMA, PERÚ 2013

CONTENIDO

PRESENTACION	V
CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2 OBJETIVOS	5
1.3 JUSTIFICACION	6
CAPITULO II: MARCO TEORICO	9
2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	9
2.1.1 ELEMENTOS CONCEPTUALES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS	9
2.1.1.1 Pavimentos, características y clasificación.	9
2.1.1.2 Funciones de las distintas capas de un pavimento flexible	11
2.1.1.3 Factores que influyen en el diseño de pavimentos flexibles	14
2.1.1.4 Tipos de intervención en proyectos de carreteras	17
2.1.1.5 El método de la AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles	23
2.1.2 POLITICAS DE CONSERVACION EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	32
2.1.2.1 Políticas de Conservación de los pavimentos	32
2.1.2.2 Aplicación de políticas de conservación en carreteras	38
2.1.3 EL DETERIORO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	40
2.1.3.1 Comportamiento funcional y estructural del pavimento	40
2.1.3.2 Deterioro de los pavimentos	43
2.1.3.3 Variables que influyen en el deterioro del pavimento	45
2.1.4 ELEMENTOS CONCEPTUALES DE LOS MODELOS DE DETERIORO EN EL HDM-4	47
2.1.4.1 Principios en los Modelos de Deterioro	47
2.1.4.2 Modelación del deterioro en el HDM-4	55
2.1.5 COSTOS EN PROYECTOS DE CARRETERAS	59
2.1.5.1 Estructura de costos en obras de carreteras	59
2.1.5.2 Estimación de indicadores de costo para carreteras	61
2.1.6 LA EVALUACIÓN ECONOMICA Y EL VALOR RESIDUAL EN CARRETERAS	67
2.1.6.1 Propósito de la evaluación económica de carreteras	67
2.1.6.2 Componentes del costo de transporte	70
2.1.6.3 Método de evaluación económica	73
2.1.6.4 Impacto el valor residual en las decisiones de inversión en carreteras	76
2.2. REVISION DE LITERATURA QUE SE OCUPA DEL PROBLEMA	79
2.2.1 LA CONSERVACION DE LA RED VIAL NACIONAL EN EL PERU	79

2.2.2	EL IRI COMO INDICADOR DEL DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA	84
2.2.3	METODOS ACTUALES PARA DETERMINAR EL VALOR RESIDUAL	88
2.2.3.1	Evaluación de los métodos para determinar el Valor Residual	88
2.2.3.2	Selección del método para determinar el Valor Residual en carreteras	95
2.2.4	REVISION DE AUTORES QUE TRATAN SOBRE EL VALOR RESIDUAL	97
2.2.4.1	Consideraciones del Sistema Nacional de Inversión Pública, respecto al valor residual.	97
2.2.4.2	Medios empleados por otros autores.	99
2.2.4.3	Método escogido para la determinar el valor residual en carreteras	103
2.3.	MODELO TEORICO	105
2.4.	VARIABLES EMPLEADAS	106
2.4.1.	VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES	106
2.4.2	DESCRIPCION Y MEDICION DE VARIABLES	107
2.5.	HIPOTESIS	108
2.6.	MATRIZ DE CONSISTENCIA	109
	CAPITULO III: METODOLOGIA	111
3.1.	NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACION	111
3.2.	UNIVERSO Y MUESTRA	112
3.3.	FUENTES DE INFORMACION	113
3.4.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	114
3.5.	TECNICAS DE ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS	116
3.6.	PRUEBA DE HIPOTESIS	119
	CAPITULO IV: APLICACIÓN DE METODOLOGIA A PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL	127
4.1.	DATOS TECNICOS DEL PROYECTO QUE SE REQUIEREN EN EL MODELO HDM-4	127
4.2.	SIMULACION DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO - HDM	133
4.3.	EVALUACION DEL DETERIORO – ANALISIS DE RESULTADOS DEL HDM	135

4.4. REDISEÑO DEL PAVIMENTO – AASHTO	136
4.5. DETERMINACION DEL COSTO DE REPOSICION DE LA CARRETERA Y DEL VALOR RESIDUAL	137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFIA	141
ANEXOS	144
ANEXO N°1: GLOSARIO	145
ANEXO N°2: ELEMENTOS CONCEPTUALES EN LA GESTION DE PAVIMENTOS	146
ANEXO N°3: METODOS DE VALORACION DE ACTIVOS	173
ANEXO N°4: MODELO DE DETERIORO EN EL HDM	188
ANEXO N°5: PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL: ENTRADAS Y SALIDAS EN EL HDM - IV	196

PRESENTACION

La investigación se ha estructurado en cuatro capítulos diferenciados. El Capítulo I constituye una introducción, donde se encontrará tres secciones (subcapítulos 1.1, 1.2, y 1.3). La primera introduce al problema de no contar con parámetros (valores establecidos) que recomienden el valor residual en carreteras para proyectos de inversión pública vial, basado en modelos de deterioro del pavimento, siendo los recomendados por el Sistema Nacional de Inversión Pública, inferiores a los originados por un análisis de deterioro de pavimentos. La segunda sección corresponde al objetivo que persigue la presente investigación en el ámbito de las carreteras asfaltadas, determinar el valor residual de las mismas luego de un cierto periodo de servicio, para su uso en los estudios de preinversión. La tercera sección muestra la justificación de seleccionar y utilizar un método (de los varios existentes) para estimar el valor residual dentro de la evaluación económica de infraestructuras viales.

El Capítulo II corresponde al marco teórico y en su primera sección (subcapítulo 2.1 conceptos fundamentales), se ilustra de manera sencilla los tipos de pavimentos que existen en la actualidad, para luego describir los parámetros claves considerados en el diseño de los pavimentos flexibles. También, y con el propósito de familiarizar el uso de las terminologías que se harán en los subcapítulos posteriores, se definen los tipos de intervención que se realizan a las carreteras en la actualidad. Luego se presentan los métodos de diseño que utilizan en la ingeniería de pavimentos, describiendo el método más usado para el diseño de pavimentos flexibles, que es el método de la AASHTO.

En este subcapítulo, se definen las políticas de conservación y la forma en que se aplican para el caso de carreteras asfaltadas. También se examina los modelos clásicos de deterioro en los pavimentos flexibles y las variables que influyen en el deterioro del pavimento. Se presenta los modelos de deterioro que utiliza el HDM (Highway Development and Management tool) en su versión 4 en forma más específica, y la información que requiere dicho modelo para simular el deterioro del pavimento.

En este subcapítulo también se aborda conceptos de los diferentes tipos de costos que se producen en la carretera, definiendo en forma sencilla su estructura básica y presentando algunos indicadores básicos de costos que se utilizan en carreteras. Luego en una sección aparte se explica la importancia del valor residual en la evaluación económica de carreteras y sus efectos en la toma de decisiones para implementar o no una infraestructura vial.

En el subcapítulo 2.2, se hace una revisión explicando los métodos actuales que se utilizan para determinar el valor residual, evaluando las teorías empleadas para la determinación del valor residual y su uso para carreteras, seleccionando luego el método que se adecua para determinar el valor residual en carretera. Finalmente, se hace una revisión del aporte teórico de los autores que tratan sobre el valor residual en carreteras, versus lo considerado por el SNIP dentro de sus guías y metodologías propuestas.

En el subcapítulo 2.3 y 2.4 se desarrolla el modelo teórico y se define las variables requeridas para determinar el valor residual en carreteras asfaltadas. Estos subcapítulos corresponden al objetivo de la investigación donde se desarrolla el método seleccionado para calcular el valor residual en una carretera asfaltada y, finalmente termina presentando la propuesta del método para calcular el valor residual en carreteras. Finalmente, en los subcapítulos 2.5 y 2.6 se establecen la hipótesis y la matriz de consistencia.

El capítulo III corresponde a la metodología de la investigación realizada, se expone el tipo de investigación realizada, la muestra de carretera que fueron evaluadas (para distintas zonas geográficas), la fuente de información utilizada y los instrumentos metodológicos requeridos.

En el capítulo IV (subcapítulo 4.1), se determina el valor residual de un proyecto de construcción y mejoramiento de una carretera asfaltada, mediante la aplicación del procedimiento específico antes mencionado. En este caso, se ha tomado los datos del

proyecto “Construcción y Mejoramiento de la carretera Churín – Ayón”, perteneciente a la red vial nacional (ruta nacional PE-018) en la zona geográfica de la Sierra.

Finalmente, se agrupa las conclusiones y recomendaciones finales derivadas de la presente tesis.

CAPITULO I: INTRODUCCION

La evaluación de proyectos de infraestructura a través del método Costo – Beneficio es el procedimiento usado y recomendado por el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), para determinar la conveniencia o no de un proyecto de inversión de infraestructura de carreteras.

Como tal método implica la monetización o la expresión en moneda de todos los costos y beneficios de un proyecto, significa que las variables determinantes de los ingresos y egresos de un proyecto o de un flujo de caja deben tener un valor de mercado o, de no tenerlo, por lo menos indirectamente, a través de la reducción de uso de recursos que promueve el proyecto como alternativa para determinar los costos y beneficios de una infraestructura vial.

En ese sentido, la presentación de los estudios de preinversión de carreteras, ámbito donde se realiza la evaluación ex – ante de los proyectos viales, cumplen con expresar las fuentes de beneficios y costos en valores monetarios. En resumen, se puede decir que la fuente de beneficios de un proyecto de carretera está constituida por la reducción en los costos operativos vehiculares, reducción de tiempos de viaje, reducción de costos de mantenimiento, reducción de accidentes, entre los componentes más significativos en términos de montos monetarios. Y los costos están representados básicamente por las inversiones iniciales.

Sin embargo, hay otras variables que no son tomadas en cuenta y que representan genuinas fuentes de costos o beneficios del proyecto vial. No se considera debido a la difícil estimación de tales flujos, por la falta de acuerdo sobre las metodologías y variables a usar en la estimación de tales otras fuentes y/o porque su impacto en el resultado del proyecto (en el VAN y TIR económicos) es marginal. Por ejemplo, beneficios por reducción de emisiones de gases, de ruidos, costos de contaminación visual, etc.

También existen los parámetros de la evaluación económica de carreteras, y de la evaluación económica en general de infraestructuras, que el SNIP determina a través de estudios especializados como la tasa social de descuento o el valor del tiempo.

Otros parámetros son fijados en parte, es decir, son valores fijados por la máxima entidad técnico normativa del SNIP, la Dirección General de Programación Multianual (DGPM) del Viceministerio de Economía del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) o las Oficinas de Programación de Inversiones sectoriales (OPIs), las entidades técnicas del SNIP en los ministerios o Gobiernos Regionales y Locales, pero que pueden ser variados o recalculados por las unidades formuladoras, siempre y cuando estén dentro de un rango considerado como razonable. Así en el caso de proyectos de carreteras, los costos de combustibles, de vehículos típicos, de partidas de mantenimiento, entre otros, suelen tener variaciones de estudio en estudio, lo cual no implica un mal uso de tales valores pues como tales precios existen en el mercado sería fácilmente advertido el uso de unos valores exagerados, usados de manera sesgada para favorecer algún tipo de resultado del proyecto. Son parámetros para los cuales no existen estudios especializados porque la información es tan amplia y clara en su comprensión que no exigen un gran rigor para su determinación

Pero existen otros parámetros cuyos valores o magnitudes no están sujetos a variaciones por parte del formulador a pesar de no tener las autoridades técnicas del SNIP estudios especializados que los respalden. Son parámetros en el estricto sentido de la palabra, es decir, valores fijos. Las entidades técnicas del SNIP no permiten otros valores a los que dichas entidades han establecido. Las razones para ello parecen tener más que ver con actitudes conservadoras por parte de las entidades técnicas, aunadas a la necesidad de una gran cantidad de evidencia empírica para determinar ciertos parámetros. Ejemplo, la determinación del tráfico generado (el crecimiento del tráfico debido a una mejora sustancial de la carretera). En este caso, parece ser cierto que la tasa correspondiente tiene que ver no sólo con la mejora de la carretera sino también con el tipo de zona productiva, la importancia demográfica de los orígenes y destinos más importantes a lo largo de la vía, etc. Al parecer no habría una sola tasa y la información estadística tendría que ser importante, no bastarían algunos estudios de

evaluación ex – post (un par o media decena de ellos). Y como las unidades formuladoras no hacen el esfuerzo de llevar a cabo un gran estudio que necesariamente implica algunos años de investigación, el tema termina siendo resuelto por parte de las autoridades del SNIP de una manera que a estas alturas del funcionamiento de tal sistema (diez años) no tiene justificación.

Ese es igualmente el caso de la variable “valor residual de la inversión”, “valor de recupero” o “valor de liquidación de la inversión”. Dicha variable ha sido establecida en 20 por ciento del valor inicial de inversión de la carretera. No existe un estudio específico al respecto, sólo referencias a través de material didáctico expositivo por parte de la DGPM - MEF y/o de sus OPIs. El sustento teórico o empírico no existe, ni siquiera se sabe si el porcentaje usado proviene de un valor claramente establecido en otros sectores o tipos de proyectos.

Dado que un porcentaje del doble o del triple del usado hasta el momento puede ser importante como fuente adicional de ingresos de los proyectos de carreteras se evidencia la importancia de un cálculo fundamentado, racional o científico. Además, cuanto más clara y transparente sea la información que se use en los estudios de preinversión más confiable y legítima será considerado el sistema (SNIP) por parte de las unidades formuladoras, las autoridades políticas y población involucrada en general que siempre critican al SNIP por percibirlo como una entidad poco proclive al cambio y que mantiene criterios y procedimientos poco consensuados o determinados unilateralmente, lo que le otorga un área de verticalidad, autoritarismo e impermeabilidad.

En ese sentido, **la presente tesis** pretende poner a disposición de la sociedad (formuladores y evaluadores del sector transportes) una propuesta de valores residuales, a través de la aplicación de un procedimiento existente, para su uso en proyectos de carreteras asfaltada luego de un cierto periodo de servicio, dentro de cierto grado de error, basado en el análisis del deterioro de pavimentos.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que se presenta es que no existen valores o parámetros que determinen el Valor Residual en carreteras, dentro del marco del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) para el análisis de viabilidad de las inversiones en proyectos de infraestructura vial. El valor recomendado por la máxima autoridad técnico-normativa del SNIP (El Ministerio de Economía y Finanzas) asume que es 20 por ciento, que a la luz de los métodos o procedimientos presentados en la presente tesis es bastante baja.

Problema General

- ¿Es posible calcular valores residuales en proyectos de carreteras (con procedimientos ya existentes con dicho fin), dentro del marco del Sistema Nacional de Inversión Pública - SNIP para los estudios de preinversión?

Problemas Específicos

Adicionalmente, se cuenta con las siguientes interrogantes:

- ¿Es el valor residual (como porcentaje de la inversión inicial) propuesto por el Ministerio de Economía y Finanzas –SNIP un indicador que subestima el verdadero valor residual de un proyecto de carreteras?
- ¿El valor residual es mayor a 50 por ciento cuando el deterioro del pavimento se encuentra con un IRI (índice de rugosidad del pavimento) mayor a 3.5, pero menor a 4.5?
- ¿El valor residual es mayor a 70 por ciento cuando el deterioro del pavimento se encuentra con un IRI (índice de rugosidad del pavimento) menor a 3.5,?

1.2 OBJETIVOS

Objetivo General

El propósito de la presente investigación es: Seleccionar un método que permita determinar el valor residual de una carretera asfaltada luego de cierto periodo de servicio u operación, basando en el comportamiento estructural del pavimento en función del IRI, para su uso en los estudios de preinversión.

Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que se trata de alcanzar con la presente investigación, se definen como sigue:

- Verificar, a través del método seleccionado, si el valor residual recomendado por Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), se encuentra subestimado, es decir, el verdadero valor residual estimado con la metodología seleccionada debería ser mayor a 20 por ciento.
- Proponer valores residuales (parámetros) para proyectos de asfaltados de carreteras de acuerdo al método de cálculo propuesto cuando el deterioro del pavimento se refleja en un IRI mayor a 3.5, pero menor que 4.5.
- Proponer valores residuales (parámetros) para proyectos de asfaltados de carreteras de acuerdo al método de cálculo propuesto cuando el deterioro del pavimento se refleja en un IRI menor a 3.5.

La principal NOVEDAD de la investigación es la incorporación a la teoría de proyectos de inversión, métodos objetivos basados en el análisis estructural del pavimento (en función del IRI) para determinar el valor residual en carreteras.

1.3 JUSTIFICACION

El presente trabajo tiene importancia metodológica, práctica y con posibles aplicaciones teóricas para el desarrollo de los estudios de preinversión de proyectos de asfaltado de carreteras en el país, pero además en la ejecución de su infraestructura vial y por ende en la acumulación de capital físico con sus consecuentes impactos en el crecimiento en el largo plazo, en la dinamización de la demanda en el corto plazo así como en la integración del país, como se verá inmediatamente.

Los proyectos de infraestructura de transporte, especialmente el asfaltado de carreteras de la Red Vial Nacional, son en términos presupuestales los que requieren mayores recursos. Por lo tanto, la culminación de los mismos tiene un impacto notable sobre la acumulación de capital y sobre la oferta o producción a largo plazo. En el corto plazo, por sus efectos sobre la demanda agregada, pueden actuar como reactivadores de la actividad económica, en medio de un contexto internacional recesivo. Pero llevar a cabo los proyectos de carreteras requiere previamente cumplir con el requisito de la viabilidad del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP). Dicho sistema consiste en cumplir una serie de estudios (llamados de preinversión) en los cuales debe quedar claramente establecido la conveniencia económica de los proyectos de inversión que se quieren ejecutar.

El SNIP ha decidido que la conveniencia económica de los proyectos de inversión en carreteras sea determinado por el VAN económico de los mismos. Es decir, un proyecto de carreteras es rentable (y por ende viable) si sus costos son menores a sus ingresos en el horizonte de tiempo establecido y a valor presente. En términos generales, los costos de un proyecto de asfaltado de carreteras se pueden resumir en dos: costos de inversión y costos de mantenimiento; mientras que los beneficios pueden acotarse en beneficios por reducción de costos de operación vehicular, de tiempos de viaje (por la mejora de la carretera) y un valor residual del proyecto.

Los proyectos de carreteras dependen fundamentalmente de los dos primeros tipos de beneficios mencionados, los que a su vez dependen del volumen de tráfico (a mayor

tráfico mayores reducciones de costos de operación vehicular y de tiempos de viaje). El valor residual aporta un beneficio marginal debido a que el SNIP considera que este no debe ser mayor al 20 por ciento del valor de la inversión inicial. Este “parámetro” no ha sido determinado a través de un trabajo específico como sí se ha hecho en el caso de otros parámetros como la Tasa Social de Descuento, el Valor del Tiempo de Viaje, el Precio de la Divisa, etc.

El porcentaje establecido no figura en ningún documento oficial del SNIP, es más bien una convención entre las autoridades del sistema (la Dirección General de Programación de Inversiones del Ministerio de Economía y Finanzas y sus oficinas establecidas en los diversos ministerios y gobiernos locales y regionales), que revisan los estudios y declaran la viabilidad o no del proyecto, y los formuladores de proyectos (que son las entidades que quieren ejecutar los proyectos). Ello se puede comprobar cuando se revisan los estudios de preinversión de carreteras de Provias Nacional o de los Gobierno Regionales, en los que se puede verificar que el ratio usado es invariablemente 20 por ciento.

Sin embargo, el valor residual del proyecto puede convertirse en una fuente de beneficios no despreciable si éste es superior al usado por convención, sobre todo si tal valor representa un porcentaje igual o superior al 50 por ciento del valor inicial de la inversión (que es una de las hipótesis del presente trabajo), ya que ello representaría casi triplicar el valor obtenido a través del 20 por ciento, lo que sería más evidente en el caso de proyectos que tienen un VAN no exageradamente negativo, cero o ligeramente positivos y que pueden ser pospuestos en su ejecución o dejados de lado por una supuesta falta de robustez económica, perdiéndose el país la posibilidad de ayudar a la demanda agregada, al crecimiento en el largo plazo y al usufructo de los beneficios de una carretera asfaltada por parte de la población del interior del país.

Es en ese sentido que se dice que el presente trabajo tiene varias justificaciones. Por el lado teórico, aportar al SNIP con un sustento académico que permita utilizar un parámetro de manera confiable y segura, igual como se hace con la Tasa de Descuento u otros parámetros ya mencionados. Por el lado práctico, ofrecer un procedimiento

concreto para estimar el valor residual ya sea para carreteras que se piensen asfaltar, afirmar o pavimentar concreto rígido, e incluso para otros proyectos de infraestructura de transporte debido a la similitud que comparten con los proyectos de carreteras: una vida útil de los principales componentes de la infraestructura mayor al horizonte de tiempo de la evaluación económica relevante. Calcular valores residuales específicos para su uso generalizado en los estudios de preinversión de proyectos de inversión de carreteras asfaltadas. Finalmente, desde el punto de vista de la actividad económica, generar más inversión que impacte favorablemente en el corto y largo plazo, a través de mayor demanda y mayor capacidad de oferta respectivamente.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

El estudio del valor residual en la evaluación económica de proyectos de carreteras, no sería muy satisfactorio al menos que tengamos un conocimiento apropiado con los métodos y las teorías para el diseño de pavimentos, así como las bases conceptuales de los distintos modelos de deterioro que se presentan en los pavimentos y los tipos de mantenimiento que se realizan al pavimento flexible.

También es necesario estudiar los diferentes enfoques que son utilizados para determinar el valor residual. Finalmente se hace una revisión de los métodos y enfoque que los autores utilizan para determinar el valor residual, haciendo un paralelo con las consideraciones que utiliza el Sistema Nacional de Inversión Pública.

2.1.1 ELEMENTOS CONCEPTUALES EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Este capítulo no pretende abarcar todos los aspectos de la ingeniería de pavimentos o considerar todos los tipos de pavimentos, sino mas bien, trata de introducir al lector lo que significa un pavimento, los tipo de pavimentos que existen en la actualidad, la función de cada una de las capas que la componen y los principios y parámetros claves para su diseño. Finalmente se termina describiendo los tipos de intervención que se realizan a las infraestructuras viales.

2.1.1.1 Pavimentos, características y clasificación.

Pavimentos, definición

Un pavimento es un elemento estructural monocapa o multicapas, construido sobre la subrasante de la vía, diseñado para soportar los esfuerzos de las cargas repetitivas que el transito le transmite durante un periodo de tiempo para el que fue diseñado. Dicho periodo de diseño es conocido como la vida útil o vida de servicio de la vía.

Clasificación de los Pavimentos

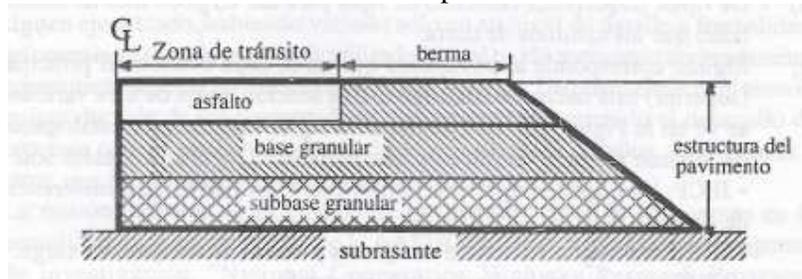
Según la superficie de rodadura, los pavimentos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- I. **Superficie de rodadura no pavimentada**, son aquellos caminos cuya superficie de rodadura es una porción de suelo que a sido nivelado, perfilado y compactado. Estos caminos pueden ser:
 - a. **Caminos de tierra**, donde la superficie de rodadura está constituido por el suelo natural.
 - b. **Caminos de grava**, constituido por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75mm.
 - c. **Caminos afirmados**, constituido por una capa de revestimiento con material de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con un dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos e material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo de 25mm.
 - d. **Caminos afirmados estabilizados**, con material granular y finos gigantes, asfalto (imprimación reforzada), cemento, cal, aditivos químicos y otros.

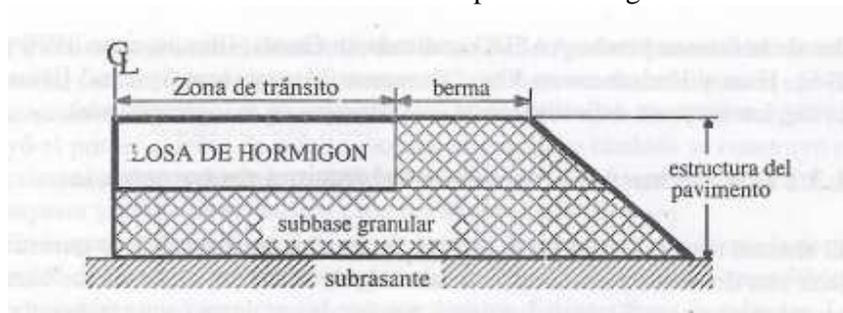
- II. **Superficie de rodadura pavimentada**,
 - a. Pavimentos flexibles, constituido por capas granulares (subbase y base) y una superficie bituminosa de espesor variable. Cuando el espesor de la superficie bituminosa es menor a 25mm se denominan tratamientos superficiales, y si dicha capa es de espesor mayor a los 25mm, se denominan carpeta asfáltica.
 - b. Pavimentos rígidos, constituido por una capa superficial de concreto de cemento Portland (losa), que puede estar reforzado con armadura, por debajo de la losa se coloca habitualmente una capa granular de base.

Debido a que los pavimentos flexibles son los más representativos de la red vial nacional – tomadas como referencia en esta tesis -, la presente investigación analiza con más detalle en los capítulos siguientes, las teorías de diseño y los modelos que rigen su comportamiento.

Sección transversal del pavimento flexible



Sección transversal del pavimento rígido



2.1.1.2 Funciones de las distintas capas de un pavimento flexible

Un pavimento tiene como función estructural, la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial. Los pavimentos flexibles están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base la calidad de las capas es descendente hacia abajo, ello es principalmente por la mayor intensidad de los esfuerzos que les son transmitidos.

Sub-base granular

Es un material de préstamo, que se coloca entre la subrasante y la base. Una de las principales funciones de la sub-base de un pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella capa más delgada y sustituirla en parte por una sub-base de menor calidad, aun cuando esto traiga consigo un aumento en el espesor total del pavimento, pues, naturalmente cuando menor sea la calidad del material colocado, mayor será el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Otra función consiste en ser anticontaminante, al servir de transición entre el material de base, y la subrasante, impide el arrastre de finos de la subrasante hacia la base, también para impedir que las gravas y piedras de la base se induzcan en la subrasante. Y como capa resistente, se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante, por ejemplo cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

Otra función de la sub-base es la de actuar como capa drenante, facilitando la evacuación lateral de las aguas provenientes del nivel freático, de aniegos o de infiltración, e impedir la ascensión capilar hacia la base de agua procedente de la subrasante.

Base granular

Es el principal elemento estructural de un pavimento flexible y puede ser: Tratada con cemento, cal, asfalto o cualquier otro producto, o Sin tratar como las gravas de río, los suelos coluviales o la piedra chancada.

Hasta cierto punto existe en la base una función económica análoga a la discutida para el caso de la sub-base, pues permite reducir el espesor de la carpeta que es más costosa, pero la función fundamental de la base de un pavimento consiste en

proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

Capa de desgaste o superficie de rodadura

Es la capa más superficial de un pavimento. La capa de desgaste (carpeta asfáltica), debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada, con textura conveniente y proteger a las capas inferiores del pavimento contra el desgaste, tomar los esfuerzos cortantes generados por las cargas de tráfico y prevenir la penetración de agua al interior del pavimento.

La carpeta asfáltica, está constituido por una mezcla de agregados gruesos y finos y un aglomerante o ligante bituminoso, que en el caso de pavimentos asfálticos puede ser: cemento asfáltico, asfalto líquido o emulsiones asfálticas.

- Cementos asfáltico. Son asfaltos refinados o una combinación de un asfalto refinado y un aceite fluidificante (gasóleo), de una viscosidad apropiada para los trabajos de pavimentación. Se designan generalmente mediante las letras AC, y se preparan en 5 grados de cemento asfáltico definidos con base en el ensayo de penetración. Por ejemplo los AC 200-300 son los más blandos y el grado más duro son los AC 40-50. El grado más empleado en los pavimentos asfálticos es el AC 85-100.

Son ideales para la pavimentación, pues además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, poseen características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayor parte de ácidos, sales y alcoholes.

- Asfaltos líquidos. También denominados *cut backs* (asfaltos rebajados), se definen según el instituto de asfalto como “material asfáltico cuya resistencia blanda o fluida hace que salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300”. Está compuesto de un cemento asfáltico y un fluidificante volátil que puede ser bencina, kerosene o aceite.

Los asfaltos líquidos se dividen en tres tipos:

1. Asfaltos líquidos de curado lento (SC- slow curing), cuyo disolvente es un aceite pesado de baja volatilidad, usualmente del tipo Fuel-Oil
2. Asfaltos líquidos de curado medio (MC- médium curing), cuyo disolvente es el kerosene
3. Asfaltos líquidos de curado rápido (RC- rapid curing), cuyo disolvente es un líquido volátil, generalmente del tipo nafta o gasolina.

El grado de fluidez o liquidez depende del grado del cemento asfáltico, de la volatilidad del solvente y de la proporción relativa entre solvente y cemento asfáltico. A modo de ejemplo, un RC-250 es un asfalto líquido de curado rápido con un grado de viscosidad de 250 centiestokes, y es el más utilizado para trabajos de pavimentación.

- Emulsiones asfálticas. Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles (que no pueden disolverse), como el asfalto y el agua. Cuando la emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio eléctrico que la rompe, llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie de agregados; el agua fluye o se evapora, separándose de las partículas pétreas recubiertas por el asfalto. Existen emulsiones que permiten que esta rotura sea instantánea (RS, rapid setting– rompimiento rápido) y otros que retardan este fenómeno (SS, slow setting – rompimiento lento).

2.1.1.3 Factores que influyen en el diseño de pavimentos flexibles

El diseño del pavimento consiste en establecer una estructura (carpeta, base, sub base, subrasante) para una duración determinada, bajo sollicitaciones del tránsito y el medio ambiente, estas producirán fatiga hasta llevarla a la falla. En forma resumida el diseño de la estructura del pavimento consiste en: “Establecer espesores y rigideces de los materiales para mantener la vía bajo cierto nivel de deterioro y confort”.

Se consideran que cuatro factores influyen en el diseño de pavimentos flexibles: (1) La subrasante (2) El tránsito (3) El clima (4) Los materiales disponibles

La subrasante

La subrasante es el material natural ubicado a lo largo del alineamiento horizontal del pavimento, y sirve como cimiento de la estructura del pavimento.

De la calidad de esta capa depende en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento sea este flexible o rígido. Existen métodos que evalúan la resistencia de la subrasante como el ensayo del CBR (California Bearing Ratio) para el caso de pavimentos flexibles, y con el modulo “K” de reacción de la subrasante (o Coeficiente de Balasto) para el caso de los pavimentos rígidos.

La calidad de la subrasante, adquiere mayor importancia cuando éste afecta significativamente la ubicación de la carretera.

El transito

Interesan para el dimensionamiento del pavimentos las cargas más pesadas por eje (simple, tandem o tridem) esperadas en el carril de diseño, durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas de transito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo.

Aunque el efecto de fatiga es mucho menos importante en pavimentos flexibles, la repetición de cargas produce o bien deformaciones acumuladas de carácter plástico o rebote elástico, en suelos susceptibles a ello. En los materiales de base las repeticiones producen trituración de las partículas e interpenetración en las capas inferiores. En los suelos bajo la subrasante la resistencia y el modulo de deformación aumenta con las repeticiones de carga, este es un efecto benéfico.

La velocidad de aplicación de las cargas ejerce también influencia sobre el pavimento. En general, las cargas estáticas o lentas ejercen peores efectos que las más rápidas. Por eso, en los caminos en rampa, es frecuente ver más destruidos los tramos de subida que los de bajada.

El clima

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresión y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente.

Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas. En los pavimentos flexibles el aumento o disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el modulo de elasticidad de las capas asfálticas ocasionando en ellas deformaciones o agrietamientos que influirán en el nivel de servicio de la vía.

Los materiales disponibles

Los estudios de suelos para la construcción de carreteras incluyen la investigación de las características del suelo en la ruta de la carretera y la identificación de suelos adecuados para usarse como materiales para las capas del pavimento.

Los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura de pavimento más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en canteras y depósitos aluviales del área. Además de la calidad requerida, en la que se incluye la deseada homogeneidad, hay que atender al volumen disponible aprovechable, a las facilidades de explotación y al precio, condicionado en buena medida por la distancia de acarreo. Por otra parte, se deben considerar los materiales básicos de mayor costo: gigantes, y conglomerantes, especialmente.

El uso de materiales inadecuados con frecuencia va a conducir a la falla prematura de la superficie del pavimento y a la reducción de la capacidad del pavimento de soportar la carga vehicular de diseño.

2.1.1.4 Tipos de intervención en proyectos de carreteras

Con el propósito de familiarizar el uso correcto de terminologías y establecer el tipo de intervención que se realiza a una vía, se requiere definir algunos conceptos que serán utilizados en el siguiente capítulo (deterioro de la carretera) y a lo largo del presente trabajo de investigación.

Para introducir en los conceptos, se utilizaran fuentes como la del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que es el ente normativo del sector transportes que clasifica los trabajos sobre una infraestructura vial. También se hace un contraste en las definiciones sobre las intervenciones en carreteras que indica agencias en transporte reconocidas como la AASHTO en sus publicaciones -glosario de términos-, y la CEPAL.

Construcción nueva

De acuerdo a la definición del MTC consiste en *“La ejecución de obras de una vía nueva, con características geométricas acorde a las normas de diseño y construcción vigentes”*.

Según la definición anterior, están incluidos en esta actividad: (1) La construcción de un camino asfaltado o de un camino afirmado de grava o de tierra según nuevo trazo y alineamiento, (2) La mejora de un camino de grava o de tierra para elevarlo a la categoría de pavimentado, (3) Aumento del número de carriles o construcción de calzadas adicionales, vías de servicio, vías de enlace a desnivel o autopista dividida en varios carriles.

Reconstrucción

El MTC define este concepto como *“La renovación completa de una obra de infraestructura vial, previa demolición parcial o completa de la existente, pudiendo modificar sus características originales”*. La reconstrucción ocurre cuando la carretera se encuentra en un grado grave de descuido prolongado, que ya no es posible su rehabilitación.

En los trabajos de reconstrucción del camino, implican la existencia de un pavimento sumamente deteriorado, y por lo general se aprovechan las obras de tierra y las alineaciones existentes.

Mejoramiento

Según el MTC esta actividad consiste en *“La ejecución de obras necesarias para elevar el estándar de la vía mediante actividades que implican modificación sustancial de la geometría y de la estructura del pavimento, así como la construcción y/o adecuación de los puentes, túneles, obras de drenaje, muros y señalizaciones necesarias”*.

La CEPAL (1994) indica que dichos trabajos consisten en: (1) Mejoras relacionadas con el ancho, alineamiento, la curvatura o la pendiente longitudinal, (2) Incluye trabajos relacionados con la renovación de la superficie de rodadura y la rehabilitación.

El objetivo de estas labores es la de incrementar la capacidad del camino y la velocidad y seguridad de los vehículos que en él transitan. Los trabajos de mejoramiento no son considerados como una actividad de conservación, excepto la operación auxiliar de renovación de la superficie.

Conservación o Mantenimiento Vial

La conservación vial también llamado mantenimiento vial, es un concepto de trabajo que ha sido mal utilizado en la gestión de la infraestructura vial – muchos autores indican que se debió a falta de recursos públicos – no obstante, en el pasado la conservación o mantenimiento vial se realizaba con carácter reactivo, *“mantener significaba reparar lo dañado”*, es decir se interviene en la carretera para reparar los elementos de la vía que han sufrido un grado de deterioro y que por lo mismo afectan la circulación normal.

El sector transporte del MTC ha redefinido este concepto bajo criterios económicos, siendo la siguiente *“La conservación vial 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". El acto de preservarla incluye también los diferentes elementos que constituyen la vía en una condición tan cercana como sea posible a su condición original de construcción, para garantizar que el tránsito sea cómodo, seguro, fluido y económico.

Como resultado de lo anterior, existe un cambio en el concepto tradicional “*de trabajo de actuar para reparar lo dañado*” por el nuevo concepto “*de actuar para evitar que se dañe la infraestructura vial*”, es decir, cambiar las actividades correctivas por las acciones preventivas.

Según lo mencionado por el CEPAL, “*uno de los objetivos primordiales de la conservación es evitar, al máximo posible, la pérdida innecesaria del capital ya invertido, mediante la protección física de la estructura básica y de la superficie del camino*”. En ese sentido, la conservación y/o mantenimiento procura evitar la destrucción progresiva de de la carretera y evitar una posterior rehabilitación o reconstrucción.

De lo anterior se desprende que las actividades de Conservación y/o Mantenimiento de la Infraestructura Vial, puede ser de carácter Preventivo o Correctivo.



1. Mantenimiento preventivo

Son el conjunto de actividades que se realizan antes que se produzcan una reducción en la funcionalidad del pavimento

2. Mantenimiento correctivo

Son el conjunto de actividades que se realizan después que se han producido fallas puntuales que se manifiestan como reducción del nivel de servicio de la carretera.

Rehabilitación

En el glosario de términos del MTC indica esta actividad como *“la ejecución de obras necesarias para devolver a la infraestructura vial sus características originales y adecuarla a su nuevo periodo de servicio, las cuales están referidas principalmente a reparación y/o ejecución de pavimentos, puentes, túneles, obras de drenaje, de ser el caso movimientos de tierra en zonas puntuales y otros”*.

Del concepto anterior se puede decir que la rehabilitación es el proceso por medio del cual la estructura de pavimento, es restaurada a su condición original de soporte. Se obtiene de la recuperación con o sin estabilización del pavimento existente en combinación con material de aporte si es necesario. En este proceso, los materiales provenientes de los pavimentos existentes, formaran parte de la nueva estructura.

Los trabajos según indica la CEPAL (1994) consisten en: (1) La reparación selectiva y refuerzo del pavimento o de la calzada, para restaurar la resistencia estructural y la calidad del rodamiento. La rehabilitación se efectúa cuando el camino se encuentra demasiado deteriorado como para poder resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro, pudiendo incluir, además, (2) Pequeñas mejoras en el drenaje.

Bajo la definición anterior, la rehabilitación viene a ser entonces un mantenimiento correctivo. A continuación se muestra los tipos de rehabilitación para pavimentos



Mantenimiento rutinario

El MTC lo define como el “*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*”.

Bajo este contexto, el mantenimiento rutinario es un mantenimiento preventivo, que según las condiciones de cada camino deben aplicarse una o más veces al año.

Mantenimiento periódico

El MTC lo define como el “*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 sellos 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”.

Aunque esta definición puede generar equivocaciones, dado que todos los trabajos de conservación o mantenimiento son periódicos, es decir, deben ser repetidas cada cierto tiempo. Para el caso del pavimento, se aplica generalmente para aquellas actividades que están orientadas a la renovación y tratamiento de la superficie.

2.1.1.5 El método de la AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles

En la actualidad existen muchos métodos de diseño de pavimentos flexibles, de acuerdo con lo indicado por Yang Huang (Pavement Analysis Design), los métodos de diseño de pavimentos pueden ser clasificados en cinco categorías: (1) métodos empíricos con o sin ensayos de resistencia de suelos (2) método de falla corte limite (3) método de deflexión limite (4) método de regresión basado en el comportamiento de pavimentos o ensayos en pistas de prueba, y (5) métodos empíricos mecanísticos.

Para el análisis y diseño de pavimentos flexibles, el presente trabajo hará una explicación del método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), en su versión 93, como uno de los procedimientos más generalizados y actualmente utilizados para el diseño de las carreteras de la red vial nacional en el Perú.

Método AASHTO 93

Actualmente el análisis y diseño de pavimentos se basa en métodos de regresión basado en el comportamiento de pavimentos o ensayos en pistas de pruebas, un buen ejemplo del uso de las ecuaciones de regresión para el diseño de pavimentos corresponde a lo desarrollado por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), en sus versiones 1986 o 1993, de la guía de diseño de pavimentos. Todas las versiones mencionadas fueron basadas en la ecuación resultante del comportamiento de la pista de pruebas de la AASHO en la década de 1950.

A continuación se extrae en forma resumida los conceptos y las ecuaciones de diseño desarrollado por la AASHTO, para el diseño de carreteras nuevas y rehabilitación de carreteras.

A.1 Procedimiento de diseño de pavimentos flexibles

El método AASHTO 1993 utiliza el número estructural SN, para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinar la capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad.

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

Donde:

SN número estructural requerido

W_{18} número de ejes equivalentes de 80 kN (18,000 lb), en el periodo de diseño

ZR desviación estándar normal (depende de la confiabilidad, R de diseño)

S_o error estándar por efecto del tráfico y comportamiento

ΔPSI variación del índice de serviciabilidad

M_R módulo resiliente de la subrasante medido en PSI

El diseño de la carretera depende del tráfico esperado durante la vida de servicio y la confiabilidad en el comportamiento. Luego de caracterizar el suelo de la subrasante y seleccionar los valores de confiabilidad (R), para el error estándar S_o y ESAL estimado, se puede determinar el valor del número estructural.

El número estructural requerido por el proyecto se convierte en espesores de carpeta asfáltica, base y subbase, mediante coeficientes de capa que representan la resistencia relativa de los materiales de cada capa. La ecuación de diseño es la siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde:

a_i coeficiente de la capa i (1/pulg.)

d_i espesor de la capa i (pulg.)

m_i coeficiente de drenaje de la capa (adimensional)

Los coeficientes de capa dependen del modulo resiliente del suelo (MR), se determinan empleando los conceptos esfuerzo-deformación de un sistema múltiple multicapas. Los coeficientes de capa usados en la pista de prueba AASHO son:

Concreto asfáltico superficial, a_1	0.40 – 0.44 pulg ⁻¹
Base de piedra chancada, a_2	0.10 – 0.14 pulg ⁻¹
Sub base de grava arenosa, a_3	0.06 – 0.10 pulg ⁻¹

Variables de diseño

A continuación se detallan los parámetros de diseño y recomendaciones de AASHTO, para el cálculo del número estructural requerido.

a) Periodo de diseño

El periodo de diseño se refiere al tiempo desde que la estructura de pavimento entra en servicio hasta antes que necesite algún trabajo de rehabilitación. También se refiere al lapso entre dos rehabilitaciones sucesivas.

Condiciones de Carreteras	Periodo de Análisis
Vías urbanas con alto volumen	30-50
Vías rurales con alto volumen	20-50
Pavimentadas con bajo volumen	15-25
Superficie granular con bajo volumen	10-20

b) Transito

El procedimiento de diseño para carreteras se basa en el numero de ejes equivalentes simples de 18 kips (ESAL) acumulado durante el periodo de diseño (W_{18}). A partir de conteos vehiculares y conversión a ejes equivalentes, el diseñador debe afectar el ESAL en ambas direcciones por factores direccionales y de carril (si son mas de dos), aplicando la siguiente ecuación:

$$W_{18} = D_D \times D_L \times \dot{w}_{18}$$

Donde:

D_D factor de distribución direccional

D_L factor de distribución por carril

w_{18} tráfico total en ambas direcciones para el periodo de diseño

El factor de distribución direccional D_D generalmente es 0.5 (50%) para la mayoría de las carreteras, sin embargo, este puede variar de 0.3 a 0.7 dependiendo de la incidencia de tráfico en una dirección. Los factores de distribución por carril, D_D recomendados por la AASHTO se muestran a continuación

Nº carriles en una dirección	%ESAL en carril diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

c) Factor de confiabilidad

Es una medida que incorpora algún grado de certeza en el proceso de diseño para asegurar que los diferentes parámetros alcancen el periodo de diseño. A continuación se presenta los niveles recomendados de confiabilidad para diferentes clasificaciones funcionales.

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85-99,9	80-99,9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectores	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

d) Desviación Estándar Normal (Z_R)

La desviación estándar normal esta en función de la confiabilidad del proyecto. En la tabla se muestra los valores de desviación estándar correspondiente a diferentes niveles de confiabilidad.

Confiabilidad R, %	Desviación Estándar Normal, Z _R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

e) Pérdida de serviciabilidad

La serviciabilidad se define como la calidad de servicio del pavimento. La primera medida de la serviciabilidad es el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), que varía de 0 (carretera imposible de transitar) a 5 (carretera perfecta). El PSI se obtiene midiendo la rugosidad y daño (agrietamiento, parchado y deformación permanente) en un tiempo en particular durante el periodo de diseño del pavimento. La rugosidad es el factor dominante para estimar el PSI del pavimento.

La AASHTO 93 usa la variación total del índice de serviciabilidad (Δ PSI) como criterio de diseño, que se define como

$$\Delta\text{PSI} = p_o - p_t$$

Donde:

p_o índice de serviciabilidad inicial

p_t índice de serviciabilidad final, que es el más bajo índice tolerable antes de la rehabilitación.

g) Modulo resiliente efectivo del suelo (M_R)

Las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante se caracterizan en AASHTO 93 por el modulo resiliente. El modulo resiliente mide las propiedades elásticas reconociendo sus características no lineales. El modulo resiliente se correlaciona con el CBR, mediante la siguiente ecuación

$$M_R \text{ (psi)} = 1\,500 * \text{CBR}$$

$$M_R \text{ (kpa)} = 10\,342 * \text{CBR}$$

Ambas ecuaciones son razonables para suelos de gradación fina, con CBR menores que 10%.

Método AASHTO 2002

Con esta nueva metodología de la AASHTO 2002, se abandona el concepto de Numero Estructural. Para mayor detalle de esta metodología, se sugiere revisar dicha publicación.

A.2 Diseño de recapeos por el Método de la AASHTO - Rehabilitación de Pavimentos Flexibles.

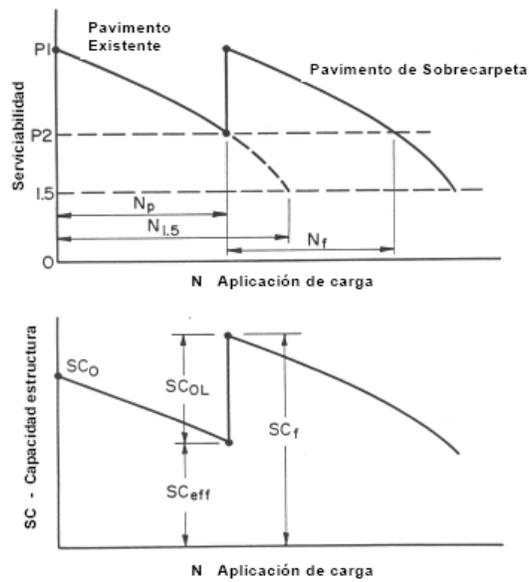
Para el presente trabajo de investigación se estudiara el método de rehabilitación de pavimentos por colocación de una sobrecapa o recapeo de concreto asfáltico sobre la estructura existente de concreto asfáltico.

El objeto de estos recapeos tiene dos funciones, dependiendo de cuál de las dos condiciones es la que se requiere recuperar o si es combinado, ya que una de las funciones es la capacidad estructural y la otra es la serviciabilidad.

La primera aplica cuando las condiciones de la **estructura de pavimento** está llegando a su periodo de diseño y es necesario el refuerzo de la estructura para soportar el crecimiento del tránsito y por ende de las cargas; la segunda aplica cuando las condiciones de la **superficie del pavimento** ha llegado a su vida útil y sufrido tal deterioro que no permita el desplazamiento normal de los vehículos.

En la figura se observa cómo se recupera un pavimento a su condición original al efectuar un recapeo, en el aspecto de serviciabilidad y capacidad estructural, respectivamente.

Pérdida de capacidad estructural después de tiempo y tránsito



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1,993

Para el diseño del recapeo de una estructura de pavimento por el método AASHTO, es necesario seguir los siguientes pasos descritos a continuación.

Paso 1: Diseño y construcción de pavimentos existentes

Reunir información del pavimento existente:

- Espesor y tipo de material para cada capa de pavimento.
- Información disponible de la subrasante.

Paso 2: Análisis del tránsito

- Estimación pasada de Ejes Equivalentes, en el carril de diseño desde la construcción (N_p).

- Estimación futura de Ejes Equivalentes en el carril de diseño sobre el periodo de diseño (Nf).

Paso 3: Información de las condiciones del pavimento existente

Medir como mínimo las siguientes fallas:

- Porcentaje de área de superficie con piel de cocodrilo (bajo, mediano o alto daño)
- Numero de grietas transversales por cada 1.6 km (bajo, mediano o alto daño)
- Promedio de profundidad de surcos
- Evidencia de bombeo en las grietas y bordes del pavimento.

Paso 4: Prueba de deflexiones/análisis

Pruebas de campo:

- Deflexiones a 40 kN (9,000 lbs)
- Algunas distancias radiales.
- Medidas de la temperatura del pavimento.

Análisis:

- Modulo de resiliencia de la subrasante lejos de la deflexión
 $Mr = 0.24 \times P / (dr \times r)$
- Modulo efectivo del pavimento
 - *Corrección d_o de temperatura del pavimento
 - *Aplicar ecuación o grafica para determinar el E_p

Paso 5: Núcleo y prueba del material

- Localización basada sobre el análisis de los trazos de los perfiles de las deflexiones
- Pruebas de laboratorio para el Mr de la subrasante
 - *Medida directa (AASHTO)
 - *Correlaciones

- Cemento asfáltico y base estabilizada – calcular el potencial de desvestimiento
- Base granular / subbase – calcular la degradación y contaminación por finos.
- Verificar espesores de capas

Paso 6: Determinación del numero estructural requerido para el transito futuro, SN

- Modulo efectivo para el diseño de la subrasante, Mr
Diseño $Mr = C \times 0.24 \times P / (dr \times r)$
(Se recomienda $C=0.33$)
- Confiabilidad, R
- Desviación estándar total, So
- Perdida de serviciabilidad, ΔPSI
- Transito futuro (ESAL)

Paso 7: Determinación del numero estructural efectivo, SNef

- Método NDT
- Método de las condiciones del camino
- Método de la vida remanente

Paso 8: Determinación de los espesores de las sobrecapas

2.1.2 POLÍTICAS DE CONSERVACION EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Esta sección, da a conocer las políticas de conservación que se aplican en la actualidad a las carreteras asfaltadas, su clasificación y la forma en que se aplican.

2.1.2.1 Políticas de Conservación de los pavimentos

Las políticas de conservación son actividades programadas que se tienen que realizar a todos los elementos de la infraestructura vial a fin de evitar el deterioro progresivo de los mismos, es decir, son soluciones que se dan para abordar la rehabilitación y conservación o mantenimiento de la vía, para que estos no pasen ciertos umbrales de deterioro.

En el manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras, del MTC, se puede profundizar sobre el tratamiento de cada una de las políticas de mantenimiento tanto para pavimentos de concreto o asfálticos. En nuestro caso, y por tratarse el tema de investigación a nivel de pavimentos flexibles, se hace un resumen de las políticas de mantenimiento solo para carreteras asfaltadas.

Políticas para pavimentos de asfalto

Entre estas políticas de conservación para pavimento asfáltico se tienen las siguientes:

- Mantenimiento rutinario
- Sellos de fisuras y grietas
- Bacheo asfáltico
- Tratamientos superficiales
- Recapeo o Refuerzo Asfáltico
- Reconstrucción

A continuación se describe brevemente las actividades o tareas de conservación, para pavimentos de asfaltos.

1. Mantenimiento rutinario

Actividades que consisten en conservar el conjunto que compone la infraestructura vial, elementos tales como sistemas de drenaje, estructuras y elementos de seguridad vial, para poder brindar un nivel de servicio adecuado. El mantenimiento rutinario consta de las siguientes actividades.

- Despeje de escombros, basuras y vegetación que se encuentren dentro de la calzada y/o en algunos casos, del derecho de vía.
- Limpieza de cunetas, para asegurar el escurrimiento libre de las aguas hacia los puntos de desagüe
- Limpieza de alcantarillas, eliminando sedimentos y vegetación en toda su extensión
- Conservación de demarcaciones horizontales
- Limpieza y reposición de señales de tránsito, ya sean, reglamentarias, preventivas o informativas
- Reposición de tachas reflectivas desprendidas o que se encuentren en mal estado.

2. Sellos de fisuras y grietas

El sello de fisuras (aberturas menores o iguales a 3mm) y de grietas (mayores a 3mm), es una actividad utilizada para minimizar y/o retardar la formación de agrietamientos más severos como la piel de cocodrilo y la aparición de baches. El objetivo de esta actividad es la de impedir la entrada de agua y la de materiales incomprensibles como piedras o materiales duros a través de las fisuras y grietas.

3. Bacheo asfáltico

El bacheo consiste en la reparación de desintegraciones parciales del pavimento en forma de huecos. El manual clasifica estos trabajos como Bacheo superficial (profundidad menor a 50mm) y Bacheo profundo (profundidad mayor a 50mm) que compromete tanto la capa asfáltica y parte de la base y sub base.

En ambos casos, el objetivo es la de recuperar las condiciones originales para una adecuada circulación vehicular con seguridad, comodidad, rapidez y economía, además para retardar la formación de daños más severos en el pavimento.

4. Tratamiento superficial (sello superficial)

Es un término amplio que abarca la aplicación sobre cualquier tipo de calzada materiales asfálticos, cubiertos o no con agregados pétreos cuyo espesor final es por lo común inferior a 25mm. Un tratamiento superficial por sí mismo no agrega capacidad estructural al pavimento, básicamente brindan una cubierta impermeable a la superficie existente de la calzada y resistencia a la acción abrasiva del tránsito. Los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los caminos, cada uno tiene propósitos esenciales. La siguiente es una clasificación de acuerdo a su aplicación.

- i) Tratamiento superficial simple.- Son usados como superficie de rodadura y como paca impermeabilizadora. Consiste en una aplicación de asfalto cubierto inmediatamente por una capa única de agregado pétreo tan uniforme como sea posible, el espesor puede ser e 10mm.
- ii) Tratamiento superficial bicapa.- Proveen una superficie de rodadura y una capa impermeabilizadora más densa que en un tratamiento superficial simple, consiste en dos aplicaciones alternas de asfalto y agregado.
- iii) Fog seal.- Consiste en una aplicación muy ligera de emulsión diluida de rotura lenta. Se emplea para renovar viejos pavimentos asfálticos y cerrar pequeñas grietas y huecos superficiales. Son esencialmente útiles para pavimentos sometidos a un volumen de tránsito vehicular ligero.
- iv) Lechadas asfálticas (Slarry seal).- Es una mezcla de agregado fino bien graduado, material de relleno (filler), y en caso de ser necesario una emulsión asfáltica y agua distribuida sobre un pavimento, como tratamiento

superficial. Es usado en el mantenimiento correctivo y preventivo de pavimentos asfálticos. No aumenta la resistencia estructural del pavimento. Son especialmente efectivas cuando se aplican a superficies cuyos pavimentos se encuentran viejos. Sellan las grietas superficiales, detienen desprendimientos de agregados, impermeabilizan al agua y al aire las superficies de textura abierta y mejoran la resistencia al deslizamiento. Su oportuna aplicación ayuda a reducir los peligros causados por la oxidación del asfalto y resquebrajamiento de la mezcla asfáltica del pavimento.

5. Recapeo o refuerzo asfáltico

Esta actividad consiste en la colocación de una carpeta asfáltica en caliente sobre el pavimento flexible existente en espesor no menor a 5cm, previo el tratamiento de daños puntuales y, en ocasiones puede incluir el fresado de la carpeta asfáltica antigua y el tratamiento puntual de la capa de base granular.

El espesor del recapeo aporta una capacidad estructural extra al pavimento con lo que la vida útil se ve acrecentada. La aplicación de esta actividad forma parte de la conservación periódica del pavimento flexible, y *el manual recomienda la aplicación de esta política cuando el camino alcanza un estado regular*. El espesor de dicha capa obedece a un diseño estructural en función a las nuevas condiciones impuestas a la estructura del pavimento.

Para la ejecución de este trabajo, se requiere como condición que el porcentaje del área agrietada por fatiga no sea mayor del 15%, y que la profundidad de las grietas no alcance la capa de base. Previo a realizar el trabajo de recapeo se deberán reparar las aéreas afectadas con trabajos de bacheo.

Este tipo de trabajo es conveniente cuando las condiciones de la carretera no han llegado a los límites permisibles de deterioro y además se hace necesario incrementar la estructura por efecto del aumento del tránsito. Se debe realizar algunos trabajo preliminares antes de la colocación de la sobrecapa, tales como:

- Bacheo en los sitios donde se considere apropiado restablecer las características de soporte de los pavimentos.
- Capa de nivelación superficial para mantener los espesores de la misma capa de rodadura constante.
- Fresado de la carpeta de rodadura, cuando se considere necesario por las altas irregularidades de la superficie, que no puedan ser corregidas con la capa de nivelación.

La rehabilitación de pavimentos flexibles se efectúa por medio de los siguientes procedimientos:

Escarificación, reconformación, compactación e imprimación

Este trabajo debe ser ejecutado en aquellos tramos en que el estado de deterioro del pavimento existente, sea tal que impida la reparación aislada de las áreas afectadas y consistirá en la escarificación, desintegración, humedecimiento, mezclado, reconformado, compactado y afinado del material constitutivo de la carpeta asfáltica o del tratamiento asfáltico del pavimento original de la carretera; el trabajo descrito, debe hacerse de modo tal, que la capa escarificada llegue a mezclarse con el material de base presente en la estructura del pavimento y/o con el material de base que pudiera agregarse con fines de reforzar la estructura. Esta mezcla se usará como nueva capa de base.

Se incluye en la escarificación, homogenización, reconformación y compactación el material existente de base, con el objeto de que esa parte se integre a la nueva estructura de pavimento y la carretera nuevamente cumpla su función de dar confort al usuario.

En algunos casos es necesario aportar material adicional de base, con el objeto de reponer el que se haya perdido por el deterioro o con el fin específico de incrementar la capacidad de soporte de la estructura, por el hecho de haberse incrementado sustancialmente el tránsito de vehículos.

Reciclaje y recuperación

Esta actividad consiste en pulverizar la superficie bituminosa del lugar o solo la base granular o las dos capas en conjunto, llegando a la profundidad que incluyan dichos espesores, luego inyectando y mezclando ligante y/o agua, con el material pulverizado, para después homogenizarlo, conformarlo y compactarlo; esta mezcla se usará como capa de base de la estructura, aportándole material de base si fuera necesario. Después que el material reciclado y recuperado ha sido compactado, se le debe aplicar un sello de emulsión a la superficie, antes de abrir al tránsito; no debe permitirse transitar sobre el material reciclado antes de 24 horas.

En el reciclaje y recuperación se incluye el material existente de base, con el objeto de que esa parte se integre a la nueva estructura de pavimento y la carretera nuevamente cumpla con su función de dar confort al usuario. En estos casos es necesario aportar material de base, con el objeto de reponer el que se haya perdido por el deterioro o con el fin de incrementar la capacidad de soporte de la estructura, por el hecho de haberse incrementado el tránsito.

6. Reconstrucción

Consiste en reemplazar el pavimento existente incluyendo las bases por uno nuevo. La estructura puede ser reemplazada por capas o reciclando.

- i) Reconstrucción por capas.- Reemplazo total o parcial de capas del pavimento, sin cambiar sustancialmente su cota final. Permite modificar el perfil transversal del pavimento y bajar los costos de reconstrucción.
- ii) Reconstrucción por reciclado.- Se utilizan los materiales del pavimento existente como materia prima para el nuevo pavimento, mediante procesos y maquinarias específicas. De esta manera se evitan desperdicios (escombros) y se disminuyen costos de extracción y traslado de materiales, además de bajar los costos de la reconstrucción.

2.1.2.2 Aplicación de políticas de conservación en carreteras

Las políticas de conservación, requieren combinar una o varias tareas específicas de conservación de una manera racional. La experiencia de expertos en trabajos de mantenimiento y rehabilitación resulta muy importante para su definición. Por ejemplo, un estándar de conservación puede estar formado por las siguientes tareas:

Ejemplo 01: Mantenimiento rutinario + Sello asfáltico + Refuerzo de 5cm.

Conforme a lo que indica Marcelo Bustos *“para definir una política de conservación, es necesario definir además las condiciones de aplicación de cada tarea y si el orden de jerarquía que se seguirán en el caso de que dos actividades importantes se debieran realizar al mismo tiempo. No tiene sentido, por caso, aplicar simultáneamente un sello asfáltico y un refuerzo en un pavimento, sino que se debería aplicarse directamente el refuerzo, que es la actividad que mas mejoras introduce; eso se refiere a la definición de un orden jerárquico entre actividades”*.

Las condiciones de aplicación implican el tipo de política a seguir, que puede ser:

- **Programada:** La tarea se ejecuta en forma periódica, es decir cada cierto número predefinido de años. Por ejemplo, aplicar el refuerzo cada 10 años.
- **En respuesta a la condición:** La tarea se realiza cuando se alcance algún umbral de intervención, como puede ser aplicar el refuerzo cuando el IRI supere los 5m/km. El umbral puede ser no solo un valor máximo de deterioro, sino también un valor de tránsito. Pero en general los umbrales se definen por deterioro.

Además es necesario definir claramente las características de diseño de cada tarea, es decir el tipo de materiales a utilizar, espesores, etc. De esta manera, las tareas de

conservación se ejecutaran en el momento que corresponda, según se hayan definido las condiciones de aplicación. El ejemplo 01 quedaría de la siguiente forma

Ejemplo 02: Mantenimiento rutinario anual + Sello asfáltico cada 4 años + Refuerzo de concreto asfáltico en caliente de 5cm si el IRI supera los 5m/km

2.1.3 EL DETERIORO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Las carreteras una vez construida y puesta en servicio, están sometidas a la aplicación de cargas repetitivas (originadas por el flujo vehicular), y a la exposición de las condiciones medioambientales (el clima), lo que provocan gran parte del desgaste de la vía; por tanto, la infraestructura vial está predestinada al deterioro, lo que conllevaría a tener que desarrollar políticas para la conservación de tal manera que la estructura pueda alcanzar la vida útil por la cual fueron diseñados. En consecuencia, si los trabajos de conservación o mantenimiento se realizan permanentemente y en el tiempo oportuno, estas prolongarían la vida útil de la carretera, sin requerirse realizar una reconstrucción.

Este capítulo pretende dar las primeras pautas de la teoría del deterioro en pavimentos, detallando los tipos de deterioros que se presentan, las causas que la originan y las políticas de conservación vial que usualmente se utilizan para las carreteras a nivel de asfaltado, para contrarrestar dichos daños. No obstante, antes de pasar a la teoría del deterioro es necesario explicar brevemente, conceptos básicos del comportamiento funcional y estructural del pavimento, presentando también los indicadores que se usan para determinar el estado del mismo.

2.1.3.1 Comportamiento funcional y estructural del pavimento

El comportamiento del pavimento puede ser estudiado bajo condiciones de serviciabilidad y seguridad para los usuarios (evaluación funcional), y también bajo su resistencia o capacidad estructural de soporte que posee el pavimento, frente a las sollicitaciones externas (evaluación estructural). A modo de resumen, se muestra el siguiente cuadro donde se indica también el correspondiente indicador que refleja dicha característica.

Evaluation Type	Pavement Function	Pavement Characteristics	Examples of Indicators and Indexes
Functional Evaluation	Serviceability	Roughness	IRI
			PSI
			QI
	Safety	Texture	Macrotecture
			Microtexture
		Skid Resistance	Skid Resistance Coefficient
Structural Evaluation	Structural Capacity	Mechanical Properties	Deflections
		Pavement Distress	Cracking
	Surface Defects		
	Profile Deformations		

A) Comportamiento funcional

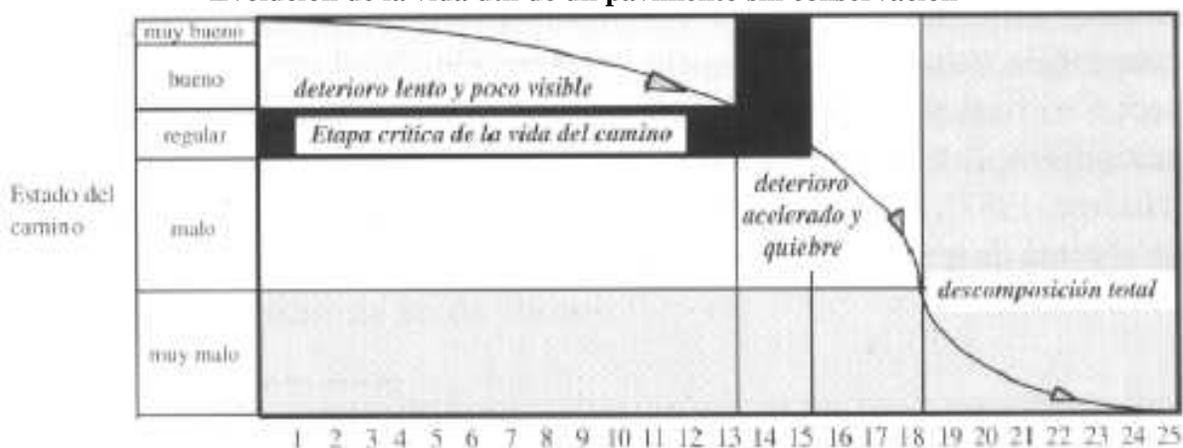
Definido por todos aquellos aspectos que afectan a la calidad de rodadura, confort y seguridad de los usuarios, lo que en el método de diseño AASHTO ha sido englobado bajo el concepto de serviciabilidad. Los indicadores más representativos de fallas en el comportamiento funcional son las deformaciones y los deterioros superficiales (peladuras y baches en pavimentos flexibles).

B) Comportamiento estructural

El pavimento debe estar diseñado para soportar las cargas y solicitaciones de tránsito. Las fallas de tipo estructural sobrevienen por insuficiencia en la capacidad de resistir dichas solicitaciones. El típico problema de falla estructural es el agrietamiento por fatiga en pavimentos tanto flexibles como rígidos. También las deformaciones o el ahuellamiento, en el caso de los pavimentos asfálticos, son indicativas de problemas o deficiencias de tipo estructural.

Por lo general, la evolución del comportamiento o estado de un pavimento puede representarse a través de un gráfico como el que se muestra a continuación. Es importante aclarar que las unidades presentadas en el eje de las abscisas en dicha figura son solo indicativas del paso del tiempo y del tránsito.

Evolución de la vida útil de un pavimento sin conservación



En una primera instancia, luego de su construcción el pavimento presenta un muy buen estado y satisface plenamente a los usuarios. Luego comienza a producirse un desgaste lento y poco visible pero constante, donde el pavimento va debilitándose por acción asociada al tránsito y del clima. Durante esta etapa que se mantiene por un tiempo prolongado (varios años), el pavimento presenta buen estado general, hasta que comienza a aparecer los primeros indicadores de deterioro.

Si durante el periodo en el que el pavimento presenta un estado entre bueno y regular no se realiza ningún tipo de conservación preventiva o correctiva, se corre el riesgo grande de que aparezca, en un plazo relativamente breve, una pronunciada aceleración del deterioro y un rápido descenso del nivel de servicio. Esto se debe a que se pasa de fallas de tipo funcional a problemas de tipo estructural, más difíciles y costosas de corregir.

Una vez que paso la etapa crítica donde conviene aplicar acciones de conservación de relativamente bajo costo para prolongar la vida útil del pavimento, solo es posible realizar intervenciones de conservación mayor, como refuerzos estructurales o rehabilitaciones importantes (en algunos casos incluso puede ser necesario reconstruir el pavimento), para que los problemas tengan soluciones duraderas. De ahí la importancia de contar con elementos para predecir la evolución esperable del

pavimento, y actuar antes de que sea demasiado tarde y las soluciones factibles terminen siendo considerablemente más costosas.

2.1.3.2 Deterioro de los pavimentos

De acuerdo a lo indicado por Solminihaç el deterioro lo define “*como aquellas manifestaciones en la superficie de rodadura del pavimento (deficiencias o fallas), haciendo que la circulación vehicular sea menos segura, confortable y que los costos de operación vehicular sean mayores*”.

No existen procedimientos o equipos estandarizados a nivel mundial que actualmente tengan pleno consenso internacional para identificar los deterioros. Sin embargo, algunos estudios recientes han sido utilizados en muchos lugares como patrones para definir tipo, extensión y severidad de los indicadores de deterioro, como es el caso del proyecto SHRP-LTPP (Strategic Highway Research Project, Long-Term Pavement Performance) de la Federal Highway Administration de los EE.UU. (SHRP, 1993).

Existen diferencias entre los tipos de deterioro que pueden presentarse en pavimentos rígidos o flexibles, por las mismas diferencias que existen en su estructura y su forma de funcionamiento. Los deterioros en los pavimentos flexibles se pueden clasificar de la siguiente forma según De Solminihaç en:

- Defectos superficiales
- Deformaciones
- Agrietamientos

Las tablas extraídas del libro de Solminihaç, indican en forma resumida las causas más probables y las posibles medidas de corrección de los diferentes tipos de deterioro en pavimentos flexibles.

Defectos superficiales en pavimentos flexibles
(De Solminihaç, 1998)

Tipo (Descripción)	Causa Probable	Medidas de Corrección
PERDIDA DE A GREGADO: remoción de partículas con $\phi > 6$ mm en la superficie	<ul style="list-style-type: none"> • Déficit de ligante • Fracturación o desintegración de las partículas ante cargas muy elevadas o por heladas 	Sello asfáltico de tratamiento superficial o slurry seal
DESGRANAMIENTO: pérdida progresiva de material desde la superficie hacia abajo	<ul style="list-style-type: none"> • Agregados sucios • Insuficiente contenido de asfalto • Mala adherencia asfalto-árido • Infiltración de agua por deficiente compactación • Envejecimiento del asfalto 	Sello sobre bacheo previo o colocación de mezcla en caso de una condición severa
AFLORAMIENTO DEL ASFALTO (EXUDACIÓN): exceso de ligante en superficie permitiendo una textura suave y resbaladiza, usualmente en zona de circulación o huellas de los vehículos	<ul style="list-style-type: none"> • Exceso de asfalto en relación al volumen de vacíos • Repavimentación directa sobre pavimento con exceso de asfalto • Bases con exceso de imprimante 	<ul style="list-style-type: none"> • Repavimentación para una condición extensa y severa • Quemado del asfalto y sellado para condición localizada

Deformaciones en pavimentos flexibles
(De Solminihaç, 1998)

Tipo (Descripción)	Causa Probable	Medidas de Corrección
ONDULACIÓN TRANSVERSAL: ondulaciones transversales relativamente regulares	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica de baja estabilidad • Deficiencia de cohesión entre capa de rodadura y capa subyacente • Frenadas bruscas de vehículos pesados en intersecciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivelación con mezcla en sitio y repavimentación para la condición extensa
ONDULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO: deformación plástica en sentido longitudinal	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla asfáltica de baja estabilidad • Deficiente adherencia entre capa de rodado y la capa subyacente • Base granular inestable 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción por sectores para la condición localizada
AHUELLAMIENTO: depresión transversal en la zona de circulación	<ul style="list-style-type: none"> • Baja compactación de las capas estructurales • Mezclas asfálticas de baja estabilidad • Banquinas inestables que no garantizan un buen soporte lateral 	Nivelación y repavimentación cuando hay una condición extensa, severa y peligrosa para tránsito de alta velocidad; relleno de huella en caso puntual
DISTORSIÓN: pérdida importante de la geometría transversal original	<ul style="list-style-type: none"> • Falla de la infraestructura • Insuficiente capacidad de soporte de la subrasante 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacheo profundo localizado • Nivelación y repavimentación

Agrietamientos en pavimentos flexibles
(De Solminihaç, 1998)

Tipo (Descripción)	Causa Probable	Medidas de Corrección
AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL: grietas predominantemente paralelas al eje del camino	<ul style="list-style-type: none"> En zona de circulación: insuficiente estructura En centro de vía o de calzada: deficiencias constructivas 	Picado y sellado para grietas aisladas, repavimentación para grietas extendidas y severas
AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN EL BORDE (a 0,30 m del borde externo)	<ul style="list-style-type: none"> Soporte lateral insuficiente Ancho de trocha insuficiente Saneamiento deficiente entre borde de pavimento y banquina 	<ul style="list-style-type: none"> Picado y sellado de grietas Mejoramiento del drenaje Sello de junta con banquetas
AGRIETAMIENTO SINUOSO: grietas que se inician y terminan en el borde	<ul style="list-style-type: none"> Deficiencias constructivas 	<ul style="list-style-type: none"> Picado y sellado de grietas
AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL: grietas perpendiculares al eje de la calzada. Generalmente espaciadas en forma regular si cubren todo el ancho	<ul style="list-style-type: none"> Contracción por baja temperatura Ligante asfáltico inadecuado Reflexión de grietas subyacentes o juntas, en el caso de refuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> Picado y sellado de grietas Repavimentar, en el caso de deterioro severo y generalizado
AGRIETAMIENTO TIPO PIEL DE COCODRILO: grietas en red que forman bloques de tamaños irregulares. Bloques de menos de 15 cm de lado indican fallas en la base y si tienen más de 30 cm de lado indican falla en subrasante. Usualmente en capas asfálticas de poco espesor.	<ul style="list-style-type: none"> Diseño estructural insuficiente Acumulación de agua en capas subyacentes a la carpeta asfáltica Mezclas asfálticas muy frágiles debido a bajas temperaturas 	<ul style="list-style-type: none"> Bacheo profundo cuando es una condición localizada Eliminación de infiltración de aguas superficiales: mejorar drenes y sellar fisuras Repavimentación o reconstrucción, para una condición severa y extensa
AGRIETAMIENTO IRREGULAR: sin orientación definida, tipo mapa, formando grandes bloques	<ul style="list-style-type: none"> Expansiones y contracciones Reflexión de fisuras, en refuerzos 	Sellado de fisuras localizado, o repavimentación para el caso de deterioro extenso y severo

2.1.3.3 Variables que influyen en el deterioro del pavimento

De acuerdo a lo indicado por **Schliessler** “*el deterioro depende en gran medida, de la cantidad y del peso de los vehiculos que lo usan, como asimismo de la calidad de la conservación. Gran parte de las obras de conservación y rehabilitación de los caminos está centrada en las capas de rodadura*”.

La cuantificación del deterioro sigue una secuencia lógica, en la cual algunos tipos de deterioro se inician antes que otros, e influyen sobre ellos. De acuerdo a lo mencionado por **Watanatada** para superficies asfálticas “*Los pavimentos se deterioran a través del tiempo bajo los efectos combinados del tránsito y factores climáticos. Las cargas vehiculares, transmitidas a través de los ejes, inducen esfuerzos en las capas estructurales del pavimento que son función de la rigidez y espesor de dichas capas; la repetición de las cargas causa fatiga en los materiales e inicia el agrietamiento en la*

superficie y la deformación del paquete estructural. Los factores climáticos debilitan la película asfáltica superficial, volviéndola más susceptible de agrietarse y desintegrarse.

Una vez iniciado, el agrietamiento se extiende en superficie, intensidad y severidad (ancho de grietas), hasta el punto de aparecer el descascaramiento y luego los baches. Las grietas abiertas en la superficie y el deficiente mantenimiento de los sistemas de drenaje permiten que excesiva agua penetre en la estructura del pavimento, con lo que se reduce la resistencia a los esfuerzos de corte de los materiales, no ligados (base y subbase) y se incrementa el deterioro provocado por el tránsito, acelerando así el proceso de desintegración.

La deformación acumulada en el pavimento se manifiesta mediante el ahuellamiento bajo las zonas de rodada de los vehículos y, como concepto más general, a través de la distorsión del perfil de la carretera, que denominamos rugosidad. Por tanto, la rugosidad de los pavimentos es el resultado de un encadenamiento y combinación interactiva de varios mecanismos de deterioro”.

El deterioro de la carretera es generalmente una función del diseño original, del tipo de material, de la calidad de la construcción, del volumen de tráfico, de las características de cargas de los ejes, de la geometría, de las condiciones medioambientales, de la edad del pavimento y de las políticas de conservación.

De lo anterior, se puede considerar que el proceso de deterioro va a depender también del estado de conservación de la carretera. Si las intervenciones en conservación son adecuadas, el pavimento no llegara en ningún caso a un punto crítico, Pero, si por el contrario las intervenciones no son suficientes, el nivel de degradación de la carretera provocara que el deterioro se acelere por encima de lo normal que una carretera bien conservada. Por ello, las oficinas y/o agencias públicas responsables deben desarrollar y aplicar estrategias (conjunto de políticas) para conservar la infraestructura vial, a través de una gestión eficiente, eficaz y transparente.

El diseño estructural del pavimento debe satisfacer los requisitos específicos del tránsito previsto, las características de la carga, el clima, etc. No obstante, en el diseño de la estructura del pavimento puede cometerse errores (como por ejemplo, pronósticos de tránsito subestimados), los que pueden traducirse en el deterioro prematuro de la carretera.

2.1.4 ELEMENTOS CONCEPTUALES DE LOS MODELOS DE DETERIORO EN EL HDM-4

El objeto de esta sección, es la de profundizar la relación entre los distintos modelos de deterioro que tiene incorporado el HDM-4, con el fin de poder relacionar las variables que influyen en la pérdida del valor de la carretera. Es decir, el objeto es la de presentar las principales características del deterioro de las carreteras, con el fin de que sirvan como herramienta para valorar de manera aproximada los efectos económicos derivados de la conservación.

No obstante, antes se explicara sucintamente conceptos elementales utilizados en los modelos, para predecir el deterioro en pavimentos. Es necesario precisar que a pesar que el tema de investigación trata sobre pavimentos flexibles, los conceptos aquí referidos son validados también para pavimentos rígidos.

2.1.4.1 Principios en los Modelos de Deterioro

La complejidad de los materiales que componen las capas de los pavimentos, junto con la dificultad de conocer el comportamiento de interacción entre una y otras capas, hace muy complicado elaborar modelos analíticos para conocer la evolución del deterioro de los pavimentos.

De momento, los modelos que se han desarrollado empleando estas técnicas son tremendamente complejos y aplicables únicamente, en la mayoría de los casos, a circunstancias muy concretas. Además, los resultados que de ellos se han obtenido no han logrado de momento resultados muy similares a los comportamientos empíricos, lo que hace hoy en día no sean empleados con asiduidad para cálculos prácticos, aunque

no se descarta que en un futuro, con el desarrollo de importantes herramientas de cálculo, puedan tener una utilidad práctica mucho mayor.

De acuerdo a lo indicado por Solminihaç, los modelos de deterioro de pavimentos que se han desarrollado hasta la actualidad han seguido dos corrientes distintas:

- a. Modelos mecanicistas, basados en aplicar las teorías analíticas de la mecánica de materiales, la elasticidad y la plasticidad al comportamiento de las capas del pavimento.
- b. Modelos empíricos, basados en extrapolar el comportamiento de cada uno de las capas del pavimento de las experiencias llevadas a cabo en pistas de ensayo o en tramos de carreteras.

Por su parte, los modelos empíricos, basados en el análisis de regresión de datos obtenidos en pistas o tramos de ensayo, a pesar de la falta de exactitud que han demostrado cuando se han aplicado en zonas geográficas o climáticas diferentes a las que sirvieron para calibrarlo, han tenido una utilidad práctica mucho mayor.

El modelo empírico más conocido de comportamiento y evolución el estado de los pavimentos es el modulo RDME (Road Deterioration and Maintenance Effects) perteneciente al modelo HDM (Highway Design and Maintenance Standards Model) del Banco Mundial, representado en estos momentos por su última versión denominada HDM-IV.

Por otro lado, según Paterson (1987), entre los requerimientos que deben cumplir los modelos de predicción son:

- Los modelos matemáticos deben predecir la condición del camino en el tiempo, además de permitir conocer los efectos de corto y largo plazo de las actividades de mantenimiento y estimar el momento más adecuadas para realizarlas

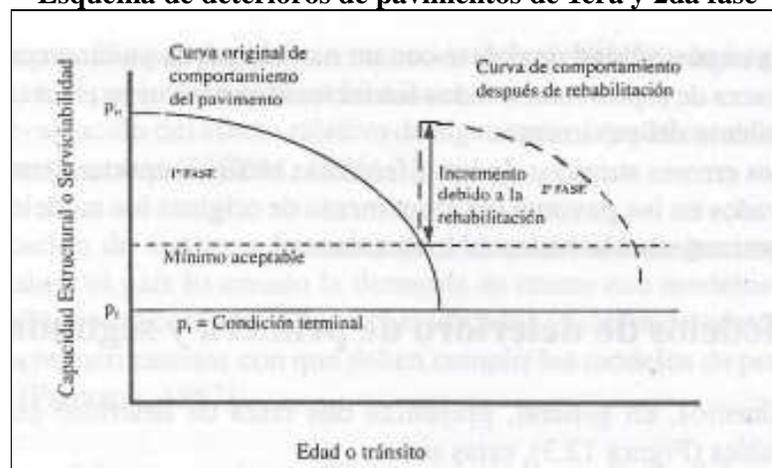
- La calidad del nivel de servicio del pavimento y la tendencia de su condición debe ser cuantificada de modo tal que tenga directa relación con los factores que provocan su cambio y con la decisión ingenieril de intervenir mediante un mantenimiento al camino.
- Los modelos de predicción deben utilizar solo parámetros que puedan ser medidos físicamente y obtenidos con facilidad en base a los recursos humanos y materiales con que se cuente en las correspondientes entidades encargadas de la administración de pavimentos.
- Para ser validas, las predicciones deben tener una bien cuantificada base empírica.
- Los modelos deben ser aplicables a la región de interés, en todo sentido, inclusive en lo referido a tránsito, medio ambiente, materiales y métodos de construcción. Por lo general, los modelos que han sido desarrollados para una región con características específicas no son del todo extrapolables a otros pavimentos en otras regiones diferentes al original.
- Deben tenerse siempre en cuenta los conceptos estadísticos de probabilidad y confiabilidad asociados a las predicciones que realizan los modelos, dado que la confiabilidad de las predicciones es dependiente de tres fuentes de variación principales:
 - a. El comportamiento aleatorio de los materiales bajo condiciones naturales
 - b. La imposibilidad de contar con un modelo cuyos parámetros sean capaces de representar a todos los factores que influyen en el comportamiento del pavimento.
 - c. Los errores surgidos de las diferencias entre comportamientos observados en los pavimentos al momento de originar los modelos y comportamientos actuales de los caminos.

Modelos de deterioros de primera y segunda fase

Los pavimentos en general, presentan dos fases de deterioro claramente diferenciables, estas son:

1. La primera fase, es aquella etapa del deterioro que se produce entre la puesta en funcionamiento de una carretera, inmediatamente después de su construcción, y el momento en que se lleva a cabo en ella una reparación de importancia que genere un mejoramiento en el nivel de servicio de la carretera. El mantenimiento o conservación de la carretera se refiera a tales como:
 - Reparaciones de espesor parcial o total
 - Los recapeados
 - Las reconstrucciones
2. La segunda fase, de deterioro es aquella etapa que va desde la realización de un mantenimiento de importancia en adelante. Al llevar a cabo una rehabilitación siempre se elimina o reduce el deterioro existente. En el grafico siguiente se muestra la evolución del deterioro por etapa, luego de una rehabilitación de la estructura del pavimento.

Esquema de deterioros de pavimentos de 1era y 2da fase



Modelos de deterioros agregados e incrementales

De acuerdo a la forma de predicción que representan los modelos es posible diferenciar dos variedades de ellos, estos corresponden a modelos agregados (acumulados) e incrementales, unos y otros presentan diferencias importantes al momento de analizar su utilidad y factibilidad de ser aplicados en los casos en que se los requiera.

Los modelos de deterioro **agregados (acumulados)**, son aquellos que para predecir un deterioro futuro requieren conocer por completo la historia previa del comportamiento del pavimento, es decir se necesita saber de datos tales como tasa de crecimiento del tránsito a lo largo de la vida del pavimento (medida o estimada), tránsito medio diario anual al inicio del servicio del pavimento, ejes equivalentes acumulados al momento de la evaluación, nivel de servicio inicial al momento de la puesta en servicio del pavimento (agrietamiento, deterioro, de juntas y escalonamiento si es que existe, así como PSR e IRI), etc., en muchos casos esto no es posible y por una u otra razón solo se dispone de datos parciales.

Los modelos de deterioro de tipo **incremental**, a diferencia de los agregados, no requieren conocer la historia previa para predecir los comportamientos futuros, sino que permiten hacerlo en base a un conjunto de ecuaciones y operaciones lógicas, necesitando conocer solo el estado o condición actual del pavimento (medida de terreno), además de las características estructurales y climáticas existentes, y el tránsito que circula en el año de evaluación por dicho pavimento. Los modelos incrementales presentan algunas ventajas en relación a los modelos agregados, algunas de estas son mencionadas por Solminihaç:

1. Los modelos agregados para realizar alguna predicción requieren conocer por completo la historia previa del pavimento, sobre todo el tránsito inicial y acumulado en él, la serviciabilidad inicial luego de su construcción, además de la condición del pavimento al momento de hacer la evaluación.

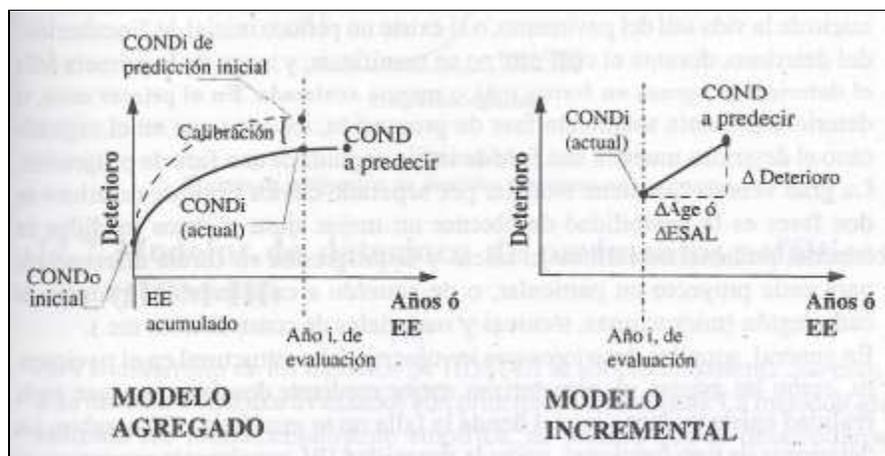
En muchos casos, sobre todo aquellos en que la evaluación se hace a un pavimento antiguo, no es posible conocer esos datos y se deben estimar, con la correspondiente probabilidad de introducir errores. Los modelos incrementales

en cambio, no necesitan tanta información histórica, dado que predicen a partir de la condición actual y futura de dichas variables, eliminando así los errores asociados al desconocimiento de los datos originales o a la estimación de condiciones pasadas.

2. La adaptación de un modelo a condiciones locales puede ser más precisa si este se divide en dos etapas (inicio y progresión), ya que así pueden predecirse por separado el deterioro al inicio y la progresión del mismo, situación que adquiere importancia en el caso de aquellos deterioros que en sus primeros años tienen un brusco aumento, para luego estabilizarse en una progresión mucho menor a la del principio. Algunos modelos incrementales cuentan con esa práctica división en etapas, por ejemplo los de agrietamiento y pérdida de áridos pertenecientes al HDM-3 para pavimentos flexibles, en cambio los modelos agregados no poseen ningún caso una modelación de ese tipo.

3. Por último, la modelación incremental se puede adaptar mejor que la agregada para predecir el deterioro luego de aplicar acciones de conservación. Sobre todo en aquellos casos en que se afecta la progresión del deterioro futuro porque el modelo incremental lo puede incorporar de inmediato, en cambio el agregado requiere un ajuste indirecto.

Diferencias entre modelos agregados e incrementales



Por todo lo anterior es posible indicar que las principales ventajas de los modelos incrementales están en la evaluación de pavimentos en servicio y de pavimentos a los que se les aplica algún tipo de mantenimiento, en tanto para la evaluación de pavimentos recién construidos o proyectados, los resultados de ambos tipos de modelos son igualmente satisfactorios y la conveniencia de usarlo o no dependen únicamente de la solidez conceptual y estadística de cada uno.

Formas funcionales para los modelos

Se entiende por forma funcional de un modelo, tanto la estructura funcional de las ecuaciones, como su representación grafica respecto a variables que involucren paso del tiempo (la edad o el transito acumulado). En la definición de la forma funcional de un modelo corresponde especificar si el deterioro bajo análisis se presenta con una progresión continua a partir del inicio de la vida útil del pavimento, o si existe un periodo inicial durante el cual este no se manifiesta, y luego de la primera falla el deterioro progresa en forma más o menos acelerada.

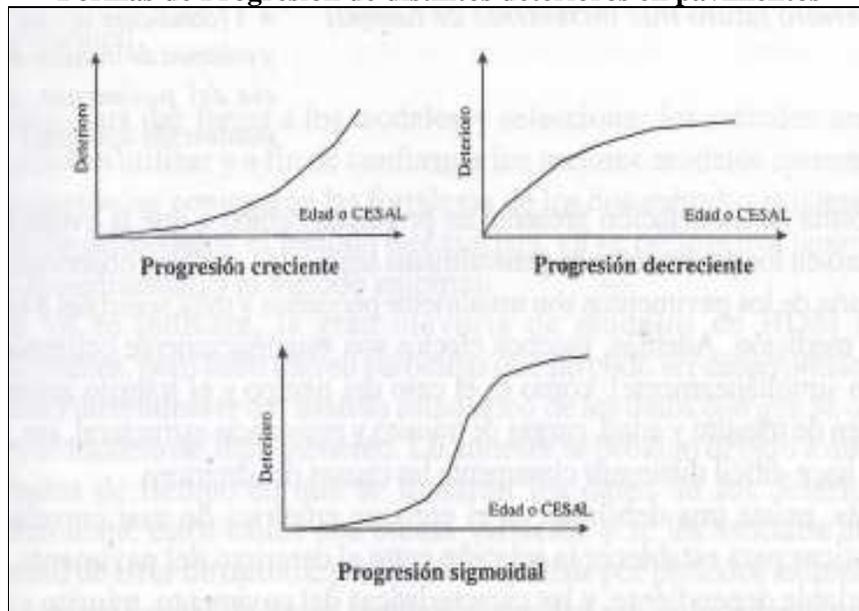
En el primer caso, el deterioro presenta solamente fase de progresión, en tanto que en el segundo caso el deterioro muestra una fase de inicio seguida de una fase de progresión.

En general, aquellos deterioros que involucren falla estructural en el pavimento, como las grietas, se caracterizan mejor mediante dos fases, ya que en la realidad existe un lapso inicial donde la falla no se manifiesta. En cambio, los deterioros de tipo funcional, como la rugosidad IRI, usualmente progresan en forma continua y no presentan fase de inicio.

Investigaciones anteriores han estudiado en profundidad la forma funcional de las ecuaciones para los distintos tipos de deterioros en pavimentos, tanto para pavimentos flexibles como rígidos. De acuerdo a los diversos estudios analizados, los distintos tipos de deterioro pueden encuadrarse dentro de tres formas generales de evolución o progresión.

- Progresión creciente: a partir del inicio del deterioro los incrementos por unidad de tiempo van aumentando en magnitud (curva del tipo exponencial)
- Progresión decreciente: los incrementos de deterioro son relativamente elevados al principio y posteriormente van disminuyendo (curva del tipo logarítmica)
- Progresión sigmoïdal: existe una primera etapa de progresión creciente, seguida de otra etapa de progresión decreciente.

Formas de Progresión de distintos deterioros en pavimentos



2.1.4.2 Modelación del deterioro en el HDM-4

La versión HDM-4 (Highway Development and Management tool) es un poderoso sistema de análisis para la gestión de carreteras. Los conceptos generales de análisis técnico y económico incorporado en el HDM-4 son básicamente los mismos del HDM-3. El desarrollo de los modelos en el HDM-4, se basa en los conceptos propuestos por Watanatada (1987), y Paterson (1987).

Dentro del análisis técnico del HDM-4 se emplean cuatro grupos de modelos que son:

- RD (Road Deterioration – Modelos de deterioro): Predice el deterioro de pavimentos ya sea flexible o rígido.
- WE (Works Effects – Modelo de Efectos de Intervenciones): Simula los efectos de trabajos de conservación del camino en la condición del pavimento y determina los costos correspondientes.
- RUE (Road User Effects – Modelo de Efectos sobre los usuarios de la Carretera): Determina los costos de operación del vehículo, accidentes del camino y tiempo de viaje.
- SEE (Social and Environment Effects – Modelo de Efectos Sociales y Ambientales): Determina los efectos de emisiones del vehículo y consumo de energía.

Para propósitos de la presente investigación se procederá a explicar el grupo de modelos de deterioro RD (Road Deterioration), que incorpora el HDM-4 para los pavimentos flexibles, así como la interacción de las mismas.

El submodelo de deterioro en el HDM-4 - Conceptos

Los modelos de deterioro de pavimentos flexibles definidos en el HDM-4 son ocho (08), y están clasificados de la siguiente manera:

a). Deterioro de la carpeta.- se caracterizan por dos fases que tienen inicio y progreso. La fase de inicio es el periodo anterior al comienzo del deterioro de la carpeta de un

momento definido. La fase de progreso se entiende como el periodo durante el cual el área comienza a sufrir un deterioro severo. La rotura de borde, en su modelización, solamente incluye una progresión continua. Esta categoría comprende:

- Fisuración
- Perdida de áridos
- Baches
- Rotura de borde

b). Deformación.- los modelos de deformación son continuos, y se representan solo por ecuaciones progresivas. Esta categoría comprende:

- Ahuellamiento
- Rugosidad

c). Textura de la capa de rodadura.- esto modelos son continuos y, al igual que los modelos de deformación se modelizan solamente a través de su progreso. Esta categoría comprende:

- Profundidad de textura
- Coeficiente de rozamiento

Los conceptos de lo indicado anteriormente lo definen Watanatada en la siguiente tabla resumen.

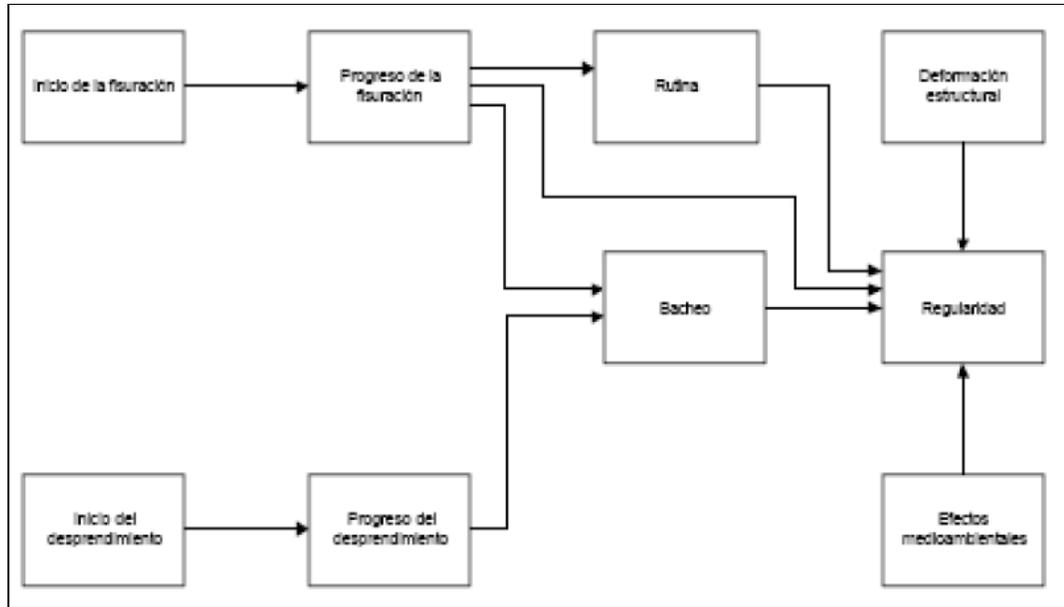
Definición de las medidas del deterioro

Medida	Definición
Area del deterioro	Suma de las áreas rectangulares adyacentes que manifiestan deterioro (a las líneas de fisuración se le asignan un ancho de 0,5 m), expresada como un porcentaje del área de la calzada
Fisuración total	Fisuración estructural a lo largo y a lo ancho
Fisuración estrecha	Líneas con fisuración de 1-3 mm de ancho o interconectadas (equivalente a AASHTO Clase 2)
Fisuración ancha	Líneas con fisuración de 3 mm o más de ancho con desconchado o interconectadas (equivalente a AASHTO Clase 4)
Fisuración indexada	Suma de AASHTO Clases 2 a 4 de fisuración medida por clase, ver sección 5.3
Fisuración termal transversal	Fisuras no conectadas a través del firme
Desprendimiento del árido	Pérdida del material del perfilado
Bacheo	Hoyos abiertos en el perfilado con 150 mm de diámetro mínimo y al menos 25 mm de profundidad
Rotura del borde	Pérdida de material bituminoso del perfilado (y posibles materiales de la base) del borde del firme
Rodera	Permanente o irrecuperable deformación asociada al tráfico a través de las capas del firme en las cuales, si se canalizan en rodada, aumentan con el tiempo convirtiéndose en roderas.
Profundidad de la rodera	Profundidad máxima por debajo de los 2 m que cruza transversalmente una rodada
Regularidad	Desviaciones del perfilado a partir de una superficie totalmente plana con dimensiones características que afectan a la dinámica de los vehículos, la calidad de la rodada, la dinámica del peso y del drenaje (ASTM E-867-82A) – típicamente en la escala de 0.1 a 100 m de arqueamiento y entre 1 y 100 mm de amplitud
IRI	Índice internacional de regularidad, medida que expresa la regularidad como un promedio sin medida de declive rectificado del perfil longitudinal definido en <i>Sayers et al. (1986)</i>
Profundidad media de la textura	Profundidad promedio del perfilado expresado como el cociente de un volumen de material estandarizado, (arena, prueba de mancha de arena, esferas de cristal) entre el área en la que el material se expande en manchas circulares sobre la superficie estudiada (<i>PIARC, 1997</i>)
Coefficiente de rozamiento	Resistencia al deslizamiento expresada por el coeficiente de rozamiento (CTR) medido usando el Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)

Fuente: *Watanatada et al. (1987)*

Existe una serie de interdependencias en la modelización de la evolución del deterioro, tal como se puede apreciar en el cuadro siguiente.

**Interacción entre los distintos modelo de deterioro para predecir la
Progresión de la irregularidad superficial en el HDM-4.**



2.1.5 COSTOS EN PROYECTOS DE CARRETERAS

Esta sección, no pretende incursionar en el complejo campo de la ingeniería de costos, pues solo se pretende abordar de manera resumida, los aspectos relacionados a la estructura de costos en obras de carreteras, definiendo de formas sencilla los recursos que la componen.

Asimismo, y con el propósito de contar con indicadores que sirvan de referente para los estudios de pre inversión en carreteras (costo/km, costo/m²), se ha elaborado un resumen de estos indicadores por zonas geográficas.

2.1.5.1 Estructura de costos en obras de carreteras

Los costos de obras son todos los recursos necesarios para la construcción y/o ejecución de las obras. De acuerdo a las características del proyecto y/o tipo de intervención que se requiera realizar, estos costos se determinan en función a partidas, que a su vez depende del nivel de estudio.

La estructura típica de los costos en carreteras es el siguiente: Costo Directo de Obra, y los Costos Indirectos de Obra (Gastos Generales, Utilidad, e Impuestos). Esta estructura es válida para determinar los costos de obra de distintos tipos de intervención en carreteras antes definidos (construcción, rehabilitación, mantenimiento y reconstrucción).

Costo Directo de Obra: Corresponden expresamente a los gastos o egresos que intervienen directamente en la producción del bien, siendo estos gastos en: a) materiales de construcción, b) mano de obra (capataz, operario, oficial, peón), y c) herramientas y equipos. Sin ellos no sería posible la ejecución de la obra.

Costo Indirecto de Obra: Son gastos que se incurren en forma indirecta para que se produzca el bien, tales como: los Gastos Generales, Utilidades e Impuestos.

a) **Gastos Generales:** Son los gastos para administrar y llevar adelante la dirección técnica y administrativa de la obra desde su instalación hasta la finalización de la obra. Constituye un porcentaje de los costos directos de obra. Dado que el tiempo de ejecución de los proyectos tiene incidencia en algunos de estos costos es que se han dividido en 2:

a.1) Gastos Generales Fijo: Son aquellos gastos que se dan cualquiera sea el tipo o magnitud del proyecto y son independientes del tiempo o plazo de ejecución de obra, por los que se les considera fijos. Entre estos gastos se encuentran: La movilización de personal (traslado a obra del personal administrativo, directivo y profesional técnico), instalaciones (construcción y armado de campamentos y anexos como laboratorios, almacenes, depósitos y talleres), costos de preparación de propuestas y liquidación de obra.

a.2) Gastos Generales Variables: Son aquellos gastos que demandan la puesta en marcha de la organización de campo y el desarrollo normal y permanente de sus actividades durante todo el tiempo que dura el proyecto, por lo que son considerados como gastos de operación y que a diferencia del anterior si son dependientes del tiempo. Incluye conceptos como los siguientes: Remuneraciones (pago de honorarios para el personal administrativo, directivo y profesional técnico, tales como sueldo, seguros, beneficios, etc.), Alquileres y Servicios (pago del local, equipos de transporte, equipos de computación, muebles y enseres, etc., y pagos de servicios de consumo tales como agua, luz, teléfono), y los Gastos Financieros, que son aquellos como fianzas, avales y garantías que permiten al contratista de obras satisfacer las exigencias contractuales (como, Garantía de fiel cumplimiento del contrato, fianza por adelanto en efectivo, fondo de garantía de buena ejecución, etc.)

b) **Utilidad:** Corresponde a la ganancia del contratista por el esfuerzo y dedicación al proyecto, cuantificada por un porcentaje del Costo Directo de Obra, este valor está en función de la oferta y la demanda.

- c) **Impuestos:** Constituye un costo de recargo que grava las operaciones en los contratos de construcción, por los servicios sea total o parcial, y corresponde al Impuesto General a las Ventas (IGV). El IGV vigente a la fecha por la SUNAT es de 19%, del valor de la construcción.

De esta manera el costo total de obra de la carretera puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\text{Costo total de obra} = \text{Costo directo de obra} + \text{Costo indirecto de obra}$$

$$\text{Costo total de obra} = \text{Costo directo de obra} + \text{Gastos Generales} + \text{Utilidad} + \text{Impuesto}$$

2.1.5.2 Estimación de indicadores de costo para carreteras

A) Estimación de costos de construcción para carreteras

Para la estimación del valor de la carretera en cada zona geográfica es necesario construir indicadores que permitan determinar el valor nuevo de una carretera. Entre dichos indicadores a determinar tenemos: costo por kilómetro y el costo por metro cuadrado de carretera nueva.

Para ello, se eligieron proyectos de construcción de carretera asfaltada nueva, de años recientes (año 2008 y 2009). Para estimar los indicadores que posibiliten la determinación de los costos de los proyectos de carreteras, se ha procedido de la siguiente manera:

- Se analizaron los presupuestos detallados de 4 proyectos recientes significativos (de más de 25 km de longitud) de la red vial nacional, eligiendo uno para cada zona geográfica. Estos proyectos de carreteras son los siguientes:

Proyecto	Zona	Nivel de estudio	IMD	Tránsito	Tipo de	Tipo de pavimento		Sección típica		Longitud (km)	Costo con IGV (Miles S/.)
			Total	a 20 años	Proyecto	Inicial	Final	Inicial	Final		
Fundición Ilo - Punta Bombón	Costa	Definitivo	1,692	3,516	1	GR	CA	D1/B1	D1/B1	78.2	148,124
Chuíñ - Oyón	Sierra	Definitivo	253	502	1	GR	CA	D2/B2	D2/B2	25.2	79,696
Puerto Bermudez - San Alejandro	Selva Baja	Factibilidad	238	596	1	GR	CA	5.0/SB	D3/B2	174.9	403,867
Villa Rica - Puerto Bermudez	Selva Alta	Factibilidad	280	522	1	GR	CA	4.5/SB	D3/B3	110.9	296,444

I: Construcción, D: superficie de rodadura, B: berma, SB: sin berma

D1:7.0, D2:6.6, D3:6.0, B1:1.5, B2:0.9, B3:0.5

Todos los proyectos de construcción nueva analizados, pasan de un estándar de grava (GR) a una superficie de rodadura del tipo carpeta asfáltica (CA).

- Para calcular el costo de obra nueva, se utilizaron precios expresados en nuevos soles (S/.) agrupando los costos de obra estimada en los estudios, en las siguientes partidas:

1. **Obras preliminares:** es el costo directo de obra que corresponde a la movilización y desmovilización de equipos, replanteos topográficos preliminares y georeferenciación, mantenimiento del tránsito y seguridad vial, despeje y habilitación de accesos, etc.
2. **Superficie de rodadura:** es del tipo carpeta asfáltica
3. **Estructura del pavimento:** representa las actividades para la construcción de la base y sub-base granular.
4. **Movimiento de tierras:** corresponde a las excavaciones (cortes, rellenos y conformaciones de la subrasante).
5. **Obras de drenaje:** considera todas las actividades para la construcción de alcantarillas y cunetas para la carretera.
6. **Puentes:** corresponde a los costos de toda la estructura del puente y los accesos a la misma.
7. **Transporte de material:** es el costo de transporte del material granular para la estructura del pavimento, el transporte de la mezcla asfáltica, y el transporte del material excedente a los depósitos.
8. **Señalización y seguridad vial:** son los costos necesarios de los dispositivos de seguridad y señalización necesario que se tienen que colocar para el buen funcionamiento de la carretera.
9. **Protección ambiental:** corresponden a los costos para mitigar los daños ambientales por la construcción, tales como los depósitos de material excedente, adecuación de canteras, etc.
10. **Complementos:** consiste en los gastos necesarios como reubicación de redes de servicios existentes (redes eléctricas de media tensión, agua y

desagüe, alumbrado, comunicaciones, etc.), y otros costos que se incurren para facilitar los trabajos con normalidad.

A continuación se muestra el costo total de inversión de proyectos de carreteras para cada zona geográfica por partidas.

Partidas	Costa	Sierra	Selva	
			Baja	Alta
Obras Preliminares	2,728,453.51	1,747,201.18	3,495,965.39	3,551,379.65
Superficie de Rodadura (CA)	22,776,167.89	9,174,079.56	33,990,230.94	28,955,620.31
Estructura del Pavimento (BG+SBG)	10,386,588.70	4,415,120.15	48,674,779.50	19,511,359.66
Explanaciones y Movimiento de Tierra	5,388,926.19	8,418,567.00	21,149,436.05	40,957,662.63
Obras de Drenaje	14,192,011.28	9,743,374.87	21,635,051.27	47,910,661.77
Puentes y Obras de Arte	0.00	10,467,421.28	23,902,249.75	4,461,676.54
Transporte de Material	41,603,112.57	4,141,488.71	93,459,294.00	52,733,395.27
Señalización y Seguridad Vial	1,987,075.53	2,171,266.38	4,665,714.41	2,717,268.35
Protección Ambiental	1,545,983.28	2,177,017.32	10,091,601.45	1,907,262.46
Complementos	49,893.52	11,757.20	0.00	0.00
Costo Directo	100,658,212.46	52,467,293.65	261,064,322.76	202,706,286.64
Gastos Generales + Utilidad	23,815,550.92	14,504,491.74	78,319,296.82	46,406,061.22
Sub Total	124,473,763.38	66,971,785.39	339,383,619.58	249,112,347.86
IGV	23,650,015.04	12,724,639.22	64,482,887.71	47,331,346.09
Total Presupuesto de Obra	148,123,778.42	79,696,424.61	403,866,507.29	296,443,693.96
Estudios Definitivos (2%)	2,962,475.57	1,593,928.49	8,077,330.15	5,928,873.88
Supervisión de Obra (4%)	5,924,951.14	3,187,856.98	16,154,660.29	11,857,747.76
Costo de Inversión	157,011,205.12	84,478,210.09	428,098,497.73	314,230,315.59
Costo / Km (miles soles/km)	2,007.82	3,350.98	2,448.24	2,833.97
Costo / m2 (soles/m2)	200.78	398.93	313.88	404.85

La estimación del costo total de inversión de los distintos proyectos, se hizo considerando un 2 y 4 por ciento en gastos por estudios definitivos y supervisión de obras, porcentajes usualmente utilizados para proyectos de carreteras.

Del cuadro anterior, se aprecia que el costo por kilómetro y el costo por metro cuadrado de construcción de carretera nueva, resultan ser mucho más altos en la selva alta y la sierra, que en la costa y en la selva baja.

- Finalmente, para fines de la presente investigación se planteo la necesidad de calcular el porcentaje de incidencia que tiene cada uno de los componentes de infraestructura vial en el costo total de inversión. No obstante, y dado que una infraestructura vial está compuesta por la carretera, puentes y túneles, se evalúa

en forma separada a fin de aproximar mejor el valor de la carretera propiamente dicha. Los porcentajes de incidencia para las partes integrantes de una carretera se muestran a continuación.

Porcentaje de costo de cada partida respecto a la inversión total

Partidas de Obra	Costa	Sierra	Selva Baja	Selva Alta	Promedio
Superficie de Rodadura (CA)	14.5%	10.9%	7.9%	9.2%	11%
Estructura del Pavimento (BG+SBG)	6.6%	5.2%	11.4%	6.2%	7%
Explanaciones y Movimiento de Tierra	3.4%	10.0%	4.9%	13.0%	8%
Transporte de Material	26.5%	4.9%	21.8%	16.8%	18%
Obras de Drenaje	9.0%	11.5%	5.1%	15.2%	10%
Señalización y Seguridad Vial	1.3%	2.6%	1.1%	0.9%	1%
				Σ	55%

En la tabla se aprecia que, en promedio, el costo de la superficie de rodadura, la estructura de pavimento, el movimiento de tierras, el transporte de material, las obras de drenaje y la señalización y seguridad vial, tienen mayor incidencia respecto al costo total de la inversión, representando un 55% del costo total de la inversión, el resto del costo de las partidas de la carretera representan solo un 8% (ascendiendo en un 63% el costo directo). El costo incluyendo los gastos generales, utilidad e impuestos alcanza a 94% del costo total de la inversión. El 6% restante corresponde a costos intangibles (estudio y supervisión de obra).

Si el deterioro fuera de tal magnitud que habría que reponer la superficie de rodadura por otra nueva, el costo total para reponerla representará entre el 7.9% y el 14.5% del costo total de inversión dependiendo de la zona geográfica en que se ubique, tal como se puede ver en la tabla anterior. Siendo el costo promedio, para la superficie de rodadura alrededor del **11% del valor de la carretera** (de su costo de inversión sin considerar puentes ni túneles).

B) Estimación de costos de conservación para carreteras

Para que una carretera presente un adecuado servicio, es necesario realizar tareas de conservación, una vez que estas ya fueron construidas y abiertas al tráfico. Los costos de conservación son los que se invierten a lo largo de la vida útil de la carretera, para restituir los niveles iniciales de funcionamiento de la infraestructura vial. Como ya se

había indicado en los capítulos anteriores, los costos de conservación están compuestos por los costos de mantenimiento rutinario y el periódico o rehabilitación.

Para la estimación de los costos de conservación de carreteras asfaltadas, se recopilaron datos de costos que se usaron en estudios recientes. Los costos en el caso de carreteras asfaltadas, se determinaron para los siguientes casos:

1. Costos de mantenimiento rutinario en carreteras

Los costos de mantenimiento rutinario a aplicar ha sido calculado como un promedio para todas las zonas geográficas, su valor esta alrededor de los 3,039.98 dólares/km. La estimación de dichos costos se muestra a continuación:

Mantenimiento rutinario	Costo/Km (En Soles)
Limpieza general	157.01
Tratamiento de fisuras	2,160.23
Conrol de vegetacion	37.27
Limpieza de cunetas	2,148.02
Limpieza de alcantarillas	72.10
Pintado de pavimentos	1097.41
Mantenimiento de señales	339.22
Costo Directo	6,011.26
Gastos Generales + Utilidad	1,202.25
Sub Total	7,213.51
IGV	1,298.43
Total Presupuesto de Obra	8,511.94
Costo / Km (soles/km)	8,511.94
Costo / m2 (soles/m2)	0.85
tc=2.8	
Costo / Km (dolares/km)	3,039.98

2. Costos de rehabilitación en carreteras

Los costos de rehabilitación, dependerá del tipo de trabajo a realizar, a continuación se detalla los costos por actividades más importantes a realizar.

Mantenimiento periodico	Sello asfaltico 10mm	Bacheo	Refuerzo 50mm
Costo de los trabajos (en soles/m2)	3.31	22.05	15.18
Costo Directo	3.31	22.05	15.18
Gastos Generales (20%) + Utilidad (10%)	0.99	6.62	4.55
Sub Total	4.30	28.67	19.73
IGV (18%)	0.77	5.16	3.55
Total Presupuesto de Obra	5.08	33.82	23.29
Costo / m2 (soles/m2)	5.08	33.82	23.29
tc=2.8			
Costo / Km (dolares/km)	1.81	12.08	8.32

El costo del sello asfaltico corresponde a la aplicación de un espesor de 10mm, sobre la superficie previamente tratada, mientras que el costo del refuerzo asfaltico corresponde al de 50mm de espesor.

2.1.6 LA EVALUACIÓN ECONOMICA Y EL VALOR RESIDUAL EN CARRETERAS

Esta sección explica la importancia del valor residual en la evaluación económica de carretera, y más aun cuando este valor se vuelve decisivo para determinar o no la viabilidad económica del proyecto de infraestructura de gran envergadura como las carreteras, cuya inversión inicial suele ser importante.

En la actualidad ha quedado demostrado que existe una estrecha relación entre el desarrollo de la infraestructura de transporte con el crecimiento económico del país, es decir que la provisión de dichas infraestructuras tiene efectos sobre el conjunto de la economía a corto y largo plazo. D. Aschauer (1989) fue el primer economista que introdujo la noción de que el stock de capital público en infraestructuras, así como el stock de capital privado pueden resultar claves para explicar los cambios en la producción del sector privado. Este concepto fue recogido y estudiado por Samuel Carpintero (2004) el cual concluye “.... [que] *existe una correlación significativa y positiva entre el stock de infraestructuras y el crecimiento económico....*”.

2.1.6.1 Propósito de la evaluación económica de carreteras

El propósito principal de la evaluación es seleccionar proyectos con grandes beneficios económicos. La decisión de invertir en carreteras o en el desarrollo de otras infraestructuras no es el objetivo principal de esta evaluación ya que, en la mayor parte de los casos, esta decisión ya habría sido tomada. Por tanto, el propósito es determinar la cantidad a ser invertida y que beneficios económicos se espera obtener. El monto de inversión se determina por los costos de construcción y los costos de conservación anual. Los beneficios esperados se identifican, principalmente, en forma de ahorros sobre los que el usuario obtendrá, al transitar por una mejor vía. Estos tres costos constituyen lo que comúnmente se denomina costo total del transporte (en la carretera) o el costo del ciclo de vida completo.

Los objetivos principales de la evaluación de la inversión en una carretera se pueden identificar, por tanto, de la siguiente manera:

- Determinar el tamaño apropiado de la inversión y los beneficios esperados a partir de la misma.
- Determinar los estándares de diseño geométrico y estructural apropiados para el tamaño de la inversión con la intención de obtener los beneficios esperados.
- Determinar las prioridades relativas de la inversión entre los diferentes posibles proyectos cuando existe un presupuesto restringido, y
- Evaluar los impactos económicos y socioeconómicos de la inversión tales como las mejoras a las comunidades, industrial, agrícola, educativa y de servicios de salud.

La evaluación de los beneficios socioeconómicos de una inversión de carreteras es difícil de realizar en términos monetarios. Es por eso que, esta se hace separadamente después de que se haya realizado la evaluación económica, usando un modelo de evaluación de inversión.

La función principal de un modelo de evaluación de la inversión, es por tanto calcular los costos de construcción, conservación y costos sobre los usuarios de la carretera en un periodo de análisis específico. Esto se logra modelizando las interrelaciones entre el medioambiente, los estándares de construcción, conservación y geométricos y, los costos sobre los usuarios de la carretera.

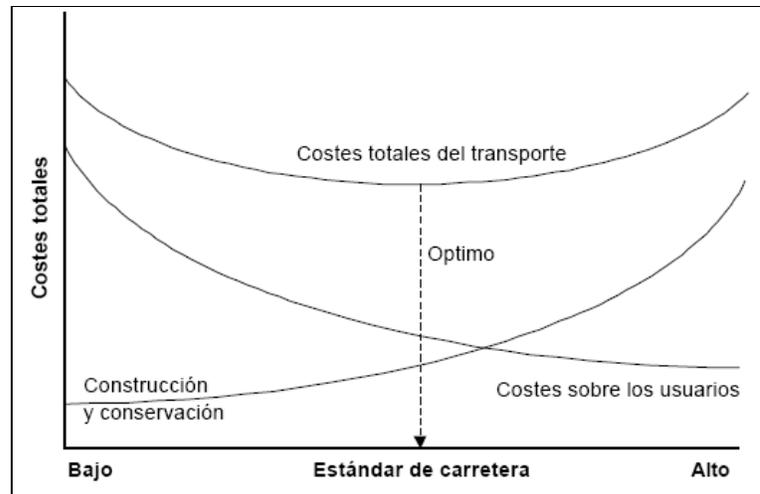
Un modelo de evaluación de la inversión puede ser usado para ayudar en la selección del diseño y de los estándares de mantenimiento apropiados que disminuyan los costos totales del transporte. El efecto de proveer mejores estándares en los componentes del costo total del transporte se muestra en la figura de abajo. Si se construye una carretera con bajos estándares, será necesario un gran esfuerzo de conservación lo que resultará en un alto costo total de la inversión del transporte a pesar de su bajo costo de construcción. Por el contrario, si se utilizan estándares altos en la construcción de la

carretera, los mismos serán mayores que los de conservación y los del usuario de la carretera. Un modelo de evaluación de la inversión puede, por tanto, ser utilizado para seleccionar el diseño o el estándar de mantenimiento para los cuales sea mínimo el costo total de transporte. Esta alternativa se presenta por una línea vertical entrecortada en la figura. No obstante, la interacción entre los componentes del costo del transporte es más compleja de lo sugerido en la figura. Una construcción de alto costo, como por ejemplo la construcción de una carretera muy ancha pero estructuralmente débil, no resulta necesariamente en bajos costos totales para los usuarios.

Cuando se planea invertir en el sector de carreteras, es necesario evaluar todos los costos asociados con el proyecto propuesto. Esto incluye costos de construcción, conservación y rehabilitación, costos sobre los usuarios y todos los otros costos o beneficios externos que puedan ser directamente atribuidos al proyecto. Es normal considerar tales costos o beneficios a través de un periodo de análisis, generalmente igual o mayor que el esperado para la vida útil de la carretera, lo que define el termino análisis de costos de “ciclo de vida”. Los costos de construcción, rutina y conservación periódica se originan, generalmente por la agencia o administración a cargo de la red de carretera. De otra forma los costos sobre el usuario de la carretera se originan en forma de costos de circulación vehicular, costos de tiempo de proyecto, costos de accidentes y otros costos indirectos.

Un modelo de inversión de carretera simula la interacción entre estándares de construcción del pavimento, estándares de conservación y los efectos del medioambiente y la carga del tráfico para predecir la tendencia anual de la condición de la misma. Esto, junto con los estándares geométricos de la carretera, tiene un efecto directo sobre la velocidad de los vehículos y sobre los costos de la circulación y las tasas de accidentes en la carretera.

Documentación del HDM-4



2.1.6.2 Componentes del costo de transporte

La evaluación económica que se lleva a cabo en los modelos de inversión de la carretera, está basada en los flujos de costos anuales generados para la construcción, conservación y costos sobre el usuario. Los flujos de costos generalmente comienzan en un año específico, el cual puede ser el primer año de la construcción, el primer año de circulación o simplemente el año calendario. El número de años, para el que se calculan los costos, depende del periodo de análisis especificado, generalmente igual al de la vida útil de la carretera.

a. Costos de construcción

El costo de construcción de una carretera nueva se calcula a partir de la suma de los costos de preparación del sitio, movimiento de tierras, construcción del pavimento, estructura de drenaje y puente y trabajos asociados. La preparación del sitio incluye limpieza de vegetación y remoción y eliminación de la capa de la superficie. El costo de los movimientos de tierra está muy influenciado por el tipo de terreno y el estándar geométrico especificado para la carretera. Esto incluye los costos de las excavaciones, de transporte y compactación. El costo de la construcción del pavimento está en función del número, espesor y tipo de las capas e incluye el costo de las bermas y los bordillos.

Un porcentaje importante de los costos de la construcción puede ser atribuido a los costos de los puentes y a la construcción de drenajes adecuados. La construcción, generalmente, incluye el asentamiento de campamentos provisionales así como el transporte de equipo, materiales y mano de obra al sitio de la construcción. Los costos de estas actividades, junto con el margen de ganancia del contratista y otros costos se agrupan, generalmente, en unos costos adicionales los cuales se pueden especificar como costos fijos por kilómetro o como un porcentaje del costo total de la construcción. Al final del periodo de análisis se puede especificar un **valor residual**, que representa el porcentaje del costo total incurrido sobre las estructuras permanentes, tales como terraplén, puentes y drenajes.

b. Costos de conservación

El costo anual de los trabajos de conservación se calcula a partir de las cantidades rutinarias de conservación de repuestas imprevistas de las conservaciones periódicos y de cualquier mejora aplicada en el año seleccionado. Esto dependerá de la condición prevista del pavimento y de las conservaciones específicas o estándar, las cuales pueden incluir una combinación de uno o más tipos de trabajos.

Los trabajos periódicos de rutina de conservación, que incluyen actividades aplicables independientemente de la condición de la carretera o del nivel de tráfico, por ejemplo, limpieza de drenaje, limpieza de cunetas, etc., pueden ser especificados como costos fijos anuales por kilómetro. Los de conservación de emergencia como daños por inundaciones, limpieza de derrumbes, etc., pueden también especificarse como un costo adicional ya que tendrán que ser llevados a cabo independientemente de la condición del pavimento.

c. Costos sobre los usuarios

Esto se puede definir como costos incurridos por los conductores de los vehículos y por el paso del tráfico general. Los cuatro tipos de costos sobre el usuario, generalmente considerados, están asociados a la circulación de los vehículos, el tiempo de trayecto, a los accidentes y a las incomodidades. Los dos últimos costos son

difíciles de evaluar en términos monetarios, si bien los costos de accidentes se pueden estimar de diferentes formas de acuerdo a los contenidos de los recursos utilizados (por ejemplo costo de repuestos y reemplazo de las mismas), o por las lesiones y muertes. Sin embargo, la carencia de métodos aceptables para el estimado de costos de accidentes e incomodidades, es la razón principal por la cual estos dos componentes no se incluyen en los modelos de evaluación de inversión, hasta este momento.

Costos de circulación

Se calculan por la suma de los componentes de los recursos utilizados, incluyendo:

- Consumo de combustibles y lubricantes
- Neumáticos y repuestos
- Costos de labores de mantenimiento del vehículo
- Salario de los conductores
- Depreciación del vehículo de intereses de amortización

Cotos del tiempo de trayecto

Estos costos se calculan a partir del promedio de las velocidades, la distancia entre los trayectos y los costos unitarios por hora de tiempo del usuario de la carretera. Las velocidades promedio son una función de la regularidad, de la anchura y del alineamiento vertical y horizontal de la carretera.

d. Otros costos y beneficios externos

Otros costos y beneficios que pueden ser directamente asociados a un proyecto de carretera, pueden ser incluidos en el análisis económico. Esto, usualmente, incluye beneficios independientemente evaluados, procedentes de desarrollos socioeconómicos tales como el aumento en la productividad agrícola, industrial, o bien por razones de accesibilidad. Los costos externos podrían incluir aquellos provenientes de rutas alternas, barreras anti ruido y otras incidencias que se puedan suceder durante la construcción. Tanto los costos como los beneficios no están calculados por los modelos de inversión y, por lo tanto, su inclusión en cualquier análisis económico sería

claramente justificada puesto que ambos pueden incidir en la clasificación de las alternativas de proyecto.

2.1.6.3 Método de evaluación económica

Hay numerosos métodos de análisis económico que son aplicables a la evaluación de estrategias de diseño de pavimentos.

a. Alternativas de proyectos

Las carreteras se constituyen normalmente con la intención de reducir costos y, por tanto, aumentar los beneficios, producidos por la reducción de los costos sobre los usuarios y por las mejoras de los servicios socioeconómicos. La evaluación económica de los proyectos de carreteras es, esencialmente por esta razón, una comparación de los componentes de los costos del transporte calculados para, al menos, dos alternativas de construcción identificadas una como alternativa “Hacer lo mínimo o Sin proyecto” y la otra alternativa “Hacer algo o Con proyecto”.

Alternativa “sin proyecto”

La alternativa Hacer lo mínimo o Sin proyecto, en la mayoría de los casos, representa la situación común en la cual se persigue una reducción del costo del transporte. Usualmente, es la alternativa que requiere el mínimo aporte de capital, lo que representa la continuación del estándar de carretera que se está utilizando. La matriz del costo anual de una alternativa Hacer lo mínimo tendrá, generalmente, poco o ningún componente de costo de construcción pero, sin embargo, conllevará altos costos de conservación y costos sobre el usuario.

Alternativa “con proyecto”

La selección de las alternativas de proyecto que serán analizadas depende de varios factores, en particular de los estándares nacionales de carreteras, de proyectos anteriores, de los niveles del tráfico, de la disponibilidad de materiales así como de otras consideraciones políticas y socioeconómicas. Una alternativa **con proyecto**, generalmente, requiere la aportación de un mayor estándar de carretera. Esto podría ser alcanzado a través de una nueva construcción, de reconstrucción, de actualización o de

mejoras al pavimento o a los estándares geométricos. Todos o cada uno de los anteriores pueden ser analizados como alternativas de proyecto independientes. Los costos de matrices de estas alternativas harán variar los niveles de capital y los costos recurrentes pero, generalmente, con un descenso de los costos sobre el usuario de la carretera.

b. Tasa de descuento y costo de oportunidad del capital

Es necesario descontar los costos del transporte en cada año, de un periodo de análisis de su valor en el año base. Esto se hace para poder reflejar el valor del dinero en el tiempo, representado por el costo de oportunidad del capital invertido en un proyecto de carretera. El mismo principio se aplica cuando se comparan los costos de varias alternativas de diseño de pavimentos en el tiempo. Cada alternativa puede tener un flujo distinto de costos, los que deben ser llevados al año base (valor del dinero equivalente en dicho periodo), para hacer la comparación.

La tasa a la que esas alternativas de flujo de costo son convertidas a un valor de dinero equivalente (llevándolos al año base), se conoce como tasa de descuento. La tasa de descuento es usada para ajustar los costos o beneficios futuros esperados, o un valor presente actual. Esto proporciona los medios para comparar usos alternativos de los fondos.

El concepto más importante en el uso de la tasa de descuento es el costo de oportunidad del capital. Cualquier desembolso de fondos para un proyecto de carreteras, no debería mantenerse ocioso. Estos fondos son recolectados y si se dejan en el sector privado, ellos pueden ser usados allí y ganar un retorno que mida el valor social en el uso de los fondos. Si los fondos son derivados al uso del Gobierno, el costo verdadero de la derivación es el retorno que debería haberse ganado de otro modo. Entonces la tasa de descuento correcta a utilizar para descontar los flujos esperados de costos y beneficios, es el costo de oportunidad del capital.

c. Indicadores de rentabilidad

Los criterios económicos más frecuentemente usado en la selección de proyectos son el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (B/C).

- **Valor actual neto**

El VAN se define como la diferencia entre los costos y los beneficios descontados de un proyecto. En la evaluación económica de un proyecto de carretera, los beneficios derivan principalmente, de los ahorros sobre los costos de los usuarios y los de conservación. De este modo los beneficios de la pavimentación de una carretera de grava podrían ser obtenidos restando los costos totales de transporte de la carretera pavimentada contra los de grava. El cálculo del VAN se simplifica así tomando la diferencia entre el valor actual de los costos de las dos alternativas comparadas.

- **Tasa interna de retorno**

El VAN depende de la tasa de descuento usada en el cálculo de los valores actuales. Cuando se utilizan altas tasas de descuento, se obtiene un bajo VAN con valores negativos. La TIR de un proyecto se define como la tasa de descuento en la cual, el valor actual de los costos es igual al valor actual de los beneficios, es decir, cuando el VAN es cero. Los proyectos con TIR altos son generalmente, preferibles ya que ofrecen VAN positivos con las tasas de descuento altas.

- **Relación Beneficio/Costo**

Este indicador provee una medida simple de la rentabilidad de un proyecto, es decir, la cantidad de beneficios obtenidos de cada unidad monetaria invertido. Representa un índice sin medida que se obtiene dividiendo los beneficios calculados del proyecto, entre los costos de capital descontados de la inversión

2.1.6.4 Impacto el valor residual en las decisiones de inversión en carreteras

Como se ha indicado anteriormente el último flujo a tener encuentra en la evaluación económica de carreteras, es el valor residual. En este momento, no responderemos cuanto será dicho valor al final del horizonte de evaluación, ya que más adelante se definirá la forma y el método apropiado de valorarlo.

Esta sección, trata más bien, explicar de forma resumida el impacto que tiene dicho valor en las decisiones de implementar o no una infraestructura vial, que para el caso de las carreteras estas requieren grandes cantidades de fondos de inversión para el estado.

Veamos un caso concreto y sencillo, explicando en forma resumida lo que ocurre al momento de realizar la evaluación económica de una carretera interurbana, cuando se toma el valor residual recomendado por la OPI del sector transportes.

Se ha tomado como caso, La Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Dv. Puerto Bermúdez – Dv. San Alejandro (Von Humboldt), que se encuentra contemplada dentro e las carreteras a ser implementadas dentro del programa del proyecto especial de transporte nacional, Provias Nacional, proyecto especial del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

La política de construcción propuesta para esta carretera es la aplicación de una superficie de rodadura de carpeta asfáltica en caliente, con asfalto convencional de 75mm de espesor. Los parámetros considerados para la evaluación económica de la carretera se muestran a continuación.

Longitud	174.859 km
Costo de Inversión	144'865,160 dólares a precios de mercado
Ejecución de las obras	2 años
Horizonte de Evaluación	20 años
No existe situación base optimizada	

consideramos las recomendaciones del MEF de utilizar un valor residual del 20%, el proyecto continúa siendo no rentable. Recién con un valor residual en el orden del 50% del valor de la inversión, el proyecto resulta ser viable, tal como se aprecia en la tabla anterior.

Como se ha podido observar en el ejemplo anterior, dicho valor impacta en la decisión de ejecución o no del proyecto de carretera. Por tanto, resulta de extrema importancia seleccionar un procedimiento apropiado para calcular el valor residual, para ser aplicado en obras de infraestructura vial, al tratarse las carreteras como proyectos de gran envergadura, y por ende de grandes beneficios para la integración y desarrollo económico del país.

2.2. REVISION DE LITERATURA QUE SE OCUPA DEL PROBLEMA

2.2.1 LA CONSERVACION DE LA RED VIAL NACIONAL EN EL PERU

En 1993 se creó el Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC), el cual asume las tareas de la Dirección General de Caminos - DGC en cuanto al mantenimiento de las carreteras asfaltadas de la Red Vial Nacional y retoma con exclusividad la atribución del cobro de peaje en la red vial a su cargo, creándose para tal efecto el Fondo Especial de Mantenimiento Vial, con carácter permanente, a cargo del SINMAC. Esta disposición permitió contar con nuevos recursos, incluso los saldos de balance presupuestal anual, para ser dedicados exclusivamente al mantenimiento vial. Sin embargo, a pesar de contar con mayores recursos económicos que le permitieron mejorar significativamente la gestión del mantenimiento, éstos aún resultaron insuficientes para atender completamente las necesidades, toda vez que el SINMAC no recibió otros aportes del Tesoro Público, fue asumiendo cada vez mas carreteras construidas o rehabilitadas por el PERT (la unidad ejecutora de proyectos de las vías asfaltadas de la RVN y que luego paso a formar el PROVIAS NACIONAL) y la devaluación de la moneda nacional hizo disminuir progresivamente el monto real de las recaudaciones del peaje por el retraso del sinceramiento de la tasa, la cual no fue manejada técnicamente por el gobierno, ante presiones ejercidas por los gremios de transportistas de pasajeros y carga.

De la información reportada por el MTC, en el año 2000 el requerimiento para un adecuado nivel de conservación de la red vial nacional asfaltada se estimaba en US\$ 82.6 millones, sin embargo la recaudación por concepto de peaje solo alcanzó la suma de US\$ 43.1 millones, importe que solo cubrió los gastos de mantenimiento rutinario, administrativos y una mínima parte del mantenimiento periódico. A pesar de ello, una vez más por presión de los gremios de transportistas, en el 2001 el gobierno dispuso una reducción del 30 % de la tasa de peaje aplicable a los vehículos pesados, con lo cual la recaudación por concepto de peaje cayó a US\$ 35 millones, siendo las necesidades de mantenimiento estimadas para dicho año de US\$ 87 millones.

En la actualidad la situación anteriormente descrita ha variado poco, si bien existe un rebalanceo de la tasa de peaje, ésta aún no ha alcanzado el nivel de equilibrio que se ha estimado en el orden US \$ 1.60 por vehículo-eje.

En lo que respecta a las modalidades de mantenimiento vial, tradicionalmente el MTC realizó estas tareas por administración directa, a través de jefaturas de proyectos dependientes de la sede central y de Direcciones Departamentales de Caminos, las cuales a su vez dependían de la Dirección General de Caminos, que atendía tanto a los caminos asfaltados y no asfaltados de la Red Vial Nacional, así como también a una importante proporción de carreteras Departamentales y Vecinales, con fondos provenientes del Tesoro Público.

A partir del año 1993, con la creación del SINMAC, éste asume la responsabilidad sobre las carreteras asfaltadas de la Red Vial Nacional, con recursos provenientes del cobro de peaje. Para el caso del mantenimiento rutinario la modalidad principal continúa siendo por administración directa; para el caso del mantenimiento periódico la tendencia ha sido por el contrato de ejecución de obras con empresas contratistas civiles.

Sin embargo, se empiezan a estudiar nuevas modalidades de mantenimiento y gestión vial, entre ellas la concesión de carreteras para su rehabilitación, mantenimiento, administración y cobro de peaje; la contratación de micro-empresas locales de mantenimiento vial y la contratación de mantenimiento rutinario por resultados y así, en noviembre de 1994 se otorga la concesión de la carretera Arequipa-Matarani, con una longitud de 105 km, que une a la ciudad más importante de Sur del país con su puerto marítimo; durante los años 1995 y 1996 se realiza el mantenimiento rutinario de la carretera Pativilca-Conococha, de 122 km de longitud, mediante contrato con microempresas locales y en junio de 1996 se adjudican seis contratos de mantenimiento rutinario por resultados de 635 km de la carretera Panamericana, seguidos durante el segundo semestre de dicho año por otros contratos de mantenimiento de 600 km.

De éstas, únicamente la modalidad bajo Concesión ha tenido continuidad, estando en estos momentos el país abocado a un esfuerzo de promoción de la inversión privada en la infraestructura de transporte.

En cuanto a la aplicación de programas y modelos de planeamiento y seguimiento de la conservación vial, también se han venido realizando esfuerzos de actualización del inventario vial y la modernización de los procedimientos de calificación del estado superficial y de relevamiento de la condición estructural de las carreteras de la Red Vial Nacional. Cabe mencionar también la realización del Estudio del Plan de Mantenimiento de la Red Vial Nacional 2000-2009, desarrollado internamente por el SINMAC en Noviembre de 1999, basado en el modelo HDM-III, con el propósito de determinar las actividades y operaciones, estimar los costos y los recursos financieros necesarios para elevar inicialmente el nivel de estado de las carreteras asfaltadas a su cargo (8,270 km) y luego mantenerlo a un nivel bueno.

Durante el año 2000 se desarrolla el estudio del Sistema de Gestión de Carreteras-SGC, con el propósito de diseñar políticas de mantenimiento a largo plazo, seleccionar de manera racional los tramos que requieran de actividades y obras de mantenimiento, definir los presupuestos mínimos y optimizar el uso de los recursos humanos y financieros disponibles, asimismo realizar el seguimiento permanente de la evolución de la Red.

Sin embargo el SGC aún no ha cumplido a cabalidad los propósitos para los que fue desarrollado, por cuanto únicamente se han incorporado los datos de 1,500 km inventariados en el plan piloto del Sistema, habiéndose demorado el inventario del resto (aproximadamente 7,000 km) de la Red Vial Nacional Asfaltada.

A partir de mediados del año 2002 (mediante Decreto Supremo N° 033-2002-MTC del 12.07.2002) inicia sus actividades el Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional – PROVIAS NACIONAL como Unidad Ejecutora del Pliego del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, adscrita al despacho del Viceministro de

Transportes, con autonomía técnica, administrativa y financiera, encargada de las actividades de preparación, gestión, administración y ejecución de proyectos de infraestructura de transporte de la Red Vial Nacional (RVN).

Esta Unidad se generó como fusión de lo que era el Proyecto de Especial de Rehabilitación de Infraestructura de Transportes (PRT-PERT) y el Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC). El PRT era una unidad ejecutora encargada de la realización de proyectos de infraestructura vial financiados por convenios de préstamo con organismos multilaterales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Banco Mundial (BM), KFW, Corporación Andina de Fomento (CAF), JBIC, entre otros. Los estudios y obras ejecutados por el PRT se relacionaban a asfaltados de vías con diseños y obras contratados a terceros. El SINMAC se encargaba directamente del mantenimiento de las vías asfaltadas de la RVN y de la operación del sistema de peajes y pesajes en estas carreteras.

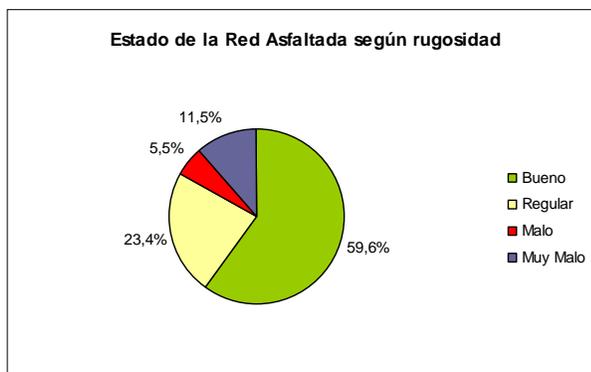
Así, de acuerdo a la información existente del Plan Intermodal de Transportes y del Inventario de la RVN Asfaltada se tienen los resúmenes de estado para la Red Vial Nacional asfaltada y no asfaltada como se muestra en el siguiente cuadro.

Tipo de Superficie	Red Vial Nacional		Bueno		Regular		Malo	
	Long. (km)	%	Long. (km)	%	Long. (km)	%	Long. (km)	%
Asfaltado	9,024.0	52.6%	5,360.3	96.6%	2,129.7	50.5%	1,534.1	20.8%
Afirmado	4,217.6	24.6%	176.6	3.2%	1,834.3	43.5%	2,206.7	29.9%
Sin afirmar	2,087.9	12.2%	12.9	0.2%	257.0	6.1%	1,818.0	24.6%
Trocha	1,829.0	10.7%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	1,829.0	24.8%
	17,158.5		5,549.8		4,221.0		7,387.8	

FUENTE: PLAN INTERMODAL DE TRANSPORTES, Y DEL INVENTARIO VIAL EFECUTADO EN LAS VIAS ASFALTADAS EN EL AÑO 2005 - PVN.

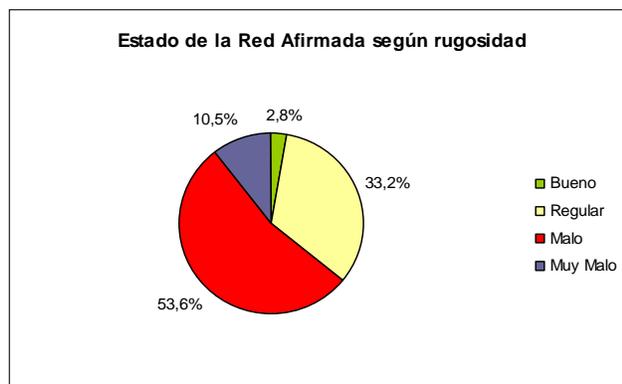
En los Gráficos, se aprecia la notable diferencia de estado entre la Red Vial Nacional asfaltada (con un 83% entre bueno y regular) y la Red Vial Nacional afirmada (con un 64% entre malo y muy malo).

Estado de la Red Vial Nacional Asfaltada



FUENTE: PROVIAS NACIONAL

Estado de la Red Vial Nacional Afirmada



FUENTE: PROVIAS NACIONAL

2.2.2 EL IRI COMO INDICADOR DEL DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA

El estado de una carretera empieza a degradarse desde el mismo momento de su construcción, debido a la acción del tráfico, al clima, entre los principales agentes que provocan el deterioro en los diversos elementos que conforman la infraestructura vial.

En ese sentido, también es necesario conocer el estado del pavimento, sabiendo que dicho estado varía con el tiempo. El estado del pavimento está expresado en términos de la irregularidad de la superficie de rodadura, a la presencia y magnitud de los deterioros, las deflexiones y otros factores de la capacidad estructural del pavimento, espesores y propiedades reales de las capas del pavimento, a la resistencia al deslizamiento, a la textura y estado del drenaje. La CEPAL en su publicación (1994), define los tipos de estados que presenta una carretera en un momento determinado, los mismos que se indican a continuación.

Estado Bueno (A). En caminos pavimentados, en su mayor parte libres de defectos, que solo requieren de un mantenimiento rutinario y quizás un tratamiento superficial. Caminos sin pavimentar que necesiten solo mantenimiento rutinario de nivelación y reparaciones localizadas.

Estado Regular (B). En caminos pavimentados, que presentan defectos y reducción de su capacidad estructural. Requieren renovación o refuerzo de la superficie de rodadura, sin necesidad de demoler la estructura existente. Caminos sin pavimentar, que requieren un reperfilado o una renovación de la superficie (reaplicación de grava) y una reparación del drenaje en algunos lugares.

Estado Malo (C). Caminos pavimentados que presentan defectos de estructura y que requieren rehabilitación inmediata, previa demolición parcial de tramos deficientes. Caminos sin pavimentar que requieren rehabilitación y trabajos de drenaje.

Estado Muy Malo o Pésimo (D). Caminos pavimentados que representan graves defectos en la estructura y que requieren una reconstrucción, previa demolición de una gran parte de la estructura existente. Caminos sin pavimentar que requieren obra de reconstrucción e importantes trabajos de drenaje.

Existen muchos indicadores para evaluar el estado de la vía, tales como el PCI - Índice de condición del pavimento – (indicador numérico), el SHRP -Strategic Highway Research Program – (método visual), y el uso variados equipos que evalúan el deterioro superficial y estructural del pavimento. El indicador más utilizado para evaluar el estado de los pavimentos es el IRI – Índice de Rugosidad Internacional -, por las ventajas que este tiene desde el punto de vista de la Gestión Vial. Para una mayor comprensión, estos métodos se encuentran descritos con mayor amplitud en el Anexo 2.

En relación con las fallas funcionales y la capacidad de servicio del pavimento, la rugosidad es por definición un factor importante y de fácil medición a través del IRI. En ese sentido, y con la Finalidad de categorizar el Estado de la Red Vial Nacional, la Oficina de Gestión Vial del MTC, utiliza intervalos de valores de IRI para definir el estado de la carretera, tal como se detalla a continuación.

Clasificación de la vía según el estado

Estado / Superficie	ASFALTADO	AFIRMADO
BUENO	$0 < \text{IRI} \leq 2.8$	$\text{IRI} \leq 6$
REGULAR	$2.8 < \text{IRI} \leq 4$	$6 < \text{IRI} \leq 8$
MALO	$4 < \text{IRI} \leq 5$	$8 < \text{IRI} \leq 10$
MUY MALO	$5 < \text{IRI}$	$10 < \text{IRI}$

FUENTE: PROVIAS NACIONAL

El valor más bajo, $\text{IRI}=0$, corresponde a un perfil plano, y aunque no existe un límite superior para el IRI, en la práctica los valores por encima de 8, (para el caso de pavimentos asfaltados) indican un pavimento impasable por un vehículo, excepto a velocidad reducida.

El MOP de Chile, tiene preparado una tabla simplificada donde muestra la relación normal que existe entre el estado de la carretera y las obras necesarias para llevar a su condición original.

**Relación entre el Estado y el Trabajo de Conservación Vial
Para Carreteras Asfaltadas**

Tipo de Superficie	Estado	Tipo de Conservación
ASFALTADO	BUENO	Mantenimiento rutinario y/o sello
	REGULAR	Recapado
	MALO	Recapado/Reconstrucción

El cuadro anterior indica que los trabajos de rehabilitación (recapado del pavimento) será necesario realizarlo básicamente cuando el estado superficial de la carretera presenta un fuerte deterioro (grietas, ahuellamientos, pérdida de finos, desprendimiento de la capa de rodadura, etc.), que incluya baches en la base, sin que exista falla estructural; esto quiere decir, que el IRI tendrá un valor de hasta 4.

Para el estado malo (cuando el IRI está comprendido entre valores de 4 a 5), la actividad estará en función de los resultados de las deflexiones del pavimento existente, que dependiendo de las deflexiones podría ser un recapeo o reconstrucción (reemplazo parcial de las capas del pavimento a nivel de base). Como condición indispensable para la ejecución de esta actividad se requiere que en el tramo a reconstruir haya deflexiones mayores a las permisibles en el pavimento, debiendo realizar el control por medio de la Viga Benkelman, mediante el método de la AASHTO.

Para el estado muy malo se considera que existe falla estructural del pavimento (es decir cuando el IRI alcanza valores mayores de 5), por lo que se requerirá de trabajos de reconstrucción (reemplazo total de las capas del pavimento).

En relación a la condición estructural del pavimento el indicador clave corresponde a la deflexión del pavimento. Si bien la deflexión no corresponde a una variable de fácil adquisición debido a que su levantamiento es lento y de alto costo, resulta indispensable contar con valores límites para predecir la capacidad del pavimento. En ese sentido, el estudio realizado por el DICTUC de la Pontificia Universidad Católica

de Chile, determino valores representativos de deflexión, tal como se puede ver en la siguiente tabla.

Rango de Deflexiones en el pavimento

Deflexión	Rango (mm)	Valor Representativo (mm)
BAJO	0.06 – 0.24	0.16
MEDIO	0.25 – 0.41	0.35
ALTO	0.42 – 1.14	0.58

FUENTE: DICTUC – CHILE

2.2.3 METODOS ACTUALES PARA DETERMINAR EL VALOR RESIDUAL

Esta sección se centra en analizar los distintos métodos que actualmente existen para determinar el valor residual de los activos fijos, cuyos conceptos de valoración son tratados por una amplia gama de autores, entre los que encontramos a Miguel Sanjurjo, Mar Reinoso, Nassir Sapag, entre los principales.

Asimismo, se irá explicando las hipótesis por la cual se fundamenta cada uno estos métodos, haciendo un comentario de su aplicación y finalmente seleccionando el (los) método(s) que mejor se aproxima para determinar el valor residual en infraestructuras de transporte.

2.2.3.1 Evaluación de los métodos para determinar el Valor Residual

Actualmente existen cuatro métodos sobre la forma más conveniente de determinar el valor residual.

- Método del valor contable
- Método del valor contable ajustado (valor de mercado)
- Método del valor sustancial (valor de reposición de activos)
- Método de descuento de flujos de fondos (valor económico)

- **Método del valor contable**

Hipótesis básicas

Este método descansa en el hecho en que la contabilidad es el fiel reflejo del valor de los activos. Es decir que los asientos contables capturan todo el valor creado por el proyecto y como consecuencia de ello no es necesario realizar ningún ajuste sobre la información contable puesto que esta es perfectamente representativa del valor creado por el proyecto o empresa.

Definición

Es un método que se rige por los Principios de Contabilidad Generalmente Aceptados (PCGA). Bajo este método el valor residual es calculado de la siguiente manera:

$$VR = Vadq - Dac$$

Donde

VR Valor residual

Vadq Valor de adquisición o costo de producción del bien o activo fijo

Dac Depreciación acumulada en un tiempo dado

Por tanto, el valor residual vendría a ser una parte del valor de adquisición o compra del activo fijo.

El activo fijo, representa propiedades físicamente tangibles que han de usarse más de un año en las operaciones regulares del proyecto. El activo fijo incluye las siguientes partidas:

- Terrenos
- Construcciones
- Maquinarias y equipos
- Recursos naturales

El activo fijo, (con excepción del terreno que es no depreciable y no agotable), se consume durante el tiempo de servicio o vida útil, en la producción de bienes y servicios. Algunas veces en el proyecto se pueden identificar recursos naturales valiosos en su propiedad, tales como minas, pozos de petróleo, gas natural, bosques, árboles frutales, etc., estos activos se conocen como activos agotables y en la mayoría de los casos no pueden remplazarse o reponerse.

La depreciación es la pérdida o disminución paulatina del valor de un activo fijo (excluyendo terrenos) por el uso o la obsolescencia, a lo largo de la vida útil estimada de manera sistemática y racional.

En el Perú, el método permitido de depreciación es el método de la línea recta. La depreciación bajo el método de la línea recta, se efectuara utilizando los siguientes porcentajes, establecidos por la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (Sunat).

Activos fijos	% Depreciación
Edificios y construcciones	3%
Vehículos de transporte terrestre (excepto ferrocarriles)	20%
Maquinarias y equipos	20%
Otros bienes del activo fijo	10%

En cuanto a la aplicación de otros métodos de depreciación de los activos fijos (unidad producida, depreciación acelerada, principalmente), y la utilización de otros porcentajes de depreciación, se deberá solicitar a la Sunat la autorización de dicho cambio mediante un informe técnico suficientemente respaldado por un especialista en valuación.

Críticas al método

El cálculo del valor residual utilizando los estados contables de la empresa resulta ser un procedimiento en extremo conservador, ya que presume que la empresa o proyecto de inversión siempre pierde valor en el tiempo, y no representa en absoluto su valor de mercado.

La determinación del valor residual por este método, se debe efectuar solo a nivel de perfil y ocasionalmente en los estudios a nivel de prefactibilidad.

- **Método del valor contable ajustado (valor de mercado)**

Hipótesis básicas

Este método se fundamenta en que los valores contables no reflejan el verdadero valor que podrán tener los activos al término del periodo de evaluación.

Para determinar el valor residual de los activos fijos, el activo o bien debe existir un mercado libre (compradores y vendedores), donde se cuenta con información de precios a valor de mercado.

Este método se basa a que existen en el mercado activos fijos de similares características al bien objeto de valoración. Este método compara el activo fijo objeto

de valoración con otras de similares características (antigüedad, estado de conservación, dimensiones, etc.), de las cuales se tiene constancia de una reciente transacción en el mercado.

Definición

Este método plantea que el valor residual de la empresa o proyecto corresponderá a la suma de los valores de mercado que sería posible esperar de cada activo, corregido por su efecto tributario. Para determinar el valor residual bajo este método, se requiere determinar primero el valor contable del activo al final de horizonte de evaluación.

$$VR= (Vm-Vc)(1-T) + Vc$$

Donde:

VR Valor residual

Vm Valor de mercado del activo fijo

Vc Valor contable del activo fijo

T Tasa de impuesto

Si el activo tuviese un valor de mercado tal que al venderlo fuese mayor al valor contable (es decir, se obtiene una utilidad), el excedente se debe aplicar el impuesto que deberá pagar por obtener dicha utilidad. Si el activo tuviese un valor de mercado inferior al valor contable, se deberá sumar al precio de venta el ahorro tributario que esa pérdida contable ocasione a la empresa

Críticas al método

En proyectos nuevos, existe una gran dificultad para estimar cuanto podrá valer dentro de un determinado tiempo (generalmente al final del horizonte de evaluación), un activo que todavía ni siquiera se adquiere. Por tanto, resulta una enorme dificultad práctica de su aplicación a proyectos que tienen una gran cantidad y diversidad de activos, lo que hace que el cálculo de los valores de mercado pueda introducir mucha subjetividad, lo que es una fuente evidente de críticas a este método.

También hay quienes indican que se busquen activos similares a los del proyecto con un tiempo de uso o servicio igual, y determinar cuánto valor han perdido en dicho tiempo, para aplicar igual factor de pérdida de valor a aquellos activos que se adquirirán con el proyecto. Este procedimiento no constituye una adecuada solución por cuanto casi no existe en la práctica activos similares.

Se recomienda utilizar este método para aquellos proyectos que cuentan con activos fijos, sujetas a transacciones en el mercado y se puede conseguir información recientes y fiables. Y en proyectos en funcionamiento, donde serán pocos los activos en los que será necesario invertir, por ejemplo el reemplazo de una maquina.

No obstante, este método presenta una complejidad adicional si se menciona que existen activos fijos que no tienen valor de mercado para realizar la transacción. Por ejemplo infraestructuras como un todo (portuarias, aeropuertos y carreteras) donde no existen compradores.

- **Método del valor sustancial (valor de reposición de activos)**

Hipótesis básicas

Este método se fundamenta en la premisa en que todos los activos fijos (bienes tangibles) tienen un cierto valor de reposición.

Un hipotético comprador solo pagaría por un activo o bien, el costo de otra sustitutiva que cumpla la misma función.

Definición

Este método define el valor residual como la diferencia del costo del activo nuevo menos el costo de reposición. Siendo el costo de reposición, el costo necesario en que se incurre para reponer un activo semejante a su estado nuevo (valor de reposición) y permitir que el proyecto mantenga su capacidad operativa.

$$VR = VN - \text{Valor de Reposición.}$$

Donde:

VR Valor residual

VN Valor nuevo o Costo de reposición a nuevo

Este método exige determinar inicialmente el valor nuevo o costo de reposición a nuevo, para ello se deberá determinar los costos unitarios de las partidas de construcción a precios actuales (materiales, maquinarias, equipos y herramientas). Ha de tenerse en cuenta todas las partidas de obra que intervienen en la construcción, los gastos generales de obra y la utilidad y los impuestos. También se incluyen los costos de elaboración del estudio así como otros gastos involucrados para la implementación del proyecto.

Críticas al método

Este es un método de valoración ampliamente recomendado para activos fijos (bienes tangibles), sin embargo para otros sectores no es conveniente su aplicación, sobre todo en proyectos o empresas que cuentan con activos intangibles, tecnologías únicas, patentes, o desarrollos de imposible imitación o reproducción.

- **Método de descuento de flujos de fondos (valor económico)**

Hipótesis básicas

Este método se emplea en activos fijos (bienes tangibles) cuya vida útil o económica suele ser considerablemente larga. Es decir, reconoce que la vida de la empresa o proyecto va más allá del horizonte de evaluación del proyecto.

Este método supone que los activos o bienes a valorar deben tener la capacidad para generar flujo de fondos a futuro durante un periodo de tiempo de al menos un año, y luego de ese tiempo se asume que todos los flujos generados cada año se reinvierten.

El método considera la determinación de una tasa de descuento adecuada para descontar los flujos de fondos, con riesgo similares al sector.

Definición

El método de descuento de flujo de fondos, es un método dinámico, que calcula el valor residual considerando la capacidad del proyecto de generar flujos de caja netos en el futuro (flujo de caja libre), para luego descontarlos a una tasa apropiada según el riesgo de dichos flujos.

En la práctica y teniendo en consideración las hipótesis planteadas para este método, es suponer una tasa de crecimiento constante (g) de los flujos a partir del año n y obtener el valor residual en el año n (al final del horizonte de evaluación), aplicando el modelo de Gordon (renta perpetua).

$$VR = \frac{FCL_n \times (1+g)}{(k-g)}$$

Donde:

VR Valor residual

FCL_n Cifra del último año proyectado del flujo (flujo de caja libre)

g Crecimiento del flujo a partir del año n.

k Tasa de descuento (para valorar el proyecto integral se utiliza el WACC)

El modelo de Gordon está basado en el supuesto que el crecimiento de los flujos de caja libre futuros sean constantes. Cualquier error en la estimación de la tasa de crecimiento (g) puede tener una influencia sustancial sobre el valor residual, sobre todo en empresas o proyectos de alto crecimiento. Desafortunadamente, estas tasas de crecimiento son siempre difíciles de calcular en el largo plazo y por consiguiente los flujos de caja libre también.

Críticas al método

Este método exige la construcción de proyecciones financieras, para cada periodo, de todas las partidas que se vinculan con la generación de los flujos de caja. No se tiene ningún tipo de garantía que los valores proyectados en cada de las partidas puedan

cumplirse en el futuro. Esta complicación es mucho más grande cuando el horizonte de evaluación sea mayor, pues se vuelve más complicado e incierto los flujos más lejanos en el tiempo,

Otro punto importante, es la estimación de la tasa de descuento. Una alta sensibilidad de la tasa de descuento hace que el valor residual sufra serios riesgos en su determinación real. Esto sucede cuando el proyecto no cuenta con fuentes de información suficiente o nula de empresas similares, para determinar el β (riesgo del mercado). Si a esto se añade que la volatilidad del β del pasado no puede proporcionar una medida del riesgo del futuro.

El concepto de perpetuidad, o asumir que la empresa va a generar flujos indefinidos constantes en el futuro, aunque suele ser una simplificación cuando no se conoce la duración de la empresa luego del horizonte de evaluación, carece de toda lógica como hipótesis para modelos de empresas industriales que enfrentan cambios estructurales en el futuro. También resulta inaplicable para empresas o proyectos que no han alcanzado su punto máximo o hayan consolidado el negocio, o en empresas con fuertes pérdidas que luego de un largo tiempo tendrían altos crecimientos, como los proyectos en tecnología e investigación.

2.2.3.2 Selección del método para determinar el Valor Residual en carreteras

La propuesta del presente trabajo consiste en calcular el valor residual de un proyecto de infraestructura vial a través del valor de reemplazo o de reposición. La principal ventaja de ello reside en su simplicidad (basta con conocer las partidas principales que constituyen el diseño de una carretera o de su pavimento), el conocimiento requerido (no se requiere ningún sustento teórico o empírico complejo o sofisticado o un software de última generación) y los medios disponibles (cualquier ingeniero de pregrado con información elemental podría estimar el valor residual. Además, está el hecho de la claridad en el cálculo, su transparencia, la rapidez en su elaboración.

La alternativa más conveniente debido a la naturaleza del activo que se trata sería aplicar el valor presente de un flujo futuro de ingresos (a perpetuidad o no). Sin embargo, como es consenso en la disciplina de la evaluación de proyectos, hacer depender el valor de un activo o el resultado de un flujo de caja de valores estimados en un horizonte lejano suele conllevar un alto grado de incertidumbre o de desconfianza. Flujos estimados por encima de los diez años resultan ser altamente especulativos, sobre todo porque el contexto puede cambiar, pero también porque ciertos parámetros de la evaluación pueden cambiar. Por ejemplo, téngase en cuenta la tasa de descuento, o las tasas de crecimiento de cualquier variable que sea necesaria estimar (tráfico, pasajeros, actividad económica, ingresos, precios de combustibles, vehículos, etc.). Ello incidiría fuertemente en el resultado del valor residual a estimar o haría de este último una estimación poco probable. Además, los resultados no serían los mismos para un mismo caso o proyecto, pues dependería del formulador/evaluador de turno, que con sus propias preferencias, percepciones de riesgos, data disponible, etc. obtendrá unos resultados diferentes al de otro formulador/evaluador.

En cambio, con el método de valor de reposición de activos no se requiere ninguna estimación particular de valores futuros. Independientemente de quien sea el que esté haciendo el cálculo, se sabe cuánto cuesta reponer un activo físico como una carretera. Los daños que habría que establecer del activo vial actual para poder deducir del valor de reposición en función de un activo completamente nuevo son fáciles de establecer, no existe, en ese sentido mayor controversia al respecto.

2.2.4 REVISION DE AUTORES QUE TRATAN SOBRE EL VALOR RESIDUAL

El valor residual de la inversión, valor de rescate o valor de liquidación de la inversión, ha sido un tema tratado por muchos autores, más aun cuando este valor se vuelve decisivo para determinar o no la implantación de proyectos de infraestructura pública de gran envergadura como carreteras, cuya inversión inicial suele ser importante.

Este capítulo hace una revisión y análisis de los importantes aportes que la literatura trata en la actualidad al tema del valor residual, y que se hallan recogidas en Nassir Sapag (2007), Ernesto Fontaine (2008), Hernán de Solminihac (2005), Miguel Sanjurjo y Mar Reinoso (2003), Montellano Pereyra (2005).

Recogiendo también artículos técnicos preparados y publicados por importantes agencias internacionales en el sector transportes, tales como la norma AASHTO – American Association of State Highway and Transportation - (en sus versiones de 1993 y 2004), y del TAI - The Asphalt Institute- (1991). Publicaciones de organismos públicos que recogen estos conceptos, tales como el MOP – Ministerio de Obras Publicas de Chile (2010).

También se hace una revisión de las guías y metodologías que tiene publicado el Sistema Nacional de Inversión – MEF, sobre el valor residual en la actualidad.

2.2.4.1 Consideraciones del Sistema Nacional de Inversión Pública, respecto al valor residual.

El Sistema Nacional de Inversión Pública es un sistema administrativo que vela por la aplicación apropiada de técnicas, conceptos y procedimientos para la formulación y evaluación de proyectos del sector público, se puede pensar que debe tener pautas respecto de cómo estimar el valor residual de la inversión, dado que las tiene para otros aspectos fundamentales y técnicos como la Tasa Social de Descuento, el Precio Social de los Combustibles, etc. Sin embargo, la determinación del valor residual de un

proyecto de infraestructura vial se vuelve un aspecto crucial, al no tener desarrollado criterios y/o pautas orientativas para el sector transportes.

El lugar virtual oficial del SNIP para revisar y obtener información técnica sobre parámetros, técnicas, conceptos y metodologías de evaluación de proyectos es la página web www.mef.gob.pe. Allí se puede encontrar información sobre horizontes de tiempo para la evaluación de proyectos de diferentes sectores productivos, procedimientos específicos para estimar precios sociales, metodologías para estimar la tasa social de descuento o el precio social de la divisa, etc.

Con respecto al valor residual de la inversión, se encuentra dos menciones. La primera, en un documento llamado ANEXO SNIP 10: “Parámetros de Evaluación”, que en el acápite referido a valor de recuperación de la inversión dice: “.....*en todos los casos en que las inversiones asociadas a un uso específico no se hayan terminado de depreciar al final del horizonte de evaluación del PIP, sin que tengan un uso alternativo, el valor de recuperación de dicha inversión será cero (0)*”. La segunda, en la “Guía General de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública a nivel de Perfil”, que en la sección sobre el valor residual indica que para su estimación es importante considerar los siguientes criterios:

- “El valor de recuperación de los activos que no puedan ser vendidos ni reutilizados en una actividad diferente de la vinculada con el proyecto será nulo, independientemente de su vida útil.
- El valor de recuperación de los activos que puedan ser vendidos y/o reutilizados en una actividad diferente de la vinculada con el proyecto será estimado considerando su vida útil y aplicando el método de depreciación final. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que siempre que se utilice una vida útil que involucre un horizonte de evaluación mayor a los 10 años que fija la norma, es necesario sustentarlo adecuadamente.

2.2.4.2 Medios empleados por otros autores.

Con respecto a lo anterior, el primer criterio se basa a su vez en la teoría microeconómica convencional o estándar que manifiesta que si un bien no tiene uso alternativo, su valor económico es cero. Por ejemplo, Joseph E. Stiglitz (1999), en su libro introductorio de microeconomía, afirma que “...*los precios son determinados por la ley de la oferta y la demanda...*”. Por lo tanto, si los activos, al final de la vida del proyecto, no tienen un uso alternativo, es decir, no tienen una oferta o demanda en algún mercado específico, entonces no tienen precio o el mismo es cero.

Con respecto al segundo criterio, de existir uso alternativo, entonces existe precio, pero el valor residual del proyecto no pasa a determinarse en el mercado, sino que se estima por criterios contables ya que se indica que debe tenerse en cuenta la vida útil del activo del proyecto y la aplicación del método de depreciación. La teoría que se encuentra detrás de tal postura es la convencional usada en el campo contable y de las finanzas. Nassir Sapag (2007), resume claramente este método: “*El valor contable – o el valor en libros – corresponde al valor de adquisición de cada activo menos la depreciación que tenga acumulada a la fecha de su cálculo o, lo que es lo mismo, a lo que falta por depreciar a este activo en el término del horizonte de evaluación*”

El mismo Nassir Sapag, considerado uno de los gurús de la evaluación de proyectos, menciona en su clásico libro “Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión” (2007) que hay otras maneras de establecer el valor residual de un proyecto: por el método comercial y el método económico. Con respecto al primero, manifiesta que: “...*el valor de desecho de la empresa corresponderá a la suma de los valores de mercado que sería posible esperar de cada activo, corregida por su efecto tributario*”. En este caso, nuevamente la teoría subyacente es la económica, el precio de un bien se determina en el mercado (cuando no hay distorsiones en el mismo).

El método económico es el método que incorpora conceptos desarrollados en el campo de las finanzas, sobre todo para valores activos financieros y empresas. Así, Miguel Sanjurjo y Mar Reinoso (2003) señalan que: “...*el flujo neto de beneficios futuros*

traídos a valor presente en la mejor manera de determinar el valor de un activo”. De la misma manera, Sapag Nassir, citado anteriormente indica que: *“la valoración por el método económico considera que el proyecto tendrá un valor equivalente a lo que será capaz de generar en el futuro.....El valor de un proyecto en funcionamiento se podrá calcular, en el último momento de su periodo de evaluación, como el valor actual de un flujo promedio de caja a perpetuidad”*.

De la misma opinión es Ernesto Fontaine (2008) que, en su muy conocido y popular libro “Evaluación Social de Proyectos”, agrega, a lo dicho por Nassir Sapag, que *“....los proyectos, especialmente los que tienen beneficios más allá de los privados, pueden tener ingresos no monetarios para el mismo, pero sí significar un ahorro de recursos para la sociedad y éstos pueden darse más allá del horizonte de evaluación correspondiente”*.

Para cuestiones prácticas, o ya específicamente hablando del tema del valor residual en el campo de la infraestructura vial, existen institutos internacionales encargados de promover la investigación y el desarrollo de herramientas para la evaluación de proyectos de carreteras, por ejemplo, Las Normas ASSHTO, el Banco Mundial, el BID, etc. La mayor parte de ellas está de acuerdo en que el enfoque de cálculo del valor residual por el método económico es el más adecuado. La cuestión está en establecer el procedimiento específico para dicho cálculo. Aunque no hay en este punto una postura clara y menos unánime, implícitamente se puede llegar a la conclusión que un sistema de modelación que estime el deterioro de las inversiones en infraestructura vial y que calcule los beneficios de dichas inversiones como un flujo neto a través del tiempo es una herramienta adecuada.

Hernán de Solminihac (2005) define el valor residual como *“.....el valor remanente que tiene la parte física del camino en cualquier instante de su vida.....el valor original del camino, con el transcurso del tiempo, va disminuyendo debido a que su deterioro aumentauna forma de calcular el valor residual es determinar qué hay que realizarle al camino en un momento determinado para que resista un periodo igual al de su diseño original, y bajo las mismas condiciones de carga. Luego al valor*

de construcción inicial rescatarle el valor calculado anteriormente y así obtener el valor residual”.

El mismo punto de vista es mencionado por Montellano Pereyra (2005) dentro del tema de la gestión vial de la infraestructura de carreteras: “...[la] inversión que hay que realizar en un momento determinado para que resista un periodo igual al de su diseño original y bajo las mismas condiciones de carga, este valor se llamaría Costo de Rehabilitación Presente (CRP); y restar este CRP al Valor Inicial de Construcción (VIC) para obtener el valor residual, entonces, $VR = VIC - CRP$ ”.

Asociado a este enfoque se encuentra la estimación del valor patrimonial de la infraestructura MOP (2010). Existen varios métodos, pero el más usado es el que parte de la definición del mismo como el valor de reposición de la infraestructura. Es decir, para valorar el patrimonio vigente uno se pregunta cuánto costaría reponer el mismo si éste desapareciera por arte de magia y hubiera que reponerlo. De tal ejercicio mental resulta que el valor que costaría reponerlo sería lo que costaría construirlo nuevamente. Pero como construirlo nuevamente implica una infraestructura nueva, lo cual no es lo mismo a la infraestructura existente que ya tiene un uso y deterioro, entonces se concluye que el valor de reposición sobreestima el verdadero valor de la infraestructura existente. La corrección de esta sobreestimación se hace descontando al valor de reposición los costos de intervención, de mantenimiento o de rehabilitación que haya tenido la infraestructura existente. Entonces, el valor del patrimonio en el momento actual viene a ser un valor residual pues es el valor de la infraestructura menos los deterioros o costos de mantenimiento en la misma. En ese sentido la Dirección de Planificación del MOP de Chile indica que “.....[el] estudio valoró el patrimonio de la infraestructura en Chile....mediante el Valor de Reposición, suponiendo que se reponía una infraestructura nueva. Como la infraestructura existente corresponde a una que no es nueva y ha estado sujeta a diversas políticas de conservación, los valores obtenidos en el estudio de Quiroz y Asociados sobrestiman su valor real.”

Cuando no existía un desarrollado sistema de computadoras, las opiniones eran más conservadoras. Por ejemplo, la AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES (1993) declara que: “...la elección de valores a ser asignados impondrá un problema para el analista. Por ejemplo qué valor asignar a una base de 15 años de edad o a un concreto asfáltico moderadamente dañado, el cual tiene 10 años de edad”.

La Asphalt Institute (1991) propone un método aritmético muy simple para calcular la vida remanente de una capa superficial de un pavimento asfáltico (pero no de todo el paquete de capas de un pavimento). En ese sentido, el valor de rescate puede ser calculado como:

$$S = (1 - Y / X) * E$$

Donde:

Y = Número de años entre el último refuerzo y el final del periodo de análisis.

X = Vida de servicio estimada del último refuerzo en años.

E = Costo del refuerzo futuro

Ejemplo:

Una sobrecapa o refuerzo que cuesta US\$ 50,000 es colocada 7 años antes del término del periodo de análisis. Se espera que la duración de esta alternativa (el refuerzo) sea de 15 años. Calcular el valor de rescate.

Solución:

Y = 7 años

X = 15 años

E = US\$ 50,000

$S = (1 - 7 / 15) * 50,000 = 26,500$

La misma AASHTO (2004) también manifiesta que es posible calcular el valor de rescate en términos de material remanente: “.....*un pavimento a ser reconstruido puede tener un valor de rescate como material para reciclado, ya sea en el mismo proyecto o en otro*”. Pero siempre y cuando el pavimento no tenga una vida remanente (S, en el ejemplo).

Como se decía hace unos párrafos, cuando no existía un sistema desarrollado de computadoras y software, las estimaciones eran más conservadoras. Ahora los modelos o software para tales fines existen. El más reconocido y usado, no para estimar valores residuales, pero sí para hacer evaluaciones económicas de proyectos de inversión en carreteras es el Highway Design Modelling, más conocido por sus siglas HDM.

El HDM es una herramienta informática para hacer evaluaciones económicas de carreteras. Permite estimar los beneficios netos de un proyecto, para un horizonte de tiempo determinado. Y como el valor residual de acuerdo a la definición de valor económico residual es un flujo descontado a valor presente de los beneficios de un activo, como la carretera, es posible estimar entonces el valor residual de la carretera como un flujo de beneficios netos más allá de su horizonte de evaluación convencional (establecido por el SNIP) por medio del HDM.

2.2.4.3 Método escogido para la determinar el valor residual en carreteras

El presente trabajo adopta como definición conceptual de valor residual el manifestado por Solminihac (similar o parecido enfoque es el de Montellano y el del Ministerio de Obras Públicas de Chile), en el entendido que es la definición que más se acomoda a la naturaleza de un activo vial como una carretera asfaltada, es decir, un activo cuya vida útil para generar ingresos netos futuros sobrepasa la vida determinada para y por la evaluación económica según el SNIP.

Las definiciones alternativas como la contable, la comercial y la de construcción (más inversiones posteriores) tienen el defecto de no ver la carretera como un activo con beneficios netos futuros, salvo la definición comercial, aunque el método que esta última propone es imperfecta puesto que asume que existe un mercado de carreteras o que por medio de un método indirecto se puede alcanzar a hacer una buena estimación de la misma.

Finalmente, la herramienta que permitirá la estimación concreta del valor residual será el HDM 4, dado que modela el deterioro de la carretera según las principales variables que intervienen al respecto, así como poder estimar el valor residual de un activo (en este caso el pavimento) en función al concepto de flujo neto a valor presente.

Actualmente no se cuenta con un modelo teórico desarrollado, que determine el valor residual de una carretera basado en el deterioro del pavimento.

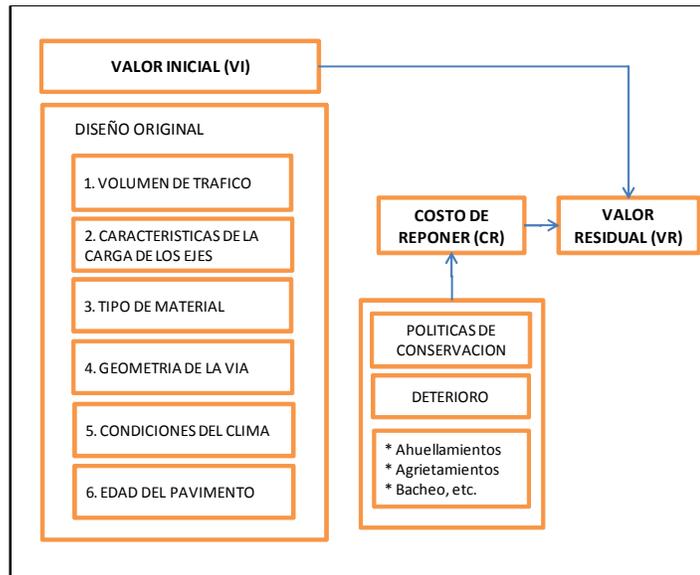
2.3. MODELO TEORICO

El objetivo de este modelo es estimar cual es el impacto del deterioro en el valor residual de la carretera. Partiendo de la base teórica desarrollada en las secciones anteriores, el valor residual es función del A) Valor inicial de la carretera (VI) y ésta a su vez depende del diseño original de la carretera (diseño geométrico, hidráulico, pavimentos), y de B) Costo de reponer (CR) o conservar la carretera. El modelo se centra, principalmente, en las relaciones entre estas dos variables.

La variable **A) Valor Inicial (VI)**, corresponde al valor de la carretera antes de su puesta en servicio y es función del diseño inicial de la carretera, que a su vez es función de las variables 1) Volumen de tráfico, 2) Características de cargas de los ejes, 3) Tipo de material, 4) Geometría de la vía, 5) Condiciones del clima, 6) Edad del pavimento (para el caso de rehabilitación de carreteras).

La variable 7) Calidad de la construcción, no será tema de investigación para la presente tesis. Bajo el supuesto que la construcción de la carretera cumple con las especificaciones técnicas indicadas en el proyecto. Por tanto, como primera restricción que se indica en el método, se considerara que la calidad de la construcción es Buena.

La variable **B) Costo de Reposición (CR)**, es una de las variables que está ligada directamente con la política de conservación de la carretera.



2.4. VARIABLES EMPLEADAS

Las variables utilizadas son el valor residual de la inversión en una carretera, el valor inicial de inversión de la carretera y el costo de reposición necesario de la misma durante los años siguientes que opere después del horizonte de evaluación del proyecto de dicha carretera.

2.4.1. VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

La variable dependiente o explicada es el valor residual que adopta un porcentaje del valor de la inversión original. En términos porcentuales, ello quiere decir que si el factor residual es 0.6, entonces el valor residual es 60 por ciento del valor inicial de la obra de infraestructura vial o lo que es lo mismo, 0.6 por el valor inicial de la inversión.

Las variables explicativas o instrumentales, las que influyen sobre el valor o resultado de la variable dependiente son las dos mencionadas anteriormente, y su expresión general sería la siguiente:

$$VR = f [VI, CR]$$

Donde:

VI = Valor inicial

CR= Costos de Reposición

De acuerdo a la expresión anterior, cuanto mayor envergadura tiene la inversión en infraestructura vial, mayor valor residual tendrá dado que el tamaño de la inversión inicial está asociado a un mayor tiempo de vida o durabilidad.

Cuanto mayor sean las necesidades de reconstrucción, rehabilitación, mantenimiento o conservación de la vía en los años posteriores al horizonte de evaluación económica según el SNIP, menor será el valor residual que quede puesto que cuanto más reconstrucción de la vía eso quiere decir que queda menos de la vía servible para los próximos años.

Entonces, una fórmula menos general o abstracta del valor residual sería, por ejemplo:

$$VR = VI - CR$$

2.4.2 DESCRIPCION Y MEDICION DE VARIABLES

Como se ha señalado en el párrafo anterior, todas las variables son numéricas, no estando, en principio, acotadas entre ciertos valores, salvo la condición de que todas tienen que ser mayores a cero. La variable dependiente valor residual, puede tomar cualquier valor, pero no puede ser mayor al valor de la variable inversión inicial ya que por definición la primera es un residuo de la segunda.

2.5. HIPOTESIS

En esta sección, se establecen las hipótesis de trabajo surgidas luego de la revisión bibliográfica y artículos técnicos sobre el comportamiento estructural del pavimento (deterioro del pavimento). En base al problema indicado en la sección 1.1, se formula la hipótesis general, y las específicas.

Hipótesis General:

HG: *“Se puede aplicar un método, basado en la relación propuesta en el marco teórico: El valor residual (VR) es igual al Valor Inicial de la Inversión (VI) menos los Costos de Reposición (CR)”.*

De la definición de las variables a utilizar y del desarrollo del método que operativiza las relaciones entre las variables, se puede aplicar una metodología sencilla para determinar el valor residual de una carretera en los estudios de preinversión dentro del marco del Sistema Nacional de Inversión Pública - SNIP.

Hipótesis Específicas:

HE 1: *“El valor residual recomendado por el Sistema Nacional de Inversión Pública – SNIP (20% del valor inicial de la inversión) para los estudios de preinversión de carreteras subestima el verdadero valor residual de proyectos de carreteras”.*

El valor residual en los flujos de caja de la evaluación de proyectos de construcción de carreteras asfaltadas propuestos o recomendados por el Sistema Nacional de Inversión Pública – SNIP, subestima el verdadero valor residual, por lo que no resulta un buen parámetro para utilizar en los estudios de preinversión para carreteras.

HE 2: *“El valor residual de proyectos de carreteras es, por lo menos, 40 por ciento del valor inicial de la inversión de una infraestructura de carreteras cuando el deterioro del pavimento se encuentra con un IRI (índice de rugosidad del pavimento) mayor a 3.5, pero menor a 4.5”.*

Mediante la metodología que se está proponiendo en el presente trabajo, es posible establecer parámetros más próximos al verdadero valor residual de la inversión en carreteras, y que este valor es por lo menos el 50 por ciento del valor inicial de la inversión de una infraestructura de carreteras.

HE 2: *“El valor residual de proyectos de carreteras es, por lo menos, 70 por ciento del valor inicial de la inversión de una infraestructura de carreteras cuando el deterioro del pavimento se encuentra con un IRI (índice de rugosidad del pavimento) menor a 3.5”.*

Mediante la metodología que se está proponiendo en el presente trabajo, es posible establecer parámetros más próximos al verdadero valor residual de la inversión en carreteras, y que este valor es por lo menos el 70 por ciento del valor inicial de la inversión de una infraestructura de carreteras.

2.6. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p>1. Problema general:</p> <p><i>¿Es posible calcular valores residuales a través de un método existente en proyectos de carreteras, dentro del marco del SNIP (Sistema Nacional de Inversión Pública) para los estudios de preinversión?</i></p>	<p>1. Objetivo general:</p> <p><i>Seleccionar un método que permita determinar el valor residual (VR) de una carretera asfaltada luego de un cierto periodo de servicio u operación.</i></p>	<p>1. Hipótesis general:</p> <p><i>Se puede aplicar un método basado en la relación propuesta en el marco teórico:</i></p> <p><i>El Valor Residual (VR) es igual al Valor Inicial de la Inversión (VI) menos los Costos de Reposición (CR).</i></p>	<p><i>Y: Valor residual (VR)</i></p> <p><i>X1: Valor Inicial de la Inversión (VI)</i></p> <p><i>X2: Costos de Reposición (CR)</i></p>
<p>2. Problemas específicos:</p> <p>2.1. <i>¿Es posible saber si el valor residual (como porcentaje de la inversión inicial) propuesto por el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) – SNIP es un indicador que subestima, bajo cualquier condición del pavimento, el verdadero valor residual de un proyecto de carreteras?</i></p>	<p>2. Objetivos específicos:</p> <p>2.1. <i>Verificar, a través del método propuesto, si el valor residual (VR) de proyectos de carreteras presentados ante el SNIP, es mayor al VR propuesto por el SNIP (20%).</i></p>	<p>2. Hipótesis específicas:</p> <p>2.1. <i>El valor residual (VR) recomendado por el SNIP (20% del valor inicial de la inversión) para los estudios de preinversión de carreteras subestima el verdadero VR de proyecto de carretera.</i></p>	<p><i>Y > 20 %</i></p>
<p>2.2. <i>¿Es posible saber el valor residual de una carretera cuando la condición del pavimento se encuentra con un IRI mayor a 3.5, pero menor a 4.5?</i></p>	<p>2.2. <i>Verificar a través del método elegido cuál es el VR cuando el IRI es mayor a 3.5, pero menor a 4.5</i></p>	<p>2.2. <i>El valor residual (VR) de proyectos de carreteras es 50 por ciento cuando el IRI es mayor a 3.5, pero menor a 4.5</i></p>	<p><i>Y = 40 %</i></p>
<p>2.3. <i>¿Es posible saber el valor residual de una carretera cuando la condición del pavimento se encuentra con un IRI menor a 3.5?</i></p>	<p>2.3. <i>Verificar a través del método elegido cuál es el VR cuando el IRI es menor a 3.5</i></p>	<p>2.2. <i>El valor residual (VR) de proyectos de carreteras es 70 por ciento cuando el IRI es menor a 3.5</i></p>	<p><i>Y = 70 %</i></p>

CAPITULO III: METODOLOGIA

Como ya se había señalado anteriormente, el objetivo del presente estudio es de verificar a través de una metodología si el valor residual en proyectos de carreteras se aproxima al valor residual propuesto por el SNIP. Luego se trata de proponer valores residuales para proyectos de carreteras asfaltadas de acuerdo a la metodología de cálculo propuesta.

Este capítulo explica el método que utiliza la presente investigación para poder estimar el valor residual en carreteras asfaltadas, luego, en el siguiente capítulo, se hace la propuesta metodológica para calcular el valor residual en carreteras asfaltadas.

3.1. NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACION

En el caso del tema de la presente tesis, el tipo de investigación es aplicado, porque se utilizan los conocimientos existentes para aplicarlos al análisis de las variables formuladas en el estudio.

La elección de una metodología para la determinación del valor residual de los proyectos de infraestructura de carreteras, es un asunto práctico. No existe un procedimiento específico único para su determinación en carreteras, a pesar de que existen teorías sobre el valor residual o valor de recupero de la inversión, la mayor parte de ellas provenientes de las finanzas, y de las teorías ya están desarrolladas y no se pretende mejorar, ampliar o descubrir una nueva. Se trata de proponer una de ellas, pero una que sea la más apropiada para el campo de la infraestructura vial.

En ese sentido, el trabajo de la presente tesis es calcular y ofrecer parámetros a través de la provisión de una descripción de las principales teorías sobre el valor residual y luego a través de la presentación de las características principales de la vida útil de la infraestructura de carreteras y del horizonte de evaluación económica (en los proyectos de inversión) relevante, poder establecer cuál es el procedimiento más aproximado al verdadero valor así como cuál es el más sencillo o expeditivo para poder ser útil en la formulación y evaluación de proyectos de carreteras dentro del marco del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP).

De acuerdo al alcance de la investigación, alcance entendido como aproximarse a la comprensión cabal de un tema o problema, se usaron la investigación correlacional, lo cual indica un grado incipiente de explicación.

Asimismo, la investigación tiene un diseño transaccional, porque se han observado las variables en un periodo dado.

3.2. UNIVERSO Y MUESTRA

El universo está constituido por todos los estudios de preinversión (estudios a nivel de factibilidad de las cuales la OPI – MTC les ha otorgado la viabilidad) de carreteras asfaltadas de la Red Vial Nacional del Perú, los que constituyen alrededor de 49 estudios desde que el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) exige tales estudios para poder otorgar luego las partidas presupuestales correspondientes para la ejecución de las carreteras que representan dichos estudios. Todos estos estudios contienen un total de **147 tramos de carreteras** con similares características (transito, clima, estructura, entre los principales)

Universo = 147

En lo referente al tamaño de la muestra, por razones económicas y de acceso a la información, el presente estudio de investigación a recogido **20 tramos de carreteras**, representando el **13.6%** del total del universo.

El tamaño de la muestra, todas cuentan con ingeniería de costos de buen detalle y que reflejan de buena manera los verdaderos costos de inversión y mantenimiento de carreteras, por lo tanto son una buena fuente de datos para establecer los valores de las variables presentadas en el modelo.

Los **20 tramos de carreteras** que constituyen la muestra guardan todas las características del universo de estudios, es decir, son estudios de factibilidad, con el mismo nivel de alcance en los contenidos de ingeniería, elaborados por consultores con similar experiencia y capacidad profesional equivalente; asimismo, son estudios que han sido

aprobados o considerados que satisfacen todas las exigencias del Sistema Nacional de Inversión Pública.

1. Carretera Churin - Oyon
2. Autopista Chiclayo – Pimentel
3. Evitamiento Abancay, Tramo Km 0+000 – Km 8+400
4. Evitamiento Abancay, Tramo Km 8+400 – Km 10+090
5. Carretera Chota – Chiple, Tramo Km 0+000 – Km 32+000
6. Carretera Chota – Chiple, Tramo Km 32+000 – Km 91+400
7. Carretera Huaura – Sayan, Tramo Km 7+000 – Km 17+000
8. Carretera Huaura – Sayan, Tramo Km 17+000 – Km 40+500
9. Carretera Huaura – Sayan, Tramo Km 40+500 – Km 44+500
10. Carretera Huaura – Sayan, Tramo Km 44+500 – Km 60+000
11. Carretera Huaura – Sayan, Tramo Km 60+000 – Km 99+300
12. Carretera Huaura – Sayan, Tramo Km 99+300 – Km 105+740
13. Carretera Caraz – Huallanca, Tramo Molinopampa – Huallanca
14. Carretera Punta Bombón – Ilo, Tramo Punta Bombón – Km 171+600
15. Carretera Punta Bombón – Ilo, Tramo Km 171+600 – Fundición
16. Carretera Mala – Calango, Tramo Mala – Km 5+200
17. Carretera Mala – Calango, Tramo Km 5+200 – Km 19+700
18. Carretera Mala – Calango, Tramo Km 19+700 – Km 25+500
19. Carretera Cañete – Lunahuana, Tramo Km Nuevo Imperial – Imperial
20. Carretera Cañete – Lunahuana, Tramo Imperial - Lunahuana

3.3. FUENTES DE INFORMACION

Este universo de información se encuentra compendiado en el archivo general de Provias Nacional (PVN), Av. General Garzón 455, Jesus María. PVN es la unidad ejecutora de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, encargada de la ejecución de los estudios de preinversión y la ejecución de las obras correspondientes de la Red Vial Nacional, así como de su mantenimiento.

Como se aprecia, las fuentes de información son estrictamente documentales, no se hará uso de encuestas ni entrevistas.

3.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Esta sección tiene como fin proponer el método de cómo calcular el valor residual en carreteras, cuando se trate de **proyectos de construcción y/o mejoramientos** de las mismas. Para desarrollar la parte analítica, donde se requiere determinar el valor residual de una carretera asfaltada luego de un periodo de tiempo.

A continuación se detalla los pasos para determinar el valor residual de una carretera.

Paso 01: El proceso inicia con la construcción y/o mejoramiento de carretera asfaltada que se encuentra a nivel de proyecto, el cual se requiere contar con estudios básicos de ingeniería, tales como: (a) Características geométricas de la vía (longitud, ancho de calzada, berma y curvaturas/pendientes), (b) Características del terreno de fundación (CBR, Mr), (c) Características del Clima de la zona (temperatura, humedad, precipitación), (d) Características del tráfico vehicular (IMD, ejes equivalentes, tasas de crecimiento vehicular, etc.), y (e) Características del pavimentos propuesto en el diseño (periodo para el que fue diseñado, espesores del pavimento, numero estructural y el índice de rugosidad). Y finalmente el valor de la construcción de la carretera bajo las condiciones de diseño.

Paso 02: Para poder simular el comportamiento futuro de la carretera y poder determinar el tipo de intervención a realizar, se requiere de la utilización de un modelo que simule el deterioro del pavimento durante su vida útil, que para este caso se hará con el modelo HDM-4 (ya que para evaluar el estado final de la carretera en el tiempo, se traduce en dos limitaciones: (1) Insuficiente registros históricos de carreteras similares, y (2) Restricciones económicas, técnicas, por el gran numero de datos que se requiere para evaluar el estado final de la vía). El modelo HDM-4 requiere de un conjunto de información de partida para describir las características principales de la infraestructura vial. En este caso se incorporara los datos descritos anteriormente, y se proyecta las distintas políticas de mantenimiento, eligiendo como criterio la seguridad, confort y rapidez de transito, ajustados a las restricciones presupuestales del sector. Aquí se

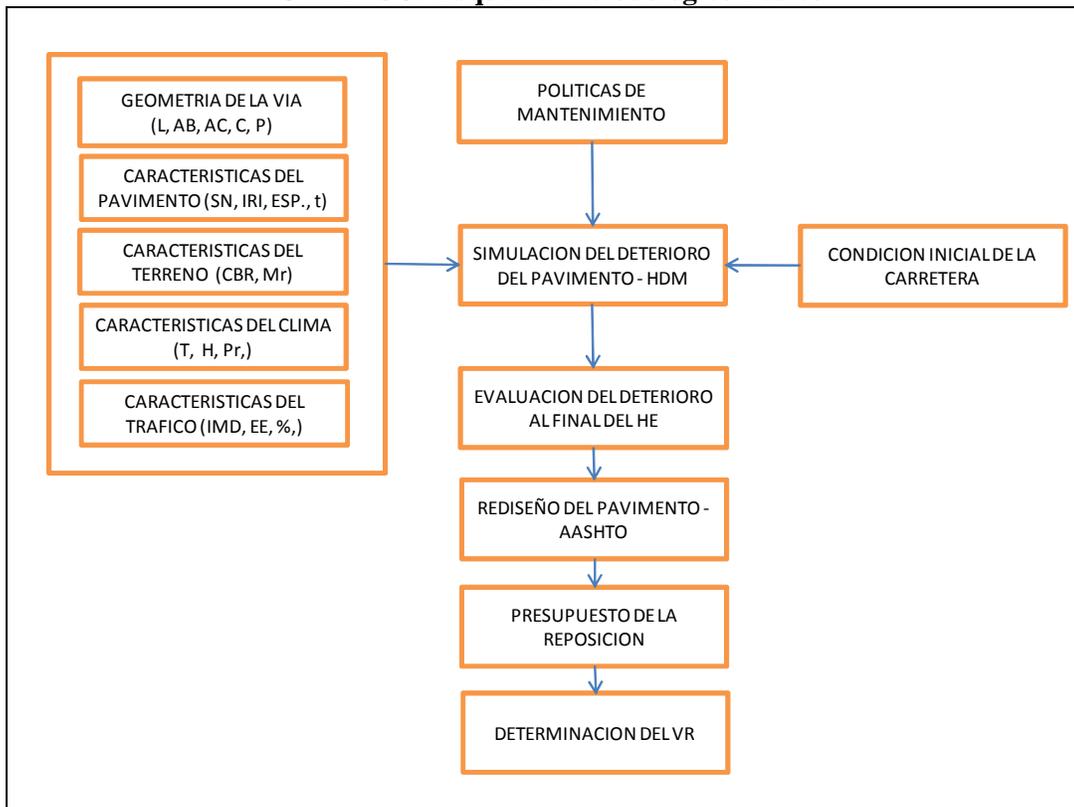
establecieron varias opciones de políticas de mantenimiento, dejando deteriorar el IRI hasta valores entre 3.5 a 4.5.

Paso 03: Una vez finalizado el comportamiento de la carretera al final del horizonte de evaluación se examina el estado de la carretera, y de acuerdo al nivel de deterioro que este presenta, se rediseña el pavimento de dicha infraestructura a través de un análisis estructural (aplicando el método AASHTO), para que brinde el servicio durante otro tiempo igual al que fue diseñado inicialmente, es decir devolver al pavimento a una condición similar a la inicial. Luego de esto se determina el nuevo costo, y por comparación se determina el valor residual, al final del horizonte de evaluación.

Paso 04: Este proceso de cálculo se repite nuevamente para cuatro (04) carreteras asfaltadas en distintas zonas geográficas (costa, sierra, selva baja y alta). Finalmente, se propone valores residuales como porcentajes de aproximación razonable del verdadero valor residual de una infraestructura de carretera, considerando intervalos de variación en el tráfico.

El esquema básico de la metodología es el que se muestra en el siguiente gráfico.

GRAFICO: Esquema Metodológico Básico



3.5. TECNICAS DE ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS

Una vez estudiado con detalle cada uno de los pasos establecidos en la metodología, se procede a determinar el valor residual para un total de **20 tramos de carreteras** ubicadas en distintas zonas geográficas. Tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Tramos	Long (km)	Inversion (S/.) (Vn)	Costo/km
1) Carretera Churin - Oyón			
Tramo 1: Churin - Oyón	30.2	101,199,600.00	3,350,980.13
2) Autopista Chiclayo - Pimentel			
Tramo 1: Chiclayo - Pimentel	3.0	16,499,610.00	5,499,870.00
3) Evitamiento Abancay			
Tramo 1: km 0 - km 8.4	8.4	33,873,869.90	4,037,410.00
Tramo 2: km 8.4 - km 10.09	1.7	6,863,597.00	4,037,410.00
4) Carretera Chota - Chiple			
Tramo 1: km 0 - km 32.0	32.0	150,515,520.00	4,703,610.00
Tramo 2: km 32.0 - km 91.4	59.4	320,005,620.00	5,387,300.00
5) Carretera Huaura - Sayan			
Tramo 2: km 7 - km 17.0	10.0	31,348,500.00	3,134,850.00
Tramo 3: km 17.0 - km 40.5	23.5	73,668,975.00	3,134,850.00
Tramo 4: km 40.5 - km 44.5	4.0	12,539,400.00	3,134,850.00
Tramo 5: km 44.5 - km 60.0	15.5	96,778,435.00	6,243,770.00
Tramo 6: km 60.0 - km 99.3	39.3	245,380,161.00	6,243,770.00
Tramo 7: km 99.3 - km 105.74	5.1	21,255,933.00	4,167,830.00
6) Carretera Caraz - Huallanca			
Tramo 1: Molinopampa-Huallanca	12.9	107,455,178.52	8,329,858.80
7) Carretera Punta Bombon - Ilo			
Tramo 1: Pta Bombon - km 171.6	19.1	39,096,297.72	2,046,926.58
Tramo 2: km 171.6 - Fundicion	58.9	120,563,975.69	2,046,926.58
8) Carretera Mala - Calango			
Tramo 1: Mala - km 5.2	5.2	14,132,976.00	2,717,880.00
Tramo 2: km 5.2 - km 19.7	14.5	39,409,260.00	2,717,880.00
Tramo 3: km 19.7 - km 25.5	5.8	15,763,704.00	2,717,880.00
9) Carretera Cañete - Lunahuana			
Tramo 1: Nvo Imperial - Imperial	4.2	10,902,276.00	2,595,780.00
Tramo 2: Imperial - Lunahuana	33.3	86,439,474.00	2,595,780.00

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

Cuadro 01: Valor Residual para la Condición Regular - IRI<3.5

Tramos	Long (km)	Vn	Cr	Vr = Vn - Cr	Vr (%)
1) Carretera Churin - Oyón					
Tramo 1: Churin - Oyón	30.2	101,199,600.00	30,349,619.50	70,849,980.50	70%
2) Autopista Chiclayo - Pimentel					
Tramo 1: Chiclayo - Pimentel	3.0	16,499,610.00	5,697,760.85	10,801,849.15	65%
3) Evitamiento Abancay					
Tramo 1: km 0 - km 8.4	8.4	33,873,869.90	10,113,116.50	23,760,753.40	70%
Tramo 2: km 8.4 - km 10.09	1.7	6,863,597.00	1,918,524.20	4,945,072.80	72%
4) Carretera Chota - Chiple					
Tramo 1: km 0 - km 32.0	32.0	150,515,520.00	49,059,349.60	101,456,170.40	67%
Tramo 2: km 32.0 - km 91.4	59.4	320,005,620.00	68,750,274.68	251,255,345.32	79%
5) Carretera Huaura - Sayan					
Tramo 2: km 7 - km 17.0	10.0	31,348,500.00	11,988,593.50	19,359,906.50	62%
Tramo 3: km 17.0 - km 40.5	23.5	73,668,975.00	28,173,394.73	45,495,580.28	62%
Tramo 4: km 40.5 - km 44.5	4.0	12,539,400.00	4,794,904.07	7,744,495.93	62%
Tramo 5: km 44.5 - km 60.0	15.5	96,778,435.00	25,814,445.72	70,963,989.28	73%
Tramo 6: km 60.0 - km 99.3	39.3	245,380,161.00	60,349,340.86	185,030,820.14	75%
Tramo 7: km 99.3 - km 105.74	5.1	21,255,933.00	5,900,097.88	15,355,835.12	72%
6) Carretera Caraz - Huallanca					
Tramo 1: Molinopampa-Huallanca	12.9	107,455,178.52	27,979,661.71	79,475,516.81	74%
7) Carretera Punta Bombon - Ilo					
Tramo 1: Pta Bombon - km 171.6	19.1	39,096,297.72	11,293,388.20	27,802,909.52	71%
Tramo 2: km 171.6 - Fundicion	58.9	120,563,975.69	35,343,799.26	85,220,176.43	71%
8) Carretera Mala - Calango					
Tramo 1: Mala - km 5.2	5.2	14,132,976.00	4,073,738.90	10,059,237.10	71%
Tramo 2: km 5.2 - km 19.7	14.5	39,409,260.00	11,189,269.17	28,219,990.83	72%
Tramo 3: km 19.7 - km 25.5	5.8	15,763,704.00	4,462,704.50	11,300,999.50	72%
9) Carretera Cañete - Lunahuana					
Tramo 1: Nvo Imperial - Imperial	4.2	10,902,276.00	2,985,409.01	7,916,866.99	73%
Tramo 2: Imperial - Lunahuana	33.3	86,439,474.00	24,578,167.45	61,861,306.55	72%

Cuadro 02: Valor Residual para la Condición Mala – IRI<4.5

Tramos	Long (km)	Vn	Cr	Vr = Vn - Cr	Vr (%)
1) Carretera Churin - Oyón					
Tramo 1: Churin - Oyón	30.2	101,199,600.00	50,606,874.40	50,592,725.60	50%
2) Autopista Chiclayo - Pimentel					
Tramo 1: Chiclayo - Pimentel	3.0	16,499,610.00	8,995,538.30	7,504,071.70	45%
3) Evitamiento Abancay					
Tramo 1: km 0 - km 8.4	8.4	33,873,869.90	15,249,620.04	18,624,249.86	55%
Tramo 2: km 8.4 - km 10.09	1.7	6,863,597.00	3,064,555.51	3,799,041.49	55%
4) Carretera Chota - Chiple					
Tramo 1: km 0 - km 32.0	32.0	150,515,520.00	67,621,630.40	82,893,889.60	55%
Tramo 2: km 32.0 - km 91.4	59.4	320,005,620.00	141,551,553.23	178,454,066.77	56%
5) Carretera Huaura - Sayan					
Tramo 2: km 7 - km 17.0	10.0	31,348,500.00	18,571,778.50	12,776,721.50	41%
Tramo 3: km 17.0 - km 40.5	23.5	73,668,975.00	43,643,879.48	30,025,095.53	41%
Tramo 4: km 40.5 - km 44.5	4.0	12,539,400.00	7,428,178.07	5,111,221.93	41%
Tramo 5: km 44.5 - km 60.0	15.5	96,778,435.00	46,137,917.07	50,640,517.93	52%
Tramo 6: km 60.0 - km 99.3	39.3	245,380,161.00	111,879,174.67	133,500,986.33	54%
Tramo 7: km 99.3 - km 105.74	5.1	21,255,933.00	10,363,843.81	10,892,089.19	51%
6) Carretera Caraz - Huallanca					
Tramo 1: Molinopampa-Huallanca	12.9	107,455,178.52	52,518,321.29	54,936,857.23	51%
7) Carretera Punta Bombon - Ilo					
Tramo 1: Pta Bombon - km 171.6	19.1	39,096,297.72	20,318,312.60	18,777,985.12	48%
Tramo 2: km 171.6 - Fundicion	58.9	120,563,975.69	62,772,103.73	57,791,871.96	48%
8) Carretera Mala - Calango					
Tramo 1: Mala - km 5.2	5.2	14,132,976.00	7,041,663.86	7,091,312.14	50%
Tramo 2: km 5.2 - km 19.7	14.5	39,409,260.00	19,465,213.77	19,944,046.23	51%
Tramo 3: km 19.7 - km 25.5	5.8	15,763,704.00	7,773,082.34	7,990,621.66	51%
9) Carretera Cañete - Lunahuana					
Tramo 1: Nvo Imperial - Imperial	4.2	10,902,276.00	5,378,449.02	5,523,826.98	51%
Tramo 2: Imperial - Lunahuana	33.3	86,439,474.00	44,243,147.79	42,196,326.21	49%

Contrastando de manera conjunta los resultados obtenidos de aplicar la metodología para la determinación del valor residual, se puede observar que este valor depende mucho de la condición final en la que se encuentre la carretera cualquiera que sea esta. Es decir, el valor residual depende de la conservación adecuada que se le brinde a la carretera durante su periodo de servicio.

Se observa que descuidar la conservación de la carretera hasta que este alcance una rugosidad (IRI) de 4.5, hace que los costos de reposición sean superiores en 60% más que, para una carretera que se mantiene en una rugosidad de 3.5.

Como resultado del análisis anterior, el valor residual no depende de la zona geográfica donde se encuentra ubicado el proyecto, sino que éste dependerá de los oportunos trabajos de conservación que se pueda hacer a la carretera.

Para carreteras asfaltadas en general se puede afirmar que el valor residual es de 70%, cuando este se mantiene a una condición regular ($IRI < 3.5$) durante todo su periodo de servicio. Mientras que para una condición mala al final del periodo de servicio de la carretera ($IRI < 4.5$) el valor residual representativo es de 50%.

3.6. PRUEBA DE HIPOTESIS

HIPOTESIS GENERAL:

La literatura existente que relaciona el Valor Residual (VR) con el Valor Inicial (VI) de la inversión y el Costo de Reposición (CR), [Solminihac, 2005; Montellano, 2005], han encontrado una relación inversa entre el VR y el CR, sin embargo no provee una evidencia practica que muestre el grado de correlación entre dichas variables para el caso específico de carreteras.

Las variables estudiadas son:

V_n : Valor de la Inversión -----→ X1
Cr : Costo de Reposición IRI3.5-----→ X2
Cr : Costo de Reposición IRI4.5 -----→ X3
VR: Valor residual IRI3.5 -→ Y1
VR: Valor residual IRI4.5 -→ Y2

A través de la tabla, se obtiene la bondad de ajuste del modelo. El parámetro R (coeficiente de correlación múltiple) mide la correlación existente entre la variable dependiente (valor residual) con las dos variables independientes (valor de la inversión y costo de reposición). En este caso se obtiene correlaciones aceptables. El parámetro R² (coeficiente de determinación) indica el porcentaje de variación de la variable dependiente que puede ser explicada a través de las variables independientes consideradas, mientras que el R² Ajustado constituye el verdadero coeficiente de correlación.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	<i>X1 vs Y1</i>	<i>X2 vs Y1</i>	<i>X1 vs Y2</i>	<i>X3 vs Y2</i>
Coeficiente de correlación múltiple	0.997871497	0.96153887	0.99776082	0.98880964
Coeficiente de determinación R ²	0.995747524	0.924557	0.99552665	0.9777445
R ² ajustado	0.995511276	0.92036572	0.99527813	0.97650808
Error típico	4288118.892	18061564.9	3168588.92	7067534.79
Observaciones	20	20	20	20

De los valores obtenidos se puede decir que el 92.03% de los valores del costo de reposición puede ser explicado por medio del modelo. Cabe mencionar que los valores obtenidos son considerados como suficientes para denotar una relación significativa.

HIPOTESIS ESPECÍFICAS 01 Y 02 SOBRE LA MEDIA DE UNA POBLACION NORMAL DE UNA COLA

A) Enfoque Clásico

Suponga que cuenta con una **muestra aleatoria simple** de n observaciones provenientes de una distribución normal con media μ y varianza σ^2 .

Entonces sabemos que la media muestral (\bar{x}) y la varianza muestral (s^2) tienen las siguientes distribuciones **independientes**:

$$\bar{x} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$$

$$(n - 1) \frac{s^2}{\sigma^2} \sim \chi_{n-1}^2$$

Por otro lado, se sabe que el ratio de una variable aleatoria normal estándar y una chi cuadrado independiente dividida por sus grados de libertad, tiene la distribución t-student con los mismos grados de libertad que la chi cuadrado:

$$t = \frac{N(0,1)}{\sqrt{\frac{\chi_n^2}{n}}} \sim t_n$$

Entonces a partir de los estadísticos muestrales podemos construir:

$$t = \frac{\frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}}}{\sqrt{\frac{(n-1)\frac{s^2}{\sigma^2}}{n-1}}} = \frac{\bar{x} - \mu}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}} = \sqrt{n} \frac{\bar{x} - \mu}{s} \sim t_{n-1}$$

Podemos usar este estadístico t-student para hacer una prueba de una cola sobre la media poblacional μ .

Hipótesis nula $H_0 \quad \mu \geq \mu_0$

Hipótesis alternativa $H_1 \quad \mu < \mu_0$

La dificultad con esta prueba es que la nula es una hipótesis compuesta (permite muchos valores para el parámetro, no solo uno). Para evaluarla usamos el siguiente razonamiento: Si H_0 es cierta entonces la probabilidad de observar medias muestrales similares o menores a μ_0 debe ser “pequeña”. Es decir, rechazaremos H_0 si \bar{x} es “demasiado” pequeña.

Para determinar la región de rechazo de la nula usaremos la función de poder definida como:

$$\pi(\mu_0) = \text{Prnh}(\bar{x} \leq k(\mu_0))$$

Que nos da la probabilidad de rechazar la nula cuando esta es cierta y donde $k(\mu_0)$ es el umbral o “valor crítico” que define la zona de rechazo de la hipótesis nula.

Podemos usar los estadísticos muestrales para evaluar esta probabilidad:

$$\pi(\mu_0) = \text{Prob}(\bar{x} \leq k(\mu_0)) = \text{Prob}\left(\frac{\sqrt{n}\bar{x} - \mu_0}{s} \leq \frac{\sqrt{n}k(\mu_0) - \mu_0}{s}\right) = \text{Prob}(t_{n-1} \leq \frac{\sqrt{n}k(\mu_0) - \mu_0}{s})$$

Si se fija la probabilidad de rechazo en α ($\pi(\mu_0) = \alpha$), dada la distribución t-student del estadístico muestral, el valor crítico para esta prueba es:

$$k(\mu_0) = \mu_0 + t_{n-1}^{\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

donde t_{n-1}^{α} corresponde al valor tomado de la tabla t-student con $n - 1$ grados de libertad y una probabilidad α ($\text{Prob}(t_{n-1} \leq t_{n-1}^{\alpha}) = \alpha$)

El criterio de decisión en esta prueba es el siguiente: si la media muestral resulta menor que el valor crítico calculado (ie, si $\bar{x} \leq k(\mu_0)$) entonces **rechazamos** la hipótesis nula a favor de la alternativa.

CASO 01: Cuando (IRI < 3.5)

En este ejemplo, $n = 20$, $\mu_0 = 0.7$, $s = 0.0450566$, el nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y $t_{n-1}^{\alpha} = t_{19}^{0.05} = -1.7291$. Con estos datos el valor crítico es:

$$k(0.6) = 0.7 - 1.7291 \frac{0.0450566}{\sqrt{20}} = 0.6826$$

La media muestral de este ejemplo es 0.7021. Este valor es mayor al valor crítico (0.6826), lo que implica que no se puede rechazar la hipótesis nula que la media poblacional es mayor a 0.7.

CASO 02: Cuando (IRI < 4.5)

Ahora tenemos, $n = 20$, $\mu_0 = 0.4$, $s = 0.0473674$, el nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y $t_{n-1}^{\alpha} = t_{19}^{0.05} = -1.7291$. Con estos datos el valor crítico es:

$$k(0.4) = 0.4 - 1.7291 \frac{0.0473674}{\sqrt{20}} = 0.4792$$

La media muestral de este ejemplo es 0.4975. Este valor es mayor al valor crítico (0.4792), lo que implica que no se puede rechazar la hipótesis nula que la media poblacional es mayor a 0.4.

B) Enfoque No Paramétrico

Un problema con el enfoque clásico es que el analista tiene que asumir una distribución que genera los datos (en nuestro ejemplo la normal). Un enfoque no paramétrico alternativo consiste en generar la distribución empírica del estadístico (en este caso la media muestral) a partir del re muestreo (“resampling”) de los datos originales.

Este método, denominado “bootstrap”, consiste en tomar en forma aleatoria (muestreo con reposición) n observaciones a partir de la muestra original y construir de esta forma una “muestra artificial”. A dicha muestra artificial se aplica el estadístico de interés obteniéndose una observación de la distribución empírica del mismo. Este procedimiento se repite un número grande de veces (100,000) obteniéndose la distribución empírica del estadístico de interés. A partir de dicha distribución empírica se puede calcular un intervalo de confianza al $1 - \alpha$ por ciento de significancia, que puede usarse para probar hipótesis sobre el parámetro poblacional.

CASO 01: Cuando (IRI < 3.5)

Los datos que generan los estadísticos del Caso 01 anterior son:

Para IRI<3.5

Tramos	Vr (%)
Tramo 1: Churin - Oyón	0,700
Tramo 1: Chiclayo - Pimentel	0,655
Tramo 1: km 0 - km 8.4	0,701
Tramo 2: km 8.4 - km 10.09	0,720
Tramo 1: km 0 - km 32.0	0,674
Tramo 2: km 32.0 - km 91.4	0,785
Tramo 2: km 7 - km 17.0	0,618
Tramo 3: km 17.0 - km 40.5	0,618
Tramo 4: km 40.5 - km 44.5	0,618
Tramo 5: km 44.5 - km 60.0	0,733
Tramo 6: km 60.0 - km 99.3	0,754
Tramo 7: km 99.3 - km 105.74	0,722
Tramo 1: Molinopampa-Huallanca	0,740
Tramo 1: Pta Bombon - km 171.6	0,711
Tramo 2: km 171.6 - Fundicion	0,707
Tramo 1: Mala - km 5.2	0,712
Tramo 2: km 5.2 - km 19.7	0,716
Tramo 3: km 19.7 - km 25.5	0,717
Tramo 1: Nvo Imperial - Imperial	0,726
Tramo 2: Imperial - Lunahuana	0,716

Se asume que estos datos son una muestra aleatoria simple de tamaño $n = 20$ proveniente de una población cuya distribución se desconoce. La media muestral es $\bar{x} = 0.7021$. Para contrastar la hipótesis que la media poblacional es mayor a 0.7 se procedió a construir un intervalo de confianza empírico de la siguiente forma:

- Se construyeron, mediante remuestreo aleatorio, 100 mil “muestras artificiales” tamaño $n = 20$ a partir de los datos originales.
- A cada una de las muestras artificiales se calculó el promedio, obteniéndose 100 mil observaciones de la distribución empírica de ese estadístico.
- En esta distribución se buscó el percentil 2,5 por ciento y el percentil 97,5 por ciento para construir un intervalo de confianza de 95 por ciento.

El intervalo encontrado fue (0.6823, 0.7206). En este caso el método no es consistente con la idea que la media poblacional es superior a 0.7 (pues esta puede variar entre 0.68 y 0.72). Sin embargo si es consistente con la hipótesis que la media poblacional es igual a 0.7.

CASO 02: Cuando (IRI<4.5)

En este caso los datos son

Tramos	Vr (%)
Tramo 1: Churin - Oyón	0,500
Tramo 1: Chiclayo - Pimentel	0,455
Tramo 1: km 0 - km 8.4	0,550
Tramo 2: km 8.4 - km 10.09	0,554
Tramo 1: km 0 - km 32.0	0,551
Tramo 2: km 32.0 - km 91.4	0,558
Tramo 2: km 7 - km 17.0	0,408
Tramo 3: km 17.0 - km 40.5	0,408
Tramo 4: km 40.5 - km 44.5	0,408
Tramo 5: km 44.5 - km 60.0	0,523
Tramo 6: km 60.0 - km 99.3	0,544
Tramo 7: km 99.3 - km 105.74	0,512
Tramo 1: Molinopampa-Huallanca	0,511
Tramo 1: Pta Bombon - km 171.6	0,480
Tramo 2: km 171.6 - Fundicion	0,479
Tramo 1: Mala - km 5.2	0,502
Tramo 2: km 5.2 - km 19.7	0,506
Tramo 3: km 19.7 - km 25.5	0,507
Tramo 1: Nvo Imperial - Imperial	0,507
Tramo 2: Imperial - Lunahuana	0,488

En este caso también se tiene $n = 20$ y la media muestral es $\bar{x} = 0.4975$. Para contrastar la hipótesis que la media poblacional es mayor a 0.4 se procedió a construir un intervalo de confianza empírico con la misma metodología del ejemplo anterior.

El intervalo encontrado fue (0.4766, 0.5169), lo cual es consistente con la hipótesis que la media poblacional es mayor a 0.4.

En conclusión, en estos ejemplos tanto el enfoque clásico es consistente con las hipótesis nulas que el promedio poblacional es superior a 0.7 en $IRI < 3.5$ y mayor a 0.4 en $IRI < 4.5$. El método no paramétrico apoya la hipótesis que en $IRI < 4.5$ la media es superior a 0.4, pero no en el ejemplo con $IRI < 3.5$. En este caso apoya la idea que la media es igual a 0.7.

HIPOTESIS ESPECÍFICAS SOBRE LA MEDIA DE UNA POBLACION NORMAL DE UNA COLA (DEMOSTRACION DEL VR > 20%)

En este caso se consideraron los 40 datos, sobre los que se realizaron las pruebas estadísticas, bajo los dos enfoques

A) Enfoque Clásico

En este ejemplo, $n = 40$, $\mu_0 = 0.2$, $s = 0.1132$ el nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y $t_{n-1}^{\alpha} = t_{39}^{0.05} = -1.6849$. Con estos datos el valor crítico es:

$$k(0.2) = 0.2 - 1.6849 \frac{0.1132}{\sqrt{40}} = 0.1698$$

La media muestral de este ejemplo es 0.5998. Este valor es mayor al valor crítico (0.1698), lo que implica que no se puede rechazar la hipótesis nula que la media poblacional es mayor a 0.2.

B) Enfoque No Paramétrico

Se asume que estos datos son una **muestra aleatoria simple** de tamaño $n = 40$ proveniente de una población cuya distribución se desconoce. La media muestral es $\bar{x} = 0.5998$. Para contrastar la hipótesis que la media poblacional es mayor a 0.2 se procedió a construir un intervalo de confianza empírico de la siguiente forma:

- Se construyeron, mediante remuestreo aleatorio, 100 mil “muestras artificiales” tamaño $n = 40$ a partir de los datos originales.
- A cada una de las muestras artificiales se calculó el promedio, obteniéndose 100 mil observaciones de la distribución empírica de ese estadístico.
- En esta distribución se buscó el percentil 2,5 por ciento y el percentil 97,5 por ciento para construir un intervalo de confianza de 95 por ciento.

El intervalo encontrado fue (0.5655, 0.6343). Este intervalo es un intervalo de confianza al 95 por ciento para la media poblacional. Como el rango encontrado va de 0.56 a 0.63 resulta claro que la media poblacional es superior a 0.2, lo que indica que no se puede rechazar la hipótesis nula.

En conclusión, en este ejemplo el enfoque clásico no permite rechazar la nula que el promedio poblacional es superior a 0.2. El método no paramétrico es consistente con ese resultado.

CAPITULO IV: APLICACIÓN DE METODOLOGIA A PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

El método propuesto, está dividido en tres partes, **primero** recoger información básica del proyecto tales como el periodo de diseño de la carretera, el flujo de tránsito, etc., que será requerida para utilizar el modelo HDM-4; **segundo** simular el deterioro del pavimento mediante el uso del software, estableciendo diferentes políticas de conservación; y **tercero** evaluar el resultado del deterioro al final del horizonte de evaluación, y el tipo de intervención a realizar para llevarlo a su condición inicial de servicio.

Inmediatamente se pasa a analizar el caso de la determinación del valor residual de un proyecto de construcción y mejoramiento de una carretera cuya situación inicial es una carretera afirmada en mal estado, pobre trazado y escasas obras de arte y drenaje. El proyecto corresponde a la “Construcción y Mejoramiento de la Carretera Churin – Oyón”. La longitud total es de aproximadamente 30 km, inicia en Churin en el km 105+740 y finaliza en Oyón en el km 135+050, pertenece a la Red Vial Nacional (Ruta PE-018).

4.1. DATOS TECNICOS DEL PROYECTO QUE SE REQUIEREN EN EL MODELO HDM-4

a) Condición Inicial de la vía

Haciendo una evaluación del estado actual de la superficie de rodadura del tramo de carretera Churin – Oyón, este se encuentra a nivel de afirmado, que de acuerdo a la información suministrada por el estudio de factibilidad, indica que el tramo presenta deterioros severos, baches, deformaciones, disgregaciones, ahuellamientos profundos, falta de sistema de drenaje adecuado y mantenimiento.

El relieve desde el inicio es semiaccidentado a accidentado hasta el pueblo de Oyón (Km 135+050), la velocidad registrada es de 21km/h, y su serviciabilidad es deficiente a pésima.

En el cuadro se resumen las características actuales que presenta la carretera Churin – Oyón.

Parametros	Valores
Velocidad promedio	21 km/h
Trazo	Sinuoso
Ancho de superficie de rodadura	5.50 - 3.50m
Ancho de bermas	No tiene
Pendiente máxima	10%

Fuente: Estudio de Factibilidad Churín - Oyón

b) Características del proyecto

- **Geometría de la vía**

Por el tipo de servicio el tramo de carretera Churín – Oyón se clasifica como una carretera de Tercera Clase, pues tiene una demanda baja de tránsito ($IMDa < 400$ veh/día) y se estima que al año 20 con la implementación del proyecto llegue aproximadamente a 474 veh/día. Al año 20 la carretera se clasificara como de segunda clase.

En concordancia con la aplicación del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001) del MTC y con las proyecciones de tráfico previstas, los parámetros de diseño son las siguientes:

Parametros	Diseño Propuesto
Velocidad directriz	40 km/h
Radio mínimo normal	50m
Peralte máximo	8%
Bombeo	2.5%
Ancho de superficie de rodadura*	6.60m
Ancho de bermas	0.9m
Pendiente máxima	9%

Fuente: Estudio de Factibilidad Churín – Oyón

** Carretera presenta tramos con anchos de 6.00m

- **Características del terreno de fundación**

La subrasante o terreno de fundación para el tramo de carretera tiene características de suelo tipo arena y grava predominando suelo gravoso. En cuanto al afirmado existente tiene espesores que varían entre 15cm hasta 45cm con un promedio de espesor de 20cm, y no se está considerando como aporte estructural debido a que se está eliminando el afirmado por mejoramiento en las características geométricas.

Para efectos del diseño de pavimentos el estudio de factibilidad de la carretera adoptó un valor de CBR=7.9% correspondiente al percentil 87.5%. El valor del Mr de diseño es de 9.182 psi

- **Características del pavimento**

Para la situación con proyecto se define una solución mejorada cuya superficie de rodadura se estima una serviciabilidad buena con IRI inicial de 2 m/km. Para el diseño del pavimento se ha utilizado la metodología AASHTO 1993, cuyo resultado es la siguiente:

El pavimento está constituido por una carpeta asfáltica de 80 mm, base granular de 22cm y sub base granular de 15cm (espesor total de 45cm). El pavimento ha sido diseñado para 20 años, más un recapeo de carpeta asfáltica de 50 mm aplicado en el año 10.

Tipos de Vehículo	Churin - Oyón
SN adoptado	3.275
Carpeta Asfáltica (cm)	8.0
Base Granular (cm)	22.0
Sub base Granular (cm)	15.0
Espesor Total (cm)	45.0

Fuente: Estudio de Factibilidad Churin – Oyón

- **Características del clima**

En el tramo del proyecto el clima es templado (cálido en el día y frío en la noche).

El tramo tiene una altitud promedio de 3197 msnm.

La temperatura máxima es de 28°C, mientras que la mínima es de 16°C

La temporada de lluvia es entre los meses de noviembre a marzo. La precipitación promedio es de 0.0526 m/mes.

- **Características del tráfico**

El volumen de tráfico predominante es el de vehículos ligeros, que son utilizados para el transporte público de pasajeros. El transporte público de pasajeros interurbano (camioneta rural y micro) y el transporte público de

pasajeros interprovincial (ómnibus) representan en segundo lugar el mayor volumen de tráfico. En esta carretera no se halló la presencia de trailers.

Tipos de Vehículo	Churin - Oyón	
	Flujo Veh.	%
Auto	13	2.73%
Station Wagon	159	2.73%
Camioneta	71	2.73%
Camioneta Rural	30	2.66%
Micro	1	2.66%
Omnibus 2E	22	5.20%
Omnibus 3E	0	5.20%
Camion 2E	28	4.77%
Camion 3E	4	4.77%
Semintraylers	43	4.22%
IMD	371	

Fuente: Estudio de tráfico 2007 – Estación Pte Tingo
Estudio de Factibilidad Churin – Oyón

- **Costos del proyecto**

Los costos de inversión para la construcción y mejoramiento del tramo Churin Oyón, se muestran a continuación.

Partidas	Sierra
Obras Preliminares	1,747,201.18
Superficie de Rodadura (CA)	9,174,079.56
Estructura del Pavimento (BG+SBG)	4,415,120.15
Explanaciones y Movimiento de Tierra	8,418,567.00
Obras de Drenaje	9,743,374.87
Puentes y Obras de Arte	10,467,421.28
Transporte de Material	4,141,488.71
Señalización y Seguridad Vial	2,171,266.38
Protección Ambiental	2,177,017.32
Complementos	11,757.20
Costo Directo	52,467,293.65
Gastos Generales + Utilidad	14,504,491.74
Sub Total	66,971,785.39
IGV	12,724,639.22
Total Presupuesto de Obra	79,696,424.61
Estudios Definitivos (2%)	1,593,928.49
Supervisión de Obra (4%)	3,187,856.98
Costo de Inversión	84,478,210.09
Costo / Km (miles soles/km)	3,350.98
Costo / m2 (soles/m2)	398.93

Fuente: Estudio de Factibilidad Churin – Oyón

Los costos de mantenimiento del proyecto, son los que se invierten a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto para sustituir los niveles iniciales de funcionamiento de la carretera, se compone de los costos de mantenimiento rutinario y periódico.

Los costos unitarios (en dólares) de los trabajos de mantenimiento que se utilizaran para el ingreso al modelo HMD-4 se muestran a continuación

Tipos de Trabajo	Churin - Oyón
Perfilado (Um/km)	1,986.60
Bacheo de Grava (Um/m3)	92.61
Reposición de Grava (Um/m3)	28.74
Mantenimiento Rutinario No Pav. (Um/km/año)	4,284.00
Bacheo (Um/m2)	22.52
Sello (Um/m2)	1.80
Refuerzo (Um/m2)	8.25
Reconstrucción (Um/m2)	33.29
Mantenimiento Rutinario Paviment. (Um/km/año)	3,263.00
Construcción (Miles de Um/km)	1,196.80

Fuente: Estudio de Factibilidad Churin – Oyón

c) Políticas de Mantenimiento de la carretera

Una vez terminado el proceso de construcción de la carretera, comienza su periodo de servicio u operación, por lo que será necesario conservar la carretera adecuadamente con el fin de dar el mejor servicio posible al usuario, durante todo el periodo por el cual ha sido diseñado.

Para cumplir con este objetivo básico, se requiere de un conjunto de intervenciones o políticas de mantenimiento que se pueden sintetizar en 04 (mantener unos adecuados niveles de seguridad, conseguir una mayor comodidad para el usuario, reducir los costos de transporte y preservar el patrimonio del Estado).

Se debe recordar que el procedimiento desarrollado, tiene por objetivo determinar el valor residual de la infraestructura vial, a través del análisis estructural del pavimento. En ese sentido, esta metodología propone alternativas de conservación llevando al pavimento, al límite para cada estado (regular y malo).

La política de conservación a utilizarse en el proyecto es la siguiente:

- **Alternativa Base:**

Considera un trabajo de conservación mínima sobre la superficie de grava, considera un Mantenimiento rutinario, un bacheo y una reposición de grava anual durante los 20 años, y un perfilado también anual.

Dado que el deterioro del pavimento depende de las políticas de conservación aplicadas a reparar defectos en la superficie del pavimento, la presente tesis establece dos alternativas, las mismas que serán incorporadas al modelo HDM-4, y son las que se describen a continuación.

- **Alternativa 01:**

Esta alternativa corresponde a una situación óptima, el cual impide el deterioro de la estructura, conservándola siempre en Estado Bueno, es decir, cuando el IRI sea igual a 3.5, aplicar el refuerzo asfáltico.

Está compuesto por las siguientes políticas de mantenimiento

- a) Mantenimiento rutinario anual durante los 20 años, consistente en:
 - Limpieza de cunetas
 - Mejora de las bermas
 - Mantenimiento de la señalización
 - Protección contra la erosión
- b) Mantenimiento periódico consistente en:
 - Sello asfáltico de 10 mm cada 4 años
 - Bacheo del 100% **cada año**
 - Refuerzo asfáltico de 50 mm **al año 08** (cuando el $IRI > 3.5$).

- **Alternativa 02:**

Esta alternativa corresponde a una situación con restricción presupuestaria, conservándola siempre en Estado Regular, es decir, cuando el IRI sea igual a 4.5, aplicar el refuerzo asfáltico.

Está compuesto por las siguientes políticas de mantenimiento

- a) Mantenimiento rutinario anual durante los 20 años, consistente en:
 - Limpieza de cunetas

- Mejora de las bermas
- Mantenimiento de la señalización
- Protección contra la erosión
- c) Mantenimiento periódico consistente en:
 - Sello asfáltico de 10 mm cada 4 años
 - Bacheo del 100% **cada 02 años**
 - Refuerzo asfáltico de 50 mm **al año 10** (cuando el IRI>4.5).

4.2. SIMULACION DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO - HDM

Como parte del desarrollo del método, el siguiente paso corresponde a simular el comportamiento del tramo de carretera frente a las variables descritas en el punto anterior. Para ello, se hará uso de un modelo empírico **validado** por diferentes organismos, **verificados** posteriormente en otros estudios de campo en diferentes países y **calibrado** para nuestras condiciones.

El modelo empírico más conocido para el comportamiento y evolución del estado de los pavimentos es el módulo RDME (Road Deterioration and Maintenance Effects) perteneciente al modelo HDM (Highway Design and Maintenance Standards Model) representado por en estos momentos por su última versión denominada HDM IV.

A continuación, y debido a lo extenso que resultan las salidas del modelo para muchos usos, se presenta de manera resumida los cálculos obtenidos para el caso del deterioro del tramo de carretera.

- a) El cuadro siguiente muestra para cada una de las alternativas propuestas el proceso de incremento del IRI debido a los factores descritos en los capítulos anteriores. En primer lugar se refleja el aumento de la regularidad superficial debido al agrietamiento estructural, (existencia de grietas y fisuras), a la presencia de peladuras, baches, ahuellamientos (roderas).

Nombre del estudio: Churin - Oyon
 Fecha de ejecución: 24-04-2012

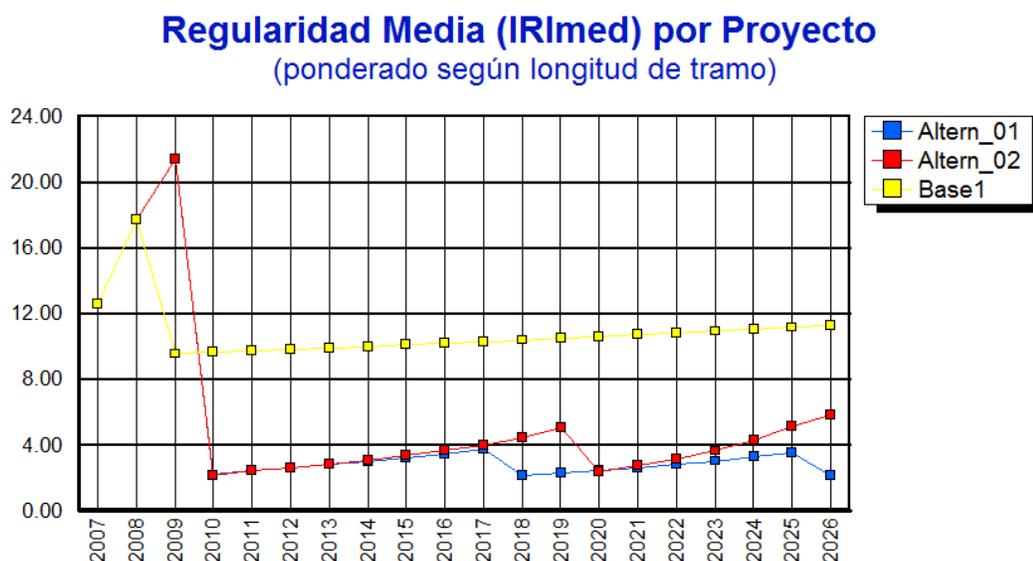
Alternativa:	Altern_01	Clase carretera	Secundaria o principal
Tramo:	1000 TPDA / Bajo		
Tipo Firme:	Sin Pavimentar		
Longitud:	30.20km	Ancho:	4.50m

Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales												
					Todas fis. estr. %	Desp. áridos %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espeor árido mm	Escalón. medio mm	Junta s desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas	Fisuras det. Ns/km	
2007	371	0.15		12.61								111					
2008	383	0.16		17.76								71					
2009	395	0.16		21.40								30					
2010	508	0.24	2.40	2.20	0.00	0.00	0.00	4.37	0.00	2.90							
2011	521	0.25	2.56	2.48	0.00	0.00	0.00	4.68	0.00	2.89							
2012	535	0.25	2.73	2.64	0.00	0.00	0.00	4.99	0.00	2.88							
2013	549	0.26	2.91	2.82	0.26	0.00	0.00	5.30	0.00	2.87							
2014	564	0.27	3.10	3.00	0.00	0.00	0.00	5.61	0.00	2.93							
2015	579	0.28	3.30	3.20	0.00	0.00	0.00	5.92	0.00	2.92							
2016	595	0.29	3.51	3.40	0.00	0.00	0.00	6.23	0.00	2.91							
2017	611	0.29	3.74	3.62	0.61	0.00	0.00	3.76	0.00	2.90							
2018	626	0.30	2.22	2.15	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	3.25							
2019	645	0.31	2.35	2.29	0.00	0.00	0.00	1.53	0.00	3.25							
2020	663	0.32	2.51	2.44	0.00	0.00	0.00	1.81	0.00	3.24							

Alternativa:	Altern_02	Clase carretera	Secundaria o principal
Tramo:	1000 TPDA / Bajo		
Tipo Firme:	Sin Pavimentar		
Longitud:	30.20km	Ancho:	4.50m

Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales												
					Todas fis. estr. %	Desp. áridos %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espeor árido mm	Escalón. medio mm	Junta s desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas	Fisuras det. Ns/km	
2007	371	0.15		12.61								111					
2008	383	0.16		17.76								71					
2009	395	0.16		21.40								30					
2010	456	0.20	2.38	2.19	0.00	0.00	0.00	4.26	0.00	2.90							
2011	526	0.25	2.54	2.46	0.00	0.00	0.00	4.57	0.00	2.89							
2012	609	0.30	2.72	2.63	0.00	0.00	0.00	4.89	0.00	2.88							
2013	706	0.37	2.94	2.83	1.10	0.00	0.00	5.21	0.00	2.87							
2014	820	0.46	3.16	3.05	0.00	0.00	0.00	5.54	0.00	2.93							
2015	964	0.57	3.42	3.29	0.50	0.00	0.00	5.87	0.00	2.92							
2016	1,113	0.70	3.74	3.58	4.05	0.00	0.00	6.21	0.00	2.91							
2017	1,300	0.86	4.17	3.96	6.80	0.00	0.00	6.57	0.00	2.88							
2018	1,523	1.07	4.59	4.38	2.18	0.00	0.00	6.92	0.00	2.96							
2019	1,787	1.32	5.12	4.85	4.57	0.00	0.00	4.19	0.00	2.94							
2020	2,103	1.63	2.49	2.36	0.00	0.00	0.00	1.42	0.00	3.31							
2021	2,480	2.02	2.82	2.66	0.68	0.00	0.00	1.75	0.00	3.29							
2022	2,931	2.50	3.23	3.03	1.91	0.00	0.00	2.09	0.00	3.28							
2023	3,473	3.09	3.75	3.49	2.12	0.00	0.00	2.45	0.00	3.26							
2024	4,125	3.83	4.36	4.06	2.87	0.00	0.00	2.80	0.00	3.34							
2025	4,911	4.75	5.15	4.75	10.86	0.00	0.00	3.16	0.00	3.32							

- b) A continuación se puede visualizar en forma grafica la evolución del IRI para a través del tiempo, para cada una de las alternativas propuestas en el proyecto, así también la evolución de la rugosidad en la situación sin proyecto.



4.3. EVALUACION DEL DETERIORO – ANALISIS DE RESULTADOS DEL HDM

En este momento estamos en la capacidad de evaluar el deterioro del pavimento al final del horizonte de evaluación, luego de obtenerse la predicción de los mismos bajo el modelo del HDM -4, con el propósito de tomar las acciones de conservación y/o rehabilitación de la misma.

Alternativa 01¹:

Con la política ensayada para esta alternativa, se observa que luego del aplicar el refuerzo al año 2017 (después de 8 años de haberse construido), el IRI baja a un nuevo valor de 2.15; y el porcentaje de grietas resulta en 0.61% muy inferior al 15%. Se puede observar que las actividades de bacheo no fueron requeridas bajo la condición programada, tal como se puede ver en el cuadro de deterioro.

El grafico anterior muestra que durante el periodo de servicio de la carretera (durante los 20 años), el IRI se mantiene por debajo de 4 (estado regular). En ese sentido, al terminar

¹ Se refiere a las alternativas definidas en la sección 4.1

los 20 años de servicio la carretera solo requiere de un refuerzo que saldría de acuerdo a un diseño predefinido.

Alternativa 02¹:

En esta alternativa al aplicar el refuerzo al año 2019 (después de 10 años de haberse construido), la rugosidad obtenida aquí baja a un nuevo valor de 2.36 (refuerzo se aplica 2 años después que la Alternativa 01), antes de ello el IRI alcanzo el valor de 4.55. El porcentaje de grietas alcanzo el 4.57%.

No obstante, en el siguiente periodo de aplicación del refuerzo (año 2029), los valores del IRI y del porcentaje de grietas alcanzan valores pésimos (estado malo), el cual requieren de actividades de reconstrucción.

4.4. REDISEÑO DEL PAVIMENTO – AASHTO

Alternativa 01:

Con el propósito de que la carretera siga sirviendo para los próximos 20 años, se vuelve a diseñar la estructura del pavimento. Los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología AASHTO es:

Refuerzo carpeta asfáltica: 8 cm

Alternativa 02:

En este escenario la carretera ya no brinda la condiciones de servicio por estar en muy mal estado, por lo que requiere ser reconstruida para los próximos 20 años. El diseño es nuevo y solo se aprovecha el trazo de la ruta, el pavimento antiguo como reciclado. El nuevo diseño obtenido bajo la metodología AASHTO son:

Carpeta asfáltica: 10 cm

Base: 20 cm

Subbase: 20 cm

4.5. DETERMINACION DEL COSTO DE REPOSICION DE LA CARRETERA Y DEL VALOR RESIDUAL

De acuerdo a la teoría ya estudiada, el valor residual de la carretera estará dado por el costo de reposición. Cuya expresión es la siguiente

$$V_r = V_n - \Sigma C_r$$

Donde:

V_r: Valor residual

V_n: Valor nuevo de camino

C_r: Costos de conservación del camino para que sirva otro periodo igual al que fue diseñado.

A continuación procederemos a calcular el valor residual de la carretera para cada uno de los escenarios estudiados.

21. Valor residual para la Alternativa 01

$$V_n = S/. 101'199,600.0$$

C_r= Costo del refuerzo al final del año + costos de conservación incurridos

$$C_r = 17'212,408.1 + 13'137,211.4$$

$$C_r = S/. 30'349,619.5$$

$$V_r = S/. 101'199,600.0 - 30'349,619.5$$

$$V_r = S/. 70'849,980.5$$

Para una carretera cuyo pavimento está a lo mucho en una condición regular (IRI<3.5), el valor residual estaría alrededor del 70% (70'849,980.5 / 101'199,600.0).

22. Valor residual para la Alternativa 02

$$V_n = S/. 101'199,600.0$$

C_r= Costo de la Reconstrucción al final del año + costos de conservación incurridos

$$Cr = 40'695,795.2 + 9'911,078.9$$

$$Cr = S/. 50'606,874.1$$

$$Vr = S/. 101'199,600.0 - 50'606,874.1$$

$$Vr = S/. 50'592,725.9$$

Para una carretera cuyo pavimento esta a lo mucho en una condición mala ($IRI < 4.5$), el valor residual para esta condición estaría alrededor del 50%

($50'592,725.9 / 101'199,600.0$).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se ha verificado, que el valor residual propuesto por el Sistema Nacional de Inversión Pública (20 por ciento), subestima el verdadero valor residual para carreteras. A través de la presente investigación, se concluye que dicho valor residual no solo resulta ser un valor único, sino que, el valor residual en carreteras depende de los trabajos de conservación rutinario y periódico en la carretera (bacheo, sellos superficiales, refuerzos, etc.). La oportuna aplicación de las políticas de conservación, minimiza el deterioro del pavimento, y por ende el valor residual resulta ser mayor.
2. Como consecuencia a la anterior conclusión, se propone los siguientes valores residuales para proyectos de asfaltado de carreteras de acuerdo a la metodología de cálculo seguida en la presente investigación:
 - El valor residual alcanza un valor de hasta 70% (con un nivel de confianza del 95%) mientras se realicen trabajos de mantenimiento rutinario y el mantenimiento periódico (refuerzos) establecidos en el diseño de pavimentos se ejecuten todos los años. Manteniendo la condición de que la regularidad superficial no sea mayor a 3.5 m/km.
 - El valor residual alcanza un valor de hasta 40% (con un nivel de confianza del 95%) cuando por demoras en los trabajos de mantenimiento tanto rutinarios como periódicos (refuerzos), la regularidad superficial sea mayor a 3.5 pero menor a 4.5 m/km.
 - En cualquier caso, es decir, bajo cualquier condición de deterioro del pavimento, admisible con una política razonable de conservación de la infraestructura (no dejar que el deterioro implique una rehabilitación o reconstrucción total de la vía o carretera) bajo el marco de la evaluación económica de proyectos del SNIP, el

valor residual es siempre mayor al establecido por el Ministerio de Economía u Finanzas, 20 por ciento. El mínimo hallado en esta tesis es 40 por ciento, el doble.

- Los valores son confiables aun cuando se pueda cuestionar de la función de distribución de probabilidad paramétrica usada ya que también se han hecho los cálculos o las pruebas hipótesis con procedimientos no paramétricos, los cuales no requieren definir una función de distribución de probabilidades ex ante.

RECOMENDACIONES

1. El modelo desarrollado para calcular el valor residual en carreteras asfaltadas, también puede ser utilizado para determinar el valor residual en carretera con pavimentos rígidos, requiriéndose estudiar con más profundidad los modelos de deterioro para pavimentos rígidos, el cual puede ser materia de investigación en otra tesis.
2. El instrumento que desarrolla la tesis, puede servir de mucha utilidad tanto para los gobiernos regionales, como para el mismo sector, para definir el valor residual como medio practico en estudios a nivel de perfil, y el método más desarrollado para estudios de mayor envergadura, cuando se requiera sustentar el valor residual.

BIBLIOGRAFIA

- AASHTO (2004).** “*Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*”. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC. Manual Técnico. USA.
- ARCHONDO CALLAO R. (2008).** “*Evaluación Económica de Inversiones en Carreteras con el HDM-4*”. Organizado por el MTC. Apuntes de clase. Lima-Perú.
- ASCHAUER D. (1989).** “*Is Public Expenditure Productive?*”. Journal of Monetary Economics. Revista Economica. Vol.23, Spain.
- BANCO MUNDIAL (1995).** “*High Design Modelling in Pavements*”. Washington DC. Manual técnico.
- BANCO MUNDIAL (1988).** “*El deterioro de los caminos en los países en desarrollo causas y soluciones*”. Washington DC. Estudios de Políticas del Banco Mundial. Publicación.
- BREALEY Y MYERS (2007).** “*Fundamentos de Finanzas Corporativas*”. Quinta Edición. Libro. Editorial McGraw-Hill, España.
- BUSTOS MARCELO (2010).** “*Sistema de evaluación técnica – económica de carreteras HDM-4*”. Organizado por la Universidad Nacional de San Juan. Apuntes de clase. San Juan-Argentina.
- CARPINTERO LOPEZ (2004).** “*La provisión, financiación y funcionamiento de infraestructuras de transporte y sus efectos sobre el desarrollo económico*”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid. Tesis Doctoral, España.
- CEPAL (2001).** “*El desarrollo institucional del transporte en América Latina durante los últimos veinticinco años del siglo XX*”. Unidad de Transportes, Departamento de Recursos Naturales e Infraestructura. Publicación, Chile
- CEPAL (2003).** “*Mejoramiento de la gestión vial con aportes específicos del sector privado*”. Unidad de Transportes, Departamento de Recursos Naturales e Infraestructura. Publicación, Chile
- CONREVIAL (1987).** “*Estudio de Rehabilitación de Carreteras en el Perú*”. Programa de Inversiones entre el Gobierno Peruano y el BIRF. Estudio, Lima - Perú.
- DE SOLMINIHAC HERNAN (2005).** “*Gestión de Infraestructura vial*”. Tercera Edición. Libro. Editorial Alfaomega Grupo Editor, México D.F.
- FONTAINE ERNESTO R. (2008).** “*Evaluación Social de Proyectos*”. 13th Edición. Libro. Editorial Alfaomega Grupo Editor, México D.F.

GARBER NICHOLAS, HOEL LESTER (2005). “*Ingeniería de tránsito y carreteras*”. Tercera Edición. Libro. Editorial Thomson Editores, México D.F.

GINES DE RUS (2004). “*Análisis Costo – Beneficio*”. Segunda Edición. Libro. Editorial Ariel, Barcelona-España.

HIGHWAY DEVELOPMENT AND MANAGEMENT – HDM. “*Volumen 6: Modelos del Deterioro de Carreteras y de los efectos de los trabajos*” PIARC – Permanent International Association Of Road Congresses. Publicación.

KIM RICHARD (2009). “*Modeling of Asphalt Concrete*”. First Edition. Libro. Editorial McGraw-Hill, Mexico D.F.

MARES MEDINA (2008). “*Infraestructura Vial, Manual de Partidas y Costos*”. Primera Edición. Colegio de Ingenieros del Perú. Libro. Impreso en Lima.

MEF – Dirección Gereneral de Programación Multianual del Sector Público (2011). “*Directiva General del Sistema Nacional de Inversión Pública, Directiva N° 001-2011-EF/68.01*”. Norma y Manual. Lima – Perú.

MONTELLANO PEREYRA CARLOS (2005). “Gestión de infraestructura vial y financiamiento, Caso: Concesión del tramo Carretero Cochabamba – Limite Departamento Oruro”. Universidad Mayor de San Simón. Tesis para obtener el grado de Magister.

MOP – Departamento de Gestión Vial (2010). “*Valor del patrimonio vial de la Red Vial Nacional*”. Publicación. Chile.

MTC – Dirección General de Caminos (2000). “*Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras*”. Tomo I y II. Norma y Manual Técnico. Lima – Perú.

MTC – Dirección General de Caminos (2007). “Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras”. Norma Técnico. Lima – Perú.

MTC – Dirección General de Caminos (2008). “*Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*”. Norma, Guía y Manual Técnico. Lima – Perú.

MTC – Proyecto Especial Rehabilitación de Infraestructura de Transporte (2001). “*Manual de Mantenimiento Vial*”. Volumen 2. Norma y Manual Técnico. Lima – Perú.

MTC – Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de Infraestructura vial (2008). Manual Técnico. Lima – Perú.

SANJURJO MIGUEL, REINOSO MAR (2003). “*Guía de Valoración de empresas*”. Segunda Edición. Libro. Editorial Pearson, México.

SAPAG NASSIR (2007). “Formulación y evaluación de proyectos de inversión”. Primera Edición. Libro. Editorial Pearson, Mexico.

PATERSON W. (1987). “Road deterioration and maintenance effect, models for planning and management”. First Edition. Publicación de la PIARC – Asociación Internacional de Carreteras.

STIGLITZ JOSEPH E. (1999). “Microeconomía”. Libro.

SCHLISSLER ANDREAS (1994). “Un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales”. Publicación de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, Chile.

THE ASPHALT INSTITUTE (1991). “Diseño de espesores de pavimentos asfálticos para calles y carreteras”. Manual Técnico. USA.

WATANATADA (1987). “*The highway design and Maintenance Standards Model*”. World Bank - Transportation Department, Washington D.C. Publication. Vol. 1.

YANG H. HUANG (2004). “*Pavement Analysis And Design*”. Second Edition. Libro. Editorial Pearson, México.

ANEXOS

ANEXO N°1: GLOSARIO

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
SNIP	: Sistema Nacional de Inversión Pública
VAN	: Valor Actual Neto
TIR	: Tasa Interna de Retorno
DGPM	: Dirección General de Programación Multianual
OPIs	: Oficina de Programación de Inversiones
MEF	: Ministerio de Economía y Finanzas
CBR	: California Bearing Ratio
K	: Coeficiente de balasto
CEPAL	: Comisión Económica para América Latina y el Caribe
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
IRI	: Índice de Rugosidad Internacional
PSI	: Índice de Serviciabilidad Presente
HDM-3	: Highway Design and Maintenance Standards Model
HDM-4	: Highway Development and Management tool
PCGA	: Principios de Contabilidad Generalmente Aceptados
VR	: Valor Residual
V _m	: Valor de Mercado
V _c	: Valor Contable
T	: Tasa de impuesto
FCL	: Flujo de Caja Libre
k	: Tasa de descuento
g	: Crecimiento del flujo
WACC	: Costo ponderado de los recursos
MOP	: Ministerio de Obras Publicas de Chile
TAI	: The Asphalt Institute
CRP	: Costo de Rehabilitación Presente
VIC	: Valor Inicial de Construcción
PCI	: Índice de condición del pavimento
SHRP	: Strategic Highway Research Program
DICTUC	: Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile
Mr	: Modulo resilente de la subrasante
IMD	: Indice Medio Diario
SN	: Numero Estructural requerido

ANEXO N°2: ELEMENTOS CONCEPTUALES EN LA GESTION DE PAVIMENTOS

Se considera normalmente que un sistema de gestión de pavimentos es el conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un periodo de tiempo las condiciones de seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuado para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía, minimizando el costo monetario, social y medioambiental.

Se han desarrollado un sin número de sistemas para optimizar los recursos para lograr que la vía cumpla con su función por el cual fue diseñado. El elemento básico dentro de la infraestructura vial son los pavimentos, ya que es este el que entrega la superficie requerida para el desplazamiento de los vehículos, del pavimento depende la mayoría de los costos de usuarios, asimismo es el pavimento el que requiere la mayor cantidad de recursos económicos y financieros tanto para la construcción como para su mantenimiento

En la actualidad el estado de la carretera se mide a través de una multitud de parámetros específicos, las posibilidades técnicas de reparación y conservación son múltiples y el tema medioambiental ha cobrado una relevancia fundamental, de aquí que los sistemas de gestión de pavimentos hayan evolucionado en una medida similar.

B.1 Introducción a los conceptos de gestión de pavimentos

Serviciabilidad de pavimentos

La serviciabilidad de un pavimento está definida como la capacidad, para servir al tipo de tráfico que usa la vía (según la AASHTO).

Hay dos formas para medir la serviciabilidad, un método es el del Índice de serviciabilidad presente (PSI - present serviceability index), desarrollado por la AASHO road test. El otro método es el índice de rugosidad.

a) Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

La serviciabilidad de pavimentos y los conceptos de desempeño fueron desarrollados durante la AASHO road test (Carey and Irick, 1960). La inclusión de la serviciabilidad como un factor en el diseño de pavimentos fue una característica sobresaliente de los métodos de diseño de la AASHO.

Para correlacionar la calificación subjetiva del desempeño del pavimento con medidas objetivas, se ha necesitado definir los siguientes términos:

- **Serviciabilidad presente (Present serviceability)**, Es la capacidad de una sección específica de pavimento para atender volumen y velocidad de tráfico en su condición actual.
- **Calificación individual de la capacidad de servicio presente (Individual present serviceability rating)**, consiste en una calificación por un individuo de la serviciabilidad presente de una sección específica de la carretera. El rango de la calificación va desde 0 a 5. Los números más altos indican condiciones satisfactorias, las calificaciones bajas indican una condición pobre del pavimento.

- Calificación de la serviciabilidad presente (PSR, Present serviceability rating), Es la media de las calificaciones individuales de los miembros de un grupo específico.
- Índice de serviciabilidad presente (PSI, Present serviceability index), Es una combinación matemática de valores obtenidos de determinadas mediciones físicas para predecir el PSR de los pavimentos dentro de los límites prescritos. Es decir, el índice obtenido en la ecuación de regresión incluye los términos de rugosidad y deterioro, los cuales se correlacionan bien con la estimación subjetiva (PSR). Las ecuaciones originales del PSI para pavimentos flexibles y rígidos fueron desarrolladas en la prueba AASHO.

$$\text{Asfalto PSI} = 5,03 - 1,91 * \log(1 + SV) - 1,38 * (RD)^2 - 0,01 * \sqrt{C+P}$$

$$\text{Hormigón PSI} = 5,41 - 1,78 * \log(1 + SV) - 0,09 * \sqrt{C+P}$$

Donde:

SV: Varianza de la pendiente longitudinal (Slope Variance), medida con un perfilómetro CHLOE, $\text{rad} \times 10^{-6} (\text{in}/\text{ft})^2$

RD: Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in

C (en asfalto): Superficie agrietada, $\text{ft}^2/1000 \text{ft}^2$

C (en hormigón): Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertas, $\text{ft}/1000 \text{ft}^2$

P: Superficie bacheada, $\text{ft}^2/1000 \text{ft}^2$

Considerando el alto grado de correlación existente entre la calificación de la serviciabilidad por parte del usuario y ciertas variables que miden cuantitativamente el deterioro físico de un pavimento, el concepto inicial de serviciabilidad (en términos de la opinión de los usuarios) fue reemplazado por el índice de serviciabilidad presente (PSI), calculado según la relación anterior a partir de ciertos parámetros medidos con absoluta objetividad.

b) Índice de rugosidad

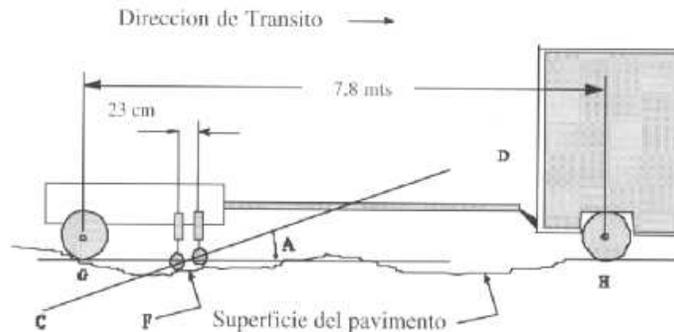
La rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento, que afectan adversamente el confort, la seguridad y costos de operación de los vehículos (Solminihac-1998). En las ecuaciones para la determinación del PSI, la medida de la rugosidad, influye grandemente en los resultados de la serviciabilidad. En la práctica, esto significa que la rugosidad tiene el mayor efecto en la evaluación de los usuarios que califican la calidad de la superficie de rodadura. Por eso, aun cuando las ecuaciones contienen términos relacionados con el deterioro visual, muchas agencias viales relacionan directamente la clasificación del PSI con mediciones de rugosidad.

Métodos para medir la rugosidad

En los estudios desarrollados durante la prueba AASHO, pudo determinarse claramente que la irregularidad longitudinal era el indicador de deterioro superficial más incidente sobre la serviciabilidad. En aquella oportunidad se utilizó un perfilómetro tipo CHLOE como el que se muestra en la siguiente Fig., para medir a variación de la pendiente longitudinal registrada entre sensores (ruedas pequeñas) separadas entre sí unos 23 cm aproximadamente. Desde entonces, se han desarrollado múltiples formas de cuantificar y

medir físicamente la rugosidad (entendida como el concepto de irregularidad longitudinal) de un pavimento.

Perfilómetro CHLOE utilizado en la prueba AASHO
(HRB, 1961)



- Medidores de rugosidad de tipo respuesta

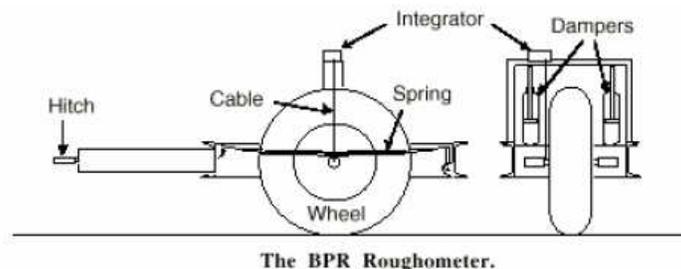
Los primeros dispositivos elaborados para la medición de la rugosidad fueron los medidores de tipo respuesta. Estos son aparatos que miden reacciones de dispositivos ante la presencia de rugosidad en el pavimento. Su función es registrar los movimientos verticales entre el eje y la estructura del vehículo, a través de la respuesta mecánica que se obtiene en los dispositivos de medición al circular sobre un pavimento a velocidad constante.

Estos medidores están formados por dos componentes: vehículo y “roadmeter” (transductor que mide desplazamientos y visualizador). Hay diferentes tipos en el mundo, como los que se mencionan a continuación:

- Mays Meter
- Bump Integrator
- NAASRA
- Cox Meter BPR
- Etc.

A continuación la figura presenta un esquema del aparato BPR, utilizado hasta la actualidad por la D.N.V. de Argentina para las campañas periódicas de medición de rugosidad en pavimentos de la red vial nacional.

Rugosímetro BPR, de tipo respuesta
(Sayers, 1997)



Todos estos aparatos entregan mediciones de rugosidad en sus respectivos sistemas de unidades, que dependen de las características de cada equipo. En general, mientras mayores son los valores obtenidos, mayor es la rugosidad del camino, ya que los transductores van acumulando los resaltos producidos por las irregularidades del pavimento.

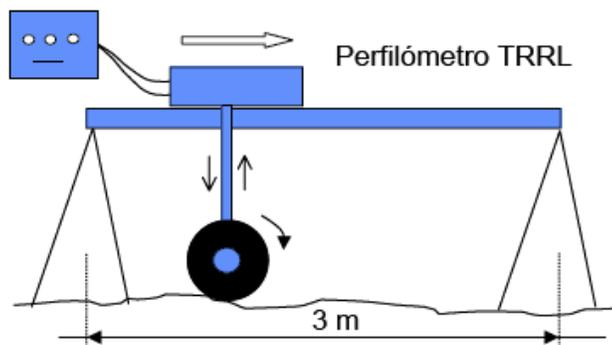
La principal ventaja de estos aparatos es su bajo costo en comparación con otros medidores más sofisticados del perfil longitudinal. Los inconvenientes radican en la dificultad de relacionar medidas realizadas por distintos equipos, y la constante necesidad de calibración utilizando pistas de prueba.

- Medidores de bajo rendimiento

Dado que el perfil longitudinal es el principal referente de la calidad de rodadura de un pavimento, la irregularidad longitudinal puede incluso determinarse a partir de mediciones del perfil realizadas con mira y nivel. Pero este método es impensable para relevar extensas redes viales y sólo puede limitarse su uso a pistas de prueba para calibrar equipos.

También se desarrollaron otros mecanismos para levantar el perfil longitudinal con alta precisión pero bajo rendimiento, tales como el perfilómetro del Laboratorio de Transportes del Reino Unido (perfilómetro TRRL), y el Face Dipstick. Ambos equipos se muestran en las Figuras respectivamente.

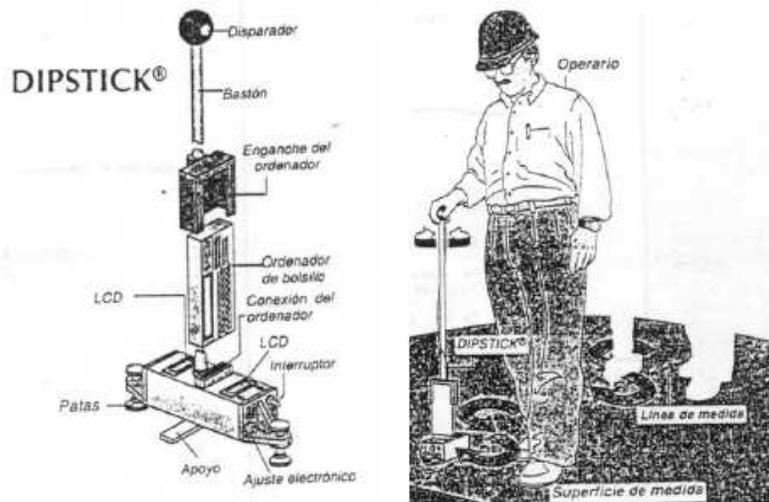
Esquema de funcionamiento del perfilómetro TRRL



El perfilómetro del TRRL se basa en un aparato que se desplaza sobre una viga de 3 m de longitud, conectado a un neumático en contacto con el pavimento y que puede moverse libremente en sentido vertical al desplazarse. El aparato sobre la viga registra estos desplazamientos y permite de esta manera disponer de una medición del perfil en el tramo analizado.

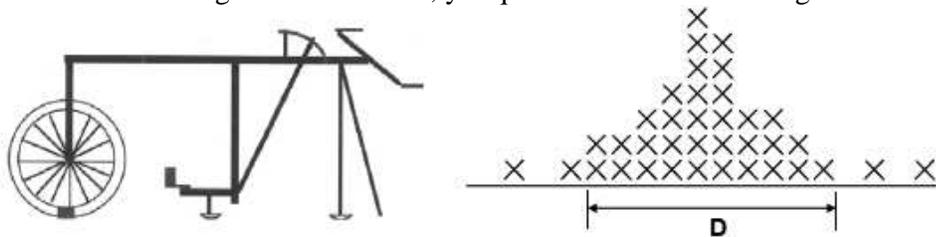
Por su parte, el Dipstick incorpora un acelerómetro que registra la inclinación entre dos pivotes en su parte inferior. Al ir girando el aparato mediante pivoteo, como se muestra en la siguiente Figura, se va registrando la variación de las inclinaciones en los sucesivos movimientos.

Aparato Face Dipstick y forma de utilización



Otro aparato que puede calificarse como de “bajo rendimiento” ya que registra datos a baja velocidad, es el MERLIN (“Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation”), mostrado en la siguiente Fig. En este caso, el aparato se levanta por las manijas traseras y se va desplazando a lo largo del eje de medición hasta que la rueda complete un giro. En ese momento se apoya y el pivote central toma contacto con la superficie pavimentada, marcando una determinada posición sobre un atril o portaplanillas metálico situado frente al operario.

Medidor de rugosidad MERLIN, y esquema de medición de rugosidad



Sobre este portaplanillas se ubica una hoja de papel milimetrado, en la cual se hace una cruz tipo X de 1 cm², en la posición que indique el marcador solidario al pivote central. Se avanza nuevamente con el aparato, y se vuelve a hacer una cruz en el papel milimetrado en la nueva posición que se indique; si cae sobre una cruz ya existente, se coloca por encima de esta última.

De esta manera se va avanzando y marcando, hasta completar la distancia de medición que habitualmente son cerca de 200 m. Se descarta el 5% de las cruces situadas a los extremos derecho e izquierdo, y se mide la distancia D que es un indicador de la irregularidad del pavimento; mientras mayor sea D, más dispersas habrán sido las mediciones y mayor será la irregularidad registrada. En el mundo se han desarrollado

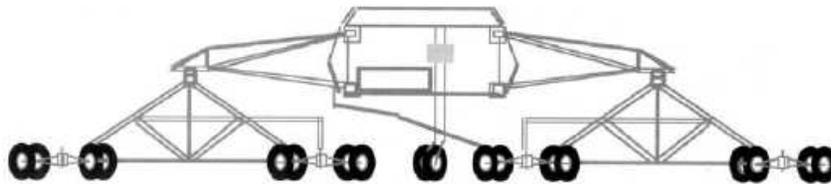
estudios para correlacionar los valores de D con otros indicadores de rugosidad, tal como el IRI que se define más adelante.

- Perfilómetros de alto rendimiento

Los equipos que están teniendo mayor uso por parte de consultoras y empresas de auscultación de pavimentos, y por reparticiones viales de cierta importancia, son aquellos capaces de registrar el perfil longitudinal de un pavimento pero circulando a velocidades usuales del tránsito. Estos equipos se conocen como perfilómetros de alto rendimiento.

Algunos perfilógrafos están orientados fundamentalmente a medir lisura (smoothness) del pavimento como requisito de recepción luego de la construcción, tal como el que se muestra en la siguiente Fig., fabricado en California. En este caso particular, el mecanismo de funcionamiento está basado en el libre desplazamiento vertical de la rueda central, que es registrado por el aparato y entrega una estimación del grado de lisura que tiene el pavimento. Estos perfilógrafos son relativamente económicos y sencillos de operar, pero la velocidad de desplazamiento es relativamente baja.

Perfilógrafo para control de pavimentos nuevos (Solminihac 1998)



Otros perfilómetros, en cambio, están específicamente diseñados para determinar las irregularidades del perfil en pavimentos ya en servicio. El método de registro del movimiento vertical del vehículo respecto del pavimento usualmente es de tipo óptico o láser. Poseen acelerómetros que permiten compensar las oscilaciones de la suspensión del vehículo en que van montados los dispositivos de medición, para referir todas las mediciones respecto a un plano inercial paralelo a la dirección del desplazamiento. A partir de los registros de cotas del perfil longitudinal, es factible calcular indicadores más modernos de rugosidad, tales como el IRI, que se define en la siguiente sección.

Algunos perfilómetros miden sólo la irregularidad longitudinal en las huellas, en tanto que otros tienen varios sensores a lo largo de las barras de medición, con lo cual es factible reconstruir un perfil transversal e incluso hasta tridimensional de la superficie del pavimento. La Fig. 4.8 muestra un equipo de medición donde la barra de medición (utiliza láser) se ubica en la parte delantera del vehículo.

Perfilómetro láser de alto rendimiento



Índice de Rugosidad Internacional (IRI, International roughness index)

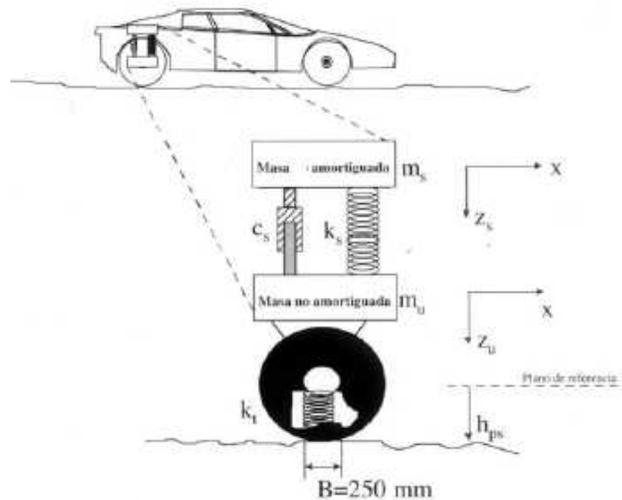
Las diversas metodologías desarrolladas para registrar la irregularidad longitudinal en pavimentos generaron a nivel internacional la necesidad de homologar y armonizar las medidas obtenidas con los distintos equipos. El objetivo fue entonces desarrollar un índice unificado para representar la irregularidad longitudinal, independiente de la técnica de obtención del perfil, y que se correspondiese con la percepción del usuario medio en un vehículo tipo circulando a velocidades normales de operación.

Uno de los principales esfuerzos orientados a obtener este tipo de indicador fue el estudio internacional IRRE (International Road Roughness Experiment) del Banco Mundial (Sayers, 1986), que permitió finalmente generar el concepto de IRI (International Roughness Index). El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento, que representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola perfecta, para las cuales $IRI = 0$), y el perfil longitudinal real de un pavimento.

Este perfil real tiene, al finalizar la construcción del pavimento, un valor inicial $IRI_0 \neq 0$, ya que el mismo proceso constructivo no está exento de irregularidades y defectos menores, dependiendo de la calidad del trabajo y del tipo de pavimento ejecutado. A partir de que el camino se abre al tránsito, el perfil se va modificando lenta y progresivamente a causa del efecto combinado de sollicitaciones de tránsito y factores climáticos, incrementando su irregularidad y aumentando su IRI.

Según de Solminihac (1998), la definición del IRI se establece a partir de conceptos asociados a la vibración de sistemas dinámicos, modelando en forma simplificada un vehículo mediante un conjunto de masas ligadas entre sí, y con la superficie de la carretera, mediante resortes y amortiguadores. El movimiento de este modelo a lo largo del perfil real produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas, de acuerdo a la leyes físicas de Newton, asumiendo que la velocidad de desplazamiento de este modelo es de 80 km/h. La Fig. se muestra el modelo considerado, que representa un cuarto de auto (Reference Quarter Car Simulation, RQCS).

Modelo de simulación del Quarter-Car o RQCS
(Solminihač 1998)



Mediante las leyes de Newton se puede describir matemáticamente el movimiento de las masas mostradas en la Fig. 4.9, adoptando valores predefinidos para las constantes del sistema (masas m_i , constantes de amortiguación c y del resorte k_i). Posteriormente, el IRI se calcula mediante una integración matemática de los efectos dinámicos del perfil sobre el modelo mecánico estandarizado. El procedimiento de cálculo de IRI simula el movimiento de las masas mostradas en el gráfico, acumula el desplazamiento de la masa superior respecto a la inferior, y divide el resultado en la longitud total recorrida.

Este resultado, que se expresa en m/km o pulg/milla, es por consiguiente indicativo de una especie de "pendiente". De hecho, el indicador original en el estudio del Banco Mundial (Sayers et al., 1997), basado en la simulación arriba descrita, fue el índice RARS80 (Rectified Average Reference Slope, pendiente de referencia media rectificada), obtenido a la velocidad de circulación de 80 km/h para el desplazamiento simulado del modelo. Este fue el índice que mejor se correlacionó con otras mediciones de rugosidad, y por eso se adoptó finalmente como el indicador más apropiado para la homologación y armonización, dando origen al IRI.

El IRI, en definitiva, se obtiene a partir de las cotas de una línea del perfil longitudinal, las que pueden ser obtenidas con cualquier técnica de medición, tales como las vistas en la sección anterior. El procedimiento específico de cálculo no es de interés para este curso, pero puede verse con suficiente grado de detalle en el libro de De Solminihač (1998). En todo caso, debe cumplir con las siguientes condiciones, también extractadas del mismo libro:

- Debe ser calculado a partir de un solo perfil, con un intervalo de muestreo entre cotas sucesivas no superior a 300 mm, para garantizar suficiente precisión en el cálculo. La resolución o exactitud en la determinación de las cotas depende del nivel de rugosidad del pavimento a medir, pero en general puede adoptarse una resolución de 0,5 mm como adecuada para cualquier condición.
- Se asume que el perfil tiene una pendiente constante entre puntos contiguos de elevación.

- Para la determinación matemática del IRI, los datos del perfil son primero “suavizados” estadísticamente mediante el uso de medias móviles cuyo largo base es de 250 mm. El propósito de esto es simular el comportamiento de la envolvente de los neumáticos, y reducir la sensibilidad de los resultados respecto del espaciamiento de muestreo del perfil longitudinal.
- El perfil ya suavizado es filtrado usando la simulación del cuarto de auto (RQCS) con sus parámetros específicos, a una velocidad de 80 km/h, y finalmente,
- El movimiento de la suspensión simulada es acumulada y dividida por el largo del perfil para así obtener el valor del IRI, expresado en unidades de m/km o pulg./milla.

Ventajas del uso del IRI

Este indicador presenta las siguientes ventajas respecto a otros métodos de medición:

- Es un indicador objetivo de la irregularidad superficial de un camino circulando a una velocidad típica de operación (80 km/h);
- Se obtiene a partir de un perfil longitudinal cuya técnica de obtención no influye sobre el resultado;
- Presenta buena correlación con otras unidades de rugosidad, obtenidas usando aparatos de medición por respuesta;
- El IRI es actualmente el indicador de irregularidad longitudinal más ampliamente aceptado en el ámbito vial internacional, y todo el resto de mediciones trata de correlacionarse con él.

La objetividad del IRI es una de sus ventajas más importantes, ya que no depende de valoraciones subjetivas como ocurre con la serviciabilidad PSR. Además, no necesita calibración ya que conociendo el perfil, la metodología de cálculo arroja necesariamente un valor único para este indicador. Deben calibrarse los métodos de registro del perfil, en todo caso, para lo cual pueden usarse pistas de prueba con perfil previamente conocido por métodos de alta precisión.

Cabe mencionar que desde el punto de vista de la gestión vial, es muy importante conocer los valores de IRI luego de construcción, recapado o reconstrucción de un pavimento, ya que nunca valen cero, y por lo general estos valores no son adecuadamente controlados en su momento por las organizaciones a cargo de la administración (salvo en caminos concesionados), y después tienen gran incidencia sobre la evolución posterior del IRI, cuando es modelado dentro del SGP.

Relaciones entre el PSI y el IRI

La relación entre la serviciabilidad y la rugosidad se establece a partir de los valores de rugosidad y los resultados del PSR. El IRI es un índice de rugosidad internacional que fue obtenido en cada tramo a través de un perfilómetro láser, y se expresa en m/km. Se debe recordar que el IRI del tramo es el promedio del IRI sobre el perfil de cada huella, y considerado para la longitud total del tramo que debe ser 400m. El PSR es el promedio para cada tramo de las calificaciones individuales de los miembros del panel evaluador.

Cuando se establecen ecuaciones que predicen los valores de PSR a partir de mediciones objetivas como la de rugosidad, entonces se habla de PSI (Present Serviceability Index) para diferenciarlo del PSR (Present Serviceability Rating). A continuación se presenta distintas ecuaciones desarrolladas a partir de este concepto.

- a) Modelo desarrollado por Al-Omari y Darter (1994)
Estas relaciones fueron desarrolladas separadamente para pavimentos flexibles y rígidos, en base a información de los estados de Louisiana, Michigan, New Jersey, New Mexico, Ohio e Indiana, en los Estados Unidos de America. A pesar de lo anterior por la inexistencia de diferencias significativas entre los modelos, este estudio recomendó el uso de la siguiente relación no lineal para todo tipo de pavimento:

$$PSI = 5 * e^{(-0.26*IRI)}$$

Donde: IRI esta en unidades de m/km.

- b) Modelo empleado por el HDM III (Paterson, 1987)
Esta relación se desarrollo para pavimentos flexibles y se dedujo en base a datos recogidos de cuatro fuentes distintas: Brasil, Texas, Sudáfrica y Pennsylvania. La ecuación obtenida es la siguiente

$$PSI = 5 * e^{(-IRI/5.5)}$$

Donde: IRI esta en unidades de m/km.

Auscultación visual de fallas en pavimentos flexibles

Es muy importante poder identificar las fallas presentes en un pavimento, para analizar su severidad y ver sus probables formas de corregirlas. Dentro de los métodos de auscultación, más usados son los métodos visuales, que consisten en una visita a terreno, por parte de personal capacitado que sigue un procedimiento específico para hacer el relevamiento. En este caso se explicará el método SHRP (SHRP 1993)

Método SHRP de auscultación visual

El método SHRP (Strategic Highway Research Program), consta de dos partes. La primera es el llenado de los croquis de la sección que nos da una visión clara de lo que esta sucediendo en el tramo analizado, y se puede usar como consulta al momento de estudiar los datos. La segunda parte es la hoja o ficha resumen, que entrega una condensación de los datos recogidos, para su fácil manejo o uso.

Dado que este método fue desarrollado para recolectar la información de la investigación SHRP en Estados Unidos, recomienda recolectar el 100% de la longitud de los tramos testigos de dicha investigación. Por lo tanto, para su uso en otras aplicaciones, como en evaluación de proyectos o redes viales se debe especificar el método de muestreo estadístico a utilizar. Por ejemplo 100m de calzada cada 1km.

- a) Elementos para una inspección visual

Para realizar una inspección visual en terreno, se requiere de los siguientes elementos:

- Manual de inspección
- Fichas de datos y croquis en blanco
- Manual de identificación de fallas
- Wincha para medir a lo menos 30m de longitud
- Cámara fotográfica
- Regla para medir ahuellamiento

b) Llenado de croquis

Los croquis de inspección se usan para mostrar la ubicación exacta de cada tipo de falla que existe en la zona de inspección. Los tipos de fallas y niveles de severidad deben identificarse usando el Manual de identificación de fallas (SHRP 1993).

Con este sistema de muestreo se estudia un tercio de la longitud total del pavimento, es decir se comienza midiendo en los primeros 100m, para luego saltarse 200m y medir otros 100m.

Para dibujar las fallas en los croquis, se emplean los símbolos adecuados, según el tipo de pavimento. En general, la falla se dibuja y se rotula usando el número del tipo de falla y el nivel de severidad. Se agrega un símbolo adicional al costado del tipo de falla para indicar donde la grieta o junta se encuentra sellada. Cualquier falla que no se encuentre descrita en el Manual de identificación debe fotografiarse. La ubicación y extensión debe mostrarse y rotularse en el croquis.

A continuación se muestran los símbolos de deterioro para los pavimentos flexibles.

Símbolos de deterioro para pavimentos flexibles (SHRP 1993)

Tipo de Deterioro	Símbolo	Tipo de Deterioro	Símbolo
1. Grietas de Fatiga (cocodrilo) (Número) B grietas sin conexión M grietas conectadas, poco desconcha, bombeo A grietas conectadas, desconcha, bombeo		8. Baches (Nº y m) B profundidad < 25 mm M profundidad < 50 mm A profundidad > 50 mm	
2. Grietas de Bloque (m2) B < 6 mm o selladas M < 19 mm A > 19 mm		9. Ahuecamiento (Sin símbolo) (mm) Debe ser menor a 10 mm Se registra la medida en ambas huellas	
3. Grietas de Borde unión berma pavimenta (m) B Sin desintegración M desintegración, pérdida de material < 10 % A desintegración y pérdida de material > 10 %		10. Desplazamiento o corrugaciones (Nº y m2)	
4. Grietas longitudinales, paralelas al eje (m), 4a en la huella, 4b fuera de la huella B < 6 mm o selladas M < 19 mm A > 19 mm		11. Exudación (m2) B Exceso de asfalto M Pérdida textura debido al exceso de asfalto A apariencia brillante, piedras oscuras	
5. Grietas de reflexión (hormigón debajo) (transversales Nº y m, longitudinales m) B < 6 mm o selladas M < 19 mm A > 19 mm		12. Agregado pulido (m2)	
6. Grietas transversales, perpendiculares al eje (Nº y m) B < 6 mm o selladas M < 19 mm A > 19 mm		13. Pérdida de áridos o desprendimiento (m2) B Comienzo de los desprendimientos, pérdida de finos M Pérdida textura debido al exceso de asfalto A Desprendimiento de material, textura áspera, pérdida de gruesos	
7. Parches (Nº y m2) B falla de baja severidad M falla moderada A falla de alta severidad		14. Descenso de la berma (sin símbolo) (mm) Debe ser menor a 10 mm	
		15. Bombeo (Nº y m)	

Si la erosión, la exudación se presenta en grandes áreas, no se debe dibujar la extensión total. En vez de eso, se anota en los espacios de comentarios, bajo el croquis apropiado, la ubicación, extensión, y nivel de severidad aplicable.

c) Llenado de ficha de datos

El levantamiento de los datos de terreno se registran en fichas como las que se muestra a continuación, donde se dibujan los deterioros a escala, junto con características de severidad. Estas fichas son posteriormente procesadas obteniendo así la condición actual del pavimento.

Ficha de auscultación, método SHRP

The image shows a form titled "PLANILLA PARA MEDICIÓN SEGÚN SHRP". It contains several fields for data entry: "N° Proyecto", "Tramo", "Pista", "Fecha / Hora", "Tramo de Evaluación", "Calzada", "Resistencia psi", "Km. Inicio", and "Temperatura Ambiente: °C". Below these fields are two large grid sections for recording data. Each grid has a vertical axis from 0 to 50 and a horizontal axis from 30 to 74. Below each grid is a line for "COMENTARIOS".

Equipos para la evaluación del deterioro superficial

El uso de manuales para la evaluación del deterioro de los pavimentos tienen varios inconvenientes, como son el riesgo de hacer mediciones en el camino, variabilidad entre diferentes auscultadores, tamaño inadecuado de las muestras y el alto costo de la inspección por su dificultad. Estos factores han alentado el desarrollo de técnicas automatizadas para evaluar pavimentos.

En esa variedad de equipos disponibles se distinguen el uso de computadoras portátiles y la recolección automatizada de los datos por medio de un video o fotografías de la superficie del pavimento. Sin embargo, en la actualidad todos los equipos requieren de cierto grado de intervención humana en el proceso de identificar y cuantificar los tipos de fallas.

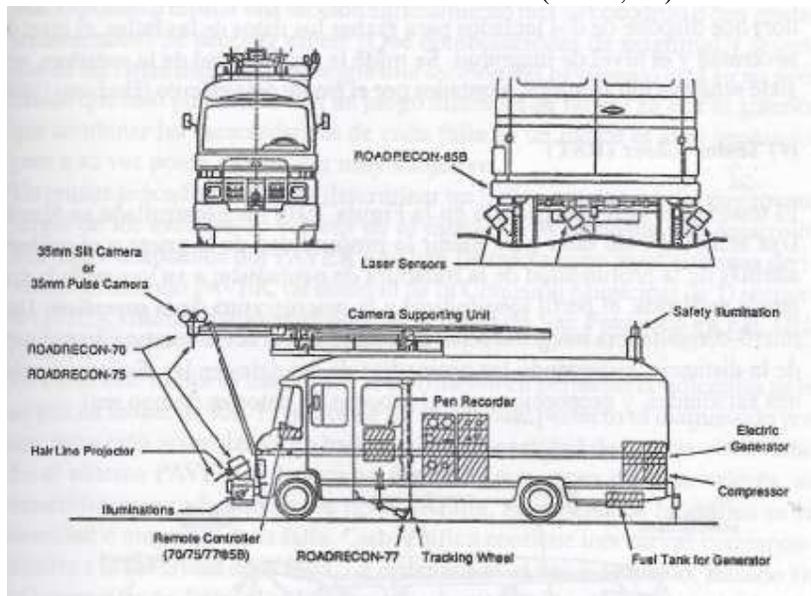
Un proyecto de la Administración Federal de Carreteras de EE.UU. (FHWA) en 1987 (Hudson, 1986), evaluó varios tipos de equipos automatizados. Esta investigación comparó las capacidades de dos filmadoras, un video, y un láser frente al estudio automatizado con la condición que el manual impone. Este fue uno de los primeros pasos en el desarrollo de estos equipos.

La película y el video capturan imágenes continuas del pavimento, que luego se pueden evaluar en la oficina. Este sistema disminuye el riesgo de hacer el estudio en terreno, y proporciona un registro permanente de la condición de la superficie. En la actualidad existen diferentes empresas internacionales que se han preocupado de desarrollar estos equipos, a continuación se presentan algunos equipos:

a) Sistema PASCO ROADRECON

Consiste en un vehículo que produce una grabación continua del pavimento y a su vez toma una medida de la rugosidad. Para fotografiar por la noche el equipo cuenta con un control de la cantidad y ángulo de iluminación. Cuenta con una especie de pelo (punta), el cual con un sistema óptico se puede proyectar hacia el pavimento y proporcionar una referencia lineal para evaluar la profundidad del ahuellamiento. Se puede operar el vehículo a velocidades de hasta 80 km/hora y fotografiar un área de 5 m de ancho. La evaluación del pavimento apenas requiere interpretación visual de las fotografías.

Sistema Pasco Roadrecon (Pasco, 87)



b) Sistema GERPHO

Como el ROADRECON, el GERPHO archiva una imagen continua del pavimento, en una película de 35mm. El sistema GERPHO también usa una luz artificial para operar por la noche. Se extrae la información sobre la película, la cual se monta sobre una mesa especial de diseño para su despliegue. Se ha usado el equipo extensivamente en Francia, con otras aplicaciones en España, Portugal y Túnez (Solminihac, 1998).

c) Analizador Automático de Caminos (ARAN)

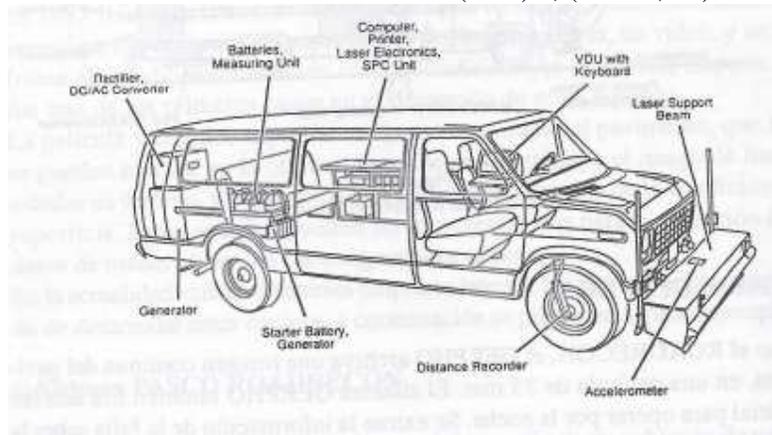
El analizador automático de caminos, ARAN, entrega medidas de la profundidad de rodadura y perfil transverso por medio de sensores ultrasónicos, de calidad del paso sobre el pavimento con un acelerómetro en el eje trasero, toma un video del lado derecho del camino por el parabrisas y toma un video de la superficie del pavimento con una cámara, usando un observador (operador) que dispone de dos teclados para grabar los datos de las fallas, el nivel de severidad y el nivel de magnitud. Se mide la profundidad de la rodadura, con siete sensores ultrasónico, montados por el frente del vehículo (Solminihac, 1998).

d) Test láser (RST)

Este equipo fue desarrollado en Suecia. Usa tecnología de láser para medir la profundidad de la grieta y el ancho además de la profundidad de la rodadura del neumático, a su vez mide la distancia recorrida, el perfil longitudinal y la macrotextura de la superficie. Una micro-computadora integra la señal del sensor con el

acelerómetro y transductor de la distancia, entregando los promedios de los datos en las distintas secciones estudiadas, y proporciona el proceso de datos en tiempo real.

Representación esquemática de los instrumentos utilizados en el “Laser Road Surface Tester (RST)”, (Novak, 85)



Índice de Condición del Pavimentos (PCI, pavement condition index)

a) Introducción

Para ejecutar estudios de pavimentos, se debe caracterizar la magnitud y severidad de cada tipo de falla. Aquí, los encargados de los proyectos necesitan una forma práctica de evaluar prioridades en las decisiones a tomar, así surgen algunas preguntas como: ¿Es más importante reparar una sección agrietamiento piel de cocodrilo o con grietas transversales?, se necesita saber ¿Qué combinaciones de magnitud y severidad de las fallas distintas indica que una sección del pavimento está en un peor estado que otro pavimento con un juego diferente de fallas?. Es por lo anterior que combinar las características de cada falla en un índice es algo necesario, pero a su vez posee un carácter muy subjetivo.

El índice de condición del pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad.

b) Definición y uso del PCI

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los valores deducidos, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, a nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

El PCI es un grado numérico de la condición del pavimento de 0 a 100, siendo 0 la peor condición posible y 100 la mejor condición posible. En el cuadro siguiente se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Rango de calificación del PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

El PCI es un indicador numérico que valora la condición superficial del pavimento. El PCI proporciona una medida de la condición presente del pavimento basada en las fallas observadas en la superficie del pavimento, que también indican la integridad estructural y condición operacional de la superficie de rodadura (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural ni la medida directa de la resistencia al deslizamiento o rugosidad. Proporciona una base objetiva y racional para determinar la necesidad de conservación y reparación y sus prioridades.

El monitoreo continuo del PCI es usado para establecer la tasa de deterioro del pavimento, que permite una identificación prematura sobre la necesidad de una rehabilitación mayor. El PCI brinda información sobre el comportamiento del pavimento para su validación o mejoramiento del diseño existente y procedimientos de conservación.

B.2 Evaluación estructural del pavimento

a) Introducción

La evaluación estructural de carreteras es una técnica que proporciona un conocimiento detallado del estado de los pavimentos, lo que permite efectuar el monitoreo de su comportamiento a través del tiempo y programar el mantenimiento de un modo racional y más económico.

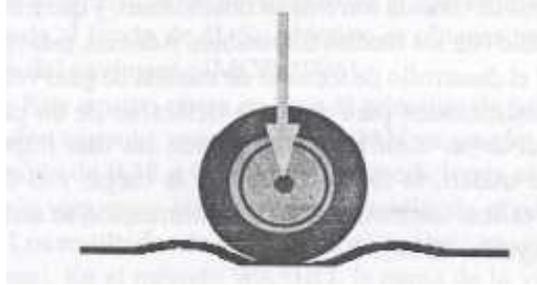
La función estructural depende de la propia capacidad resistente (materiales y espesores), así como el estado de envejecimiento del pavimento, por lo que la auscultación estructural debe incluir mediciones de deflexión y una inspección visual (del Pozo J. 1992).

b) La deflexión como parámetro de evaluación estructural.

La deflexión es la medida de la deformación elástica que experimenta un pavimento al paso de una carga, y es función no solo del tipo y estado del pavimento, sino también del método y equipo de medida. La medición de ella, generalmente, se realiza en forma no destructiva y se utiliza para relacionarla con la capacidad estructural del pavimento.

En la figura se puede apreciar el efecto que causa un vehículo sobre la superficie de un pavimento, el desplazamiento vertical de la superficie corresponde a la deflexión. Es importante destacar que no solo se desplaza el punto bajo la carga, sino que un sector alrededor de ella, causando un conjunto de deflexiones.

Esquema de la deflexión de un pavimento flexible



Para llevar a cabo la medición del conjunto de deflexiones de un pavimento, existen diversos equipos, cuyo procedimiento general es el de aplicar una carga sobre el pavimento, midiendo la deformación producida en la superficie de este, en diversos puntos ubicados a distintas distancias de la carga.

Los primeros usos de la información de deflexiones, involucraba la deflexión máxima bajo la carga. Usualmente, se consideraba un nivel de deflexión tolerable para una sección de pavimento bajo un tráfico determinado. Además, se utilizaba un recapeado para llevar las deflexiones a un nivel tolerable, ejemplos de ello se incluyen en The Asphalt Institute, 1993.

En la actualidad, las mediciones de deflexiones tienen diversos usos (Dynatest y SME, 1994; Hall, K. y Steele, D., 1995):

- Identificación de las secciones de los pavimentos que son estructuralmente uniformes.
- Identificación de las zonas débiles y/o deterioradas
- Cálculo de la capacidad estructural
- Diseño de recapeados o de rehabilitación
- Restricciones de carga (estacionales y permanentes)
- Procedimientos para permitir sobrecarga
- Aplicación en la gestión de pavimentos
- Evaluación de anomalías

c) Equipos para la medición de deflexiones

Debido a la amplia gama de métodos de auscultación, no es fácil establecer que técnicas y equipos de medida son más recomendables, y que frecuencia mínima es necesaria o posible con los medios disponibles.

Existen diversos métodos para medir la deflexión de un pavimento, por tal razón existen diversas clasificaciones, siendo las más importantes según la posición donde miden, la forma de aplicar la carga, y el tipo y número de sensores para realizar las mediciones.

Según el tipo de carga utilizada, los equipos y métodos de medición pueden clasificarse de la siguiente forma (de Solminihac, 1998):

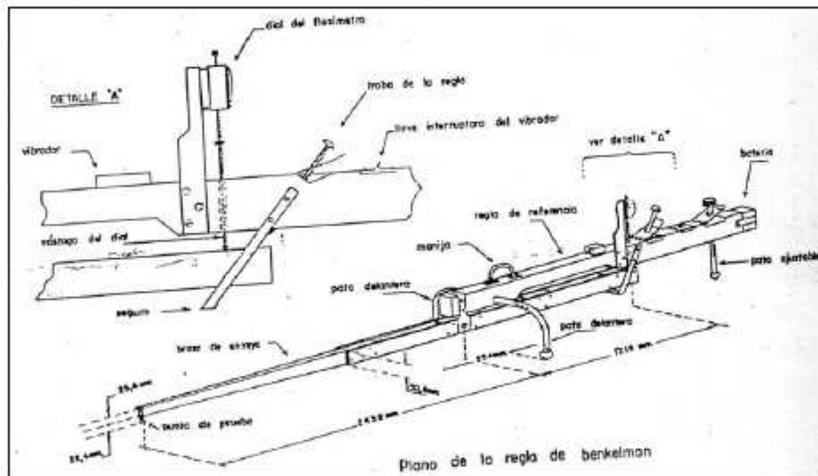
Carga estática o de movimiento lento:

Proveen una medida puntual de deflexión, bajo la aplicación de una carga fija o que se mueve a muy baja velocidad.

- Base Profunda:
Es un pozo de 3m de profundidad, donde se instala un medidor de deflexión anclado al fondo. Provee una medida de la deflexión absoluta del pavimento.

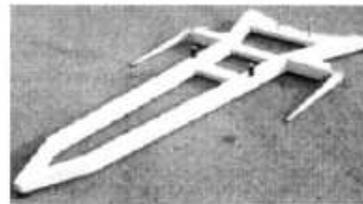
- **Viga Benkelman:**
Es un dispositivo metálico tal como se muestra en la figura, utilizada para medir la deflexión que se produce al pasar un camión cargado, normalmente con 80kN en un eje. Las mediciones se realizan ubicando la punta de la viga entre las dos ruedas del eje, y midiendo en el dial indicador el rebote que se produce cuando el vehículo se aleja. Es necesario corregir las lecturas por geometría (ya que la viga apoya sobre el cuenco de deflexiones, distorsionando las mediciones) y por temperatura del pavimento.

Esquema de la Viga Benkelman para mediciones de deflexiones



- **Deflectómetro Lacroix:**
Es un camión cargado con un peso estándar en su eje posterior, y que posee dos vigas de tipo Benkelman que se desplazan junto con el camión y van registrando deflexiones cada 6 metros aproximadamente.

Deflectómetro Lacroix y sus respectivas vigas de medición
(Solminihaç, 1998)



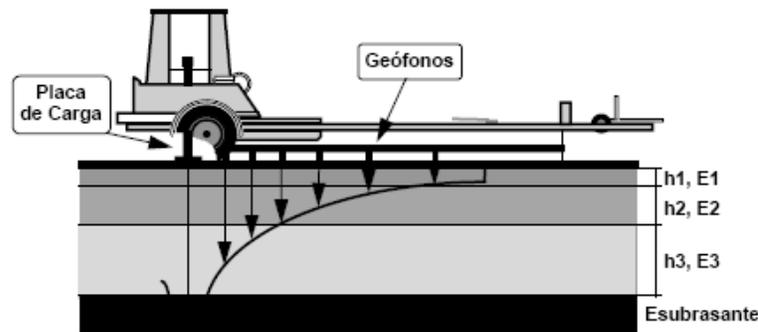
Deflexiones por métodos vibratorios:

Las deflexiones son generadas por elementos vibratorios que imponen una fuerza sinusoidal dinámica sobre un peso estático. La deflexión se mide a través de acelerómetros o geófonos. Estos equipos tienen la ventaja de no requerir puntos de referencia como los anteriores, pero las cargas que aplican no tienen las mismas características de las cargas reales del tránsito. Alguno de estos equipos son el Dynaflect, Road Rater y el WES Heavy Vibrator (de Solminihaç, 1998).

Deflexiones por impacto:

Estos equipos denominados genéricamente FWD (Falling Weight Deflectometer), dejan caer una carga sobre el pavimento; variando la altura de caída y el peso de la carga se pueden generar distintas magnitudes de impacto o energía entregada al pavimento. Estos equipos permiten estimar simultáneamente las características estructurales de capa de rodadura y capas de subrasante, al registrar no solo la deflexión sino todo el semi-cuenco de deflexiones, utilizando geófonos ubicados a distancias predefinidas del plato de carga. Ver figura.

Esquema del deflectómetro de impacto FWD y su dispositivo De medición



Una ventaja muy importante de estos equipos es que se aplican cargas sobre el pavimento que replican con muy buena precisión a las cargas reales de tránsito (cargas pulsantes). La figura muestra dos tipos de equipos utilizados en Latinoamérica, el Dynatest (izquierda) y el KUAB (derecha).

Diferentes equipos deflectómetros de impacto

a) Deflectómetro Dynatest FWD 800



b) Deflectómetro tipo KUAB



d) Evaluación Estructural.

B.3 Sistema de Gestión de pavimentos (SGP)

Durante las últimas décadas, buena parte de los países tanto desarrollados como en vías de desarrollo alcanzó un estándar mínimamente suficiente de extensión de su red vial. De ahí que los esfuerzos destinados a la construcción de nuevos caminos se redujeron un poco, y las agencias viales debieron dedicar mayor énfasis al diseño y perfeccionamiento de

sistemas de administración de los pavimentos ya construidos. Dichos sistemas se conocen a través de su sigla en inglés PMS (Pavement Management Systems), lo que puede traducirse como Sistemas de Gestión de Pavimentos.

Estas metodologías comenzaron a desarrollarse a partir de la década del '70 en los Estados Unidos y Europa, y fueron extendiéndose rápidamente a todo el resto del mundo. Dichos sistemas realizan el análisis de costos durante el ciclo de vida del camino, lo que permite al analista seleccionar la alternativa que proveerá el mejor comportamiento necesario y al menor costo. Pero para lograr esto se debe considerar todos los costos de la alternativa, es decir, el de construcción, de mantenimiento y de los usuarios.

La Federal Highway Administration ha definido a los SGP como "Conjunto de herramientas o métodos para asistir a los responsables de tomar decisiones a encontrar estrategias económicamente efectivas a efectos de proveer, evaluar y mantener pavimentos en condiciones de servicio". Según la AASHTO (1990), estos procedimientos ayudan a tomar decisiones sobre:

- ¿Qué tratamiento es el más efectivo?
- ¿Dónde se necesita este tratamiento?
- ¿Cuándo debería aplicarse?

Y proveen una metodología sistemática para mejorar la eficiencia, incrementar el alcance y asegurar la coherencia de las decisiones tomadas por la repartición vial. Pero estos sistemas no sólo pueden ser usados para evaluación social sino también para evaluación privada del negocio asociado a una concesión vial, dependiendo de las características del sistema.

De un buen sistema de gestión de pavimento se espera lo siguiente (Haas et al., 1993):

- Uso sencillo, permitiendo un ingreso de datos y actualización de información sin complicaciones;
- Capacidad de considerar diversas estrategias alternativas al realizar una evaluación;
- Capacidad de identificar la alternativa óptima;
- Empleo de procedimientos racionales para basar las decisiones, usando criterios cuantificables;
- Evaluación permanente de eficacia de actividades realizadas, mediante retroalimentación del sistema.

Estructura típica de un SGP

Actualmente existe en el mundo una gran cantidad de sistemas de gestión de pavimentos en uso, que presentan múltiples particularidades y características propias en cuanto a tipos de datos solicitados y formas de adquisición de los mismos, y también en cuanto a sistemas de análisis y productos o reportes generados. Esto se debe a que los SGP se diseñan para responder a las necesidades de la administración vial que los utiliza; en muchos casos estas agencias tienen requerimientos muy específicos, ya sea por la política usual de trabajo, por influencias ambientales o por otras causas, y dichos requerimientos deben quedar reflejados en la conformación del SGP correspondiente.

No obstante, la estructura general es muy similar para todos los SGP, dado que la base conceptual es la misma; en cada SGP hay que recolectar datos confiables, procesarlos y evaluar los resultados para cumplir los fines propuestos. De ahí que normalmente estos sistemas se estructuren en módulos interactuantes que engloban una serie de etapas fundamentales en su funcionamiento, y que son las siguientes (AASHTO, 1990):

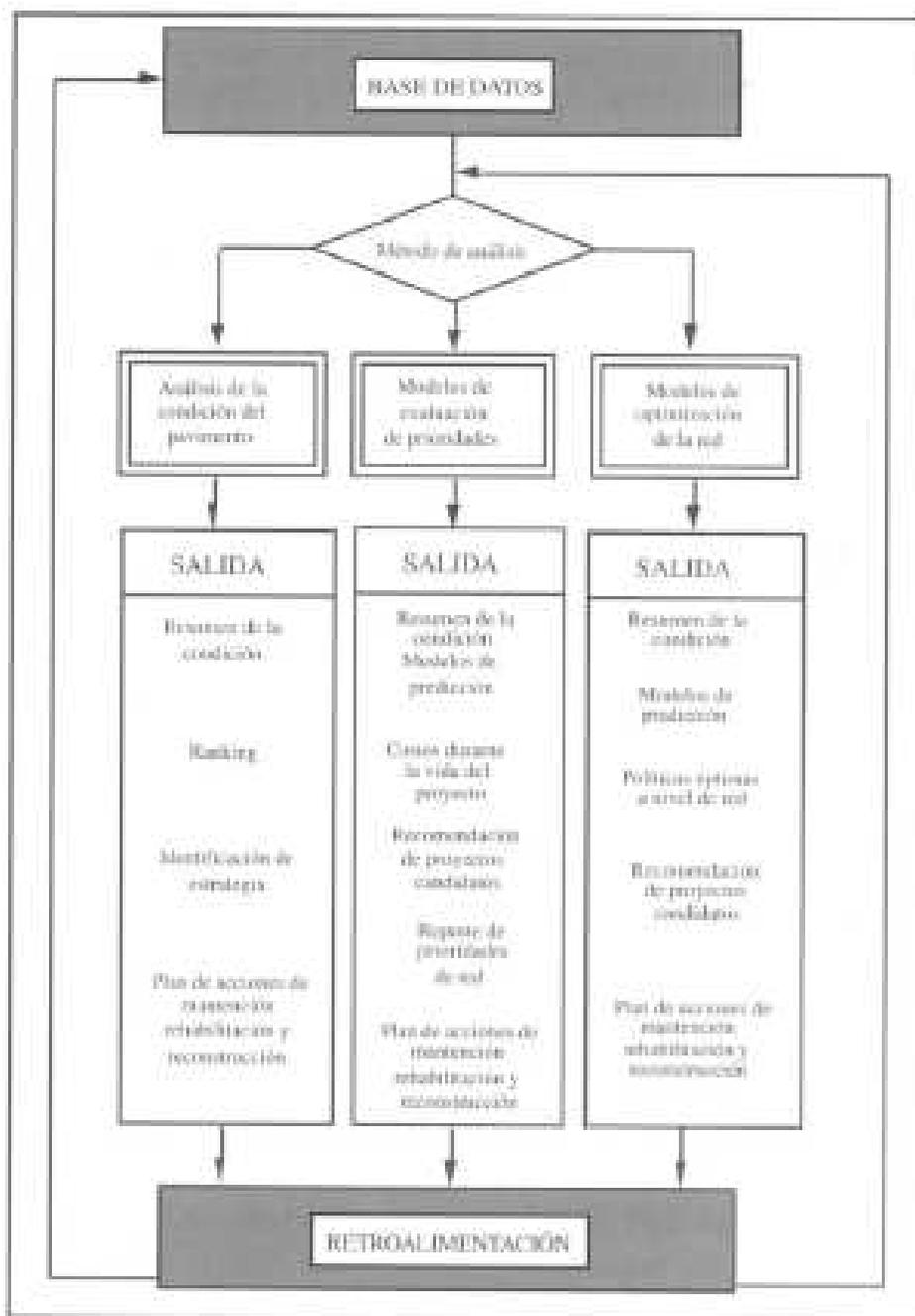
- Conformación del Inventario de la red vial;
- Conocimiento actualizado de la Condición o estado de los pavimentos de la red;
- Definición de las Estrategias de mantenimiento y rehabilitación (M&R) a utilizar, y costos de las mismas;
- Evaluación de las Necesidades de M&R de la red mediante procesos de análisis;
- Determinación de Prioridades para los distintos proyectos a realizar;
- Formulación de Programas que definan qué tratamientos se realizarán, y cuándo;
- Obtención de Presupuestos que determinen las necesidades de financiamiento;
- Una vez realizadas las obras, se debe analizar los Efectos de lo realizado con datos de campo durante un período prefijado.

Estas etapas están incluidas en los módulos del SGP, que a grandes rasgos pueden ser diferenciados en tres:

- **BASE DE DATOS:** debe contener por lo menos los datos requeridos por el SGP a efectos del análisis (Inventario, Condición y Estrategias);
- **MÉTODOS DE ANÁLISIS:** generan los productos útiles para la toma de decisiones (Necesidades, Prioridades, Programas y Presupuestos);
- **PROCESO DE RETROALIMENTACIÓN:** permite analizar los Efectos de lo que se ejecutó, para realimentar la base de datos y mejorar progresivamente la confiabilidad del sistema.

La estructura del esquema global de un SGP genérico se muestra en la figura. En ella se pueden apreciar los posibles componentes de una base de datos y las variantes típicas en lo que se refiere a métodos de análisis.

Representación esquemática de los módulos de un SGP
(Solminihaç, 1998)



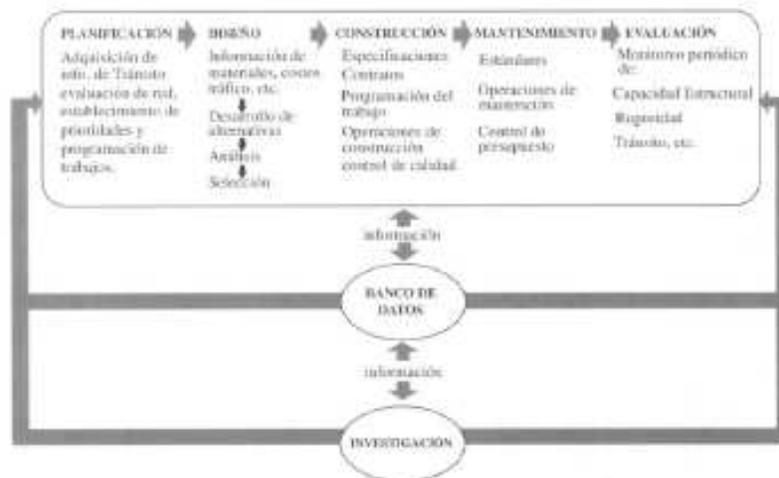
Otra manera de esquematizar el funcionamiento de un sistema de gestión de pavimentos se presenta en la figura, en base a diferentes etapas que se describen brevemente a continuación (extractado de De Solminihaç, 1998):

- **Planificación:** comprende las etapas de adquisición de información de tránsito, evaluación de deficiencias de la red, asignación de prioridades y programación para

realizar los trabajos necesarios. En esta fase se toman las decisiones de inversión, reconociendo las restricciones presupuestarias.

- **Diseño:** adquisición de información sobre materiales, tránsito, costo, etc., y posterior desarrollo de alternativas de diseño; análisis y comparación de las mismas para seleccionar la que aparezca como más conveniente.
- **Construcción:** incluye actividades tales como la programación del trabajo, el desarrollo de operaciones de construcción y el control de calidad de las obras.
- **Mantenimiento:** se establece un programa de trabajo de mantenimiento en base al presupuesto y los niveles de deterioro.
- **Evaluación:** se establece una medición periódica de factores funcionales y estructurales ya mencionados anteriormente.

Estructura de un sistema de gestión de pavimentos
Según Haas et al. (1993)



En el resto del apunte se seguirá la estructura modular definida por la AASHTO para ir describiendo los sucesivos componentes ya mencionados previamente.

Concepción modular de un SGP

Un SGP, tal como se presentó en la sección anterior, está compuesto básicamente por tres módulos principales: Bases de Datos, Métodos de Análisis y Retroalimentación.

a) Módulo de Base de Datos

Es el primer y fundamental bloque o módulo de todo SGP, ya que el análisis y las posteriores recomendaciones formuladas por éste deben basarse en información que debe tener las siguientes características:

- **Confiable:** recopilada en terreno mediante procedimientos adecuados y con un grado comprobado de precisión y exactitud;
- **Objetiva:** que refleje la realidad de lo que hay en terreno, no sujeta a apreciaciones subjetivas por parte del operador del sistema;
- **Actualizada:** que incorpore los cambios más recientes efectuados sobre la red
- **Suficiente:** debe incorporarse la cantidad necesaria de datos, ni en exceso ni en defecto, de acuerdo a las características y datos requeridos por el sistema

A grandes rasgos, los componentes de este módulo son los siguientes:

- **INVENTARIO VIAL:** define características de la red de caminos y sus tramos componentes. Incluye identificación, datos de diseño (planialtimetría) y datos de estructura de los tramos, como así también datos del tránsito (volumen, cargas, distribución por tipo de vehículos, etc.)
- **CONDICIÓN DEL PAVIMENTO:** define calidad del pavimento en base a diversos indicadores. El seguimiento en el tiempo de los indicadores de condición es crucial para evaluar correctamente el estado real de los pavimentos y calibrar los modelos de predicción utilizados en los métodos de análisis. Para esto se consideran indicadores de deterioro superficial (fisuras, peladuras, deformaciones) e indicadores globales de calidad de rodadura (serviciabilidad, IRI).
- **ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO:** son los tipos de acciones de mantenimiento y rehabilitación (M&R) que usa la agencia, de acuerdo al estado de los pavimentos. Para poder seleccionar la estrategia correctiva más adecuada se debe definir previamente una serie de alternativas factibles de M&R, considerando los costos asociados y los efectos sobre la condición del pavimento. Esta “lista maestra” de actividades dependerá de las capacidades de la administración vial (o concesionario privado) y de los mecanismos de conservación habitualmente utilizados. Las actividades pueden clasificarse en:

- o Preventivas: se aplican antes de que surja un grado importante de deterioro;
- o Correctivas: aplicadas para corregir, reducir o eliminar deterioro superficial;
- o Rehabilitación: conservación mayor, para resolver problemas funcionales y estructurales del pavimento;
- o Mejoramientos: suele incluir modificaciones en la planialtimetría del proyecto.

b) Módulo de Métodos de Análisis

Existen varios métodos disponibles para analizar el comportamiento del pavimento y los datos de costos, e identificar las estrategias de M&R y los tratamientos más convenientes. Dichos métodos generan productos útiles para la toma de decisiones y pueden encuadrarse dentro de alguno de los tres siguientes, ya presentados esquemáticamente en la figura de los módulos de un SGP:

- **Análisis de la Condición de Pavimentos:** es el procedimiento de análisis más simplificado, y combina datos de indicadores de deterioro dentro de un índice que representa la condición global del pavimento. Dichos índices se llevan a un esquema prediseñado de asignación de alternativas basado en diferentes niveles de gravedad de la situación, obteniéndose la estrategia adecuada y pudiendo luego establecer órdenes de prioridad entre diferentes proyectos alternativos, de acuerdo al presupuesto disponible.
- **Modelos de asignación de prioridades:** estos procedimientos incluyen modelos matemáticos de predicción de indicadores de condición en función de variables tales como edad, condición actual, tránsito, factores climáticos, comportamiento histórico y tratamiento seleccionado. Los modelos pueden ser:
 - o Determinísticos: cuando los modelos predicen un solo valor
 - o Probabilísticos cuando predicen un rango de valores probables

Las estrategias de conservación alternativas se evalúan para cada segmento y se comparan entre sí a lo largo del período de análisis considerando costos del ciclo de vida, razón Beneficio/Costo o Costo/Efectividad, y finalmente se identifica la estrategia con la máxima prioridad, es decir la que resulte más conveniente.

- **Modelos de optimización:** tienen la capacidad de realizar una evaluación simultánea de la red completa de pavimentos. El objetivo es identificar el conjunto de estrategias de

M&R que maximice los beneficios totales o minimice los costos totales de la red, sujeto a restricciones presupuestarias. En una primera aproximación se determina la estrategia óptima para la red, y las acciones específicas se determinan para cada proyecto individual teniendo en cuenta condiciones “in situ” y políticas administrativas vigentes. Los modelos de optimización son importantes en un SGP para analizar varias estrategias de gestión y sus combinaciones, a nivel de red.

Cualquiera sea el método de análisis adoptado en el SGP, debe incorporar la consideración de los siguientes componentes en el módulo:

- **NECESIDADES:** Análisis de la condición de los pavimentos, para determinar las necesidades de conservación y las acciones de M&R que deberían ejecutarse. A tal efecto pueden utilizarse cualquiera de los métodos arriba mencionados.
- **PRIORIDADES:** Establece los factores que determinan la secuencia que seguirá la realización de los trabajos. Dichos factores pueden ser de orden económico o de otro tipo (estado de deterioro, niveles de tránsito, aspectos ambientales, etc.).
- **PROGRAMAS:** Define qué tratamientos se aplicarán a qué caminos, y cuándo se ejecutarían. La definición de los programas de conservación está muy asociada al esquema de definición de prioridades.
- **PRESUPUESTOS:** Determinación de las necesidades anuales de financiamiento a lo largo del período de análisis. Las limitaciones presupuestarias también inciden sobre la definición de los programas.

c) Módulo de Ejecución de Obras y Retroalimentación

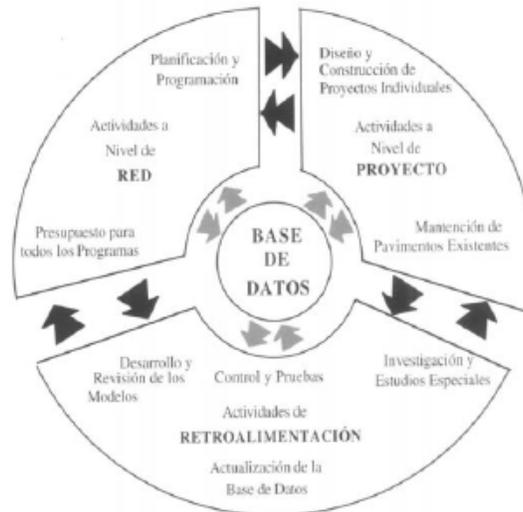
Para ser creíbles, los SGP deben estar basados en la realidad; los procesos de realimentación son claves para aumentar su confiabilidad. Al inicio de la implementación de un SGP, usualmente se carece de datos históricos suficientes para calibrarlo; el ajuste y adecuación debe realizarse a través de la experiencia y buen juicio de ingenieros conocedores de las características principales de la red a evaluar. Con el tiempo, el SGP se va calibrando periódicamente usando datos de condición de pavimentos y archivos de construcción.

El principal propósito de este módulo es permitir la evaluación de los resultados obtenidos luego de la realización de los trabajos de M&R. No obstante, la realimentación puede y debe servir también para ir ajustando las planificaciones de las agencias viales, evaluar la influencia de los métodos de construcción en el comportamiento de los caminos, y verificar la adecuación de los métodos de diseño de pavimentos nuevos y rehabilitados.

Niveles de aplicaciones de la gestión vial

El Sistema de Gestión puede aplicarse a nivel de red de caminos (comunal, provincial, regional) o para un proyecto específico (un tramo de una ruta o una calle vecinal determinadas) . Ambas son las instancias más importantes en la toma de decisiones, ya que las decisiones globales afectan la red caminera como un todo y las decisiones puntuales afectan a los proyectos individuales. La Fig. 3.3 presenta la interrelación que existe entre ambos niveles de decisión dentro de un SGP, junto con el módulo de retroalimentación (extractado de De Solminihac, 1998).

**Interrelación entre niveles de decisión y retroalimentación
En un SGP (Haas, 1993)**



En general un sistema de gestión debe ser completo y eficiente, generando la información necesaria para apoyar la toma de decisiones en todos los niveles. Dado que sus niveles son interactivos, no es sencillo delimitar con precisión lo que corresponde a cada uno; pero cada nivel tiene sus necesidades particulares de en cuanto a tipo y cantidad de información, usan diferentes criterios y poseen distintas limitaciones (de Solminihaç, 1998).

La principal diferencia entre ambos niveles es la cantidad o grado de detalle de la información necesaria para formular la evaluación. (Hass, Hudson y Zaniewski, 1994), pero también hay otras diferencias en cuanto al alcance de las decisiones, la forma de comunicarlas, y al procedimiento utilizado para optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles en cada caso.

a) Nivel de proyecto

Este nivel se aplica a un proyecto o camino determinado, requiriendo información detallada para generar decisiones específicas e individuales para cada proyecto. Los datos requeridos a este nivel suelen ser los siguientes (Haas, 1993):

- Volumen y cargas de tránsito que soporta el pavimento
- Factores ambientales que lo afectan
- Características de los materiales que lo forman (espesores, resistencias, drenaje, etc.)
- Variables de construcción e historial de conservación aplicada
- Costos

En este nivel se consideran las siguientes actividades (Haas, 1993):

- Definición de parámetros propios del análisis (período, tasa de descuento, umbrales de deterioro tolerables, etc.).
- Análisis técnico de diversas opciones de conservación considerando el comportamiento del pavimento

- Análisis económico de las alternativas en función de costos y beneficios asociados al ciclo de vida
- Selección del momento oportuno y de la actividad adecuada de conservación

b) Nivel de red

Este nivel presupone un proceso continuo de observación del comportamiento de un grupo de pavimentos que integran una red vial, a efectos de planificar decisiones para todo el grupo o incluso para la red completa, con el propósito de optimizar la asignación de recursos.

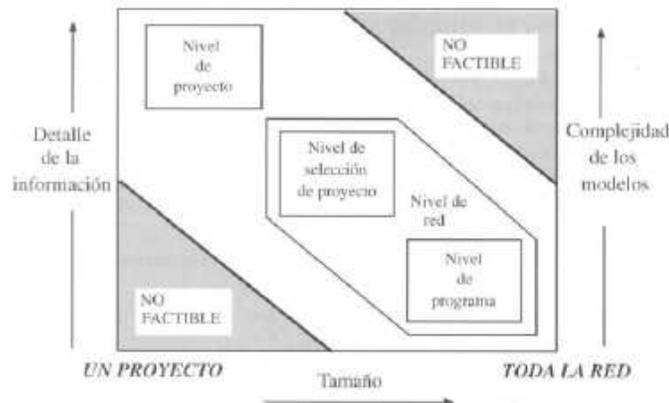
En consecuencia, pueden presentarse dos sub-niveles: selección de proyecto, o programa. El nivel de selección de proyecto involucra decisiones de fondos para proyectos o grupos de ellos, en tanto que el nivel de programa involucra decisiones de asignación de presupuesto para la conservación o rehabilitación de una red entera de caminos.

Cuando ambos niveles coexisten en un SGP, las decisiones deben ser compatibles dentro de cada nivel. La figura siguiente, muestra un diagrama en que puede verse la correspondencia entre niveles, grado de detalle de la información requerida y complejidad de los modelos utilizados (de Solminihaç, 1998). En función de estas variables, el gráfico muestra dos sectores donde alguno de los dos niveles (proyecto o red) no puede utilizarse.

En la zona inferior izquierda no corresponde usar nivel de proyecto, ya que la información disponible es reducida. Asimismo, en la zona superior derecha no es factible usar nivel de red, debido a la incompatibilidad práctica entre la complejidad de los modelos utilizados y el alto nivel de detalle en la información, que requiere un trabajo excesivo de procesamiento y análisis de datos en relación al nivel relativamente más simple y conceptual que requieren los reportes a nivel de red.

Entre ambos sectores se ubica el sub-nivel de selección de proyectos, que si bien pertenece al nivel de red requiere un grado intermedio para el detalle de la información.

Relación entre niveles de decisión, detalle de la información y complejidad De modelos utilizados en un sistema de gestión de pavimentos (Haas 1993)



Las actividades correspondientes al nivel de red Nivel de Red son las siguientes:

- Procesamiento de datos y determinación de indicadores globales para toda la red;
- Identificación de necesidades de la red, y de los grupos de caminos a evaluar;

- Análisis técnico y económico aplicado a grupos de caminos;
- Optimización de recursos, estableciendo prioridades de actuación en función de criterios objetivos;
- Planificar decisiones y establecer programas de inversiones para grandes grupos de proyectos o para toda la red;
- Establecer un sistema de seguimiento y control.

Productos de un SGP

La información generada por un SGP en sus reportes, dependiendo de su nivel de sofisticación y capacidad, puede incluir lo siguiente:

- Un inventario de pavimentos en la red con ubicación, tipo, clasificación funcional, kilometraje, superficie pavimentada, etc.;
- Una amplia base de datos que posea información referida a la condición de los pavimentos, accidentes, tránsito, historial de construcción y M&R, etc.;
- La condición actual de la red vial, en base a la obtención sistematizada de datos en terreno;
- La condición proyectada a través del tiempo, en función de los fondos disponibles;
- El presupuesto requerido para llevar a la red desde su estado actual hasta los estándares de condición deseados;
- Los requerimientos presupuestarios para mantener la red dentro de niveles predefinidos de condición durante varios años;
- Programas específicos para planificaciones anuales o plurianuales;
- Métodos de priorización de gastos cuando los fondos no alcanzan para cumplir los objetivos deseables prefijados;
- Un procedimiento sistemático para las comunicaciones dentro de los grupos de la administración vial estatal, y hacia fuera de la misma (instituciones de gobierno, medios de comunicación, grupos influyentes, etc.)
- Una base de comparación entre estrategias alternativas de M&R que pueden aplicarse a los pavimentos de la red.

Beneficios de un SGP

Los beneficios que pueden esperarse de un SGP son múltiples, tanto para la organización a cargo de la gestión vial como para el gobierno y la sociedad, la que resulta evidentemente favorecida cuando los programas de M&R consiguen proveer un buen nivel de servicio para la red en su conjunto con los fondos disponibles, usualmente insuficientes. Entre los principales beneficios pueden consignarse los siguientes:

- Buscar, organizar y guardar información referente a los pavimentos, evitando que los datos dependan de la memoria de pocas personas;
- Comprender mejor el comportamiento de los pavimentos de la red vial, a partir de datos de historial y modelos de predicción del deterioro;
- Lograr una mejor comunicación de la condición de los pavimentos, mostrando el impacto de la inversión en conservación sobre la condición global de la red;
- Determinación y cuantificación de los beneficios reales de los usuarios;
- Fundamentar mejor las decisiones de la agencia vial ==> reducir críticas;
- Preparación de programas y proyectos más racionales, de mediano y largo plazo;
- Priorizar proyectos, para lograr la optimización del uso de los recursos disponibles.

ANEXO N°3: METODOS DE VALORACION DE ACTIVOS

El presente anexo pretende efectuar un recorrido teórico sobre los principales metodologías de valoración que se utilizan en la actualidad, desde los métodos estáticos que fundamentalmente reflejan la situación de la empresa o proyecto en un momento del tiempo, sin considerar sus perspectivas futuras, hasta los métodos dinámicos, que cifran el valor de la empresa o proyecto fundamentalmente en su futuro.

Además, se resalta que metodología de valoración, responden mejor para realizar el análisis y la valoración de las infraestructuras de transporte.

Antes de abordar con más detalle los métodos de valoración, es importante resaltar los principales conceptos que sustentan la práctica de la valoración de empresas y proyectos de inversión.

D.1 Conceptos generales de valor

a) Valor y precio

Aunque con frecuencia se utilizan de forma indistinta, son conceptos diferentes.

El precio es el resultado de una transacción concreta sobre un bien o derecho, entre un comprador (que trata de minimizarlo) y un vendedor (que pretende maximizarlo). Por tanto, el precio es una cantidad resultante de un proceso de negociación, sobre el que inciden factores relacionados tanto con los propios intervinientes en su fijación (comprador y vendedor) como también factores exógenos que concurren en dicha transacción (fiscales, legales, interés estratégico, etc.).

Mientras que el valor, es una cantidad obtenida mediante un procedimiento más o menos técnico y que se fundamenta en unos datos objetivos y contrastables.

La mayor diferencia entre precio y valor suele generarse por las relaciones de mercado entre compradores y vendedores. Así, si el número de vendedores es igual o superior al de compradores, el precio será por lo general, inferior al valor. Mientras que, si la situación es contraria - hay mas compradores que vendedores -, los precios normalmente deberían ser superiores al valor.

b) Distintos tipos de valor

En función de la necesidad de valoración y de los análisis empleados, se puede diferenciar los siguientes tipos de valor:

b.1) Valor de mercado

Se define como el precio que se puede razonablemente obtener en una transacción de un bien, en un mercado libre, entre un comprador y un vendedor libre, sin ningún tipo de presión o interés especial y con adecuada información sobre el bien, y que estarían dispuestos a realizar la transacción.

El valor de mercado asume, que se dispondrá de un plazo razonable de tiempo para efectuar una venta ordenada y que ningún comprador tendrá un interés especial en el bien o negocio.

En definitiva, las características de ese comprador hipotético serían, entre otras:

- Estar totalmente informado sobre el bien y el mercado
- Ser un inversor prudente
- No tener limitación de recursos
- Estar dispuesto a pagar el valor de mercado antes de dejar de pasar la oportunidad
- No tener circunstancias concretas que le hagan estar en situación de obtener sinergias o reconocer valores especiales.

Obviamente, el concepto de valor de mercado asume que la empresa o proyecto, se encuentra en funcionamiento.

b.2) Valor justo o razonable

El valor justo (fair value) invoca el deseo del valorador de tratar de manera razonable a un comprador y a un vendedor que se encuentran, de alguna manera obligados a participar en una transacción. Normalmente, el valor razonable o justo se determina considerando y ponderando otras concepciones o bases de valoración: el valor de mercado, el valor económico y el valor de los activos de la empresa o proyecto de inversión.

b.3) Valor económico

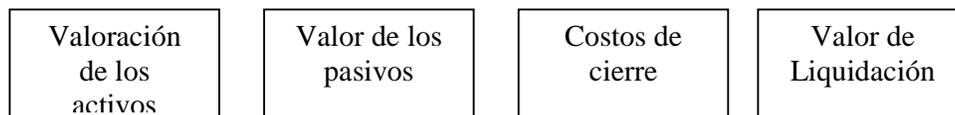
Se define como el valor de la empresa o proyecto para el vendedor o propietario actual. Dicho valor representa la compensación por renunciar a la empresa o proyecto. En ese sentido el valor económico se encuentra absolutamente determinado desde la perspectiva de una de las partes normalmente el vendedor.

b.4) Valor de liquidación

Se puede definir como una estimación del producto obtenido a partir del proceso de liquidación de una empresa o proyecto, asumiendo que cesará la actividad del negocio.

Es evidente que este enfoque de aproximación al valor de una empresa o proyecto queda restringido a aquellas que se encuentran ya en proceso de liquidación o cierre, o en una fase en la que se considera que ese será su futuro próximo.

La estimación del valor de liquidación de una empresa o proyecto se efectúa de acuerdo al siguiente proceso:



El enfoque del valor de liquidación es básicamente estático, ya que se considera la situación de sus activos y pasivos en el momento de la valoración y no su evolución futura.

b.5) Valor acordado

Es cuando las partes intervinientes en una transacción presente o prevista para el futuro fijan determinados procedimientos de valoración que normalmente están expresados a través de formulas matemáticas mas o menos sencillas.

Normalmente las formulas utilizadas hacen referencia a variables fundamentalmente a la empresa o proyecto (ventas, beneficios netos, flujo de caja, patrimonio neto, etc.) sobre las que aplican determinados factores (por ejemplo múltiplos).

D.2 Principales metodologías de valoración

Hay dos grandes distinciones para hacer la valoración de empresas o proyectos de inversión:

- La generación de la riqueza o valor que se ha creado hasta un momento determinado y que con las correcciones oportunas, esta se ve reflejado en su Balance.
- La generación de la riqueza o valor que es capaz de generar desde un momento determinado y que se refleja en sus Cuentas de Resultados futuras, pero apoyadas en su Balance.

La primera hace referencia a su pasado y es la mas fácil de calcular pues la riqueza creada tiene un reflejo contable. No obstante, es necesario precisar que hay mucha riqueza creada que no tiene riqueza contable.

La segunda es la mas difícil de determinar ya que se refiere a la riqueza a crear en el futuro y exige hacer una serie de hipótesis o supuestos. Lo que un inversor esta dispuesto a pagar por una empresa o proyecto dependerá de los beneficios que espera obtener de ellas en el futuro.

En cuanto a la clasificación de los métodos de valoración, estas se encuentran agrupadas básicamente en 4 grandes familias de métodos de valoración de empresas o proyectos, tal como se puede apreciar a continuación.

- 2) Métodos simples estáticos (Balance)
 - Valor Contable
 - Valor Contable Ajustado
 - Valor de Liquidación
 - Valor Sustancial (Reposición de Activos)
- 3) Métodos simples dinámicos (Descuento de Flujos de Fondos)
 - Descuento de Flujos de Caja Libre
 - Descuento de Flujos de Caja para los Accionistas
- 4) Métodos mixtos (Fondos de Comercio)
 - Método de Valoración Clásico
 - Método Indirecto, o de los Prácticos
 - Método Directo o Anglosajón
 - Método de la UEC
- 5) Otros Métodos
 - Métodos basados en la Creación de Valor
 - Métodos basados en la Cuenta de Resultados (Múltiplos)
 - Métodos basados en la Teoría de Opciones

Los métodos del último grupo de familia (creación de valor, múltiplos y opciones), no serán tratados en el presente trabajo, por dos razones: a) Por perseguir objetivos distintos de valoración a proyectos de inversión, es decir, se reservan casi exclusivamente para situaciones de empresas cotizadas en el mercado bursátil y, b) Por ser métodos muy sofisticados y de poca aplicación práctica, tales como los métodos basados en la teoría de opciones, cuya aplicación deberá ser utilizado con mucha cautela. No obstante, se menciona algunas precisiones y limitaciones de dichos métodos.

Los métodos de **creación de valor** tratan de estimar el valor de la empresa en torno a las expectativas de rentabilidad de los accionistas. Las empresas que cotizan en la bolsa, basan su estrategia, principalmente en la consecución de dos premisas: maximizar el beneficio y maximizar el precio de sus acciones. Dentro de esta familia de métodos basados en la creación de valor, se tiene principalmente: Valor Económico Añadido (VEA), Beneficio Económico (BE), Valor de Mercado Añadido (VMA), Cash Value Added (CVA), Cash Flow Return On Investment (CFROI), Total Shareholder Return (TSR).

La principal crítica de estas familias de métodos de creación de valor, es la de tratar de estructurar la estimación de creación de valor en torno a las expectativas de rentabilidad de los accionistas

Los métodos basados en **valorar por múltiplos**, basan la determinación del valor de la empresa en la comparación de las variables de la Cuenta de Resultados de empresas cotizadas similares y comparables. Relaciona el valor de las acciones (capital) o el valor completo de la empresa (capital + deuda) con una cifra relacionada con el valor de un negocio (beneficios, dividendos, ventas, etc.). Este método fue concebido bajo la suposición de que los mercados son eficientes y de que el valor de las empresas cuyas acciones cotizadas en bolsa se encuentran constantemente disponibles. No es un método basado únicamente en datos históricos, sino también en predicciones del futuro próximo. Aunque es un método universalmente utilizado y aceptado por la mayoría de analistas de mercados y proveedores de servicios financieros, tiene la crítica que no existen empresas exactamente iguales con el negocio a valorar. Técnicamente el método en sí no es tan riguroso como el método del Descuento de Flujos de Caja.

En tanto, los métodos basados en **teoría de Opciones**, se tiene las opciones financieras y las opciones reales. La opción financiera, es un contrato que confiere el derecho pero no la obligación de comprar (call) o vender (put) un determinado activo financiero subyacente (acciones, índices bursátiles, etc.) a un precio prefijado y durante un plazo de vencimiento.

La valoración de una empresa o proyecto de inversión mediante opciones reales, aportan al proyecto algún tipo de flexibilidad futuro que no pueden realizarse a través de técnicas de Descuentos de Flujos Caja. Una opción real (ampliar/reducir, postergar o utilizar la inversión para usos alternativos) se encuentra en un proyecto de inversión, cuando existe alguna posibilidad futura de actualizar los flujos de caja (ahorros o flujos de caja adicionales en el futuro), si se conoce decisiones intermedias que puedan modificarla.

La mayor crítica sobre este método, recae sobre los requisitos de información para la construcción de un buen modelo de valoración y en la complejidad matemática, lo que ha originado a que quede reducido a su uso académico, constituyendo actualmente un campo de investigación dentro de las finanzas.

D.3 Descripción de los métodos de valoración

La evolución de los métodos de valoración de empresas o proyectos ha sido bastante clara: Desde los métodos estáticos que fundamentalmente reflejan la situación de la empresa en un momento del tiempo, sin considerar sus perspectivas futuras, hasta los métodos dinámicos, que valoran la empresa por su capacidad de producir beneficios en el futuro, o los métodos mixtos que combina el presente y el futuro de la empresa o proyecto.

A continuación, se estudiará las principales metodologías de valoración.

1) Métodos Simples Estáticos (Basados en el Balance)

Los métodos pertenecientes a esta familia tratan de determinar el valor de la empresa a través de la estimación del valor de su patrimonio contable.

Se trata de métodos tradicionalmente utilizados que considera que el valor de una empresa radica fundamentalmente en su Balance. Proporciona el valor desde una perspectiva estática que no tiene en cuenta la posible evolución futura de la empresa, el valor temporal del dinero, ni otros factores que también le afectan tales como: la situación del sector, problemas de recursos humanos, evolución del entorno competitivo, etc., que no se ven reflejados en los estados contables.

Entre estos métodos podemos mencionar los siguientes:

- Valor Contable
- Valor Contable Ajustado
- Valor de Liquidación
- Valor Sustancial

- **Método del Valor Contable (Book Value)**

También se denomina valor en libros o patrimonio neto de la empresa. Corresponde al valor de los recursos propios que aparecen en el balance (capital y reservas). Es decir el excedente del total de bienes y derechos de la empresa sobre el total de sus deudas con terceros.

$$V = \text{Activo Total} - \text{Pasivo Exigible}$$

Los estados financieros ofrecen una imagen estática de la empresa. Esta imagen es causada principalmente por los Principios de Contabilidad Generalmente Aceptados (PCGA) contenidas en las Normas Internacionales de Contabilidad (NIC), cuyas reglas pretende que los estados financieros reflejen la fiel imagen e la situación patrimonial y de los resultados de la empresa.

Desde el punto de vista de valoración, la aplicación de los PCGA, como marco para la preparación de los estados financieros (Balance y Perdidas y Ganancias) puede llegar a distorsionar en cierto modo la información, debido a los principios que esta aplica para su elaboración: Principio de Prudencia y el Principio del Precio de Adquisición.

El principio de prudencia, en el Balance supondrá elegir entre el valor mas bajo de los posibles activos, y el incremento en la valoración de los pasivos.

El principio del precio de adquisición, en un contexto económico con inflación, implica que el valor contable de los activos, este alejado de su valor real. Esto provoca que las depreciaciones practicadas sean insuficientes para la reposición de los activos fijos. Otras causas que distorsionan los valores del balance son:

- Avances tecnológicos
- Cambios en los precios de mercado sobre ciertos bienes, como por ejemplo terrenos y construcciones.
- Existencia de activos sin valor real, como las patentes e intangibles
- La existencia de pasivos en potencia con grandes riesgos.

En términos generales podemos afirmar que este método de valoración basada en los estados financieros claramente infravalora las empresas o proyectos de inversión.

- **Método del Valor Contable Ajustado (Adjusted Book Value)**

Se llama también valor patrimonial ajustado, es una versión mejorada del método contable previo, ya que salva el inconveniente que supone la aplicación de los criterios o principios contables en la valoración.

No obstante, comparte las críticas que hacíamos anteriormente, es decir se apoya al igual que el método anterior en la contabilidad, cuyo reflejo es el balance y la cuenta de Resultados. Sin embargo trata de reducir la disparidad de valor existente entre la contabilidad y el valor de mercado, realizando ajustes en aquellas partidas de balance susceptibles de encontrar un referente valor de mercado.

Cuando los valores de los activos y pasivos se elevan a su valor de mercado, entonces se obtiene el patrimonio neto ajustado. Se trata de ir analizando individualmente todas las partidas del balance para ir ajustando el valor contable a su valor de mercado (siempre que esto proceda y sea posible).

El punto de partida para el cálculo tanto del valor contable como el valor contable ajustado son los estados financieros, es decir el valor contable al que habrá que aplicarle la plusvalía y minusvalía necesarias para determinar los valores reales.

$V = \text{Activo contable} - \text{Pasivo exigible contable} \pm \text{Plusvalías/Minusvalías de revalorización}$

Los ajustes típicos del Balance son los ajustes de la deuda incobrable, ajustes de los inventarios obsoletos o en mal estado, y por supuesto los ajustes sobre el valor de los activos fijos (terrenos, construcciones y equipos). En cuanto a la valoración de los activos fijos (inmovilizados), los ajustes mas corrientes son:

- Terrenos y bienes naturales: según el valor de mercado (teniendo en cuenta si se trata de terrenos comerciales, industriales, residencias o fincas rusticas). Por regla general, el costo de adquisición de los terrenos poco tienen que ver con su valor real. El valor de un terreno se determina por comparación con el precio actual en el mercado de terrenos similares, es decir su valor de mercado. Por tanto un terreno vale lo que sería su precio actual de adquisición. Adicionalmente, hay que tener en cuenta que las referencias de mercado tomadas pueden estar sobrevaloradas o subvaloradas, por tanto es conveniente considerar la tendencia de los precios de terrenos en la zona a largo plazo y en el futuro inmediato.

- Construcciones: según el valor de mercado. Es necesario una valoración basada en su superficie teniendo en cuenta construcciones similares. En general el valor de una construcción se obtiene a partir de un costo de construcción por metro cuadrado en el caso de almacenes o metros cúbicos para el caso de carreteras, afectando por coeficientes que tiene en cuenta la duración residual de utilización y el estado de conservación.
- Maquinarias y equipos: es difícil de determinar su valor real de mercado o valor real de utilización. Hay que tener en cuenta la obsolescencia funcional y económica y considerar la vida restante de cada elemento.

La principal crítica a este método es que no contempla el potencial crecimiento de la empresa o proyecto en la valorización. Hoy en día se emplea en ciertos casos como valor de referencia y también combinado con métodos de rentabilidad, constituyendo los métodos mixtos, que más adelante se verá con más detalle.

- **Método del Valor de Liquidación**

Esta es una metodología aplicable solo en el caso de la liquidación de la empresa o proyecto, es decir, renunciando a asumir que la vida de la empresa continúa al infinito. El valor de liquidación es el valor que estimaríamos en el caso de que se procediera a su extinción, es decir, que se vendan sus activos y se cancelen sus deudas.

El valor de liquidación es aquel que resultaría de liquidar inmediatamente una empresa o proyecto por partes, es decir, por un lado los activos materiales, las existencias y los clientes, y por otro lado, los pasivos y las deudas. Este valor se calcula deduciendo del patrimonio neto ajustado los gastos de liquidación de la empresa (indemnizaciones a empleados, gastos fiscales, y otros gastos propios de la liquidación. Se define como:

$V = \text{Valor de mercado de los activos} - \text{Valor de pasivos} - \text{Pasivos contingentes}$

Primero se realiza la valoración a precios de mercado de los distintos activos de la empresa, se realiza los ajustes que se han mencionado en el valor contable. Para el caso de activos que no tengan valor de mercado, se puede utilizar el valor de reposición.

Además, se tiene que ajustar a precios de mercado el valor de los pasivos para sustraerlo del activo. Los pasivos contingentes comprenden aspectos tales como los gastos de despido de personal. El objetivo de este método no suele ser la venta de la empresa, sino que la utilidad de este método esta restringida a una situación muy particular, como es la compra de la empresa con el fin de liquidarla posteriormente. De cualquier forma, el valor de liquidación suele representar el valor mínimo de la empresa.

Como crítica se tiene que, el valor de liquidación ignora los flujos de caja que las actividades de la empresa pueda generar en el futuro, centrándose exclusivamente en el valor que se pueda obtener a través de la venta de los activos.

- **Método del Valor Sustancial**

Conocido también en la literatura financiera como Valor de Reposición de Activos, este método calcula el valor real de los activos directamente involucrados con la explotación y/o operación de la empresa o proyecto. La razón principal de no incluir en el valor sustancial los bienes extrafuncionales es que se les considera carentes de valor ya que son considerados bienes que no aportan utilidad a la empresa o proyecto.

También puede definirse como el valor de reposición de los activos, bajo el supuesto de continuidad de la empresa o proyecto, es decir intenta estimar partida a partida el costo necesario para crear una empresa o proyecto de inversión en idénticas condiciones a la que se esta valorando.

En la práctica, este método se limita a facilitar al valorador una información sobre el costo requerido para reponer o duplicar el activo y pasivo de una empresa o proyecto de inversión. Sin embargo adolece del costo de reposición de ciertos intangibles tales como patentes, derechos de autor, cartera de clientes, etc. En efecto, el valor total estimado por este método omite el valor de los intangibles.

De no tenerse valores intangibles, este método determina el valor económico real de una empresa o proyecto de inversión, de manera mas cierta y objetiva que los métodos analizados anteriormente.

Para proceder a la valoración de una empresa o proyecto de inversión por este método, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Eliminación de los activos no operativos: se requiere tener experiencia y conocimiento de las operaciones de la empresa o proyecto en cuestión, obteniendo una buena información sobre los componentes internos.
2. Ajustes de las partidas de balance para tener un valor más real: Valorando mediante el Valor Contable Ajustado, excluyendo los activos no operativos.
3. Estimación el Costo de Reposición sumando los activos y restando los pasivos exigibles.

Una vez que los valores del balance han sido revisados y contrastados, se procede a la estimación del costo total. El valor de cada uno de los bienes, como parte de la entidad total, se expresa en términos de lo que cuesta reemplazar dicho bien. El costo de reposición de un bien estimado por este método representa el costo equivalente de sustituirlo por otro de igual utilidad, puede o no, consistir en otro bien físicamente idéntico. Por tanto, si un bien necesita un costo para ponerlo en funcionamiento, se tendrá en cuenta dicho costo a la hora de determinar su valor de reposición.

La importancia del valor sustancial como método de valoración es su fácil comprensión, y desde el punto de vista de valoración de proyectos de inversión, resulta ser especialmente completo e idóneo cuando se aplica a infraestructuras.

2) Métodos Simples Dinámicos (Basados en el Descuento de Flujos de Fondos)

Esta familia de métodos de valoración es sin duda alguna la mas correcta desde un punto de vista académico, donde el valor de la empresa o proyecto se apoya en la capacidad de generar rendimientos o beneficios en el futuro.

La valoración de la empresa de acuerdo con las expectativas futuras se basa en la cuantificación de dos conceptos:

- El valor de sus activos a precios de mercado
- La estimación de los flujos futuros que este sea capaz de generar.

Los métodos de valoración dinámicos consideran a la empresa como un proyecto de inversión, y se basan en la búsqueda del valor de una empresa a través de la estimación de los flujos de fondos futuros que sean capaces de generar. Todos estos flujos de fondos, han de ser posteriormente descontados a una tasa de descuento en función del riesgo que conlleve la inversión.

Los métodos que pertenecen a esta familia son los siguientes:

- Descuento de Flujos de Caja Libre
- Descuento de Flujos de Caja para los Accionistas

Antes de analizar los métodos descritos anteriormente, es necesario explicar: a) Los principales parámetros comunes a esta familia de métodos y, b) Los tipos de flujos de fondos

a) Parámetros comunes de los métodos dinámicos

a1) Tasa de descuento

Los flujos de fondos han de ser llevados a valores actuales, para ellos se determina una tasa de descuento adecuada para cada tipo de flujo de fondos (Flujo de caja libre, Flujo de caja para los accionistas, Flujo de caja para deuda). La determinación de la tasa de descuento es uno de los puntos más importantes y con mayor impacto en la valoración final resultante.

a2) Horizonte temporal de la valoración

Depende de la duración esperada de la empresa o proyecto. Si es limitada (por ejemplo concesiones), deberá abarcar toda la vida útil del negocio. Si, por el contrario es ilimitada, se deberá dividir en dos periodos:

- Primer periodo: En la práctica suele oscilar entre 5 a 10 años, que es el tiempo suficiente para que las inversiones se estabilicen.
- Segundo periodo: Comienza donde termina el anterior. Con el se obtiene el valor residual del proyecto.

a3) Valor residual

Se define como valor residual de un bien objeto de valoración por este método, al valor que tiene un bien al final del periodo considerado de actividad económica. Este método suele estimar el valor residual como una renta perpetua (alternativa demasiado arriesgada). Su expresión es la siguiente:

$$V_r = FC_n \times (1+g) / (k-g)$$

Donde:

- V_r Valor residual
- FC_n Flujo del último año proyectado
- g Crecimiento del flujo a partir del año n .
- k Tasa de descuento

b) Tipos de Flujos de Fondos

Para la valoración de empresas o proyectos hay básicamente 3 flujos de fondos:

- Flujo de caja libre (FCL)
- Flujo de caja para los accionistas (FCA)
- Flujo de caja para la deuda (FCD)

A cada uno es necesario aplicarle una tasa de descuento diferente, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tipo de Flujo de Fondos	Tasa de descuento
Flujo de Caja Libre (FCL)	WACC (Costo ponderado de los recursos)
Flujo de Caja para los Accionistas (FCA)	Ke (Rentabilidad exigida por los accionistas)
Flujo de Caja de la Deuda (FLD)	Kd (Rentabilidad exigida a la deuda= costo de la deuda antes de impuestos)

El flujo de caja libre permite obtener el valor de la empresa o proyecto de inversión, es decir tiene en cuenta tanto el flujo de fondo para los accionistas y el flujo disponible para la deuda.

• **Método del Descuento de Flujos de Caja Libre**

Es el Flujo de caja operativo de la empresa o proyecto de inversión, generado por las operaciones sin tener en cuenta la deuda financiera, es decir, independientemente de cómo sea la estructura de financiamiento del proyecto.

Es el dinero que quedaría disponible en la empresa después de haber cubierto las necesidades de inversión en activos fijos y de financiar las necesidades operativas de fondos, suponiendo que no existe deuda y por lo tanto no hay gastos financieros.

La determinación del flujo de caja libre se efectúa de la siguiente manera:

+	Ingresos
-	Costos Operativos (fijos y variables)
-	Depreciación
=	Utilidad Antes de Impuestos
-	Impuestos
=	Utilidad Después de Impuestos
+	Depreciación
=	Flujo de Caja Bruto
-	Inversión del Activo Fijo
+	Recuperación del Capital de Trabajo
+	Valor Residual
=	Flujo de Caja Libre

Para calcular el valor de la empresa mediante este método, se realiza el descuento del Flujo de Caja Libre, utilizando como tasa de descuento el Costo Promedio Ponderado del Capital (deuda y acciones), conocido como WACC (Weighted Average Cost of Capital). Esta tasa se calcula ponderando el costo de la deuda antes de impuestos (Kd) y la

rentabilidad exigida a las acciones (Ke), conocido también como el costo de oportunidad del capital.

$$WACC = \frac{C \times Ke + D \times Kd \times (1-T)}{C + D}$$

Donde:

- C Capital Propio a valor de mercado (valor de las acciones)
- D Monto de la Deuda a valor de mercado
- T Tasa marginal impositiva

La mayor dificultad en la determinación del WACC, reside en determinar un valor razonable para la rentabilidad exigida por los accionistas (Ke). Para determinar el Ke o costo de oportunidad del capital se utiliza El Modelo de Equilibrio de Activos Financieros conocido como CAPM (Capital Asset Pricing Model), que se define así:

$$Ke = Rf + \beta (Rm - Rf)$$

Donde:

- Rf Tasa de Rentabilidad sin riesgo (se toman los bonos del estado a largo plazo)
- Rm Tasa de Rentabilidad esperada del mercado
- β Beta de la acción, mide el riesgo de mercado. Indica la sensibilidad de la rentabilidad de una acción de una empresa a los movimientos del mercado.
- Rm-Rf Es la prima de riesgo del mercado.

Se debe recordar que esta metodología calcula el valor total de la empresa, (C+D)

- **Método del Descuento de Flujos de Caja para los Accionistas**

El valor de la empresa para los accionistas se calcula como el flujo de fondos que queda disponible en la empresa luego de haber cubierto las necesidades de reinversión y de haber devuelto el principal de la deuda e intereses (después de impuestos).

La determinación del flujo de caja disponible para los accionistas es la siguiente:

+	Ingresos
-	Costos Operativos (fijos y variables)
-	Depreciación
-	Intereses por prestamos
=	Utilidad Antes de Impuestos
-	Impuestos
=	Utilidad Después de Impuestos
+	Depreciación
=	Flujo de Caja Bruto
-	Inversión del Activo Fijo
+	Recuperación del Capital de Trabajo
+	Valor Residual
+	Préstamo
-	Amortización (préstamo+interés)
=	Flujo de Caja para los Accionistas

Otra forma de expresar el Flujo de Caja para los Accionistas es, restando al Flujo de Caja Libre los intereses (después de impuestos) y sumando el préstamo en el año cero y restando la amortización en cada periodo (corresponde al pago de la deuda = préstamo + interés).

$FCA = FCL - \text{Intereses pagados} \times (1-T) + \text{Préstamo} - \text{Pagos de la deuda.}$

Siendo el dinero disponible para los accionistas. El destino de este saldo dependerá de la política de dividendos adoptada por la empresa, pudiendo ser: a) Reinversión en la empresa mediante la recompra de acciones, o b) Pudiendo destinar a dividendos.

La tasa de descuento a aplicar será la rentabilidad exigida por los accionistas (K_e).

Es necesario recordar que solo estamos valorando el capital propio o patrimonio de la empresa (C). Entonces, para hallar el valor de la empresa, es preciso sumar al valor de las acciones o el capital propio (C), el valor de la deuda existente (D), siempre refiriéndonos a valores de mercado.

3) Métodos Mixtos (Fondos de Comercio)

Estos métodos se caracterizan por considerar el presente y el futuro del negocio. Por un lado, realizan una valoración estática de los activos de la empresa y, por otro lado, añaden métodos dinámicos a la valoración, puesto que tratan de cuantificar el valor de la empresa o proyecto en el futuro. La razón de los métodos mixtos radica en la necesidad de contemplar un fondo de comercio como integrante del valor de la empresa.

Se denomina **Fondo de Comercio** al activo intangible que justifica un precio de mercado por encima de su valor contable. El fondo de comercio pretende representar el valor de los elementos intangibles de la empresa, que muchas veces no aparece reflejados en los balances pero que aportan una ventaja respecto a otras empresas del sector, tales como:

- Liderazgo sectorial
- Fidelidad en la clientela de los productos que se producen
- Prestigio de la compañía
- Posición competitiva
- Relaciones privilegiadas con los clientes o proveedores
- Localización, etc.

Decimos que teóricamente aporta una ventaja porque esa es la razón por la que la empresa compradora satisface un precio que esta por encima del valor que dice la contabilidad. El problema surge al tratar de calcular su valor, ya que no existe una unanimidad metodológica para su cálculo, sino diversos métodos.

Los métodos mixtos que vamos a analizar son los siguientes:

- Método de Valoración Clásico
- Método indirecto, o de los prácticos
- Método directo o Anglosajón
- Método de la UEC (Unión de Expertos Contables Europeos)

- **Método de Valoración Clásico**

Calcula el valor de la empresa como el valor neto de su activo, recogido por su balance más el valor de su activo intangible (fondo de comercio), que es un múltiplo del beneficio neto de la empresa o como un porcentaje de los ingresos generados en el futuro.

$$V = A + (k \times B) \quad \text{ó} \quad V = A + (p \times I)$$

Donde:

- A Valor del activo neto
- B Beneficio Neto Anuales
- k Coeficiente de los beneficios
- p Porcentaje de los ingresos

Una variante a este método es utilizando el Cash Flow del proyecto en lugar del Beneficio Neto

- **Método indirecto, o de los prácticos**

Calcula el valor de la empresa como la media aritmética de: a) el valor sustancial ajustado y, b) el valor de rendimientos (obtenido mediante el descuento de los beneficios o de los flujos de caja).

$$V = \frac{V_s + V_r}{2}$$

Donde:

- V_s Valor sustancial ajustado (Valor del Activo neto)
- V_r Valor de rendimiento

El valor de rendimiento (V_r) se obtiene mediante la capitalización de los beneficios netos anuales (B) a una rentabilidad estimada. $V_r = B/i$

Según este método el fondo de comercio (G) sería: $V = V_s + G \rightarrow G = V - V_s$

Po tanto
$$G = \frac{V_r - V_s}{2}$$

Esto significa que el fondo de comercio se estima como la mitad de la diferencia entre el valor de rendimiento y el valor sustancial.

Los requisitos para aplicar este método son:

- Solo la mitad de la plusvalía del valor de rendimiento sobre el valor sustancial es atribuida al fondo de comercio, pues tiene en cuenta la mayor incertidumbre del valor de rendimiento en el futuro.
- Considera que el fondo de comercio creado por el vendedor es menos duradero que el valor sustancial de la empresa por tanto desaparece a la larga, debiendo el comprador reconstruir uno nuevo a efectos de no pagar íntegramente la plusvalía al vendedor.

Para el caso en que exista bad-will (obsolescencia económica) o fondo de comercio negativo, el comprador no aceptará este método de valoración. Esto surge porque en ocasiones, el importe satisfecho en la adquisición de una empresa es inferior a la suma de los valores tangibles (reales) e intangibles adquiridos menos los pasivos asumidos. Entonces se aplicara la siguiente expresión:

$$V = \frac{(V_s + Bd/i)}{2}$$

Donde:

Bd Bad-will

i Tasa de interés de los bonos del estado a largo plazo

- **Método directo o Anglosajón**

Este método, llamado también “Renta del Fondo de Comercio” o superbeneficios, calcula el valor de la empresa como la suma del valor sustancial (V_s) y el fondo de comercio (G), sin emplear el paso intermedio del valor de rendimiento.

$$V = V_s + G$$

Una vez determinado el valor sustancial ajustado, se calcula el interés que daría en las condiciones normales de colocación un capital igual a aquel, es decir, se calcula la rentabilidad del valor sustancial a una tasa de mercado, la diferencia entre éste interés (i) y la rentabilidad futura representa un superbeneficio que se puede considerar como un fondo de comercio.

$$V = V_s + G/r \quad G = B - (i \times V_s)$$

Donde:

V_s Valor sustancial ajustado

i Tasa de interés medio de las inversiones financieras

r Tasa de interés de los títulos de renta fija multiplicada por un coeficiente comprendido entre 1.25 y 1.5 para tener en cuenta el riesgo.

En este método es suficiente actualizar la renta del fondo de comercio a una tasa (r) superior a la tasa (i) estimada como representativa de la rentabilidad del valor sustancial. En muchas ocasiones los expertos emplean una tasa $r = 2i$, de esta forma el presente método sería equivalente al método indirecto.

- **Método de la UEC (Unión de Expertos Contables Europeos)**

El valor de una empresa según este método el valor de la empresa es igual a valor sustancial más el fondo de comercio. Se calcula capitalizando a interés compuesto (con el factor v) un superbeneficio que es el beneficio menos el flujo obtenido invirtiendo a una tasa sin riesgo (i) un capital igual al valor de la empresa (V). Su expresión es la siguiente:

$$V = V_s + v(B - iV)$$

Donde:

V_s Valor sustancial ajustado

v Valor actual a un tiempo t , de n anualidades unitarias, $5 < n < 8$ años

B Beneficio netos del último año o previsto para el próximo año.

i Tasa de interés del costo de oportunidad (rendimiento de las acciones u obligaciones después de impuestos)

$v(B - iV)$ Fondo de Comercio

Como conclusión, todos los métodos mixtos descritos anteriormente parten el valor de la empresa en dos. El primero constituido por el valor sustancial de los activos contables, y el segundo constituido por un fondo de comercio, que se calcula como el valor presente de un superbeneficio construido a partir del resultado contable actual.

Por ello, ninguno de los métodos incluidos dentro de los métodos basados en el fondo de comercio es apropiado para la valoración de empresas de sectores cíclicos (variabilidad del superbeneficio), sectores de empresas en pérdidas (tecnologías, desarrollo e innovación) e incluso para compañías más tradicionales.

ANEXO N°4: MODELO DE DETERIORO EN EL HDM

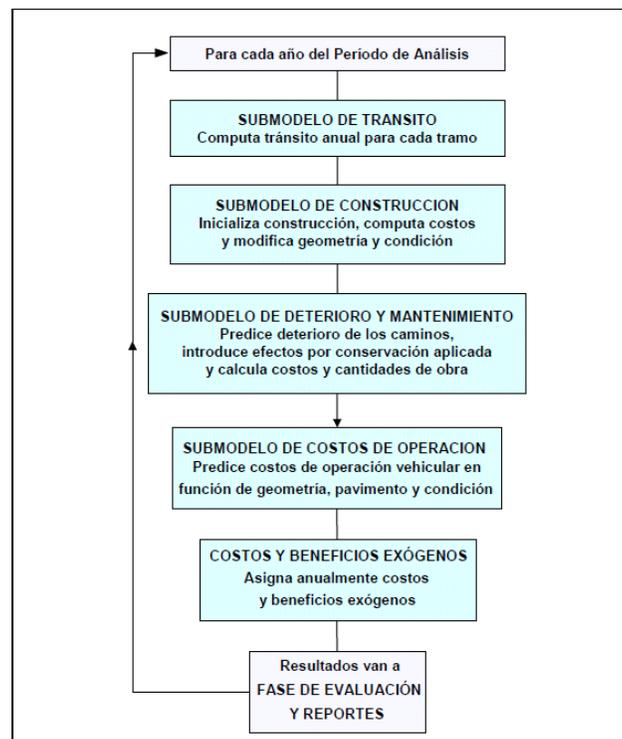
En el subcapítulo 2.1.3, se explicó someramente el comportamiento estructural de un pavimento, detallando las causas que provocan el deterioro de sus elementos, y los procedimientos y equipo utilizados para medir su grado de severidad.

El objeto de este apartado es dar a conocer, de manera más profunda, los modelos de deterioro de las carreteras, con el fin de poder relacionar las variables que influyen en la pérdida del valor de la carretera. Es decir, el objeto es la de presentar las principales características del deterioro de las carreteras, así como los modelos más conocidos y empleados en el mundo para estimar dichos deterioros, con el fin de que sirvan como herramienta para valorar de manera aproximada los efectos económicos derivados de la conservación.

a). Modelación del deterioro en el HDM

El modelo HDM-3 (Highway Design and Maintenance Standards Model) del Banco Mundial, ha sido ampliamente utilizado por consultores y agencias administradoras de pavimentos, para investigar las consecuencias económicas que tienen las inversiones de infraestructura vial. La versión HDM-3, fue liberada en 1987 y sus elementos han sido utilizados en proyectos en más de 98 países diferentes.

En la siguiente figura, se muestra la secuencia de las fases de simulación, que hace el HDM-3 representado a través de sus 5 submodelos, entre las que se puede ver el submodelo de deterioro y mantenimiento.



El submodelo de deterioro en el HDM-3

Este submodelo predice anualmente los cambios en la condición de la carretera analizada, en función de los datos de (1) Construcción, (2) Materiales usados, (3) Condiciones climáticas, (4) Tránsito vehicular, (5) Edad del pavimento, y de (6) Las políticas y estrategias de mantenimiento, especificadas por el usuario. La lógica computacional del HDM-3 sigue el concepto de deterioro según lo indicado por Watanatada (punto 2.1.3).

Para el desarrollo de los modelos del HDM-3, se adoptó un sistema que combina métodos empíricos avanzados con principios mecanicistas. La metodología utilizada fue fundamentalmente empírica, de manera que se desarrollaron modelos paramétricos utilizando técnicas de regresión estadística de la información proveniente de series de tiempo; información que había sido coleccionada en una base de datos factorialmente diseñada, a partir de pavimentos en servicio bajo diferentes condiciones de estructura y tránsito (Paterson).

Por otra parte la forma funcional y los parámetros de los modelos se basaron, en la medida de lo posible, en teorías mecanicistas y en el conocimiento experimental del comportamiento estructural de los pavimentos y de los materiales que lo conforman. La forma de los modelos en el HDM-3 es **incremental** (para mayor profundidad ver Anexo F), por lo que predicen el cambio en la condición del pavimento a lo largo de un cierto incremento de tiempo como función de la condición actual del pavimento, de sus características estructurales y de las solicitaciones externas (tránsito y condiciones climáticas).

Para dar forma a los modelos y seleccionar los métodos analíticos que se deben utilizar a fin de conformar los mejores modelos incrementales de predicción, se conjugaron las fortalezas de los dos métodos existentes para el desarrollo de los modelos: El método mecanicista, en su perspectiva tanto teórica como experimental, y el método empírico.

La base de datos utilizada en el desarrollo de los modelos HDM-3 perteneció a un estudio de caminos de Brasil, desarrollado entre los años 1976 y 1982 y para evaluar la validez de los modelos desarrollados, se utilizaron otras bases de datos, provenientes de diferentes regiones y climas (Kenia, Túnez, Sudáfrica, Arizona, Illinois, Texas, etc.).

Los modelos de deterioro de pavimentos flexibles en el HDM-3 son los siguientes:

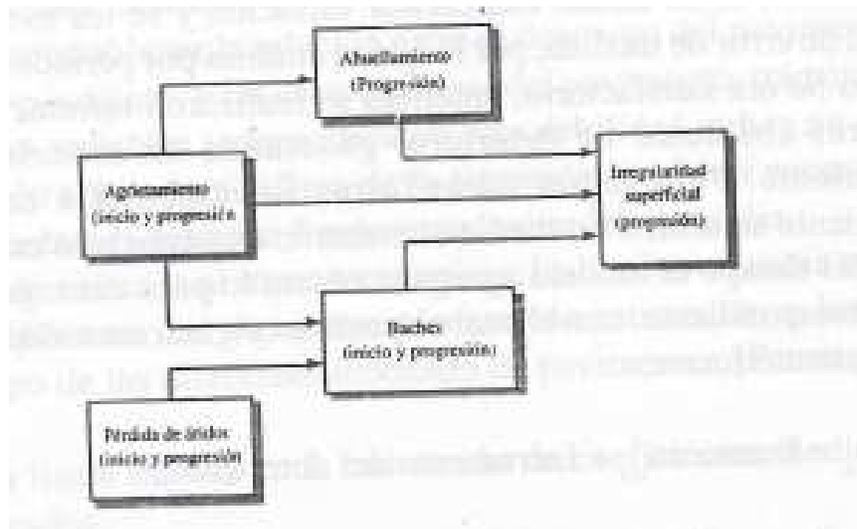
- **Agrietamiento:** Son angostas cuando tienen menos de 3mm, de lo contrario son anchas.
- **Perdida de áridos:** Se define como la desintegración de la superficie asfáltica con pérdida de material pétreo.
- **Baches:** Son cavidades abiertas en la superficie pavimentada con al menos 15cm de diámetro y 25mm de profundidad
- **Ahuellamiento:** Máxima profundidad medida bajo regla de 1.20m colocada transversalmente a la huella de los vehículos (zona de rodada).

- **Rugosidad:** en términos de un perfil superficial estadístico del camino, relacionado con la respuesta de los vehículos en movimiento.

La relación entre estos modelos se presenta en la figura que se muestra a continuación. Los modelos de deterioro incrementales del HDM-3, presentan dos formas claramente diferenciadas, estas son:

1. Modelos de dos fases: son aquellos que están caracterizados por dos fases separadas en el deterioro, una de iniciación y otra de progresión, corresponden a esta clasificación, los modelos de agrietamiento, pérdida de áridos, y baches.
2. Modelos de una fase: son los modelos de progresión continua del deterioro, de esta variedad son los modelos de ahuecamiento y rugosidad

Interacción entre los distintos modelo de deterioro para predecir la Progresión de la irregularidad superficial en el HDM-3.



Sin embargo, el HDM-3 tenía limitaciones tales como: a) Solo podía ser empleados en el análisis de pavimentos flexibles, b) el submodelo de deterioro no era válido para climas fríos o con heladas frecuentes, c) no incluía nuevas alternativas de conservación, entre otros. Todo esto obligó al desarrollo de la versión HDM-4 que cubre estas y otras deficiencias.

A modo de ejemplo se entrega el modelo de agrietamiento en pavimentos flexibles utilizado en los modelos HDM-3. Para facilitar la comprensión de estas ecuaciones se debe mencionar que el agrietamiento se caracteriza por dos fases distintas, una correspondiente a la fase de iniciación y otra de progresión, donde la grieta se incrementa en extensión, intensidad y severidad. Conceptualmente, la iniciación se caracteriza por el área agrietada. Una vez iniciado el agrietamiento se extiende progresivamente en el tiempo hasta llegar a 100%. Al mismo tiempo, el ancho de las grietas se incrementa, lo que obliga a reclasificarlas en un grado mayor el que corresponde a baches.

1. Modelo de inicio de grietas

Para establecer el modelo de inicio de grietas, el estudio de Brasil tomo en cuenta las siguientes características:

Severidad de grietas: Se usaron solo dos niveles: clase 2, que incluye anchos de grietas entre 1 y 3mm y clase 4, que se refiere al ancho de grietas mayor a 3mm y con desprendimientos.

Tipo de grietas: Se considero, esencialmente, el agrietamiento tipo piel de cocodrilo causado por la fatiga y tipo mapa causado por el envejecimiento, además de las grietas lineales y transversales.

Tipo de pavimento: El pavimento se clasifico en las siguientes categorías:

- concreto asfáltico sobre base granular
- tratamiento superficial sobre base granular
- tratamiento superficial o concreto asfáltico sobre base tratada con cemento
- recapeado de concreto asfáltico
- sellos
- lechadas

Además de las características consideradas se define la iniciación de grietas por un nivel de 0.5% del área agrietada. De acuerdo a estas características se determinó que los modelos más adecuados para predecir el inicio de grietas en distintos tipos de pavimentos son los siguientes:

- Concreto asfáltico sobre base granular
 $TYCR2 = 4.49 * e^{(0.127 * SNC - 20.5 * YE2 / SNC^2)}$
- Tratamiento superficial sobre base granular
 $TYCR2 = 13.2 * e^{(-24.3 * (1 + CQ) * YE2 / SNC^2)}$
- Pavimentos sobre bases tratadas con cemento
 $TYCR2 = 1.11 * e^{(0.035 * H + 0.371 * \ln(CMOD) - 0.418 * \ln(DEF) - 2.87 * YE4 * DEF)}$
- Recapeado de concreto asfáltico
 $TYCR2 = 10.8 * e^{(-1.21 * DEF - 1.02 * YE4 * DEF)}$

Donde:

TYCR2 (años) : Tiempo de iniciación Del agrietamiento para las grietas clase 2 (1 a 3mm de ancho).

SNC (pulgadas) : Número estructural corregido.

NE2 (millones/pista): Numero de ejes equivalentes de 80KN, para el inicio del agrietamiento, basado en un exponente de equivalencia de carga²

YE2 (millones/pista/año): Numero de ejes equivalentes de 80KN, basado en un exponente de equivalencia de carga 2.

YE4 (millones/pista/año): Numero de ejes equivalentes de 80KN, basado en un exponente de equivalencia de carga 4

DEF (mm) : Deflexión mediante viga Benkelman (carga estándar de 80KN) en ambas ruedas.

H (mm) : Espesor de la carpeta asfáltica

CQ : Indicador de la calidad del pavimento (1=defectuoso, 0=otros casos)
 CMOD (GPa) : Modulo de resiliencia de las bases tratadas con cemento.

Además para los sellos y lechadas asfálticas, se ha estimado un periodo fijo para el inicio de grietas con los siguientes valores:

Sellos sobre tratamiento superficial	TVCR2= 2.88 años
Sellos sobre concreto asfáltico	TVCR2= 1.20 años
Lechadas sobre tratamiento superficial	TVCR2= 1.38 años

2. Modelo de progresión de grietas

Debido a que el estudio de Brasil no registró la intensidad del agrietamiento (longitudinal total de grietas por unidad de área), la progresión del agrietamiento se definió solo como el incremento del área agrietada, expresado como porcentaje del área de pavimento analizada. Esta progresión fue encontrada empíricamente y se determinó que era una función sigmoideal (en forma de S), en que la tasa de agrietamiento depende principalmente del área agrietada y el tiempo desde la iniciación de este, sin efectos significantes de la carga de tráfico ni de la resistencia del pavimento. La función es simétrica con la siguiente forma general:

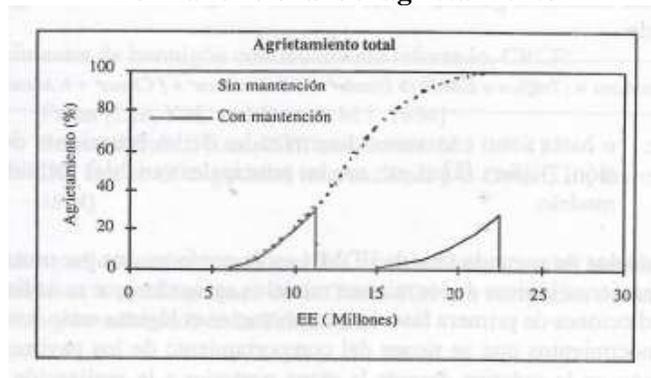
$$\Delta CRt = Z * [(Z * a * (1 - b) * \Delta t + SCRt^{1-b})^{1/(1-b)} - SCRt]$$

Donde:

ΔCRt (en % del area total) : Incremento del área agrietada desde el tiempo t al t+ Δt
 $SCRt$: $\min \{CRt, 100 - CRt\}$
 CRt (en % del area total) : Área agrietada al tiempo t
 Z : $Z=1$ si $CRt < 50$, -1 en otro caso
 a, b : coeficientes estimados
 Δt : incremento de tiempo en años en el modelo de incremento de tiempo, o incremento de ejes equivalentes (millares de EE), en el modelo de incremento de tráfico.

En la figura de abajo, se entrega el grafico correspondiente al modelo de un pavimento flexible en el cual se muestra la progresión del deterioro sin mantenimiento junto con la progresión cuando se aplican 2 recapeados asfálticos. En él se observa como la progresión se acentúa rápidamente, si no se aplican las actividades de conservación correspondiente.

Forma funcional del agrietamiento

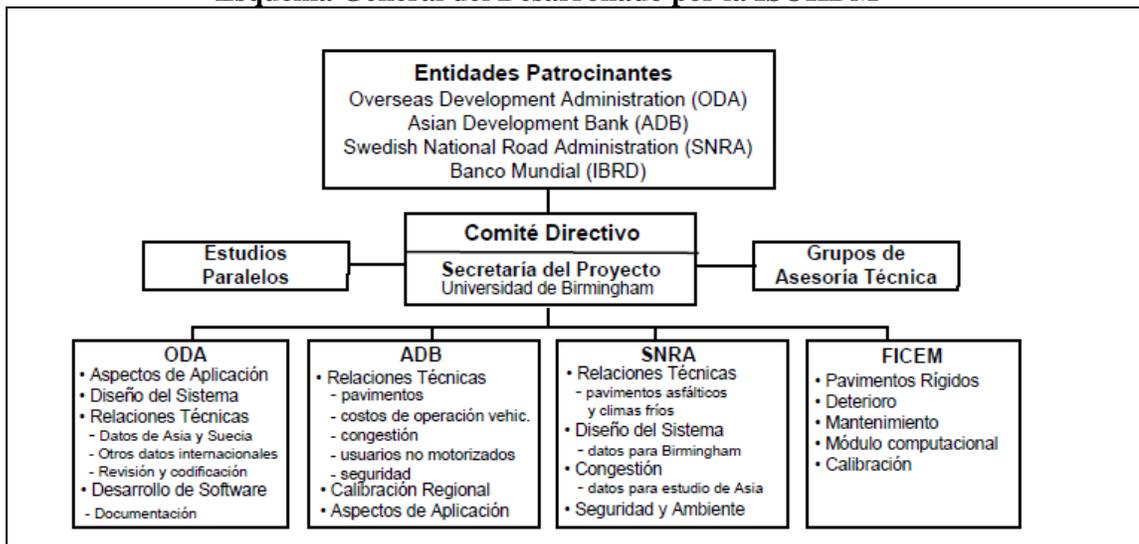


Modelos empleados por el HDM-4

Con el objeto de superar las limitaciones del modelo HDM-3, diversas instituciones se unieron para generar una nueva versión. Fue así como se origino el ISOHDM – International Study Of Highway Development and Manangement, patrocinado por el Banco Mundial (IBRD), la ODA – Overseas Development Administration del Reino Unido, el ADB – Banco de Desarrollo de Asia, y la SNRA – Administración Nacional de Viabilidad de Suecia. Entre las entidades que financiaron los diversos estudios, cabe destacar el aporte realizado por la FICEM – Federación Interamericana de Productores de Cemento, destinado a generar el modulo de evaluación de pavimentos de concreto.

El desarrollo central del programa computacional HDM-4 está a cargo del grupo de trabajo de la Universidad de Birmingham, Inglaterra, quienes actúan en coordinación con el comité directivo y el secretariado de promoción y difusión, a cargo de la PIARC – Asociación Internacional de Carreteras. Ver grafico siguiente

Esquema General del Desarrollado por la ISOHDM



La versión HDM-4 (Highway Development and Management tool) es un poderoso sistema de análisis para la gestión de carreteras. Los conceptos generales de análisis técnico y económico incorporado en el HDM-4 son básicamente los mismos del HDM-3.

Dentro del análisis técnico del HDM-4 se emplean cuatro grupos de modelos que son:

- RD (Road Deterioration – Modelos de deterioro): Predice el deterioro de pavimentos ya sea flexible o rígido.
- WE (Works Effects – Modelo de Efectos de Intervenciones): Simula los efectos de trabajos de conservación del camino en la condición del pavimento y determina los costos correspondientes.
- RUE (Road User Effects – Modelo de Efectos sobre los usuarios de la Carretera): Determina los costos de operación del vehículo, accidentes del camino y tiempo de viaje.

- SEE (Social and Environment Effects – Modelo de Efectos Sociales y Ambientales): Determina los efectos de emisiones del vehículo y consumo de energía.

b). Información requerida para el HDM

La determinación del valor residual en infraestructuras de carreteras mediante el comportamiento estructural del pavimentos (deterioro del pavimento), constituye una actividad potencialmente muy compleja debido en parte a la gran cantidad de información que se requiere del proyecto.

A continuación se listan los principales datos que requiere el modelo para simular el deterioro del pavimento.

Características de la infraestructura

Para conocer el proceso del deterioro de la carretera, resulta indispensable conocer algunas características de la carretera. Entre estas cabe mencionar:

- a) Características iniciales de la infraestructura en cuanto al diseño geométrico y estado del pavimento. Estas variables sirven para determinar el valor de reposición de la vía, a partir del cual la carretera empieza a deteriorarse. Los datos requerido son:
 - Longitud de la carretera
 - Precio medio de construcción/km de carretera
 - Porcentaje de la longitud de la carretera con rampas y pendientes
 - Distribución de tramos por velocidades medias
 - IRI inicial
 - Ancho de la calzada y bermas de la carretera

- b) Características que definen la capacidad de soporte y drenaje del pavimento, que tienen como finalidad determinar la resistencia de las capas. Las variables son las siguientes:
 - CBR de la subrasante
 - Características de las capas del pavimento (espesores y coeficientes que definen la capacidad estructural)
 - Características de la base en cuanto a la granulometría y compactación
 - Espesor de la capa asfáltica
 - Calidad de drenaje de las capas granulares
 - Porcentaje del tiempo que las capas del pavimento se encuentran sometidas a niveles de humedad próximos a la saturación

- c) Características de la composición y puesta en obra de las mezclas bituminosas, con la finalidad de determinar la formación y evolución de los deterioros íntimamente ligados a las propiedades de las capas superiores del pavimento (deformaciones plásticas, etc.), para lo cual es necesario conocer, las siguientes variables:
 - Viscosidad del asfalto en segundos
 - Temperatura media anual del pavimento a una profundidad de 20mm bajo la superficie
 - Porcentaje inicial de huecos en la mezcla

- Exposición a la lluvia durante el periodo de construcción
- Control de calidad en la construcción de dichas capas

Características del clima

Las características del clima de las zonas geográficas donde se encuentra la carretera son fundamentales para determinar algunas de las propiedades del deterioro de los pavimentos. Para determinar dichas condiciones, se requiere la siguiente información:

- Humedad
- Temperatura
- Precipitación media anual
- Exposición al sol del pavimento

Características del tráfico

El tránsito de vehículos constituye como el principal elemento que influye en el deterioro del pavimento. Para conocer estas solicitaciones resulta necesario determinar las características principales del parque de vehículos y del tránsito vehicular. Se requiere conocer la siguiente información:

- Proporción del parque que usa gasolina según tipo de vehículo
- Tasa de crecimiento del tráfico según tipo de vehículo
- IMDa por tipo de vehículo en el primer año
- Ocupación media de los vehículos

ANEXO N°5: PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL: ENTRADAS Y SALIDAS EN EL HDM - IV

1.0 CARRETERA CHURIN - OYON

1. DATOS DE ENTRADA

Tramo: 1000 TPDA / Bajo

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	1000 TPDA / Bajo	Longitud:	30.2	km
ID del tramo:	PE-018	Ancho de calzada:	4.5	m
Nombre ruta:	Churin - Oyon	Ancho de arcén:	0	m
ID de ruta:	Ruta 18	Número de camiles:	1	
Tipo de vel/cap:	Carretera de 2 camiles	Tráfico:		
Modelo de tráfico:	Interurbano_Peru	Motorizado:	371	IMD
Zona climática:	Sierra	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Secundaria o principal	Año:	2007	
Tipo c.rodadura:	Sin pavimentar	Sentido:	Ambos sentidos	
Tipo fime:	Grava			

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Estándar de mejora: Construcción

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura:	Mezcla bituminosa		
Número estructural estación seca:	3		
Espesor de capa rodadura:	80	mm	
Compactación relativa:	97	%	
Base (sólo para base estabilizada)			
Espesor base:	25	mm	
Módulo Resiliente:	15	GPa	

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

2. DATOS DE SALIDA

HDM - 4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

30/11/2012

ROADWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Nombre del estudio: Churin - Oyon
Fecha de ejecución: 29-11-2012

Alternativa:		Altern_01		Clase carretera:		Secundaria o princip:										
Tramo:		1000 TPDA / Bajo		Ancho:		4.50m										
Tipo Firme:		Sin Pavimentar														
Longitud:		30.20km														
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. áridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espeor árido mm	Escalaón. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2007	371	0.15		12.61							111					
2008	383	0.16		17.76							71					
2009	395	0.16		21.40							30					
2010	508	0.24	2.40	2.20	0.00	0.00	0.00	4.37	0.00	2.90						
2011	521	0.25	2.56	2.48	0.00	0.00	0.00	4.68	0.00	2.89						
2012	535	0.25	2.73	2.64	0.00	0.00	0.00	4.99	0.00	2.88						
2013	549	0.26	2.91	2.82	0.26	0.00	0.00	5.30	0.00	2.87						
2014	564	0.27	3.10	3.00	0.00	0.00	0.00	5.61	0.00	2.93						
2015	579	0.28	3.30	3.20	0.00	0.00	0.00	5.92	0.00	2.92						
2016	595	0.29	3.51	3.40	0.00	0.00	0.00	6.23	0.00	2.91						
2017	611	0.29	3.74	3.62	0.61	0.00	0.00	3.76	0.00	2.90						
2018	628	0.30	2.22	2.15	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	3.26						
2019	645	0.31	2.36	2.29	0.00	0.00	0.00	1.53	0.00	3.25						
2020	663	0.32	2.51	2.44	0.00	0.00	0.00	1.81	0.00	3.24						

HDM-4 Version 1.3

Página 1 de 6

HDM - 4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

30/11/2012

Alternativa:		Altern_02		Clase carretera:		Secundaria o princip:										
Tramo:		1000 TPDA / Bajo		Ancho:		4.50m										
Tipo Firme:		Sin Pavimentar														
Longitud:		30.20km														
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. áridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espeor árido mm	Escalaón. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2007	371	0.15		12.61							111					
2008	383	0.16		17.76							71					
2009	395	0.16		21.40							30					
2010	456	0.20	2.38	2.19	0.00	0.00	0.00	4.26	0.00	2.90						
2011	526	0.25	2.54	2.46	0.00	0.00	0.00	4.57	0.00	2.89						
2012	609	0.30	2.72	2.63	0.00	0.00	0.00	4.89	0.00	2.88						
2013	706	0.37	2.94	2.83	1.10	0.00	0.00	5.21	0.00	2.87						
2014	820	0.46	3.16	3.05	0.00	0.00	0.00	5.54	0.00	2.93						
2015	954	0.57	3.42	3.29	0.50	0.00	0.00	5.87	0.00	2.92						
2016	1,113	0.70	3.74	3.58	4.06	0.00	0.00	6.21	0.00	2.91						
2017	1,300	0.86	4.17	3.96	6.80	0.00	0.00	6.57	0.00	2.88						
2018	1,523	1.07	4.59	4.38	2.18	0.00	0.00	6.92	0.00	2.96						
2019	1,787	1.32	5.12	4.85	4.57	0.00	0.00	4.19	0.00	2.94						
2020	2,103	1.63	2.49	2.36	0.00	0.00	0.00	1.42	0.00	3.31						
2021	2,480	2.02	2.82	2.66	0.68	0.00	0.00	1.75	0.00	3.29						
2022	2,931	2.50	3.23	3.03	1.91	0.00	0.00	2.09	0.00	3.28						
2023	3,473	3.09	3.75	3.49	2.12	0.00	0.00	2.45	0.00	3.26						
2024	4,125	3.83	4.36	4.06	2.87	0.00	0.00	2.80	0.00	3.34						
2025	4,911	4.75	5.15	4.75	10.86	0.00	0.00	3.16	0.00	3.32						

HDM-4 Version 1.3

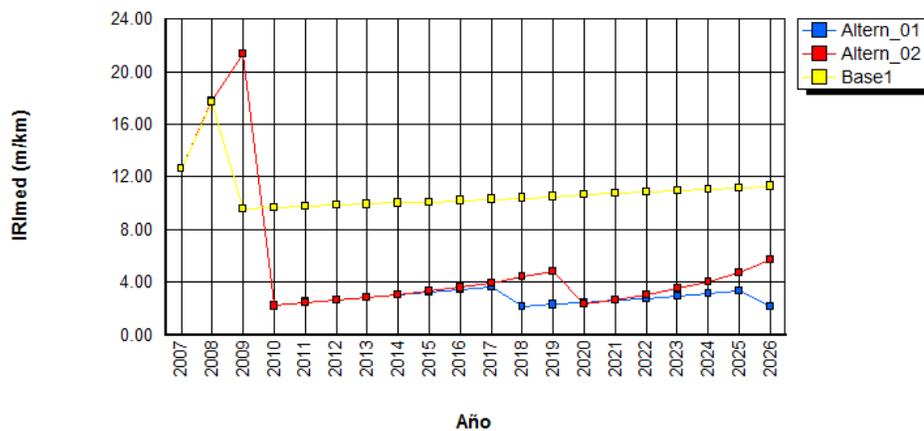
Página 3 de 6

Alternativa: Base1		Clase carretera: Secundaria o principal														
Tramo: 1000 TPDA / Bajo		Ancho: 4.50m														
Tipo Firme: Sin Pavimentar																
Longitud: 30.20km																
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m2	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct.	Espesor año mm	Escalon medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Figuras det. N/km
2007	371	0.15		12.61							111					
2008	383	0.16		17.74							78					
2009	395	0.16		9.57							53					
2010	408	0.17		9.65							26					
2011	421	0.18		9.74							8					
2012	435	0.18		9.83							8					
2013	449	0.19		9.92							8					
2014	464	0.20		10.02							8					
2015	479	0.21		10.11							8					
2016	495	0.22		10.21							8					
2017	511	0.22		10.31							8					
2018	528	0.23		10.41							8					
2019	545	0.24		10.51							8					
2020	563	0.25		10.62							8					
2021	582	0.26		10.73							8					
2022	601	0.27		10.84							8					
2023	621	0.29		10.95							8					
2024	642	0.30		11.07							8					
2025	664	0.31		11.18							8					

Gráfico de Regularidad Media por Alternativa de Proyecto

Nombre del Estudio: Churin - Oyon
Fecha de Ejecución: 29-11-2012

Regularidad Media (IRImed) por Proyecto
(ponderado según longitud de tramo)



2.0 AUTOPISTA CHICLAYO PIMENTEL

1. DATOS DE ENTRADA

Tramo: Tramo 1 Autopista

Definición | Geometría | Fime. | Estado

Nombre del tramo: Longitud: km
ID del tramo: Ancho de calzada: m
Nombre ruta: Ancho de arcén: m
ID de ruta: Número de carriles:
Tipo de vel/cap:
Modelo de tráfico:
Zona climática:
Clase carretera:
Tipo c.rodadura:
Tipo fime:
Trafico
Motorizado: IMD
No motorizado: IMD
Año:
Sentido:

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Estándar de mejora: Proy 2. Construcción de la autopista Chiclayo

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura:
Número estructural estación seca:
Espesor de capa rodadura: mm
Compactación relativa: %
Base (sólo para base estabilizada)
Espesor base: mm
Módulo Resiliente: GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

2. DATOS DE SALIDA

HDM - 4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

29/11/2012

Nombre del estudio: **Proy 2. Autopista Chiclayo Pimentel**
 Fecha de ejecución: **28-11-2012**

Alternativa: Alternativa 2 Tramo: Tramo 1 Autopista Clase carretera: Nacional Tipo Firme: Bituminoso Longitud: 3.00km Ancho: 7.20m																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE m/km	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales											
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espeor árido mm	Escalón medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N & km
2011	17.260	0.25	4.57	4.48	75.09	0.00	0.00	4.20	3.26	4.24						
2012	17.785	0.26	4.73	4.65	63.92	0.00	0.00	2.20	2.45	4.21						
2013	18.326	0.54	2.16	2.08	57.75	0.00	0.00	0.20	0.00	4.49						
2014	18.883	0.56	2.31	2.24	70.83	0.00	0.00	0.40	0.00	4.44						
2015	19.457	0.58	2.45	2.38	81.31	0.00	0.00	0.61	0.00	4.40						
2016	20.049	0.60	2.55	2.51	89.29	0.00	0.00	0.81	0.00	4.37						
2017	20.659	0.62	2.69	2.63	94.92	0.00	0.00	1.02	0.00	4.34						
2018	21.288	0.65	2.79	2.74	98.36	0.00	0.00	1.23	0.00	4.33						
2019	21.936	0.67	2.88	2.84	99.85	0.00	0.00	1.44	0.00	4.31						
2020	22.603	0.70	2.97	2.93	49.94	0.00	0.00	1.65	0.00	4.30						
2021	23.291	0.73	3.05	3.01	0.00	0.00	0.00	1.87	0.00	4.45						
2022	24.000	0.75	3.14	3.10	0.00	0.00	0.00	2.08	0.00	4.45						
2023	24.731	0.78	3.24	3.19	1.57	2.07	0.00	2.30	0.00	4.45						
2024	25.484	0.81	3.38	3.31	7.53	13.82	0.00	2.51	0.00	4.45						

H D M - 4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

29/11/2012

Alternativa: Situación Base Tramo: Tramo 1 Autopista Clase carretera: Nacional Tipo Firme: Bituminoso Longitud: 3.00km Ancho: 7.20m																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE m/km	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales											
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espeor árido mm	Escalón medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N & km
2011	17.260	0.25	4.57	4.48	75.09	0.00	0.00	4.20	3.26	4.24						
2012	17.785	0.26	4.73	4.65	85.22	0.00	0.00	4.39	4.89	4.21						
2013	18.326	0.27	4.87	4.80	92.12	0.00	0.00	4.59	7.39	4.19						
2014	18.883	0.28	5.00	4.94	96.73	0.00	0.00	4.80	11.30	4.17						
2015	19.457	0.29	5.13	5.07	99.26	0.00	0.00	5.00	17.44	4.16						
2016	20.049	0.30	5.25	5.19	99.96	0.00	0.00	5.20	27.19	4.15						
2017	20.659	0.31	5.38	5.32	99.94	0.00	0.00	5.41	42.86	4.15						
2018	21.288	0.32	5.55	5.46	99.91	0.00	0.00	5.61	68.30	4.14						
2019	21.936	0.34	5.76	5.65	99.85	0.00	0.00	5.82	110.03	4.14						
2020	22.603	0.35	6.84	6.30	99.49	0.00	0.00	6.03	366.11	4.14						
2021	23.291	0.36	10.42	8.63	98.74	0.00	0.00	6.24	908.81	4.14						
2022	24.000	0.38	16.00	13.21	97.27	0.00	0.00	6.45	1,965.12	4.14						
2023	24.731	0.39	16.00	16.00	94.54	0.00	0.00	6.66	3,933.72	4.14						
2024	25.484	0.41	16.00	16.00	90.00	0.00	0.00	6.87	7,474.91	4.14						
2025	26.260	0.42	16.00	16.00	90.00	0.00	0.00	7.09	13,806.75	4.14						
2026	27.060	0.44	16.00	16.00	90.00	0.00	0.00	7.31	25,140.06	4.14						
2027	27.884	0.46	16.00	16.00	90.00	0.00	0.00	7.52	45,578.79	4.12						
2028	28.734	0.47	16.00	16.00	90.00	0.00	0.00	7.74	82,913.14	4.10						
2029	29.609	0.49	16.00	16.00	90.00	0.00	0.00	7.97	152,003.66	4.06						

Alternativa:	Situación con Proyecto		
Tramo:	Tramo 1 Autopista	Clase carretera:	Nacional
Tipo Firme:	Bituminoso		
Longitud:	3.00km	Ancho:	7.20m

Año	TM IMD	ESAL millones/ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales											
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m ²	Prof. rodера mm	No. de baches	No. estruct.	Espesor arido mm	Escalón. medio mm	Juntas descon. %	No. de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2011	17,260	0.25	4.57	4.48	75.99	0.00	0.00	4.20	3.26	4.24						
2012	17,785	0.26	4.73	4.65	63.92	0.00	0.00	2.20	2.45	4.21						
2013	18,326	0.54	2.16	2.08	28.88	0.00	0.00	0.20	0.00	4.49						
2014	18,883	0.56	2.22	2.19	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	4.62						
2015	19,457	0.58	2.29	2.25	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	4.62						
2016	20,049	0.60	2.35	2.32	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	4.62						
2017	20,659	0.62	2.42	2.39	0.00	4.91	0.00	1.00	0.00	4.62						
2018	21,288	0.65	2.49	2.46	0.50	23.01	0.00	1.20	0.00	4.62						
2019	21,936	0.67	2.59	2.54	2.03	30.14	0.00	1.40	0.00	4.62						
2020	22,603	0.70	2.66	2.62	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00	4.74						
2021	23,291	0.73	2.73	2.70	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	4.74						
2022	24,000	0.75	2.81	2.77	0.00	1.41	0.00	2.00	0.00	4.74						
2023	24,731	0.78	2.89	2.85	0.00	11.96	0.00	2.20	0.00	4.74						
2024	25,484	0.81	2.95	2.93	0.79	19.90	0.00	2.40	0.00	4.74						
2025	26,260	0.84	3.06	3.02	0.00	0.00	0.00	2.60	0.00	4.86						
2026	27,060	0.88	3.14	3.10	0.00	0.00	0.00	2.79	0.00	4.86						
2027	27,884	0.91	3.23	3.19	0.00	5.94	0.00	2.99	0.00	4.86						
2028	28,734	0.95	3.32	3.27	0.00	25.80	0.00	3.19	0.00	4.86						
2029	29,609	0.98	3.43	3.37	1.57	32.00	0.00	3.39	0.00	4.86						

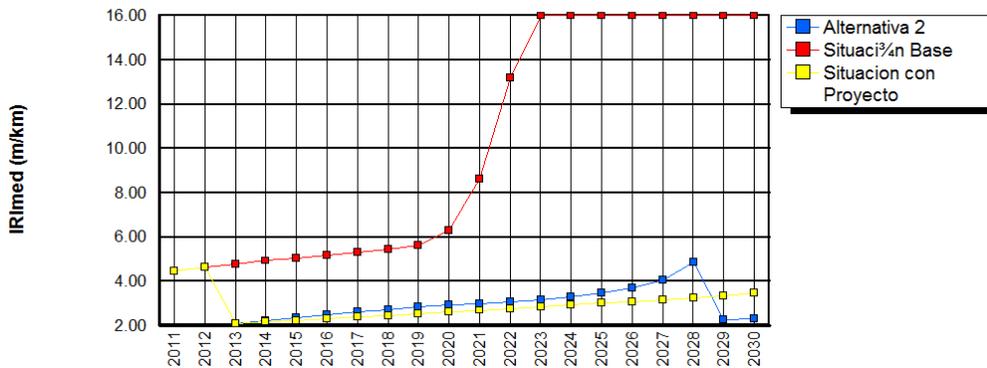
HDM - 4 Gráfico de Regularidad Media por Alternativa de Proyecto

Nombre del Estudio: Proy 2. Autopista Chiclayo Pimentel

Nombre del Estudio: Proy 2. Autopista Chiclayo Pimentel

Fecha de Ejecución: 28-11-2012

Regularidad Media (IRImed) por Proyecto (ponderado según longitud de tramo)



3.0 EVITAMIENTO ABANCA Y

1. DATOS DE ENTRADA

Tramo: Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 08+390

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 08+390	Longitud:	8.4	km
ID del tramo:	Tramo 1.1 NS	Ancho de calzada:	6	m
Nombre ruta:	Tramo 1.1NS	Ancho de arcén:	0.5	m
ID de ruta:	T1.1NS	Número de carriles:	2	
Tipo de vel/cap:	Two Lane Narrow	Tráfico		
Modelo de tráfico:	Commuter	Motorizado:	187	IMD
Zona climática:	Sub-húmed/Tropical	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Nacional	Año:	2011	
Tipo c.rodadura:	Sin pavimentar	Sentido:	Ambos sentidos	
Tipo firme:	Grava			

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Tramo: Tramo 1.2 Km 08+390 al Km10+090

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	Tramo 1.2 Km 08+390 al Km10+090	Longitud:	1.7	km
ID del tramo:	Tramo 1.2 NS	Ancho de calzada:	6	m
Nombre ruta:	Tramo 1.2NS	Ancho de arcén:	0.8	m
ID de ruta:	T1.2NS	Número de carriles:	2	
Tipo de vel/cap:	Two Lane Narrow	Tráfico		
Modelo de tráfico:	Commuter	Motorizado:	187	IMD
Zona climática:	Semi-árid/Tropical	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Nacional	Año:	2011	
Tipo c.rodadura:	Bituminosa	Sentido:	Ambos sentidos	
Tipo firme:	Mezcla bituminosa sobre base granular			

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Estándar de mejora: Proy 51. Mejoramiento Tramo 1 CAC Chota

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 3.3

Espesor de capa rodadura: 75 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliente: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

Estándar de mejora: Proy 52. Mejoramiento Tramo 2 CAC Chota

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 3.3

Espesor de capa rodadura: 50 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliente: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

2. DATOS DE SALIDA

HDM - 4
ROADWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

29/11/2012

Nombre del estudio: **Proy 3. Vía Evitamiento Abancay**
Fecha de ejecución: **29-11-2012**

Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct.	Espesor arido mm	Escañ. medio mm	untas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	192	0.01		15.56							111					
2013	197	0.01		19.16							72					
2014	225	0.03	2.24	2.12	0.00	0.00	0.06	2.79	0.00	3.27						
2015	241	0.03	2.30	2.27	0.00	0.00	0.08	3.01	0.00	3.27						
2016	258	0.03	2.37	2.33	0.00	0.00	0.11	3.22	0.00	3.27						
2017	274	0.04	2.43	2.40	0.00	0.00	0.14	3.44	0.00	3.27						
2018	291	0.04	2.50	2.47	0.00	0.00	0.18	3.66	0.00	3.27						
2019	308	0.04	2.58	2.54	0.00	0.00	0.23	3.88	0.00	3.27						
2020	326	0.05	2.66	2.62	1.67	0.00	0.28	4.10	0.00	3.27						
2021	344	0.05	2.76	2.71	5.13	0.00	0.33	4.33	0.00	3.26						
2022	362	0.06	2.88	2.82	10.77	0.00	0.39	4.56	0.00	3.24						
2023	380	0.06	3.02	2.95	9.39	0.00	0.23	4.80	0.00	3.18						
2024	399	0.06	3.10	3.06	0.00	0.00	0.07	5.03	0.00	3.33						
2025	418	0.07	3.19	3.14	0.00	0.00	0.16	5.26	0.00	3.33						

HDM-4 Version 1.3

Página 1 de 12

HDM-4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

29/11/2012

Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct.	Espesor arido mm	Escañ. medio mm	untas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	192	0.01		15.56							111					
2013	197	0.01		19.16							72					
2014	204	0.01		22.71							32					
2015	211	0.01		24.90							0					
2016	219	0.01		25.78							0					
2017	226	0.01		26.03							0					
2018	234	0.01		26.11							0					
2019	242	0.01		26.13							0					
2020	251	0.01		26.13							0					
2021	260	0.01		26.14							0					
2022	269	0.02		26.14							0					
2023	278	0.02		26.14							0					
2024	288	0.02		26.14							0					
2025	298	0.02		26.14							0					
2026	309	0.02		26.14							0					
2027	320	0.02		26.14							0					
2028	331	0.02		26.14							0					
2029	343	0.02		26.14							0					
2030	355	0.02		26.14							0					

HDM-4 Version 1.3

Página 3 de 12

Alternativa:		Situación con Proyecto														
Tramo:		Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 08+390					Clase carretera Nacional									
Tipo Firme:		Sin Pavimentar														
Longitud:		8.40km					Ancho: 6.00m									
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches mm	No estruct.	Espe sor año mm	Esca lón. medio mm	Junta s descon ch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	192	0.01		15.56							111					
2013	197	0.01		19.16							72					
2014	225	0.03	2.24	2.12	0.00	0.00	0.05	2.79	0.00	3.27						
2015	241	0.03	2.30	2.27	0.00	0.00	0.08	3.01	0.00	3.27						
2016	258	0.03	2.37	2.33	0.00	0.00	0.11	3.22	0.00	3.27						
2017	274	0.04	2.43	2.40	0.00	0.00	0.14	3.44	0.00	3.27						
2018	291	0.04	2.50	2.47	0.00	0.00	0.18	3.66	0.00	3.27						
2019	308	0.04	2.58	2.54	0.00	0.00	0.23	3.88	0.00	3.27						
2020	326	0.05	2.66	2.62	1.67	0.00	0.28	4.10	0.00	3.27						
2021	344	0.05	2.76	2.71	5.13	0.00	0.33	4.33	0.00	3.26						
2022	362	0.06	2.88	2.82	10.77	0.00	0.39	4.56	0.00	3.24						
2023	380	0.06	3.02	2.95	18.78	0.00	0.46	4.80	0.00	3.18						
2024	399	0.06	3.17	3.10	29.28	0.00	0.53	5.05	0.00	3.11						
2025	418	0.07	3.36	3.27	21.20	0.00	0.31	5.33	0.00	3.00						
2026	438	0.07	3.44	3.40	0.00	0.00	0.09	5.57	0.00	3.20						
2027	458	0.08	3.54	3.49	0.00	0.00	0.10	3.34	0.00	3.20						
2028	478	0.08	2.12	2.09	0.00	0.00	0.05	1.05	0.00	4.15						
2029	499	0.09	2.18	2.15	0.00	0.00	0.11	1.23	0.00	4.15						
2030	520	0.09	2.24	2.21	0.00	0.00	0.17	1.42	0.00	4.15						

Alternativa:		Alternativa 2														
Tramo:		Tramo 1.2 Km 08+390 al Km10+090					Clase carretera Nacional									
Tipo Firme:		Bituminoso														
Longitud:		1.70km					Ancho: 6.00m									
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches mm	No estruct.	Espe sor año mm	Esca lón. medio mm	Junta s descon ch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	192	0.01	3.60	3.55	10.28	0.00	3.46	9.16	0.00	3.70						
2013	197	0.01	3.72	3.66	9.06	0.00	1.78	4.66	0.00	3.68						
2014	225	0.03	2.22	2.11	0.00	0.00	0.02	2.70	0.00	3.38						
2015	241	0.03	2.27	2.25	0.00	0.00	0.04	2.91	0.00	3.38						
2016	258	0.03	2.33	2.30	0.00	0.00	0.06	3.11	0.00	3.38						
2017	274	0.04	2.38	2.35	0.00	0.00	0.08	3.32	0.00	3.38						
2018	291	0.04	2.44	2.41	0.00	0.00	0.11	3.54	0.00	3.38						
2019	308	0.04	2.49	2.46	0.00	0.00	0.14	3.75	0.00	3.38						
2020	326	0.05	2.56	2.53	1.34	0.00	0.17	3.97	0.00	3.38						
2021	344	0.05	2.64	2.60	4.51	0.00	0.21	4.18	0.00	3.38						
2022	362	0.06	2.74	2.69	9.84	0.00	0.25	4.40	0.00	3.38						
2023	380	0.06	2.86	2.80	8.76	0.00	0.15	4.63	0.00	3.33						
2024	399	0.06	2.92	2.89	0.00	0.00	0.05	4.84	0.00	3.45						
2025	418	0.07	2.99	2.95	0.00	0.00	0.10	5.06	0.00	3.45						
2026	438	0.07	3.06	3.02	0.00	0.00	0.16	5.28	0.00	3.45						
2027	458	0.08	3.13	3.09	0.00	0.00	0.22	5.51	0.00	3.45						
2028	478	0.08	3.20	3.17	0.50	0.00	0.29	5.73	0.00	3.45						
2029	499	0.09	3.30	3.25	4.05	0.00	0.37	5.96	0.00	3.45						
2030	520	0.09	3.44	3.37	13.60	0.00	0.45	6.18	0.00	3.45						

Alternativa:	Situación Base				
Tramo:	Tramo 1.2 Km 08+390 al Km10+090	Clase carretera:	Nacional		
Tipo Firme:	Bituminoso				
Longitud:	1.70km	Ancho:	6.00m		

Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales											
					Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct.	Espesor arrido mm	Escalon. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N _s /km
2012	192	0.01	3.60	3.55	5.14	0.00	1.73	5.27	0.00	3.70						
2013	197	0.01	2.11	2.09	0.00	0.00	0.05	1.50	0.00	4.69						
2014	204	0.01	2.15	2.13	0.00	0.00	0.10	1.62	0.00	4.69						
2015	211	0.01	2.20	2.17	0.00	0.00	0.15	1.75	0.00	4.69						
2016	219	0.01	2.24	2.22	0.00	0.00	0.21	1.88	0.00	4.69						
2017	226	0.01	2.28	2.26	0.00	0.00	0.28	2.00	0.00	4.69						
2018	234	0.01	2.33	2.30	0.00	0.00	0.34	2.13	0.00	4.69						
2019	242	0.01	2.37	2.35	0.00	0.00	0.42	2.26	0.00	4.69						
2020	251	0.01	2.42	2.40	0.00	0.00	0.49	2.39	0.00	4.69						
2021	260	0.01	2.47	2.45	0.98	0.00	0.58	2.52	0.00	4.69						
2022	269	0.02	2.53	2.50	2.51	0.00	0.67	2.65	0.00	4.68						
2023	278	0.02	2.60	2.57	5.28	0.00	0.76	2.79	0.00	4.68						
2024	288	0.02	2.69	2.65	9.77	0.00	0.86	2.92	0.00	4.67						
2025	298	0.02	2.79	2.74	16.51	0.00	0.97	3.05	0.00	4.65						
2026	309	0.02	2.91	2.85	26.09	0.00	1.09	3.19	0.00	4.58						
2027	320	0.02	3.06	2.99	39.13	0.00	1.22	3.33	0.00	4.48						
2028	331	0.02	3.23	3.15	27.90	0.00	0.68	3.46	0.00	4.34						
2029	343	0.02	3.23	3.20	0.00	0.00	0.29	3.61	0.00	4.47						
2030	355	0.02	3.29	3.26	0.00	0.00	0.60	3.75	0.00	4.47						

Alternativa:	Situación con Proyecto				
Tramo:	Tramo 1.2 Km 08+390 al Km10+090	Clase carretera:	Nacional		
Tipo Firme:	Bituminoso				
Longitud:	1.70km	Ancho:	6.00m		

Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales											
					Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct.	Espesor arrido mm	Escalon. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N _s /km
2012	192	0.01	3.60	3.55	10.28	0.00	3.46	9.16	0.00	3.70						
2013	197	0.01	3.72	3.66	9.06	0.00	1.78	4.66	0.00	3.68						
2014	226	0.03	2.22	2.11	0.00	0.00	0.02	2.70	0.00	3.38						
2015	241	0.03	2.27	2.25	0.00	0.00	0.04	2.91	0.00	3.38						
2016	258	0.03	2.33	2.30	0.00	0.00	0.06	3.11	0.00	3.38						
2017	274	0.04	2.38	2.35	0.00	0.00	0.08	3.32	0.00	3.38						
2018	291	0.04	2.44	2.41	0.00	0.00	0.11	3.54	0.00	3.38						
2019	308	0.04	2.49	2.46	0.00	0.00	0.14	3.75	0.00	3.38						
2020	326	0.05	2.56	2.53	1.34	0.00	0.17	3.97	0.00	3.38						
2021	344	0.05	2.64	2.60	4.51	0.00	0.21	4.18	0.00	3.38						
2022	362	0.06	2.74	2.69	9.84	0.00	0.25	4.40	0.00	3.36						
2023	380	0.06	2.86	2.80	17.51	0.00	0.29	4.63	0.00	3.33						
2024	399	0.06	3.00	2.93	27.65	0.00	0.34	4.85	0.00	3.28						
2025	418	0.07	3.16	3.08	20.20	0.00	0.20	5.08	0.00	3.21						
2026	438	0.07	3.22	3.18	0.00	0.00	0.06	5.31	0.00	3.34						
2027	458	0.08	3.29	3.25	0.00	0.00	0.12	5.54	0.00	3.34						
2028	478	0.08	3.38	3.33	1.57	0.00	0.19	5.77	0.00	3.34						
2029	499	0.09	3.50	3.44	7.53	0.00	0.27	6.01	0.00	3.34						
2030	520	0.09	3.67	3.58	10.40	0.00	0.18	6.59	0.00	3.33						

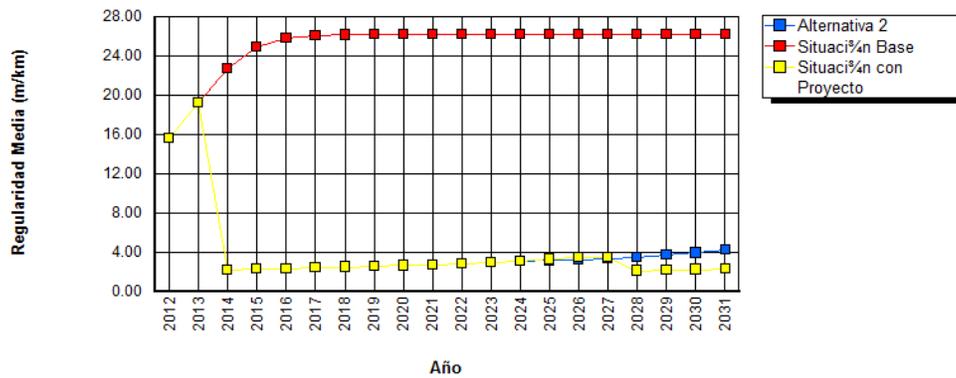
Gráfico Regularidad Media por Tramos

Nombre del Estudio: **Proy 3. Vía Evitamiento Abancay**

Fecha de Ejecución: **29-11-2012**

Detalles del Tramo:

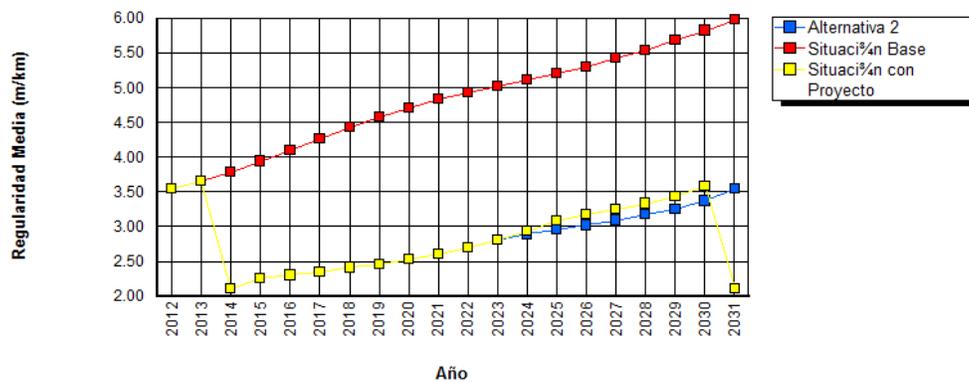
ID: **Tramo 1.1 NS** Clase de Carretera: **Nacional** Rampa + Pendiente: **52.20 m/km**
 Descripción: **Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 08+390** Longitud: **8.40 km** Curvatura: **538.40 %/km**
 Ancho: **6.00 m**



HDM-4 Gráfico Regularidad Media por Tramos

Detalles del Tramo:

ID: **Tramo 1.2 NS** Clase de Carretera: **Nacional** Rampa + Pendiente: **57.80 m/km**
 Descripción: **Tramo 1.2 Km 08+390 al Km10+090** Longitud: **1.70 km** Curvatura: **447.50 %/km**
 Ancho: **6.00 m**



3.0 CARRETERA CHOTA

1. DATOS DE ENTRADA

Tramo: Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 32+000

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 32+000	Longitud:	32	km
ID del tramo:	Tramo 1.1 NS	Ancho de calzada:	5	m
Nombre ruta:	Tramo 1.1NS	Ancho de arcén:	0	m
ID de ruta:	T1.1NS	Número de carriles:	1.5	
Tipo de vel/cap:	Two Lane Narrow	Tráfico		
Modelo de tráfico:	Commuter	Motorizado:	358	IMD
Zona climática:	Semi-árid/Tropical	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Nacional	Año:	2010	
Tipo c.rodadura:	Sin pavimentar	Sentido:	Ambos sentidos	
Tipo fime:	Grava			

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Tramo: Tramo 1.2 Km 32+000 al Km 91+620

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	Tramo 1.2 Km 32+000 al Km 91+620	Longitud:	59.4	km
ID del tramo:	Tramo 1.2 NS	Ancho de calzada:	5	m
Nombre ruta:	Tramo 1.2NS	Ancho de arcén:	0	m
ID de ruta:	T1.2NS	Número de carriles:	1.5	
Tipo de vel/cap:	Two Lane Narrow	Tráfico		
Modelo de tráfico:	Commuter	Motorizado:	96	IMD
Zona climática:	Semi-árid/Tropical	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Nacional	Año:	2010	
Tipo c.rodadura:	Sin pavimentar	Sentido:	Ambos sentidos	
Tipo fime:	Grava			

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Estándar de mejora: Proy 51. Mejoramiento Tramo 1 CAC Chota

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 3.3

Espesor de capa rodadura: 75 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliente: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Parámetros de coste

Estándar de mejora: Proy 52. Mejoramiento Tramo 2 CAC Chota

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Nombre: Proy 52. Mejoramiento Tramo 2 CAC Chota

Código: p52a

Tipo de entidad: Calzada

Tipo capa de rodadura: Sin pavimentar

Tipo de mejora: Mejora

Duración: 2 años

Tipo de Intervención:
 Programada
 Correctiva

Aceptar Cancelar

Nombre de este estándar de mejora

2. DATOS DE SALIDA

HDM - 4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

29/11/2012

ROADWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Nombre del estudio: **Proy 5. Mejoramiento de carpeta Chota**

Fecha de ejecución: **29-11-2012**

Alternativa:		Valores Medios Anuales															
Tramo: Alternativa 2 Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 32+000		ESAL millones/ELANE		IRI ant.	IRI medio	Todas fis. %	Desp. estr. %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espe sor árido mm	Escalón medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
Longitud:	32.00km											56					
Clase carretera:												11					
Tipo Firme:												11					
Ancho:																	
Sin Pavimentar																	
5.00m																	
Año	TM IMD																
2012	383	0.06			12.69												
2013	396	0.07			18.18												
2014	409	0.07			18.18												
2015	423	0.14		2.28	2.14	0.00	0.00	0.00	3.46	0.00	3.29						
2016	438	0.15		2.34	2.31	0.00	0.00	0.00	3.72	0.00	3.29						
2017	452	0.15		2.41	2.38	0.00	0.00	0.00	3.97	0.00	3.29						
2018	465	0.16		2.45	2.45	0.00	0.00	0.00	4.22	0.00	3.29						
2019	484	0.16		2.56	2.52	0.00	0.00	0.00	4.48	0.00	3.29						
2020	500	0.17		2.65	2.60	1.85	0.00	0.00	4.74	0.00	3.29						
2021	517	0.18		2.75	2.70	5.47	0.00	0.00	4.99	0.00	3.29						
2022	535	0.18		2.87	2.81	11.28	0.00	0.00	5.25	0.00	3.27						
2023	553	0.19		3.01	2.94	19.47	0.00	0.00	5.51	0.00	3.24						
2024	572	0.19		3.17	3.09	15.08	0.00	0.00	5.77	0.00	3.20						
2025	591	0.20		3.25	3.21	0.00	0.00	0.00	6.03	0.00	3.32						

HDM - 4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

29/11/2012

Alternativa:		Valores Medios Anuales															
Tramo: Base Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 32+000		ESAL millones/ELANE		IRI ant.	IRI medio	Todas fis. %	Desp. estr. %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espe sor árido mm	Escalón medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
Longitud:	32.00km											56					
Clase carretera:												11					
Tipo Firme:												0					
Sin Pavimentar												0					
Ancho:												0					
5.00m												0					
Año	TM IMD																
2012	383	0.06			12.69												
2013	396	0.07			18.18												
2014	409	0.07			19.97												
2015	423	0.07			20.27												
2016	438	0.07			20.30												
2017	452	0.08			20.31												
2018	465	0.08			20.31												
2019	484	0.08			20.31												
2020	500	0.08			20.31												
2021	517	0.09			20.31												
2022	535	0.09			20.31												
2023	553	0.09			20.31												
2024	572	0.10			20.31												
2025	591	0.10			20.31												
2026	611	0.10			20.31												
2027	632	0.11			20.31												
2028	654	0.11			20.31												
2029	676	0.11			20.31												
2030	699	0.12			20.31												

Alternativa:	Proyecto	Clase carretera:	Nacional
Tramo:	Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 32+000	Ancho:	5.00m
Tipo Firme:	Sin Pavimentar		
Longitud:	32.00km		

Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales												
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espesor año mm	Escalon. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km	
2012	383	0.06		12.69								56					
2013	396	0.07		18.18								11					
2014	409	0.07		18.18								11					
2015	423	0.14	2.28	2.14	0.00	0.00	0.00	3.46	0.00	3.29							
2016	438	0.15	2.34	2.31	0.00	0.00	0.00	3.72	0.00	3.29							
2017	452	0.15	2.41	2.38	0.00	0.00	0.00	3.97	0.00	3.29							
2018	468	0.16	2.48	2.45	0.00	0.00	0.00	4.22	0.00	3.29							
2019	484	0.16	2.56	2.52	0.00	0.00	0.00	4.48	0.00	3.29							
2020	500	0.17	2.65	2.60	1.85	0.00	0.00	4.74	0.00	3.29							
2021	517	0.18	2.75	2.70	5.47	0.00	0.00	4.99	0.00	3.29							
2022	535	0.18	2.87	2.81	11.28	0.00	0.00	5.25	0.00	3.27							
2023	553	0.19	3.01	2.94	19.47	0.00	0.00	5.51	0.00	3.24							
2024	572	0.19	3.17	3.09	30.16	0.00	0.00	5.77	0.00	3.20							
2025	591	0.20	3.35	3.25	21.74	0.00	0.00	6.04	0.00	3.14							
2026	611	0.21	3.43	3.39	0.00	0.00	0.00	6.30	0.00	3.26							
2027	632	0.21	3.53	3.48	0.00	0.00	0.00	3.78	0.00	3.26							
2028	654	0.22	2.12	2.09	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	4.25							
2029	676	0.23	2.17	2.14	0.00	0.00	0.00	1.38	0.00	4.25							
2030	699	0.24	2.23	2.20	0.00	0.00	0.00	1.58	0.00	4.25							

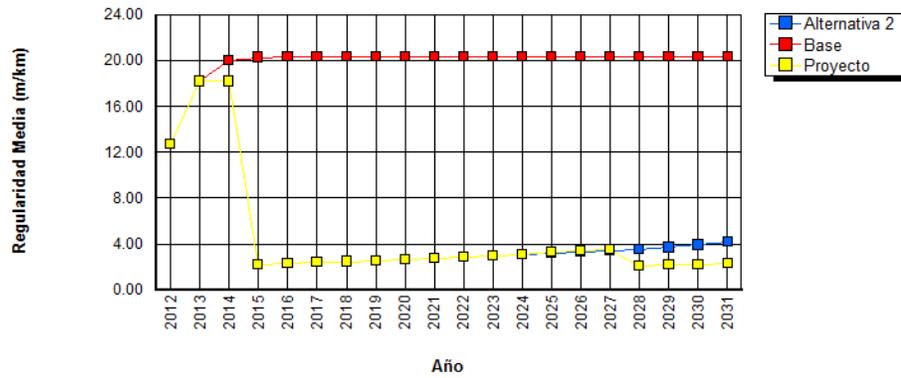
Alternativa:	Alternativa 2	Clase carretera:	Nacional
Tramo:	Tramo 1.2 Km 32+000 al Km 91+620	Ancho:	5.00m
Tipo Firme:	Sin Pavimentar		
Longitud:	59.40km		

Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales												
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espesor año mm	Escalon. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km	
2012	103	0.01		10.01								79					
2013	106	0.01		13.79								57					
2014	110	0.01		13.79								57					
2015	113	0.02	2.22	2.11	0.00	0.00	0.00	2.74	0.00	3.29							
2016	117	0.02	2.27	2.25	0.00	0.00	0.00	2.95	0.00	3.29							
2017	121	0.02	2.33	2.30	0.00	0.00	0.00	3.15	0.00	3.29							
2018	125	0.03	2.38	2.35	0.00	0.00	0.00	3.36	0.00	3.29							
2019	130	0.03	2.44	2.41	0.00	0.00	0.00	3.57	0.00	3.29							
2020	134	0.03	2.49	2.46	0.00	0.00	0.00	3.78	0.00	3.29							
2021	139	0.03	2.56	2.52	1.11	0.00	0.00	3.99	0.00	3.29							
2022	143	0.03	2.63	2.59	4.04	0.00	0.00	4.20	0.00	3.29							
2023	148	0.03	2.73	2.68	9.11	0.00	0.00	4.41	0.00	3.28							
2024	153	0.03	2.84	2.78	8.25	0.00	0.00	4.62	0.00	3.27							
2025	159	0.03	2.90	2.87	0.00	0.00	0.00	4.83	0.00	3.39							
2026	164	0.03	2.96	2.93	0.00	0.00	0.00	5.04	0.00	3.39							
2027	169	0.03	3.02	2.99	0.00	0.00	0.00	5.25	0.00	3.39							
2028	175	0.04	3.09	3.06	0.00	0.00	0.00	5.45	0.00	3.39							
2029	181	0.04	3.16	3.12	0.00	0.00	0.00	5.66	0.00	3.39							
2030	187	0.04	3.24	3.20	2.89	0.00	0.00	5.87	0.00	3.39							

Año		Valores Medios Anuales			Valores Medios Anuales										
TM	ESAL	IRI	IRI	Todas	Desp.	Rotura	Prof.	No. de	No	Espesor	Escalon.	Junta	No de	Losas	Fisuras
IMD	m/llones/ ELANE	ant. m/km	medio m/km	fs. estr. %	andos %	borde m2	rodera mm	baches	estruct.	ando mm	medio mm	desconch %	fallos por km	fisuradas %	det. N/km
2012	103	0.01	10.01							79					
2013	106	0.01	13.79							57					
2014	110	0.01	16.92							35					
2015	113	0.01	18.75							12					
2016	117	0.01	19.59							0					
2017	121	0.01	19.96							0					
2018	125	0.01	20.15							0					
2019	130	0.01	20.22							0					
2020	134	0.01	20.25							0					
2021	139	0.01	20.27							0					
2022	143	0.01	20.27							0					
2023	148	0.01	20.27							0					
2024	153	0.02	20.27							0					
2025	159	0.02	20.27							0					
2026	164	0.02	20.27							0					
2027	169	0.02	20.28							0					
2028	175	0.02	20.28							0					
2029	181	0.02	20.28							0					
2030	187	0.02	20.28							0					

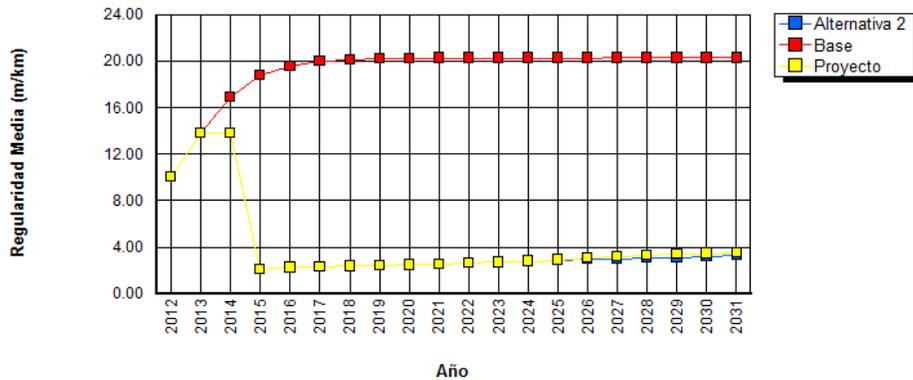
Año		Valores Medios Anuales			Valores Medios Anuales										
TM	ESAL	IRI	IRI	Todas	Desp.	Rotura	Prof.	No. de	No	Espesor	Escalon.	Junta	No de	Losas	Fisuras
IMD	m/llones/ ELANE	ant. m/km	medio m/km	fs. estr. %	andos %	borde m2	rodera mm	baches	estruct.	ando mm	medio mm	desconch %	fallos por km	fisuradas %	det. N/km
2012	103	0.01	10.01							79					
2013	106	0.01	13.79							57					
2014	110	0.01	13.79							57					
2015	113	0.02	2.22	2.11	0.00	0.00	0.00	2.74	0.00	3.29					
2016	117	0.02	2.27	2.25	0.00	0.00	0.00	2.95	0.00	3.29					
2017	121	0.02	2.33	2.30	0.00	0.00	0.00	3.15	0.00	3.29					
2018	125	0.03	2.38	2.35	0.00	0.00	0.00	3.36	0.00	3.29					
2019	130	0.03	2.44	2.41	0.00	0.00	0.00	3.57	0.00	3.29					
2020	134	0.03	2.49	2.46	0.00	0.00	0.00	3.78	0.00	3.29					
2021	139	0.03	2.56	2.52	1.11	0.00	0.00	3.99	0.00	3.29					
2022	143	0.03	2.63	2.59	4.04	0.00	0.00	4.20	0.00	3.29					
2023	148	0.03	2.73	2.68	9.11	0.00	0.00	4.41	0.00	3.28					
2024	153	0.03	2.84	2.78	16.49	0.00	0.00	4.62	0.00	3.27					
2025	159	0.03	2.97	2.90	26.34	0.00	0.00	4.84	0.00	3.25					
2026	164	0.03	3.12	3.04	38.78	0.00	0.00	5.05	0.00	3.21					
2027	169	0.03	3.29	3.21	26.87	0.00	0.00	5.27	0.00	3.17					
2028	175	0.04	3.34	3.30	0.00	0.00	0.00	5.49	0.00	3.29					
2029	181	0.04	3.41	3.37	0.00	0.00	0.00	5.71	0.00	3.29					
2030	187	0.04	3.49	3.45	1.57	0.00	0.00	5.92	0.00	3.29					

Detalles del Tramo:			
ID: Tramo 1.1 NS	Clase de Carretera: Nacional	Rampa + Pendiente: 39.50 m/km	
Descripción: Tramo 1.1 Km 00+000 al Km 32+000	Longitud: 32.00 km	Curvatura: 42.00 %/km	
	Ancho: 5.00 m		



HDM - 4 Gráfico Regularidad Media por Tramos

Detalles del Tramo:			
ID: Tramo 1.2 NS	Clase de Carretera: Nacional	Rampa + Pendiente: 65.20 m/km	
Descripción: Tramo 1.2 Km 32+000 al Km 91+620	Longitud: 59.40 km	Curvatura: 49.00 %/km	
	Ancho: 5.00 m		



4.0 CARRETERA HUAURA – SAYAN

1. DATOS DE ENTRADA

Tramo: Tramo 2 Km 07+000 al Km 17+000

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	Tramo 2 Km 07+000 al Km 17+000	Longitud:	10	km
ID del tramo:	Tramo 1.2	Ancho de calzada:	5.8	m
Nombre ruta:	Tramo 1.2	Ancho de arcén:	0	m
ID de ruta:	T1.2	Número de camiles:	2	
Tipo de vel/cap:	Two Lane Narrow	Tráfico		
Modelo de tráfico:	Commuter	Motorizado:	1386	IMD
Zona climática:	Semi-árid/Tropical	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Nacional	Año:	2011	
Tipo c.rodadura:	Bituminosa	Sentido:	Sentido descendente	
Tipo firme:	Mezcla bituminosa sobre base granular			

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Tramo: Tramo 3 Km 17+000 Km 40+500

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	Tramo 3 Km 17+000 Km 40+500	Longitud:	23.5	km
ID del tramo:	Tramo 1.3	Ancho de calzada:	5.8	m
Nombre ruta:	Tramo 1.3	Ancho de arcén:	0	m
ID de ruta:	T1.3	Número de camiles:	2	
Tipo de vel/cap:	Two Lane Narrow	Tráfico		
Modelo de tráfico:	Commuter	Motorizado:	1386	IMD
Zona climática:	Semi-árid/Tropical	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Nacional	Año:	2011	
Tipo c.rodadura:	Bituminosa	Sentido:	Ambos sentidos	
Tipo firme:	Mezcla bituminosa sobre base granular			

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Tramo: Tramo 4 Km 40+500 Km 44+500

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo: **Tramo 4 Km 40+500 Km 44+500**

ID del tramo: Tramo 1.4

Nombre ruta: Tramo 1.4

ID de ruta: T1.4

Tipo de vel/cap: Two Lane Narrow

Modelo de tráfico: Commuter

Zona climática: Semi-arid/Tropical

Clase carretera: Nacional

Tipo c.rodadura: Bituminosa

Tipo firme: Mezcla bituminosa sobre base granular

Longitud: 4 km

Ancho de calzada: 5.8 m

Ancho de arcén: 0 m

Número de camles: 2

Trafico

Motorizado: 1418 IMD

No motorizado: 0 IMD

Año: 2011

Sentido: Ambos sentidos

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Tramo: Tramo 5 Km 44+500 Km 60+000

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo: **Tramo 5 Km 44+500 Km 60+000**

ID del tramo: Tramo 1.5

Nombre ruta: Tramo 1.5

ID de ruta: T1.5

Tipo de vel/cap: Two Lane Narrow

Modelo de tráfico: Commuter

Zona climática: Semi-arid/Tropical

Clase carretera: Nacional

Tipo c.rodadura: Sin pavimentar

Tipo firme: Grava

Longitud: 15.5 km

Ancho de calzada: 6.6 m

Ancho de arcén: 0 m

Número de camles: 2

Trafico

Motorizado: 419 IMD

No motorizado: 0 IMD

Año: 2011

Sentido: Ambos sentidos

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Tramo: Tramo 6 Km 60+000 Km 99+300

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:

ID del tramo:

Nombre ruta:

ID de ruta:

Tipo de vel/cap:

Modelo de tráfico:

Zona climática:

Clase carretera:

Tipo c.rodadura:

Tipo fime:

Longitud: km

Ancho de calzada: m

Ancho de arcén: m

Número de carriles:

Trafico

Motorizado: IMD

No motorizado: IMD

Año:

Sentido:

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Tramo: Tramo 7 Km 99+300 Km 105+740

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:

ID del tramo:

Nombre ruta:

ID de ruta:

Tipo de vel/cap:

Modelo de tráfico:

Zona climática:

Clase carretera:

Tipo c.rodadura:

Tipo fime:

Longitud: km

Ancho de calzada: m

Ancho de arcén: m

Número de carriles:

Trafico

Motorizado: IMD

No motorizado: IMD

Año:

Sentido:

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

Estándar de mejora: Proy 62. Mejoramiento CAC Huaura

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 3.21

Espesor de capa rodadura: 90 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliente: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

Estándar de mejora: Proy 63. Mejoramiento CAC Huaura

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 3.29

Espesor de capa rodadura: 90 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliente: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

Estándar de mejora: Proy 64. Mejoramiento CAC Huaura

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 3.29

Espesor de capa rodadura: 90 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliente: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

Estándar de mejora: Proy 65. Mejoramiento CAC Huaura

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 3.04

Espesor de capa rodadura: 90 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliente: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

Estándar de mejora: Proy 66. Mejoramiento CAC Huaura

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 2.53

Espesor de capa rodadura: 75 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliencia: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

Estándar de mejora: Proy 67. Mejoramiento CAC Huaura

General | Diseño | Intervención | Costes | Pavimento | Geometría | Efectos

Material capa rodadura: Mezcla bituminosa en caliente

Número estructural estación seca: 3.58

Espesor de capa rodadura: 90 mm

Compactación relativa: 97 %

Base (sólo para base estabilizada)

Espesor base: 25 mm

Módulo Resiliencia: 15 GPa

Aceptar Cancelar

Material para la nueva capa de rodadura

2. DATOS DE SALIDA

H D M - 4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

29/11/2012

Alternativa:		Alternativa 2					Clase carretera:		Nacional							
Tramo:		Tramo 2 Km 07+000 al Km 17+000														
Tipo Firme:		Bituminoso														
Longitud:		10.00km					Ancho:		5.80m							
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct	Espesor árido mm	Escañ. medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	1.455	0.10	4.31	4.26	0.00	0.00	5.88	0.32	0.00	2.56						
2013	1.528	0.10	4.31	4.26	0.00	0.00	2.94	0.16	0.00	2.56						
2014	1.926	0.26	2.31	2.16	0.00	0.00	0.00	3.88	0.00	3.20						
2015	2.119	0.29	2.40	2.36	0.00	0.00	0.00	4.16	0.00	3.20						
2016	2.331	0.32	2.49	2.44	0.00	0.00	0.00	4.44	0.00	3.20						
2017	2.564	0.35	2.59	2.54	0.50	0.00	0.00	4.73	0.00	3.20						
2018	2.821	0.39	2.71	2.65	2.70	0.00	0.00	5.02	0.00	3.20						
2019	3.103	0.42	2.85	2.78	6.93	0.00	0.00	5.31	0.00	3.19						
2020	3.413	0.47	3.01	2.93	13.43	0.00	0.00	5.61	0.00	3.17						
2021	3.754	0.51	3.21	3.11	22.34	0.00	0.00	5.91	0.00	3.13						
2022	4.130	0.56	3.43	3.32	33.78	0.00	0.00	6.21	0.00	3.07						
2023	4.543	0.62	3.74	3.59	47.82	0.00	0.00	6.52	51.27	3.00						
2024	4.997	0.68	4.29	4.02	62.50	0.00	0.00	6.84	150.60	2.90						
2025	5.496	0.75	5.30	4.79	37.26	0.00	0.00	4.12	161.95	2.80						
2026	6.046	0.83	2.35	2.30	0.00	0.00	0.00	1.33	0.00	3.79						
2027	6.651	0.91	2.46	2.40	0.68	0.00	0.00	1.60	0.00	3.79						
2028	7.316	1.00	2.58	2.52	1.91	0.00	0.00	1.86	0.00	3.79						
2029	8.047	1.10	2.71	2.65	4.24	0.00	0.00	2.13	0.00	3.79						
2030	8.852	1.21	2.87	2.79	8.12	0.00	0.00	2.40	0.00	3.78						

HDM-4 Version 1.3

Página 7 de 42

H D M - 4 Resumen del deterioro anual del firme (Combinado)

29/11/2012

Alternativa:		Base					Clase carretera:		Nacional							
Tramo:		Tramo 2 Km 07+000 al Km 17+000														
Tipo Firme:		Bituminoso														
Longitud:		10.00km					Ancho:		5.80m							
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct	Espesor árido mm	Escañ. medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	1.455	0.10	4.31	4.26	0.00	0.00	5.88	0.32	0.00	2.56						
2013	1.528	0.10	4.43	4.37	0.68	0.00	14.37	0.65	0.00	2.56						
2014	1.604	0.11	4.57	4.50	3.06	0.00	23.73	0.97	0.00	2.56						
2015	1.685	0.12	4.72	4.65	7.53	0.00	34.06	1.30	0.00	2.55						
2016	1.769	0.12	4.90	4.81	14.25	0.00	45.44	1.63	0.00	2.55						
2017	1.857	0.13	5.09	4.99	23.37	0.00	57.99	1.96	0.00	2.54						
2018	1.950	0.13	5.31	5.20	35.03	0.00	71.84	2.30	0.00	2.52						
2019	2.048	0.14	5.58	5.45	49.27	0.00	87.10	2.64	36.88	2.50						
2020	2.150	0.15	5.95	5.77	63.69	0.00	103.95	2.98	102.96	2.47						
2021	2.258	0.15	6.48	6.21	75.42	0.00	122.53	3.33	209.27	2.44						
2022	2.371	0.16	7.30	6.89	84.57	0.00	143.06	3.68	365.82	2.43						
2023	2.489	0.17	8.58	7.94	91.18	0.00	165.78	4.04	578.89	2.43						
2024	2.614	0.18	10.46	9.52	91.18	0.00	191.11	4.40	855.93	2.42						
2025	2.744	0.19	13.25	11.86	91.18	0.00	220.09	4.76	1200.40	2.42						
2026	2.881	0.20	16.00	14.62	91.18	0.00	255.52	5.13	1616.76	2.42						
2027	3.025	0.21	16.00	16.00	91.14	0.00	301.34	5.49	2123.08	2.42						
2028	3.177	0.22	16.00	16.00	89.13	0.00	356.10	5.86	2742.64	2.42						
2029	3.336	0.23	16.00	16.00	86.78	0.00	416.52	6.23	3500.47	2.42						
2030	3.502	0.24	16.00	16.00	84.02	0.00	483.24	6.61	4433.90	2.42						

HDM-4 Version 1.3

Página 9 de 42

Alternativa:	Proyecto	Clase carretera:	Nacional
Tramo:	Tramo 2 Km 07+000 al Km 17+000	Ancho:	5.80m
Tipo Firme:	Bituminoso		
Longitud:	10.00km		

Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales											
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espe sor año mm	Esca lon. medio mm	Juntas descon ch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	1.455	0.10	4.31	4.26	0.00	0.00	5.88	0.32	0.00	2.56						
2013	1.528	0.10	4.31	4.26	0.00	0.00	2.94	0.16	0.00	2.56						
2014	1.926	0.26	2.31	2.16	0.00	0.00	0.00	3.88	0.00	3.20						
2015	2.119	0.29	2.40	2.36	0.00	0.00	0.00	4.16	0.00	3.20						
2016	2.331	0.32	2.49	2.44	0.00	0.00	0.00	4.44	0.00	3.20						
2017	2.564	0.35	2.59	2.54	0.00	0.00	0.00	4.73	0.00	3.20						
2018	2.821	0.39	2.71	2.65	2.70	0.00	0.00	5.02	0.00	3.20						
2019	3.103	0.42	2.85	2.78	6.93	0.00	0.00	5.31	0.00	3.19						
2020	3.413	0.47	3.01	2.93	13.43	0.00	0.00	5.61	0.00	3.17						
2021	3.754	0.51	3.21	3.11	22.34	0.00	0.00	5.91	0.00	3.13						
2022	4.130	0.56	3.43	3.32	33.78	0.00	0.00	6.21	0.00	3.07						
2023	4.543	0.62	3.74	3.59	23.91	0.00	0.00	3.75	25.64	3.00						
2024	4.997	0.68	1.89	1.85	0.00	0.00	0.00	1.22	0.00	3.99						
2025	5.496	0.75	1.98	1.94	0.68	0.00	0.00	1.46	0.00	3.99						
2026	6.046	0.83	2.07	2.03	1.91	0.00	0.00	1.71	0.00	3.99						
2027	6.651	0.91	2.18	2.13	4.24	0.00	0.00	1.95	0.00	3.98						
2028	7.316	1.00	2.31	2.24	8.12	0.00	0.00	2.20	0.00	3.98						
2029	8.047	1.10	2.45	2.38	14.09	0.00	0.00	2.46	0.00	3.97						
2030	8.852	1.21	2.63	2.54	22.69	0.00	0.00	2.71	0.00	3.95						

Alternativa:	Alternativa 2	Clase carretera:	Nacional
Tramo:	Tramo 3 Km 17+000 Km 40+500	Ancho:	5.80m
Tipo Firme:	Bituminoso		
Longitud:	23.50km		

Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales											
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espe sor año mm	Esca lon. medio mm	Juntas descon ch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	1.455	0.10	4.30	4.25	0.00	0.00	5.88	0.29	0.00	2.79						
2013	1.528	0.10	4.30	4.25	0.00	0.00	2.94	0.15	0.00	2.79						
2014	1.926	0.26	2.30	2.15	0.00	0.00	0.00	3.76	0.00	3.23						
2015	2.119	0.29	2.39	2.34	0.00	0.00	0.00	4.03	0.00	3.23						
2016	2.331	0.32	2.47	2.43	0.00	0.00	0.00	4.31	0.00	3.23						
2017	2.564	0.35	2.57	2.52	0.50	0.00	0.00	4.59	0.00	3.23						
2018	2.821	0.39	2.69	2.63	2.69	0.00	0.00	4.87	0.00	3.23						
2019	3.103	0.42	2.82	2.75	6.92	0.00	0.00	5.15	0.00	3.27						
2020	3.413	0.47	2.98	2.90	13.41	0.00	0.00	5.44	0.00	3.25						
2021	3.754	0.51	3.16	3.07	22.31	0.00	0.00	5.73	0.00	3.21						
2022	4.130	0.56	3.38	3.27	33.75	0.00	0.00	6.03	0.00	3.15						
2023	4.543	0.62	3.68	3.53	47.77	0.00	0.00	6.33	51.27	3.08						
2024	4.997	0.68	4.21	3.95	62.46	0.00	0.00	6.64	150.60	2.98						
2025	5.496	0.75	5.21	4.71	37.25	0.00	0.00	4.00	161.95	2.87						
2026	6.046	0.83	2.32	2.27	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	3.87						
2027	6.651	0.91	2.42	2.37	0.68	0.00	0.00	1.55	0.00	3.87						
2028	7.316	1.00	2.54	2.48	1.91	0.00	0.00	1.81	0.00	3.87						
2029	8.047	1.10	2.67	2.60	4.24	0.00	0.00	2.07	0.00	3.87						
2030	8.852	1.21	2.82	2.74	8.12	0.00	0.00	2.34	0.00	3.86						

Alternativa: Base		Tramo: Tramo 3 Km 17+000 Km 40+500		Clase carretera: Nacional												
Tipo Firme: Bituminoso		Ancho: 5.80m														
Longitud: 23.50km																
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m2	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct	Espesor arido mm	Escalon. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Figuras det. N/km
2012	1.455	0.10	4.30	4.25	0.00	0.00	5.88	0.29	0.00	2.79						
2013	1.528	0.10	4.41	4.36	0.50	0.00	14.38	0.59	0.00	2.79						
2014	1.604	0.11	4.54	4.48	2.65	0.00	23.76	0.88	0.00	2.79						
2015	1.685	0.12	4.68	4.61	6.83	0.00	34.11	1.18	0.00	2.78						
2016	1.769	0.12	4.84	4.76	13.24	0.00	45.51	1.48	0.00	2.78						
2017	1.857	0.13	5.02	4.93	22.04	0.00	58.09	1.78	0.00	2.77						
2018	1.950	0.13	5.22	5.12	33.36	0.00	71.98	2.08	0.00	2.75						
2019	2.048	0.14	5.47	5.35	47.25	0.00	87.25	2.39	36.87	2.73						
2020	2.150	0.15	5.83	5.65	61.94	0.00	104.12	2.70	102.96	2.70						
2021	2.258	0.15	6.34	6.08	74.01	0.00	122.73	3.02	209.26	2.67						
2022	2.371	0.16	7.14	6.74	83.50	0.00	143.28	3.34	365.82	2.65						
2023	2.489	0.17	8.40	7.77	90.54	0.00	166.02	3.66	578.88	2.65						
2024	2.614	0.18	10.27	9.34	90.54	0.00	191.34	3.99	855.92	2.65						
2025	2.744	0.19	13.02	11.64	90.54	0.00	220.19	4.32	1,198.93	2.65						
2026	2.881	0.20	16.00	14.51	90.54	0.00	255.27	4.65	1,613.51	2.65						
2027	3.025	0.21	16.00	16.00	90.54	0.00	300.80	4.99	2,117.68	2.65						
2028	3.177	0.22	16.00	16.00	89.15	0.00	355.58	5.32	2,734.69	2.65						
2029	3.336	0.23	16.00	16.00	86.81	0.00	416.02	5.66	3,491.08	2.65						
2030	3.502	0.24	16.00	16.00	84.05	0.00	482.76	6.00	4,422.72	2.64						

Alternativa: Proyecto		Tramo: Tramo 3 Km 17+000 Km 40+500		Clase carretera: Nacional												
Tipo Firme: Bituminoso		Ancho: 5.80m														
Longitud: 23.50km																
Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m2	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct	Espesor arido mm	Escalon. medio mm	Juntas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Figuras det. N/km
2012	1.455	0.10	4.30	4.25	0.00	0.00	5.88	0.29	0.00	2.79						
2013	1.528	0.10	4.30	4.25	0.00	0.00	2.94	0.15	0.00	2.79						
2014	1.926	0.26	2.30	2.15	0.00	0.00	0.00	3.76	0.00	3.28						
2015	2.119	0.29	2.39	2.34	0.00	0.00	0.00	4.03	0.00	3.28						
2016	2.331	0.32	2.47	2.43	0.00	0.00	0.00	4.31	0.00	3.28						
2017	2.564	0.35	2.57	2.52	0.50	0.00	0.00	4.59	0.00	3.28						
2018	2.821	0.39	2.69	2.63	2.69	0.00	0.00	4.87	0.00	3.28						
2019	3.103	0.42	2.82	2.75	6.92	0.00	0.00	5.15	0.00	3.27						
2020	3.413	0.47	2.98	2.90	13.41	0.00	0.00	5.44	0.00	3.25						
2021	3.754	0.51	3.16	3.07	22.31	0.00	0.00	5.73	0.00	3.21						
2022	4.130	0.56	3.38	3.27	33.75	0.00	0.00	6.03	0.00	3.15						
2023	4.543	0.62	3.68	3.53	23.89	0.00	0.00	3.64	25.64	3.08						
2024	4.997	0.68	1.87	1.83	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	4.06						
2025	5.496	0.75	1.95	1.91	0.68	0.00	0.00	1.42	0.00	4.06						
2026	6.046	0.83	2.04	2.00	1.91	0.00	0.00	1.66	0.00	4.06						
2027	6.651	0.91	2.15	2.10	4.24	0.00	0.00	1.90	0.00	4.06						
2028	7.316	1.00	2.27	2.21	8.12	0.00	0.00	2.15	0.00	4.05						
2029	8.047	1.10	2.41	2.34	14.09	0.00	0.00	2.40	0.00	4.04						
2030	8.852	1.21	2.58	2.50	22.69	0.00	0.00	2.65	0.00	4.02						

Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches mm	No estruct	Espesor arrido mm	Escalón medio mm	untas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	1.489	0.08	4.30	4.25	0.00	0.00	6.15	0.30	0.00	2.64						
2013	1.563	0.08	4.30	4.25	0.00	0.00	3.08	0.15	0.00	2.64						
2014	1.970	0.21	2.29	2.15	0.00	0.00	0.00	3.64	0.00	3.28						
2015	2.166	0.23	2.37	2.33	0.00	0.00	0.00	3.91	0.00	3.28						
2016	2.383	0.25	2.45	2.41	0.00	0.00	0.00	4.17	0.00	3.28						
2017	2.621	0.27	2.53	2.49	0.00	0.00	0.00	4.45	0.00	3.28						
2018	2.884	0.30	2.63	2.58	1.77	0.00	0.00	4.72	0.00	3.28						
2019	3.172	0.33	2.75	2.69	5.32	0.00	0.00	5.00	0.00	3.27						
2020	3.489	0.36	2.89	2.82	11.07	0.00	0.00	5.28	0.00	3.26						
2021	3.838	0.40	3.06	2.98	19.17	0.00	0.00	5.56	0.00	3.22						
2022	4.222	0.44	3.25	3.15	29.78	0.00	0.00	5.85	0.00	3.17						
2023	4.644	0.48	3.48	3.36	43.01	0.00	0.00	6.14	0.00	3.09						
2024	5.108	0.53	3.86	3.67	58.03	0.00	0.00	6.44	92.61	3.00						
2025	5.619	0.59	4.68	4.27	35.45	0.00	0.00	3.88	129.58	2.89						
2026	6.181	0.64	2.15	2.11	0.00	0.00	0.00	1.26	0.00	3.89						
2027	6.799	0.71	2.24	2.20	0.68	0.00	0.00	1.50	0.00	3.89						
2028	7.479	0.78	2.34	2.29	1.91	0.00	0.00	1.76	0.00	3.89						
2029	8.227	0.86	2.46	2.40	4.24	0.00	0.00	2.01	0.00	3.88						
2030	9.050	0.94	2.59	2.52	8.12	0.00	0.00	2.26	0.00	3.88						

Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches mm	No estruct	Espesor arrido mm	Escalón medio mm	untas desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	1.489	0.08	4.30	4.25	0.00	0.00	6.15	0.30	0.00	2.64						
2013	1.563	0.08	4.41	4.36	0.50	0.00	15.05	0.61	0.00	2.64						
2014	1.642	0.09	4.54	4.48	2.65	0.00	24.87	0.91	0.00	2.64						
2015	1.724	0.09	4.68	4.61	6.83	0.00	35.69	1.22	0.00	2.64						
2016	1.810	0.09	4.84	4.76	13.23	0.00	47.63	1.53	0.00	2.63						
2017	1.900	0.10	5.02	4.93	22.03	0.00	60.79	1.84	0.00	2.61						
2018	1.995	0.10	5.22	5.12	33.35	0.00	75.30	2.15	0.00	2.59						
2019	2.095	0.11	5.45	5.34	47.29	0.00	91.31	2.47	0.00	2.55						
2020	2.200	0.11	5.73	5.59	62.00	0.00	108.96	2.79	45.04	2.51						
2021	2.310	0.12	6.10	5.91	74.10	0.00	128.44	3.12	117.42	2.46						
2022	2.425	0.13	6.62	6.36	83.62	0.00	149.94	3.45	223.01	2.44						
2023	2.547	0.13	7.39	7.00	90.69	0.00	173.69	3.79	364.29	2.44						
2024	2.674	0.14	8.44	7.91	90.69	0.00	199.98	4.12	543.94	2.43						
2025	2.808	0.15	9.91	9.17	90.69	0.00	229.26	4.47	759.62	2.43						
2026	2.948	0.15	11.89	10.90	90.69	0.00	262.41	4.81	1,010.85	2.43						
2027	3.095	0.16	14.84	13.22	90.69	0.00	301.46	5.15	1,304.86	2.43						
2028	3.250	0.17	16.00	15.27	90.69	0.00	350.23	5.50	1,650.65	2.43						
2029	3.413	0.18	16.00	16.00	89.36	0.00	410.90	5.85	2,059.43	2.43						
2030	3.583	0.19	16.00	16.00	87.33	0.00	480.76	6.20	2,542.52	2.43						

Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches mm	No estruct	Espe sor arido mm	Esca lon. medio mm	Juntas descon ch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	1.489	0.08	4.30	4.25	0.00	0.00	6.15	0.30	0.00	2.64						
2013	1.563	0.08	4.30	4.25	0.00	0.00	3.08	0.15	0.00	2.64						
2014	1.970	0.21	2.29	2.15	0.00	0.00	0.00	3.64	0.00	3.28						
2015	2.166	0.23	2.37	2.33	0.00	0.00	0.00	3.91	0.00	3.28						
2016	2.383	0.25	2.45	2.41	0.00	0.00	0.00	4.17	0.00	3.28						
2017	2.621	0.27	2.53	2.49	0.00	0.00	0.00	4.45	0.00	3.28						
2018	2.864	0.30	2.63	2.58	1.77	0.00	0.00	4.72	0.00	3.28						
2019	3.172	0.33	2.75	2.69	5.32	0.00	0.00	5.00	0.00	3.27						
2020	3.489	0.36	2.89	2.82	11.07	0.00	0.00	5.28	0.00	3.26						
2021	3.838	0.40	3.06	2.98	19.17	0.00	0.00	5.56	0.00	3.22						
2022	4.222	0.44	3.25	3.15	29.78	0.00	0.00	5.85	0.00	3.17						
2023	4.644	0.48	3.48	3.36	43.01	0.00	0.00	6.14	0.00	3.09						
2024	5.108	0.53	3.86	3.67	29.02	0.00	0.00	3.71	46.31	3.00						
2025	5.619	0.59	1.92	1.88	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	3.99						
2026	6.181	0.64	2.00	1.96	0.68	0.00	0.00	1.44	0.00	3.99						
2027	6.799	0.71	2.09	2.04	1.91	0.00	0.00	1.68	0.00	3.99						
2028	7.479	0.78	2.19	2.14	4.24	0.00	0.00	1.92	0.00	3.99						
2029	8.227	0.86	2.31	2.25	8.12	0.00	0.00	2.17	0.00	3.98						
2030	9.050	0.94	2.45	2.38	14.09	0.00	0.00	2.42	0.00	3.97						

Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. arridos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches mm	No estruct	Espe sor arido mm	Esca lon. medio mm	Juntas descon ch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	440	0.06		14.20							51					
2013	462	0.06		14.20							51					
2014	583	0.16	2.31	2.15	0.00	0.00	0.00	3.91	0.00	3.03						
2015	641	0.18	2.39	2.35	0.00	0.00	0.00	4.19	0.00	3.03						
2016	705	0.20	2.47	2.43	0.00	0.00	0.00	4.47	0.00	3.03						
2017	776	0.22	2.56	2.51	0.00	0.00	0.00	4.76	0.00	3.03						
2018	864	0.24	2.66	2.61	1.79	0.00	0.00	5.06	0.00	3.03						
2019	939	0.26	2.79	2.73	5.35	0.00	0.00	5.35	0.00	3.03						
2020	1.033	0.29	2.93	2.86	11.11	0.00	0.00	5.65	0.00	3.01						
2021	1.136	0.32	3.10	3.02	19.23	0.00	0.00	5.95	0.00	2.98						
2022	1.250	0.35	3.30	3.20	29.86	0.00	0.00	6.26	0.00	2.92						
2023	1.375	0.38	3.53	3.42	43.10	0.00	0.00	6.57	0.00	2.88						
2024	1.512	0.42	3.80	3.67	58.23	0.00	0.00	6.89	0.00	2.76						
2025	1.664	0.47	4.09	3.95	71.22	0.00	0.00	7.21	0.00	2.65						
2026	1.830	0.51	4.46	4.28	81.51	0.00	0.00	7.54	82.81	2.60						
2027	2.013	0.56	5.02	4.74	44.65	0.00	0.00	4.53	99.80	2.59						
2028	2.214	0.62	2.27	2.22	0.00	0.00	0.00	1.45	0.00	3.59						
2029	2.436	0.68	2.38	2.32	0.68	0.00	0.00	1.72	0.00	3.59						
2030	2.679	0.75	2.49	2.43	1.91	0.00	0.00	1.99	0.00	3.59						

Alternativa: Base Tramo: Tramo 5 Km 44+500 Km 60+000 Clase carretera Nacional Tipo Firme: Sin Pavimentar Longitud: 15.50km Ancho: 6.60m																	
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales												
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m 2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espe sor árido mm	Escalón. medio mm	Junta s desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km	
2012	440	0.06		14.20								51					
2013	462	0.06		20.66								0					
2014	485	0.07		22.30								0					
2015	509	0.07		22.49								0					
2016	535	0.07		22.50								0					
2017	562	0.08		22.50								0					
2018	590	0.08		22.51								0					
2019	619	0.09		22.51								0					
2020	650	0.09		22.51								0					
2021	683	0.10		22.51								0					
2022	717	0.10		22.51								0					
2023	752	0.11		22.51								0					
2024	790	0.11		22.51								0					
2025	830	0.12		22.51								0					
2026	871	0.12		22.51								0					
2027	915	0.13		22.51								0					
2028	960	0.13		22.51								0					
2029	1,008	0.14		22.51								0					
2030	1,059	0.15		22.51								0					

Alternativa: Proyecto Tramo: Tramo 5 Km 44+500 Km 60+000 Clase carretera Nacional Tipo Firme: Sin Pavimentar Longitud: 15.50km Ancho: 6.60m																	
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales												
					Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m 2	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espe sor árido mm	Escalón. medio mm	Junta s desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km	
2012	440	0.06		14.20								51					
2013	462	0.06		14.20								51					
2014	583	0.16	2.31	2.15	0.00	0.00	0.00	3.91	0.00	3.03							
2015	641	0.18	2.39	2.35	0.00	0.00	0.00	4.19	0.00	3.03							
2016	705	0.20	2.47	2.43	0.00	0.00	0.00	4.47	0.00	3.03							
2017	776	0.22	2.56	2.51	0.00	0.00	0.00	4.76	0.00	3.03							
2018	854	0.24	2.66	2.61	1.79	0.00	0.00	5.06	0.00	3.03							
2019	939	0.26	2.79	2.73	5.35	0.00	0.00	5.35	0.00	3.03							
2020	1,033	0.29	2.93	2.86	11.11	0.00	0.00	5.65	0.00	3.01							
2021	1,136	0.32	3.10	3.02	19.23	0.00	0.00	5.95	0.00	2.98							
2022	1,250	0.35	3.30	3.20	29.86	0.00	0.00	6.26	0.00	2.92							
2023	1,375	0.38	3.53	3.42	21.55	0.00	0.00	3.78	0.00	2.86							
2024	1,512	0.42	1.83	1.79	0.00	0.00	0.00	1.22	0.00	3.64							
2025	1,664	0.47	1.90	1.86	0.68	0.00	0.00	1.46	0.00	3.64							
2026	1,830	0.51	1.99	1.94	1.91	0.00	0.00	1.71	0.00	3.83							
2027	2,013	0.56	2.08	2.03	4.24	0.00	0.00	1.95	0.00	3.83							
2028	2,214	0.62	2.19	2.14	8.12	0.00	0.00	2.20	0.00	3.83							
2029	2,436	0.68	2.32	2.26	14.09	0.00	0.00	2.45	0.00	3.82							
2030	2,679	0.75	2.48	2.40	22.69	0.00	0.00	2.71	0.00	3.80							

Año		TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m 2	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct.	Espesor árido mm	Escalon. medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	323	0.04			13.84							58					
2013	340	0.05			13.84							58					
2014	455	0.12	2.36	2.18		0.00	0.00	4.42	4.89	0.00	2.53						
2015	500	0.14	2.46	2.41		0.00	0.00	6.03	5.23	0.00	2.53						
2016	550	0.15	2.56	2.51		0.00	0.00	7.98	5.57	0.00	2.53						
2017	605	0.16	2.67	2.62		0.50	0.00	10.34	5.92	0.00	2.53						
2018	666	0.18	2.80	2.74		2.68	0.00	13.19	6.27	0.00	2.52						
2019	732	0.20	2.96	2.88		6.89	0.00	16.64	6.62	0.00	2.52						
2020	805	0.22	3.13	3.04		13.35	0.00	20.82	6.98	0.00	2.50						
2021	886	0.24	3.34	3.24		22.21	0.00	25.87	7.34	0.00	2.47						
2022	974	0.27	3.58	3.46		33.60	0.00	31.99	7.71	0.00	2.42						
2023	1,072	0.29	3.86	3.72		47.63	0.00	39.41	8.08	0.00	2.36						
2024	1,179	0.32	4.19	4.03		62.41	0.00	48.38	8.46	0.00	2.28						
2025	1,297	0.35	4.57	4.38		37.24	0.00	29.64	5.09	26.02	2.19						
2026	1,427	0.39	2.16	2.11		0.00	0.00	6.60	1.62	0.00	3.18						
2027	1,569	0.43	2.26	2.21		0.68	0.00	14.58	1.91	0.00	3.18						
2028	1,726	0.47	2.38	2.32		1.87	0.00	24.28	2.21	0.00	3.18						
2029	1,899	0.52	2.51	2.45		4.13	0.00	36.06	2.51	0.00	3.18						
2030	2,089	0.57	2.66	2.59		7.90	0.00	50.38	2.82	0.00	3.17						

Año		TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. años %	Rotura borde m 2	Prof. rodadura mm	No. de baches	No estruct.	Espesor árido mm	Escalon. medio mm	Junta desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	323	0.04			13.84							58					
2013	340	0.05			21.22							14					
2014	357	0.05			23.98							0					
2015	374	0.05			24.57							0					
2016	393	0.05			24.66							0					
2017	413	0.06			24.67							0					
2018	433	0.06			24.68							0					
2019	455	0.06			24.68							0					
2020	478	0.06			24.68							0					
2021	502	0.07			24.68							0					
2022	527	0.07			24.68							0					
2023	553	0.07			24.68							0					
2024	581	0.08			24.68							0					
2025	610	0.08			24.68							0					
2026	640	0.09			24.68							0					
2027	672	0.09			24.68							0					
2028	706	0.10			24.68							0					
2029	741	0.10			24.68							0					
2030	778	0.11			24.68							0					

Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. añdos %	Rotura borde m 2	Prof. roderra mm	No. de baches	No estruct.	Espeor árido mm	Escalón. medio mm	Juntae desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	323	0.04		13.84							58					
2013	340	0.05		13.84							58					
2014	455	0.12	2.36	2.18	0.00	0.00	4.42	4.89	0.00	2.53						
2015	500	0.14	2.46	2.41	0.00	0.00	6.03	5.23	0.00	2.53						
2016	550	0.15	2.56	2.51	0.00	0.00	7.98	5.57	0.00	2.53						
2017	605	0.16	2.67	2.62	0.50	0.00	10.34	5.92	0.00	2.53						
2018	666	0.18	2.80	2.74	2.68	0.00	13.19	6.27	0.00	2.52						
2019	732	0.20	2.96	2.88	6.89	0.00	16.64	6.62	0.00	2.52						
2020	805	0.22	3.13	3.04	13.35	0.00	20.82	6.98	0.00	2.50						
2021	886	0.24	3.34	3.24	22.21	0.00	25.87	7.34	0.00	2.47						
2022	974	0.27	3.58	3.46	16.80	0.00	16.00	4.44	0.00	2.42						
2023	1,072	0.29	1.85	1.81	0.00	0.00	3.71	1.42	0.00	3.41						
2024	1,179	0.32	1.92	1.88	0.61	0.00	8.19	1.68	0.00	3.41						
2025	1,297	0.35	2.01	1.97	1.74	0.00	13.63	1.95	0.00	3.40						
2026	1,427	0.39	2.11	2.06	3.91	0.00	20.21	2.22	0.00	3.40						
2027	1,569	0.43	2.23	2.17	7.57	0.00	28.20	2.49	0.00	3.40						
2028	1,726	0.47	2.36	2.29	13.23	0.00	37.90	2.77	0.00	3.39						
2029	1,899	0.52	2.52	2.44	21.44	0.00	49.68	3.05	0.00	3.37						
2030	2,089	0.57	2.71	2.62	32.81	0.00	64.00	3.33	0.00	3.34						

Valores Medios Anuales																
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Todas fis. estr. %	Desp. añdos %	Rotura borde m 2	Prof. roderra mm	No. de baches	No estruct.	Espeor árido mm	Escalón. medio mm	Juntae desconch %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km
2012	323	0.04		13.30							58					
2013	340	0.05		13.30							58					
2014	434	0.12	2.25	2.12	0.00	0.00	6.23	3.07	0.00	3.57						
2015	477	0.13	2.31	2.28	0.00	0.00	8.47	3.30	0.00	3.57						
2016	525	0.14	2.37	2.34	0.00	0.00	11.17	3.53	0.00	3.57						
2017	577	0.16	2.44	2.40	0.00	0.00	14.44	3.76	0.00	3.57						
2018	635	0.17	2.50	2.47	0.00	0.00	18.40	3.99	0.00	3.57						
2019	696	0.19	2.58	2.54	1.09	0.00	23.19	4.23	0.00	3.57						
2020	768	0.21	2.67	2.63	3.99	0.00	28.99	4.47	0.00	3.57						
2021	845	0.23	2.78	2.73	9.00	0.00	36.01	4.71	0.00	3.56						
2022	929	0.25	2.91	2.85	16.32	0.00	44.50	4.95	0.00	3.53						
2023	1,022	0.28	3.06	2.99	26.08	0.00	54.78	5.20	0.00	3.49						
2024	1,125	0.30	3.24	3.15	38.39	0.00	67.23	5.45	0.00	3.43						
2025	1,237	0.33	3.45	3.35	53.25	0.00	82.32	5.71	0.00	3.35						
2026	1,361	0.37	3.66	3.55	67.07	0.00	100.60	5.97	0.00	3.25						
2027	1,497	0.40	3.91	3.79	78.16	0.00	122.75	6.23	49.57	3.15						
2028	1,646	0.44	4.26	4.09	86.70	0.00	149.64	6.51	124.67	3.13						
2029	1,811	0.49	4.75	4.51	45.46	0.00	91.16	3.90	114.34	3.13						
2030	1,992	0.54	2.14	2.11	0.00	0.00	19.87	1.24	0.00	4.13						

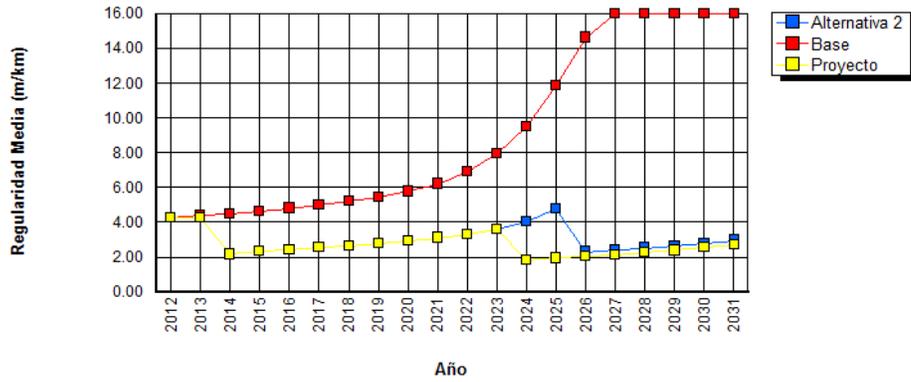
Alternativa: Base		Tramo: Tramo 7 Km 99+300 Km 105+740		Clase carretera: Nacional													
Tipo Firme: Sin Pavimentar		Ancho: 4.00m															
Longitud: 5.10km																	
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales												
					Todas fis. estr. %	Desp. añidos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espeor arido mm	Escalon. medio mm	Junta desconh %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km	
2012	323	0.04		13.30								58					
2013	340	0.05		19.99								16					
2014	357	0.05		22.50								0					
2015	374	0.05		23.33								0					
2016	393	0.05		23.60								0					
2017	413	0.06		23.63								0					
2018	433	0.06		23.63								0					
2019	455	0.06		23.63								0					
2020	478	0.06		23.63								0					
2021	502	0.07		23.63								0					
2022	527	0.07		23.63								0					
2023	553	0.07		23.63								0					
2024	581	0.08		23.63								0					
2025	610	0.08		23.63								0					
2026	640	0.09		23.63								0					
2027	672	0.09		23.63								0					
2028	706	0.10		23.63								0					
2029	741	0.10		23.63								0					
2030	778	0.11		23.63								0					

Alternativa: Proyecto		Tramo: Tramo 7 Km 99+300 Km 105+740		Clase carretera: Nacional													
Tipo Firme: Sin Pavimentar		Ancho: 4.00m															
Longitud: 5.10km																	
Año	TM IMD	ESAL millones/ ELANE	IRI ant. m/km	IRI medio m/km	Valores Medios Anuales												
					Todas fis. estr. %	Desp. añidos %	Rotura borde m ²	Prof. rodera mm	No. de baches	No estruct.	Espeor arido mm	Escalon. medio mm	Junta desconh %	No de fallos por km	Losas fisuradas %	Fisuras det. N/km	
2012	323	0.04		13.30								58					
2013	340	0.05		13.30								58					
2014	434	0.12	2.25	2.12	0.00	0.00	6.23	3.07	0.00	3.57							
2015	477	0.13	2.31	2.28	0.00	0.00	8.47	3.30	0.00	3.57							
2016	525	0.14	2.37	2.34	0.00	0.00	11.17	3.53	0.00	3.57							
2017	577	0.16	2.44	2.40	0.00	0.00	14.44	3.76	0.00	3.57							
2018	635	0.17	2.50	2.47	0.00	0.00	18.40	3.99	0.00	3.57							
2019	696	0.19	2.58	2.54	1.09	0.00	23.19	4.23	0.00	3.57							
2020	768	0.21	2.67	2.63	3.99	0.00	28.99	4.47	0.00	3.57							
2021	845	0.23	2.76	2.73	9.00	0.00	36.01	4.71	0.00	3.56							
2022	929	0.25	2.91	2.65	16.32	0.00	44.50	4.95	0.00	3.53							
2023	1.022	0.28	3.06	2.99	26.08	0.00	54.78	5.20	0.00	3.49							
2024	1.125	0.30	3.24	3.15	38.39	0.00	67.23	5.45	0.00	3.43							
2025	1.237	0.33	3.45	3.35	53.25	0.00	82.32	5.71	0.00	3.35							
2026	1.361	0.37	3.66	3.55	33.54	0.00	50.30	3.44	0.00	3.25							
2027	1.497	0.40	1.86	1.83	0.00	0.00	11.08	1.11	0.00	4.24							
2028	1.646	0.44	1.92	1.89	0.68	0.00	24.51	1.32	0.00	4.24							
2029	1.811	0.49	1.99	1.95	1.84	0.00	40.83	1.53	0.00	4.24							
2030	1.992	0.54	2.07	2.03	4.04	0.00	60.67	1.75	0.00	4.24							

HDM-4 Gráfico Regularidad Media por Tramos

Detalles del Tramo:

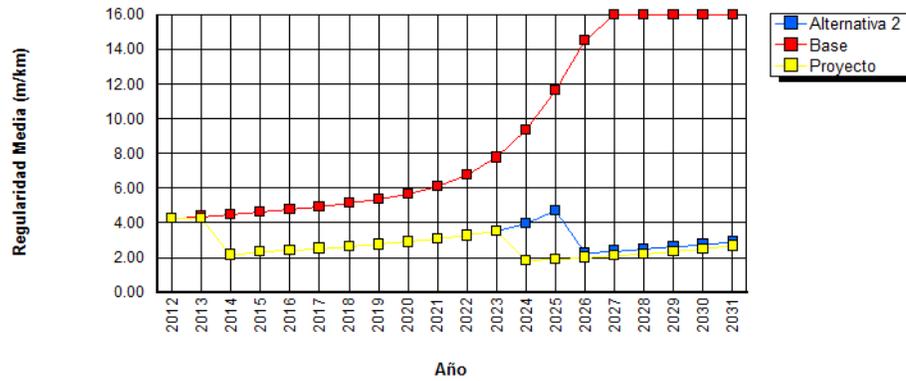
ID: Tramo 1.2 Clase de Carretera: Nacional Rama + Pendiente: 12.20 m/km
 Descripción: Tramo 2 Km 07+000 al Km 17+000 Longitud: 10.00 km Curvatura: 9.40 %/km
 Ancho: 5.80 m



HDM-4 Gráfico Regularidad Media por Tramos

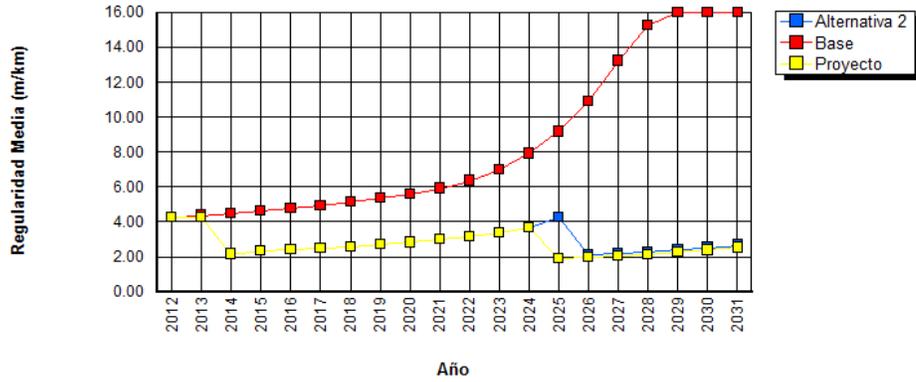
Detalles del Tramo:

ID: Tramo 1.3 Clase de Carretera: Nacional Rama + Pendiente: 15.90 m/km
 Descripción: Tramo 3 Km 17+000 Km 40+500 Longitud: 23.50 km Curvatura: 15.90 %/km
 Ancho: 5.80 m



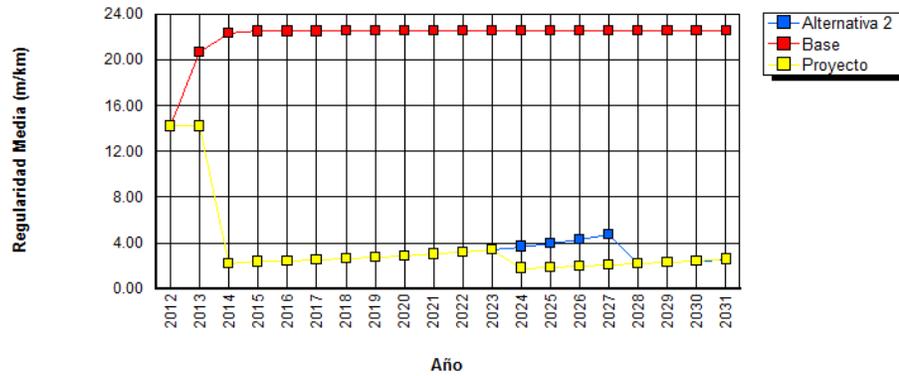
Detalles del Tramo:

ID: Tramo 1.4 Clase de Carretera: Nacional
 Descripción: Tramo 4 Km 40+500 Km 44+500 Longitud: 4.00 km Rama + Pendiente: 12.50 m/km
 Ancho: 5.80 m Curvatura: 35.10 °/km



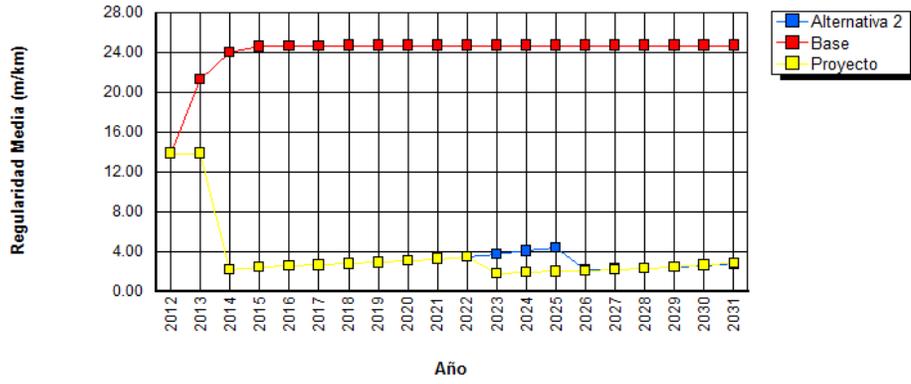
Detalles del Tramo:

ID: Tramo 1.5 Clase de Carretera: Nacional
 Descripción: Tramo 5 Km 44+500 Km 60+000 Longitud: 15.50 km Rama + Pendiente: 34.10 m/km
 Ancho: 6.60 m Curvatura: 78.30 °/km



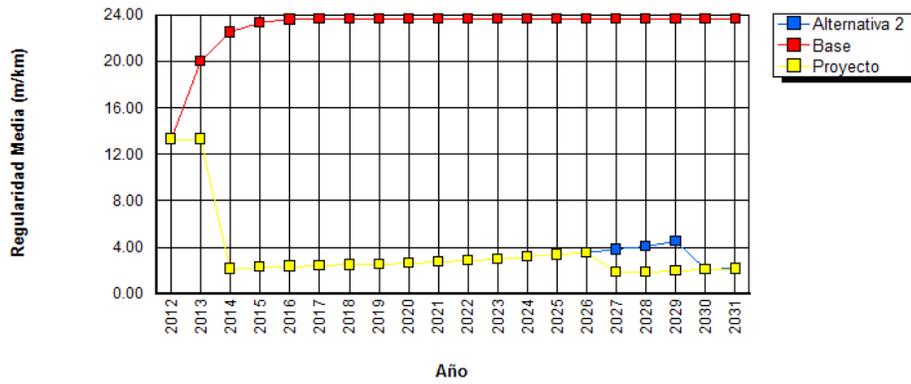
Detalles del Tramo:

ID: Tramo 1.6 Clase de Carretera: Nacional
 Descripción: Tramo 6 Km 60+000 Km 99+300 Longitud: 39.30 km Rama + Pendiente: 60.20 m/km
 Ancho: 4.40 m Curvatura: 217.50 °/km



Detalles del Tramo:

ID: Tramo 1.7 Clase de Carretera: Nacional
 Descripción: Tramo 7 Km 99+300 Km 105+740 Longitud: 5.10 km Rama + Pendiente: 44.80 m/km
 Ancho: 4.00 m Curvatura: 176.60 °/km



En el cuadro se puede apreciar los 49 estudios de los cuales fueron recogidos las 20 carreteras estudiadas.

Relación de estudios de carreteras de la Red Vial Nacional

N	Nombre del Proyecto	Fecha Viabilidad
1	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA AYACUCHO - ABANCAY	17/08/2007
2	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHONGOYAPE-COCHABAMBA-CAJAMARCA	24/10/2007
3	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUAURA - SAYAN - CHURIN	14/06/2012
4	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA PE-3N LONGITUDINAL DE LA SIERRA NORTE, TRAMO COCHABAMBA-CUTERVO-SANTO DOMINGO DE LA CAPILLA-CHIPLE	05/10/2012
5	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA PUERTO BERMUDEZ - SAN ALEJANDRO	16/09/2009
6	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TINGO MARIA -AGUAYTIA- PUCALLPA	30/05/2002
7	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA QUINUA-SAN FRANCISCO	31/03/2008
8	CARRETERA VILLARICA-PUERTO BERMUDEZ	07/09/2010
9	CONSTRUCCION Y MEJORAMIENTO CARRETERA CAMANA – DV.QUILCA – MATARANI – ILO - TACNA	08/11/2007
10	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA IZCUCHACA-HUANTA, TRAMO IZCUCHACA-MAYOCC	07/11/2012
11	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCAMELICA - LIRCAY	24/07/2012
12	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA SAN MARCOS -CAJABAMBA-SAUSACOCHA	12/08/2009
13	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA DV. TOCACHE-TOCACHE	09/09/2005
14	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA YAURI-NEGROMAYO-OSCOLLO-IMATA, TRAMO DV. IMATA-OSCOLLO-NEGROMAYO	28/02/2011
15	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAJAMARCA-CELENDÍN-BALZAS	01/04/2005
16	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA SATIPO-MAZAMARI-DV. PANGOA- PUERTO OCOPA	11/03/2009
17	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRUJILLO - SHIRAN - HUAMACHUCO	30/06/2005
18	ECUADOR	02/05/2006
19	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHILETE-SAN PABLO- EMP. R03-N	21/02/2008
20	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA LIMA-CANTA-LA VIUDA-UNISH	19/05/2005
21	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHAMAYA-JAÉN-SAN IGNACIO-RÍO CANCHIS	26/04/2004
22	HUANTA	27/09/2012
23	VILLA RICA	24/02/2010
25	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CASMA-YAUTAN-HUARAZ	30/06/2004
26	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA IMPERIAL PAMPAS	02/07/2012
27	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHURIN - OYON	19/02/2009
28	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA: SANTA- HUALLANCA	07/09/2007
29	MEJORAMIENTO Y CONSTRUCCION DE LA CARRETERA RUTA 10 TRAMO: HUAMACHUCO - PUENTE PALLAR - JUANJUI, SECTOR: HUAMACHUCO - SACSACOCHA - PUENTE PALLAR	23/03/2009
30	MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DE LA CARRETERA SULLANA - EL ALAMOR DEL EJE VIAL N 2 DE INTERCONEXION VIAL PERÚ - ECUADOR	02/10/2009
31	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA EMP. KM. 65 PANAMERICANA NORTE- HUANCABAMBA, TRAMO: BUENOS AIRES - CANCHAQUE	03/12/2004
32	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA PUENTE PAUCARTAMBO-OXAPAMPA	04/05/2004
33	ASILLO	25/07/2007
34	CONSTRUCCION DE LA AMPLIACION DE UNA SEGUNDA CALZADA DEL TRAMO DV. AEROPUERTO PUCALLPA-CEMENTERIO JARDIN DEL BUEN RECUERDO	17/08/2011
35	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUARAL - ACOS	11/10/2007
36	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA RODRIGUEZ DE MENDOZA - EMPALME RUTA PE-5N LA CALZADA, TRAMO SELVA ALEGRE-EMPALME RUTA PE-5N LA CALZADA	19/04/2012
37	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA INGENIO-CHACHAPOYAS	10/12/2004
38	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA MALA - CALANGO - LA CAPILLA	15/12/2010
39	SAYAN	02/05/2012
40	CONSTRUCCION DE LA VÍA DE EVITAMIENTO A LA CIUDAD DE PIURA	10/05/2005
41	CONSTRUCCION DE LA VÍA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE	07/04/2005
42	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA LUNAHUANÁ-DV. YAUYOS-CHUPACA	17/03/2006
43	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ZAÑA - CAYALTI - OYOTUN	16/03/2007
44	CONSTRUCCION DE LA VIA DE EVITAMIENTO DE LA CIUDAD DE ABANCAY	31/05/2012
45	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA DV. HUANTA- QUINUA	27/07/2004
46	REHABILITACION DE LA CARRETERA OVALO CHANCAY - HUARAL	21/06/2010
47	REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA SANTIAGO DE CHUCO-SHOREY	17/09/2007
48	CULMINACION DE LA CONSTRUCCION DE LA AUTOPISTA PIMENTEL CHICLAYO	25/05/2012
49	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA ILAVE-MAZOCRUZ, TRAMO: ILAVE – CHECCA	07/10/2011

Fuente: Banco de Proyectos del SNIP – Estudios de carreteras asfaltadas con viabilidad