

REPOSITORIO ACADÉMICO UPC

Análisis y diseño vial de la avenida Mártir Olaya ubicada en el distrito de Lurín del departamento de Lima

Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Arias Choque, Tony Waldo; Sarmiento Soto, Juan Alberto
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	28/11/2024 00:18:54
Item License	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/
Link to Item	http://hdl.handle.net/10757/528141

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS Y DISEÑO VIAL DE LA AVENIDA MARTIR OLAYA
UBICADA EN EL DISTRITO DE LURÍN DEL DEPARTAMENTO DE
LIMA”**

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

**JUAN ALBERTO SARMIENTO SOTO
TONY WALDO ARIAS CHOQUE**

Lima, marzo 2015

A nuestros padres

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación ha contado con el apoyo incondicional del Dr Andrés Sotil Chavez, por ello queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento por su asesoramiento así también aplaudimos su dedicación y entrega en la docencia.

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo el análisis y diseño de pavimentos de la avenida Mártir Olaya, ubicada en el distrito de Lurín, Lima. Este proyecto se ha desarrollado para solucionar la problemática de esta avenida, las cuales radican en el deterioro de la carpeta de rodadura generada principalmente por un alto tránsito pesado y la carencia de una señalización vial que no permite el flujo libre de vehículos, al mismo tiempo no brinda seguridad a los conductores y transeúntes. Este proyecto será desarrollado empleando la metodología de diseño utilizada en el Perú así como los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de presente país.

Para el diseño de pavimento flexible propuesto en esta tesis, se emplearán registros de conteos del tráfico de la avenida en cuestión, proporcionados por la Municipalidad Distrital de Lurín, los cuales fueron realizados durante una semana continua en el año 2011. Asimismo, para el cálculo de los espesores de las capas que conformarán la estructura del pavimento flexible se utilizará la metodología AASTHO 93 y aparte se empleará la nueva metodología AASTHO 2008 o también conocida como el método mecanístico empírico o MEPDG. Cabe resaltar que esta última metodología se realizará a menor detalle ya que todavía no se encuentra implementado en el Perú y debido a que no se cuentan con los datos necesarios de la zona y las condiciones del tráfico a mayor detalle que exige este método, los datos faltantes se asumirán por defecto del mismo programa.

Finalmente se llegará a una propuesta final dando la solución más pertinente en cuanto a los problemas y/o la situación actual encontrada en la avenida Mártir Olaya.

TABLA DE CONTENIDOS

Agradecimientos	4
RESUMEN	4
INTRODUCCION.....	1
Descripción General del Proyecto	3
Objetivo del Proyecto	3
Ubicación y accesibilidad.....	4
Características Generales.....	6
Áreas de Influencia.....	9
Condiciones actuales de la señalización vial	16
MARCO TEORICO	20
Diseño de Pavimentos	20
Pavimento Flexible.....	21
Criterios de Diseño del Pavimento Flexible	22
Método AASHTO	23
Método Marshall	27
Métodos Mecánístico empírico –MEPDG	31
Proceso Constructivo del Pavimento Flexible.....	36
Clasificación de Vehículos	39
Ejes Equivalentes.....	39
Tipos de Fallas.....	41
Capacidad Portante de la sub-rasante (CBR)	42
Estudio y Diseño Vial.....	43
Intensidad del Trafico	43
Señales de Tránsito.....	45
Teoría de Flujo Vehicular.....	53
SITUACION ACTUAL – DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA	54
Capacidad Vial Actual.....	56
Composición Vehicular	56
Condiciones Actuales del Pavimento	58

ANALISIS Y RESULTADOS	63
Diseño de Pavimentos	63
Determinación de la matriz vehicular.....	63
Determinación del número de ejes equivalentes	64
Diseño.....	67
Señalización Vial	98
Señales Horizontales.....	98
Señales Verticales.....	99
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFIA	104

INTRODUCCION

La presente tesis tiene como objetivo el análisis y diseño de pavimentos de la avenida MÁrtir Olaya, ubicada en el distrito de Lurín, Lima. Este proyecto se ha desarrollado para solucionar la problemática de esta avenida, las cuales radican en el deterioro de la carpeta de rodadura generada principalmente por un alto tránsito pesado y la carencia de una señalización vial que no permite el flujo libre de vehículos, al mismo tiempo no brinda seguridad a los conductores y transeúntes. Este proyecto será desarrollado empleando la metodología de diseño utilizada en el Perú así como los manuales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de presente país.

Para el diseño de pavimento flexible propuesto en esta tesis, se emplearán registros de conteos del tráfico de la avenida en cuestión, proporcionados por la Municipalidad Distrital de Lurín, los cuales fueron realizados durante una semana continua en el año 2011. Asimismo, para el cálculo de los espesores de las capas que conformarán la estructura del pavimento flexible se utilizará la metodología AASTHO 93 y aparte se empleará la nueva metodología AASTHO 2008 o también conocida como el método mecanístico empírico o MEPDG. Cabe resaltar que esta última metodología se realizará a menor detalle ya que todavía no se encuentra implementado en el Perú y debido a que no se cuentan con los datos necesarios de la zona y las condiciones del tráfico a mayor detalle que exige este método, los datos faltantes se asumirán por defecto del mismo programa.

Por otra parte, la señalización de la avenida se realizará de acuerdo a los reglamentos vigentes y/o a los manuales que proporciona el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Se terminará la tesis proponiendo un plano de señalización con los datos más relevantes de la vía y las características respectivas de las señales de tránsito que se colocarán.

Finalmente se llegará a una propuesta final dando la solución más pertinente en cuanto a los problemas y/o la situación actual encontrada en la avenida Mártir Olaya.

Descripción General del Proyecto

El proyecto desarrollado en esta tesis (de ahora en adelante referido como “el proyecto”) consiste en la pavimentación y señalización vial de la avenida Mártir Olaya, la cual se encuentra ubicada en el distrito de Lurín del departamento de Lima. Esta vía cuenta con 2 carriles de 3.6 metros de ancho y aproximadamente 2.4 km de longitud. La vía está ubicada dentro de la zona del Asentamiento Humano Los Jardines de Nuevo Lurín y el ex fundo Huarangal. Asimismo, cabe mencionar que estas zonas poseen un sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado desde el año 1995. Además, hace pocos años, también ya se han incorporado servicios tales como energía eléctrica, alumbrado público, de telefonía e internet que corren a través de los 2.4 km de la avenida¹.

Actualmente, el deterioro de la capa de rodadura de la avenida Mártir Olaya afecta directamente las familias que viven allí, ya que contribuye a aumentar los índices de contaminación ambiental, dañan el patrimonio público y privado, y dificultan el desplazamiento normal de las personas y vehículos. A su vez, dicho deterioro origina mayores costos operativos de los vehículos, pérdidas de tiempo de viaje de los peatones y aislamiento con los centros industriales, de servicio y comercio.

Objetivo del Proyecto

El principal objetivo de este proyecto es realizar un análisis y diseño de pavimentos de la avenida Mártir Olaya con la finalidad de adaptar la superficie de rodadura a los requerimientos de tráfico pesado y garantizar una mejor seguridad vial a los usuarios, para que de esta manera la vía se constituya como la principal avenida que conecta la Antigua Carretera Panamericana Sur con la Urb. Fundo Paso Chico, Urb. La Estancia de Lurín, Urb. Las Praderas de Lurín, la Quebrada de Pucara, C.P. Huarangal y otros poblados. En el presente trabajo se diseñará la estructura del pavimento para que transmita las cargas del tráfico de manera satisfactoria por un periodo determinado de

¹ Cfr. Municipalidad Distrital de Lurín 2011

tiempo, sin necesidad de realizar grandes mantenimientos presentes y futuros a la estructura. Por otra parte, también se realizará una propuesta para la señalización vial de la avenida, tanto horizontal como vertical.

Ubicación y accesibilidad

Ubicación

La avenida Mártir Olaya se inicia a la altura del Km 39 de la Antigua carretera Panamericana Sur, margen izquierda de la ruta Lima - Ica, del distrito de Lurín, provincia y departamento de Lima. A su vez, como ya se mencionó, esta avenida pertenece al A.H. los Jardines de nuevo Lurín y el ex fundo Huarangal, los cuales se encuentran dentro de la zona A y B respectivamente, según la sectorización del distrito de Lurín como se puede observar en la Figura 1. Este asentamiento humano y centro poblado presenta los siguientes límites²:

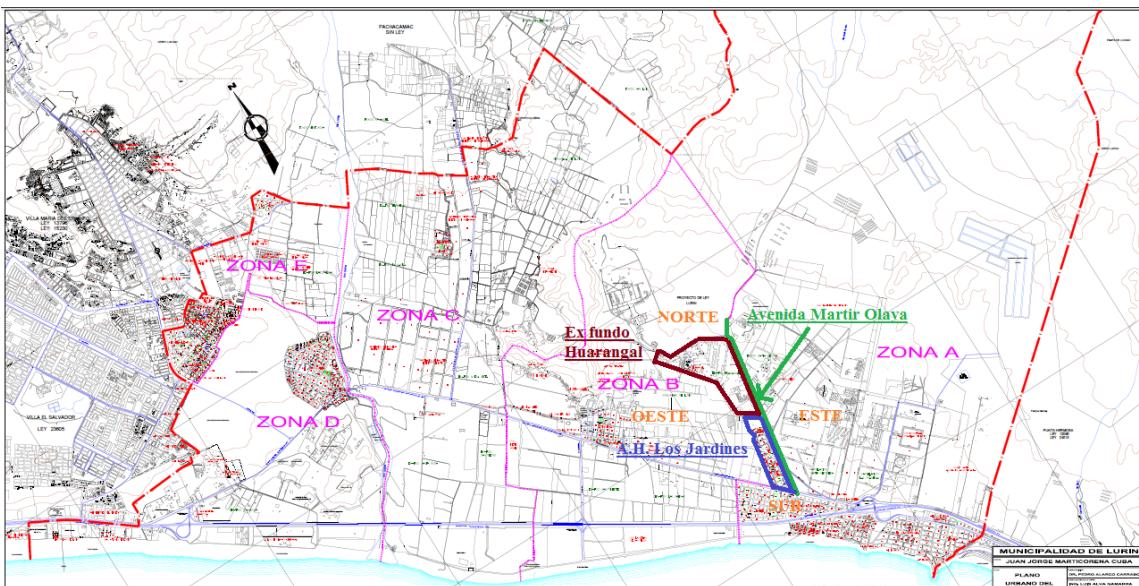
Norte : Empresa Soldexa S.A.

Sur : Urb. Los Claveles y A.H. Nuevo Lurín II etapa

Este : Urb. Fundo Paso Chico y Parcelación Santa Genoveva

Oeste : Urb. Nuevo Lurín y Comunidad de Lurín

Figura 1: Zonificación del área del proyecto



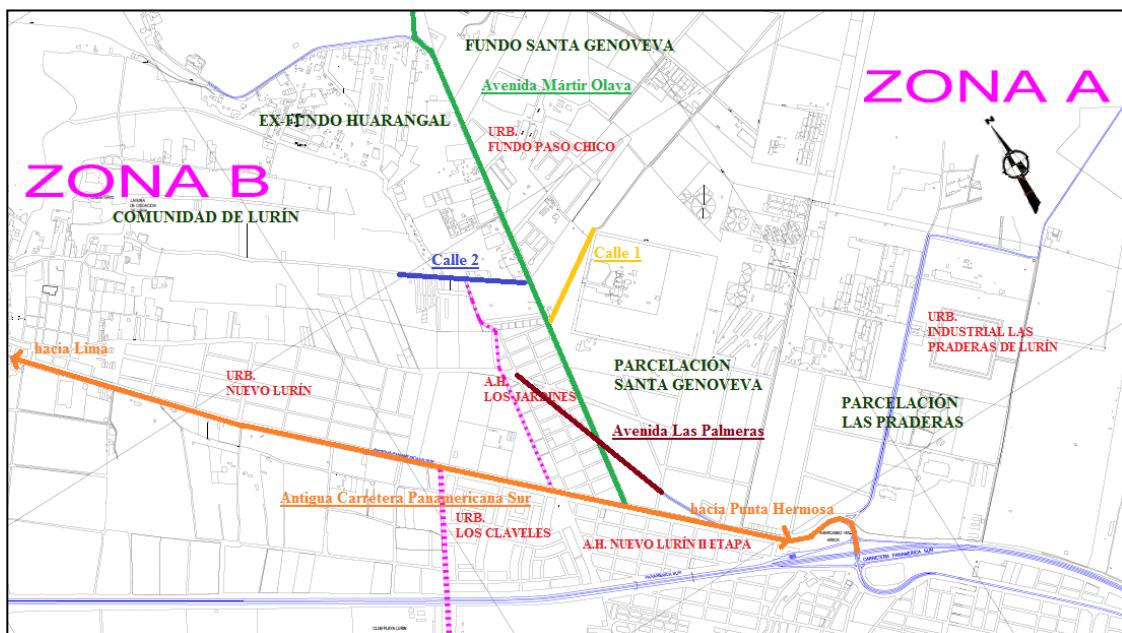
² Cfr. Municipalidad Distrital de Lurín 2011

Fuente: Municipalidad Distrital de Lurín 2011

El distrito de Lurín se encuentra compuesto por cinco zonas: Zona A, Zona B, Zona C, Zona D y Zona E. En la figura 1, se puede apreciar que la zona A y la zona B son las que tienen dentro de sus límites a la avenida Mártir Olaya.

A continuación, la Figura 2 muestra un plano de la avenida en cuestión, en donde se puede observar las zonas aledañas así como también su área de influencia a mayor escala.

Figura 2: Ubicación de áreas de influencia y accesos



Fuente: Municipalidad Distrital de Lurín 2011

Accesos

Como se pueden ver en la Figura 2, se contemplan 4 vías principales de las cuales solo dos se pueden identificar con nombre propio según señalizaciones y registro encontrados en la municipalidad de Lurín. Dentro estas dos avenidas encontramos la antigua Carretera Panamericana Sur y la Avenida las Palmeras, sin embargo las otras dos avenidas no tienen un nombre específico por lo que se optará darle por nombre de Calle 1 y Calle 2. Asimismo, es preciso mencionar que los demás accesos que aparecen

en la Figura 2 son avenidas proyectadas a futuro, las cuales encuentran definidas por la municipalidad distrital de Lurín.

Por otra parte, también se puede indicar la ubicación a lo largo de la avenida Mártir Olaya de los accesos mencionados anteriormente, asumiendo la intersección de esta con la Antigua Carretera Panamericana Sur como la progresiva 0+000. Por lo tanto se tendría lo siguiente:

Antigua Carretera Panamericana Sur: Progresiva 0+000

Avenida Las Palmeras: Progresiva 0+300

Avenida Calle 1: Progresiva 0+890

Avenida Calle 2: Progresiva 0+990

Características Generales

En este subcapítulo se presentarán todos los aspectos y factores más relevantes, tanto naturales como sociales, que han de tener influencia en El Proyecto y que tienen que ver netamente el entorno que lo rodea.

Aspectos Geográficos

Área: La Zona A del km 40 tiene una superficie 87.21 km² equivalente al 65.79% del área total del Distrito de Lurín. Por su parte, la Zona B del distrito abarca una superficie menor pero no menos importante, llegando a tener 14.05 km² y ocupando así un 10.94% del área total del distrito. Cabe mencionar que las zonas donde se encuentra la avenida en cuestión son urbanas e industriales. Las delimitaciones de dichas zonas se pueden visualizar en el Figura 1 presentada anteriormente.

Clima y Geología: La zona presenta un clima templado, cuya temperatura máxima en verano alcanza los 30°C y la temperatura mínima en invierno es de 11°C. Por otro lado,

la precipitación pluvial es casi nula, no sobrepasando los 30 mm en promedio anual³, la cual está relacionada con la formación de alta nubosidad que existe en el invierno, precipitando finas garúas debido a la conocida influencia de las aguas frías marinas que bordean la costa peruana.

Durante los meses de verano, hay vientos fuertes del mar que soplan en horas de la tarde, los cuales en combinación con el sol intenso, el aire seco de estos meses y la presencia de capas de arena origina el aumento de la evapotranspiración, causando la erosión del suelo y pequeños remolinos de viento.

La mayor parte del terreno tiene una topografía ondulada con pendientes menores a 5% y una baja presencia de vegetación. Por su lado, los vientos son la única fuerza de erosión, causando la condición desértica absoluta. Por último, la zona presenta un suelo de origen aluvial, con grandes depósitos de arena eólica de densidad variable.

Aspectos Demográficos, Sociales y Económicos

Evolución de la población: Según INEI⁴ – Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda, la tasa de crecimiento poblacional del distrito de Lurín equivale al 2.0%. Es importante mencionar que ya en el año 1993 el Distrito de Lurín tenía 12 Asentamientos Humanos, en los que vivían 23 305 habitantes, en 5 539 viviendas. Sin embargo, para el 2003, los Asentamientos Humanos llegaban a 23, albergando a una población de 34 491 habitantes, en 6 684 viviendas. Estas cifras están demostrando el vertiginoso crecimiento demográfico que viene experimentando el distrito de Lurín.

Concentración de la población: La zona A y la zona B del Distrito de Lurín tiene una densidad de ocupación de 755 hab/km² y 257 hab/km² respectivamente de acuerdo a datos obtenidos del INEI-Censos Nacionales 2007 – XI de Población y VI de Vivienda y de la Municipalidad Distrital.

³ Cfr. Senamhi 2012

⁴ INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

Composición de la Población: La población estimada para el distrito de Lurín, según el censo Nacional del INEI 2007, es de 62 940 habitantes los cuales representan el 0.83% de la población total del departamento de Lima. Por su parte, la población actual de la zona A y zona B de Lurín, consideradas como el ámbito de influencia del proyecto asciende a 22 438 y 10 612 habitantes respectivamente.⁵

Niveles socioeconómicos: Según información proporcionada por MINTRA-OSEL⁶ Lima Sur, en el cono sur, en el cuarto trimestre de 2010 el ingreso promedio mensual de la población ocupada fue de 1 087 nuevos soles. Se observa que mientras mayor es el nivel educativo, mayor es el ingreso laboral recibido en promedio. La diferencia es más evidente entre el nivel educativo superior no universitario y el superior universitario. En el primero de ellos, el ingreso asciende a 962 Nuevos Soles mientras que en el segundo a 1 mil 937 nuevos soles. Por otra parte, más de la mitad de las personas ocupadas en el cono sur, sólo tienen educación secundaria, percibiendo un ingreso promedio de 935 nuevos soles en promedio.⁷

Servicios Públicos: el 95% de la zona A y zona B del Distrito de Lurín cuenta con sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado; además las familias están conectadas al servicio de energía eléctrica en las viviendas y alumbrado público. En el ámbito de la zona de influencia del proyecto hay dos Centros Educativos, un Centro de Salud, empresas dedicadas a diversas industrias, canteras, centros agrícolas, centro de ganaderías y urbanizaciones donde la avenida es un medio de conexión a estos lugares.

Aspectos sobre las viviendas aledañas: Las viviendas construidas en el área de influencia del proyecto son aproximadamente un 95% de material noble es decir paredes de ladrillo y techos de concreto.⁸

⁵ Cfr. INEI 2013

⁶ MINTRA-OSEL: Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo

⁷ Cfr. MINTRA 2012

⁸ Cfr. Municipalidad Distrital de Lurín 2011

Áreas de Influencia

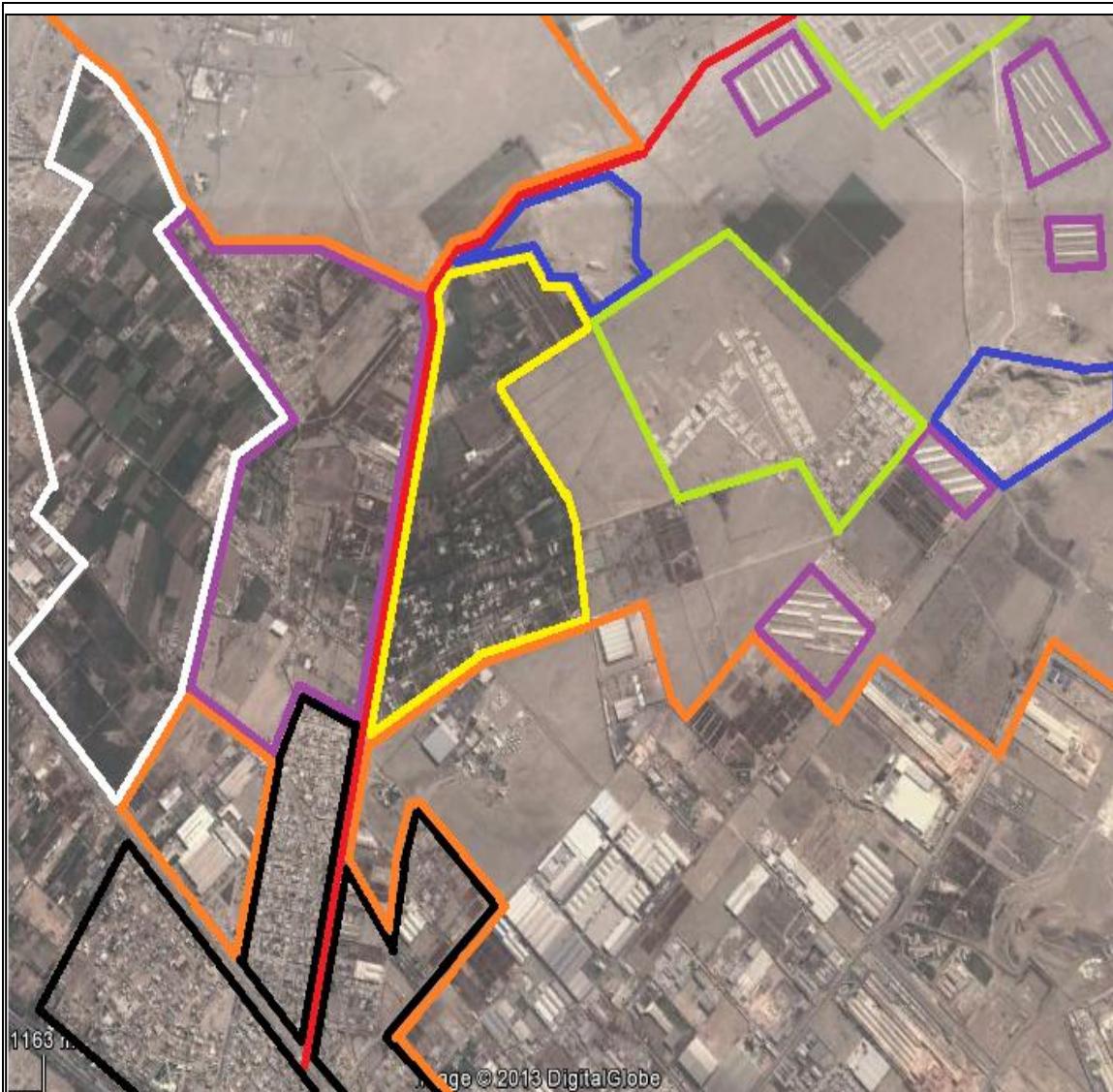
La zonificación que presenta las zonas aledañas a la avenida Mártir Olaya es, en su mayoría, del tipo residencial, urbana e industrial. Dentro de la zona residencial se puede ubicar al Fundo Paso Chico. Éste cuenta con un área de aproximadamente 300 hectáreas, las cuales se encuentran divididas en casas unifamiliares de por lo menos 1000 m² de área cada una.

Por otro lado, en lo que se refiere a la zona urbana, se observó la presencia de sectores urbanos con niveles socioeconómicos bajos, medios y altos ya existentes a lo largo de la avenida, asimismo con respecto a esta misma clasificación, se logró visualizar las construcciones de nuevas urbanizaciones tales como “Las Praderas de Lurín” y “La Estancia de Lurín, cabe mencionar que para el periodo 2013-2014, según los registros municipales, no existen más proyectos residenciales aparte de estos mencionados.

Por último, con respecto al sector industrial, encontramos a la empresa SOLDEXA S.A, el camal frigorífico Santa Genoveva, al centro de antenas parabólicas de la Telefónica, centros de engorde de ganado vacuno, criaderos de pollos, zonas destinadas a la agricultura y canteras utilizadas para la extracción de agregados.

A continuación, estos lugares indicados líneas arriba serán ubicados en la Figura 3, en donde se podrá visualizar la influencia que posee cada establecimiento o tipos de edificación en las generaciones y aumentos de viajes que tienen los usuarios. En esta figura se ha identificado sectores aledaños a la avenida Mártir Olaya, los cuales influyen en mayor proporción en la generación de viajes que se realiza por la vía analizada.

Figura 3: Zonas de influencia de la Avenida Mártir Olaya



Leyenda:

- Avenida Mártir Olaya
- Zona Residencial “Fundo Paso Chico”
- Zona Residencial “Las Praderas de Lurín” y “La Estancia de Lurín”
- Zona Industrial “Antenas de Telefónica”, “Empresa Soldexa”, etc.
- Canteras
- Centros de engorde de ganado vacuno y criaderos de pollos
- Áreas destinadas al sector agricultura
- Asentamientos Humanos

Fuente: Google Earth

Edificaciones con diferente uso de suelo

Como se mencionó anteriormente, se debe tener en cuenta la influencia según el uso del suelo, a continuación los puntos de mayor generación de viajes en la Avenida Mártir Olaya.

- Fundo Paso Chico

Al ser una Urbanización con la propuesta de atraer a todas las familias que deseen vivir a las afueras de Lima, pero que no sea a más de 25 ó 30 minutos de tiempo de ésta, el Fundo Paso Chico, que tiene su entrada principal en la avenida Mártir Olaya como se puede apreciar en la Figura 4, se convierte en un foco de atracción de vehículos livianos, es por ello que el parque automotor se verá afectado en consideración.

Figura 4: Entrada a la Zona Residencial Paso Chico



Fuente: Elaboración Propia

- Las Praderas de Lurín y la Estancia de Lurín

Estos proyectos son iniciativas del Ministerio de Vivienda que, mediante el Programa Techo Propio, busca el desarrollo social en el mercado inmobiliario para todas aquellas personas que deseen establecer residencia en el distrito de Lurín. Aunque aún no se haya completado la construcción al 100% de éstos, es posible proyectar un incremento considerable de todo tipo de automóviles. En las Figuras 5 y 6 se muestran los carteles publicitarios de estas nuevas zonas residenciales.

Figura 5: Cartel de desvío para “Las Praderas de Lurín”



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6: Cartel de desvío para “La Estancia de Lurín”



Fuente: Elaboración Propia

- Soldexa S.A.

Es una empresa considerada como líder en la tecnología de unión y cortes de materiales, al incorporar entre sus líneas de negocios la automatización de procesos de soldadura, máquinas de corte y planchas bimetálicas. Además, Soldexsa cuenta con una flota de vehículos pesados así como trabajos con empresas transportistas para el desempeño de

sus labores. Al trabajar con empresas de diversos distritos, el tráfico pesado es alto durante la jornada laboral. En la Figura 7 se puede apreciar la única entrada que posee esta empresa.

Figura 7: Puerta de entrada de la empresa Soldexa S.A. – Progresiva 2+200 de la Av. Mártir Olaya



Fuente: Elaboración Propia

- Camal Frigorífico Santa Genoveva

El Camal Frigorífico recibe y expende cantidades moderadas de ganado vacuno, ovino y porcino en vehículos pesados, así también, ofrece venta de hielo en escamas con máquinas industriales y fertilizantes naturales, por lo que también hace uso de vehículo de menor tamaño. En las Figuras 8 y 9 se pueden apreciar la entrada de este establecimiento que se encuentra en la misma avenida y las actividades rutinarias que se realizan dentro de este lugar.

Figura 8: Entrada al camal Santa Genoveva – Progresiva 0+800 de la Av. Mártir Olaya



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9: Actividad que se realiza en el camal Santa Genoveva



Fuente: Elaboración Propia

- Estación terrena de Lurín - Telefónica del Perú

Es un centro donde se encuentran las Antenas Parabólicas que se encargan de transmitir las señales vía satélite. Este establecimiento genera viajes de ómnibus y camiones los cuales son usados para el transporte de su personal y para el mantenimiento general de sus equipos. A continuación, en las Figuras 10 y 11 se mostrarán la entrada y las zonas

exteriores de esta estación las cuales se encuentran a 100 metros aproximadamente de la calle 1 que es uno de los accesos de la avenida Mártir Olaya.

Figura 10: Estación de antenas de Telefónica



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11: Plano abierto de estación de antenas de Telefónica



Fuente: Elaboración Propria

- Canteras

Las canteras existentes en la zona aledaña generan un alto tránsito de vehículos pesados que solo encuentran acceso de entrada y salida por la avenida Mártir Olaya. Por esta

razón, a los vehículos que se dirigen a estas canteras se les puede considerar como las mayores fuentes de daño al pavimento.

Figura 12: Volquete cargado de material de cantera – Progresiva 2+300 de la Av. Mártir Olaya



Fuente: Elaboración Propia

Condiciones actuales de la señalización vial

Para la evaluación de la señalización vial de la avenida Mártir Olaya debemos partir de lo que se estipula en los manuales del MTC⁹. Este último indica que toda avenida construida deberá contar con su respectiva señalización vial, tanto las señales verticales como las horizontales, con la finalidad de salvaguardar la seguridad de los usuarios de la vía así como la de los peatones. También menciona que la vía deberá ser evaluada para considerar implementar otros dispositivos de control de tránsito como semáforos o letreros de pare. En primer lugar, se comenzará con identificar los cruces con más tránsito en la actualidad, estos cruces están plasmados en el plano de catastro de la Municipalidad Distrital de Lurín mostrado anteriormente (Figura 2).

Luego, siguiendo con el análisis de la avenida Mártir Olaya, se procedió a realizar varias visitas a campo y se logró visualizar la inexistencia de las diferentes señales viales tanto verticales como horizontales, véase Figuras 13, 14, 15 y 16, las cuales se deben colocar en el cruce con las avenidas colectoras que derivan en la vía analizada.

⁹ MTC: Ministerio de transportes y comunicaciones

Las dimensiones, los colores, las posiciones y los tipos de señales que se deben colocar son especificados en los manuales del MTC de señalización y la seguridad vial en calles y avenidas, las cuales se implementarán en planos de la avenida en capítulos posteriores. Además, con respecto a este mismo problema, se observó que las gibas colocadas anteriormente fueron desgastadas por el tránsito de los vehículos pesados. Es decir, su diseño no fue el más adecuado para cubrir con las condiciones actuales de la avenida véase Figura 17.

Figura 13: Progresiva 0+000 – Intersección de la Av. Mártir Olaya con la Antigua Panamericana Sur. Vista de N-S



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14: Progresiva 0+320 – Intersección de la Av. Mártir Olaya con la Av. Las Palmeras. Vista de N-S



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15: Progresiva 0+890 – Intersección de la Av. Mártir Olaya con la Av. Calle
1. Vista de S-N



Fuente: Elaboración Propia

Figura 16: Progresiva 0+990 – Intersección de la Av. Mártir Olaya con la Av. Calle
2. Vista de S-N



Fuente: Elaboración Propia

Figura 17: Progresiva 0+895 – Giba desgastada por la circulación de vehículos pesados



Fuente: Elaboración Propia

Una vez conocidos todas las características generales, las áreas de influencia y las condiciones actuales de la señalización vial de la avenida Mártir Olaya, y teniendo claro el objetivo de la presente tesis, en el capítulo siguiente se procederá a describir los conceptos necesarios que serán utilizados para realizar la propuesta del diseño de pavimento y señalización vial de la avenida Mártir Olaya.

MARCO TEORICO

En el entorno teórico - práctico se diseñan y construyen pavimentos rígidos y flexibles, donde la principal diferencia entre estos son los materiales empleados en su elaboración, de tal manera que estos les brindan propiedades físicas que hacen que el pavimento trabaje de diferente manera. Más allá de las características especiales de cada tipo, los dos cumplen con la función básica necesaria en un pavimento, por ello la elección de cual usar depende de factores geográficos, demográficos y socioeconómicos.

Para el presente proyecto se ha establecido el uso del Pavimento Flexible como único a emplear, principalmente para darle continuidad a la zona donde se encuentra la Avenida Mártir Olaya, ya que toda la zona posee pavimento flexible. Otro de los motivos por el cual se decidió usar este tipo de pavimento es porque los costos iniciales para la construcción de este son menores que los de un pavimento rígido.

Diseño de Pavimentos

El diseño de pavimentos ha sido gradualmente desarrollado en base a conocimientos empíricos - científicos, sin embargo hasta el día de hoy juegan un rol importante. En 1920 el espesor de un pavimento era calculado puramente con la experiencia constructiva, de tal manera que con la mayor experiencia ganada con los años, diferentes personajes desarrollaron métodos de diseño para calcular el espesor del pavimento.

Los pavimentos de las avenidas deben de ser los más adecuados y abarcar los requerimientos mínimos exigidos tanto por el tránsito actual como por el futuro. Entonces, con respecto al pavimento se puede precisar que, la función principal de este elemento estructural es de proveer una superficie adecuada al tránsito y distribuir las cargas aplicadas por el mismo sin que estas sobrepasen las tensiones admisibles de las distintas capas del pavimento y del suelo de fundación.

Pavimento Flexible

Los pavimentos flexibles consisten en agregados minerales seleccionados, unidos por una ligante bituminosa. El asfalto incluye una gran variedad de aplicación en pavimentos que van de tratamientos superficiales delgados a gruesas capas de concreto asfáltico¹⁰. Generalmente está conformado por cuatro capas o también conocidos como componentes estructurales:

Sub rasante

Es la capa más profunda de toda la estructura, además es la base del pavimento y su espesor es considerado como infinito con escasas excepciones. Estos suelos pertenecientes a la sub rasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 6%. En el caso que sea menor(sub rasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geosintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico.

Sub base

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($CBR \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

Base granular

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Esta capa será de material granular ($CBR \geq 80\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. A su vez esta capa debe ser de mejor calidad y granulometría que la sub base.

Carpeta asfáltica

¹⁰ Cfr. Robinson 2004

Es la capa superior del pavimento flexible y es colocada sobre la base granular con la finalidad de sostener directamente el tránsito. Asimismo es la capa de mejor calidad debido a que debe ofrecer características como fricción, suavidad, control de ruido y drenaje.

Criterios de Diseño del Pavimento Flexible

El pavimento trabaja de tal forma que se evita la deformación de la capa de rodadura por acción de las cargas estáticas y dinámicas significativas. Sin embargo, no se puede concluir que no se produce deformación alguna, ya que debido al deterioro en el tiempo se presentaran fallas, es por eso que también se debe proveer mantenimiento constante hasta la colocación de un nuevo pavimento o reparación del mismo.

El objetivo es diseñar una ruta para transportar el tráfico de manera satisfactoria por un período determinado de tiempo sin necesidad de grandes mantenimiento a la estructura (rehabilitación). Las decisiones deben tomarse sobre la cantidad de deterioro que puede ser tolerada y en una condición que sea aceptable al final del período de diseño. Las opiniones difieren sobre estos temas entre los ingenieros de diferentes países, y entre los usuarios de la carretera. Mientras que los ingenieros están preocupados por los problemas estructurales, los usuarios de las carreteras se enfocan principalmente en la calidad del viaje como lo resbaladizo de la carretera, la congestión y la seguridad.

Los fracasos se dan cuando el pavimento requiere una rehabilitación o reconstrucción ya que el deterioro no puede ser corregido por el mantenimiento de rutina o periódico. Por ejemplo, la superficie de pavimento de asfalto en un clima seco se puede fisurar antes de que la calidad de conducción se vea afectada y que los usuarios de la carretera empiecen a quejarse. Con el sellado de grietas se puede extender la vida del pavimento, la formación de grietas suele ser una falla estructural que requiere una reparación costosa. Por otro lado, una carretera antigua que comprende una base sin consolidar y un tratamiento superficial simple puede llegar a ser muy desigual a través de parches de mantenimiento, que se realizan durante muchos años, aunque mantengan buenas condiciones estructurales.

La forma más común para equilibrar los aspectos conflictivos de diseño es utilizar el principio de minimizar el costo total de la carretera durante toda su vida útil, es decir, el costo total de construcción y mantenimiento de la carretera. A medida que la carretera se deteriora, el usuario hace que la carretera aumente su costo. Al hacer suposiciones realistas sobre el futuro mantenimiento y comportamiento en carretera bajo diferentes estrategias de mantenimiento la vía puede ser diseñada para minimizar los costos totales durante el período de diseño.”¹¹

Método AASHTO

El método de diseño AASHTO fue desarrollado a partir de los resultados de la prueba de carretera AASHTO que se llevaron a cabo durante 1959 y 1960¹², y es probablemente el método más ampliamente utilizado en todo el mundo. Una serie de conceptos importantes surgieron del examen práctico que se utiliza en otros métodos de diseño y se resumen a continuación.

En primer lugar, un sistema de calificación del pavimento fue desarrollado como parte de la prueba de manejo. En segundo lugar, a un amplio panel de usuarios de carretera se les pidió que condujeran a través de una variedad de caminos diferentes e indicar su opinión de las condiciones en una escala entre 0 (mala) a 5 (excelente). El promedio de calificación obtenida por cada camino se llama “Present Serviceability Rating” o PSR por sus siglas en inglés. Esto se correlaciona luego con mediciones objetivas de la rugosidad, ahuellamiento, formación de grietas y parches, de los cuales la rugosidad fue el factor dominante. El objetivo es medir el Índice actual de serviciabilidad o "Present Serviceability Index" (PSI):

Ecuación 1:

Índice Actual de Serviciabilidad

$$PSI = 5.0 - b_1 \log R - b_2 RD^2 - b_3 (C + P)^{0.5}$$

¹¹ Cfr. Robinson 2004

¹² Cfr. Consejo de Investigación de Carreteras 1962

Dónde:

R : Rugosidad (pulgada por milla)

RD : Profundidad de la huella (pulgadas)

C : Craqueo (Porcentaje)

P : Parche (Porcentaje)

b1, b2, b3 : Coeficientes de acuerdo a la capa (sin unidades)

PSI : Índice de Condición del Pavimento (sin unidades)

El conteo del tráfico se debe traducir en “ejes equivalentes” para un conteo y suma uniforme de las cargas aportadas por cada tipo de vehículo.

La resistencia de la subrasante se correlaciona con el módulo de elasticidad obtenido en laboratorio.

En este método, el espesor de las capas puede variar dependiendo de la calidad del material utilizado y del tráfico de la vía.

Este método de diseño basa el resultado en un factor denominado “Número estructural”, obtenido de la sumatoria de los coeficientes estructural y espesores de cada capa pero también se puede conocer valores típicos, ver Anexo 1 y 2.

Ecuación 2:

Número Estructural

$$SN = \sum_i ai * hi$$

Dónde:

a : Coeficientes de resistencia del material

h : Ancho del tipo de capa

Los coeficientes de resistencia “a” están relacionados con los ensayos de resistencia del material estándar. Por ejemplo, se ha derivado una relación entre el coeficiente de resistencia para una base de piedra triturada (a₂) y su valor de CBR. Del mismo modo, este valor de a₂ se ha relacionado con la resistencia a la compresión no confinada. Por otra parte, los coeficientes para los materiales de asfalto son muy dependientes de la temperatura; por ello los valores más bajos se deben utilizar en climas más cálidos.

Los factores ambientales son considerados en el diseño de pavimentos representados como un "factor regional" (R), el cual afectará directamente a la estimación del tráfico existente. Por lo tanto, en las zonas cálidas y áridas, donde no existe excesiva presencia de agua y humedad en el pavimento, se supone que un diseño adecuado está relacionado con un factor regional bajo. Por el contrario, en las zonas húmedas, el factor regional es alto. Estos valores oscilan entre 0,2 en zonas áridas y 5,0 en las zonas húmedas. A pesar de la importancia del factor regional en el proceso de diseño, no hay una guía detallada que se utilice para la selección de su valor. Varios métodos se han utilizado en los Estados Unidos, pero, esencialmente, que están basados en "ingeniería de juicio", o son un medio para calibrar el método de diseño AASHTO por lo que está de acuerdo con los gráficos de diseño. Estos enfoques son válidos siempre que el comportamiento de los pavimentos en la región se conozca. Los exámenes prácticos demuestran de manera espectacular la variabilidad que se puede tener en el desempeño de los pavimentos. El método de diseño permite una elección de los diferentes niveles de confiabilidad seleccionados sobre la base de la clase de carretera y la política de la administración de carreteras los cuales se toman en cuenta para su posterior diseño.

La ecuación de diseño AASHTO relaciona la capacidad de tráfico de carga en términos de ejes equivalentes estándar (ponderada por un factor regional) a número estructural, en donde la resistencia de la sub rasante se expresa en términos de módulo resiliente; el PSI original, el valor PSI seleccionado para definir la condición terminal es usado para determinar el nivel de confiabilidad. A primera vista la ecuación parece compleja pero en realidad es bastante sencilla:

Ecuación 3:

Método ASHHTO 93

$$\begin{aligned} \log W_{8.2} = Z * S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) + & \left[\frac{\log_{10} [(PSI_0 - PSI_f)/(4.2 - 1.5)]}{0.4 + (1094/(SN + 1)^{5.19})} \right] \\ & + 2.32 \log_{10} M_R - 8.27 \end{aligned}$$

Dónde:

$W_{8.2}$: Trafico Acumulado Ponderado

Z : Desviación de la normal

S_0 : Desviación Estándar del Tráfico

SN : Número Estructural

PSI : Índice de Condición del Pavimento

Mr : Módulo de Resilencia de la sub-rasante

El método AASHTO 93 presenta los siguientes pasos:

Estimación de la carga total convertidas a ejes equivalentes para la vida útil de diseño.

Multiplicar el tráfico por un factor regional correctivo.

Calcular la resistencia de la sub rasante, en términos de módulo de elasticidad (esto es 1500 CBR en libras por pulgada cuadrada a la unidad imperial) ponderada como sea necesario para las condiciones mensuales.

Seleccione la pérdida de capacidad de servicio ($PSI_0 - PSI_f$) típicamente entre 2,0 y 3,0.

Seleccione el nivel de confiabilidad y la desviación estándar del rendimiento local de 0,35 a 0,45 en la escala de $\log W_{8.2}$.

Usar un nomograma para encontrar SN , o usar la ecuación iterativa.

Método Marshall

El método Marshall utiliza compactación - impacto con un martillo 'marshall' para la producción de muestras de ensayo cilíndrico (102 mm de diámetro y altura de 64mm) mediante un procedimiento estándar para calentar y mezclar el agregado seleccionado y material bituminoso. En primer lugar, el contenido de asfalto de diseño se estima en base a la experiencia. A continuación se comprueban especímenes en el contenido del diseño bituminoso estimado y dos incrementos de 0,5 por ciento por encima y por debajo de la estimación. Esto se hace con el fin de garantizar el suministro de datos adecuados, tres muestras se preparan en cada una de los cinco diferentes asfaltos contenidos. Las muestras se analizan para determinar su composición volumétrica y sus características de resistencia. En primer lugar, las muestras son sometidas a una prueba de densidad. Esta prueba consiste en pesar la muestra en aire y en agua. Con el fin de determinar el volumen de la muestra, incluyendo huecos abiertos en la superficie, la masa se determina también después de que la muestra se ha sumergido en el agua y su superficie se limpió con una toalla húmeda para así secar la superficie sin retirar el agua de los huecos de la misma.¹³

La "densidad de Marshall 'o peso específico aparente, Bulk Specific Gravity (BSG) de la muestra se calcula utilizando la fórmula:

Ecuación 4:

Bulk Specific Gravity (Peso específico aparente)

$$BSG = \frac{M_d}{M_d - M_i} \gamma_w \quad t/m^3$$

Dónde:

M_d : Masa de la muestra seca

M_i : Masa de la muestra sumergida

M_{sd} : Masa de la superficie seca del espécimen

γ_w : Peso específico del agua

¹³ Robinson 2004

Ecuación 5:

Volumen del Agregado

$$V_a = \frac{(100 - b)}{\gamma_a} BSG \%$$

Dónde:

b : Masa del bituminoso

γ_a : Peso específico del agregado

Ecuación 6:

Volumen del Bituminoso

$$V_b = \frac{b}{\gamma_b} BSG \%$$

Dónde:

b : Masa del bituminoso

γ_b : Peso específico del bituminoso

El siguiente paso es calcular los vacíos en su conjunto (VMA), los vacíos de aire en la mezcla (VIM) y los vacíos en su conjunto lleno de bituminoso (VFB) con:

Ecuación 7:

$$VMA = 100 - V_a \%$$

Ecuación 8:

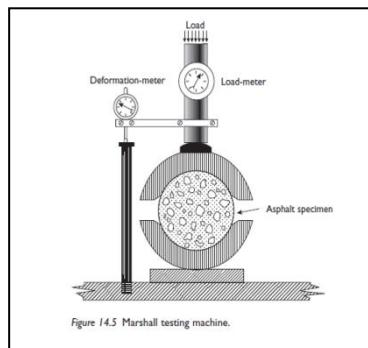
$$VIM = 100 - V_a - V_b \%$$

Ecuación 9:

$$VFB = \frac{Vb}{100 - V_a} 100\%$$

Finalmente, cada espécimen cilíndrico es sometido a una prueba de estabilidad y de flujo en una máquina Marshall de ensayo. Después de ser calentada a 60 °C en un baño de agua, el espécimen es colocado en la máquina Marshall entre dos cabezas de ensayo en forma de collar, y comprimido radialmente a una velocidad constante de desplazamiento. La máxima resistencia de carga (newtons) se registra como la "estabilidad de Marshall". La correspondiente deformación total en milímetros de la muestra se registra como el "flujo", véase la maquina Marshall en Figura 18:

Figura 18: Máquina de ensayo Marshall



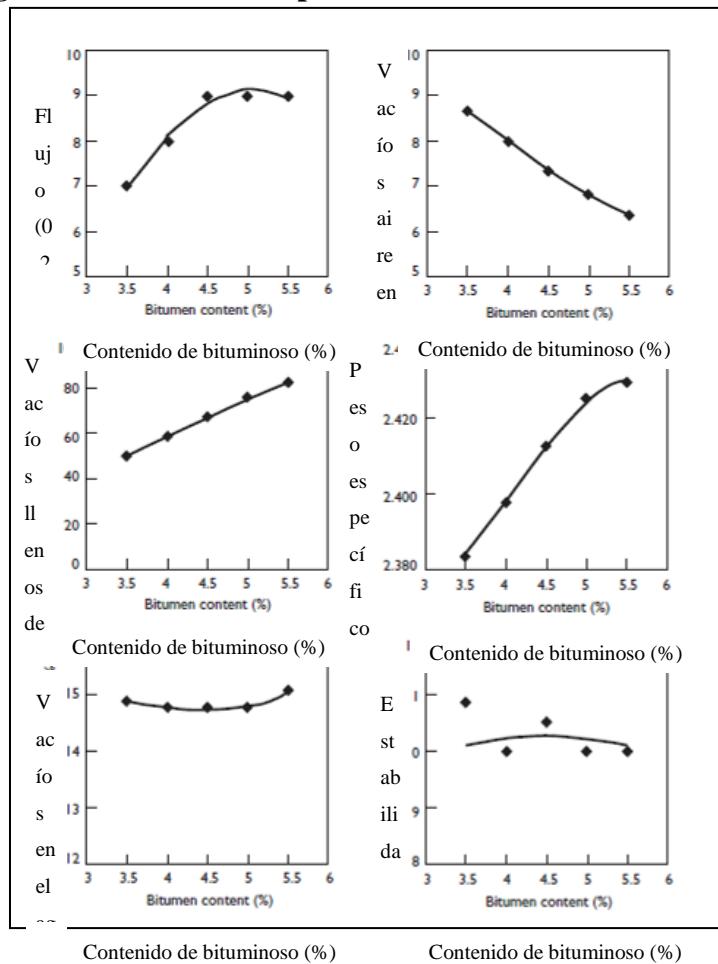
Fuente: Robinson 2004

El contenido bituminoso, los huecos en su conjunto, la estabilidad y el flujo se determinan por interpolación a partir de las gráficas. Estas propiedades se comparan con los criterios de diseño que se muestran en la Figura 19. El diseño final de contenido de asfalto es elegido como un compromiso para equilibrar todas las propiedades de la mezcla. Se debe garantizar que la mezcla se mantiene dentro de especificaciones para el diseño elegido con un contenido de bituminoso de un 0,3% (tolerancias de producción).

- Peso específico aparente (BSG)
- Vacíos en el agregado (VMA)
- Vacíos de aire en la mezcla (VIM)
- Vacíos llenos de bituminoso (VFB)

- Estabilidad
- Flujo

Figura 19: Análisis Comparativo de Material Bituminoso



Fuente: Robinson 2004

Si uno o más criterios de diseño no se cumplen, la clasificación y/o la calidad del agregado debe ser ajustada y realizarse nuevos ensayos Marshall hasta obtener los resultados satisfactorios. Condiciones severas pueden resultar de una combinación de alta temperatura, eje elevado de cargas y vehículos lentos. En virtud al movimiento lento de vehículos pesados, el tiempo de carga es más largo y se muestran en los resultados de pavimento una reducción de la rigidez del concreto asfáltico. Esto puede conducir a la deformación secundaria y al daño del asfalto en las carreteras.

Para el concreto asfáltico en lugares severos o agresivos, se recomienda que la mezcla, se ajuste a asegurar vacíos mínimos de aire de 3% en “La densidad negativa”, la cual se obtiene por la compactación de las muestras Marshall hasta que no se produzca aumento

de la densidad. La compactación negativa se podría lograr aumentando el número de golpes con el martillo Marshall a varios cientos, pero esto no es práctico. En su lugar, se recomienda el uso de un martillo vibratorio, que es más rápido y más representativo en la compactación de campo.

En conclusión se puede afirmar que el método Marshall de compactación complementa al método de diseño de pavimentos ASSHTO 93, ya que los espesores de todas las capas del pavimento son definidos con ASSHTO 93, sin embargo siendo la más importante la Carpeta Asfáltica (Primera capa) es necesario que se lleve su análisis en laboratorio con el método Marshall.

Métodos Mecanístico empírico –MEPDG

El método empírico-mecanistico se compone en dos partes. La primera implica el uso de modelos estructurales para determinar las tensiones, deformaciones y desplazamientos en la estructura de pavimento, y la segunda el uso de modelos empíricos para predecir el tipo y nivel de daños en diversos momentos. Es necesario advertir que este método se presenta como una Guía para el diseño y Rehabilitación de pavimentos y que además existe una correlación muy directa entre los materiales, el diseño estructural, el tránsito, el clima, la construcción y los sistemas de gestión, abarcando muchos más aspectos a considerar a comparación del diseño ASSHTO 93 presentado capítulos atrás. Al ser analizada toda la información en un computador se debe considerar que siendo un modelo de regresión, puede no incluirse todos los factores que afectan al elemento de estudio.¹⁴

Principios Mecánisticos:

Teoría Elástica Lineal

¹⁴ Cfr Huang 2004

La Teoría lineal requiere solamente dos parámetros de los materiales, el módulo elástico (E) y el coeficiente de Poisson (μ). Estos dos parámetros son relativamente fáciles de medir, pero, en la práctica es bastante similar para cada tipo de material, los valores genéricos se pueden utilizar. Los valores, por lo general, se encuentran en el rango de 0.3-0.4, véase Anexo 3. También, en el Anexo 4, se puede encontrar los valores típicos para el modulo elástico. Por otro lado, los cálculos de las tensiones que se producen bajo una carga de la rueda están relacionados con el aire de contacto de los neumáticos y la presión de estos mismos, se supone que la carga se distribuye uniformemente sobre un área circular bajo la siguiente formula.

Ecuación 10:

Carga de Llanta

$$P = \pi \sigma_0 a^2$$

P : Carga de la Rueda

σ_0 : Presión de Contacto

a : Radio de la zona de contacto

Los resultados se calculan por lo general para una carga de rueda estándar (o por medio de un eje equivalente estándar) de 40 kN a una presión de los neumáticos de 75 psi. Esto da un radio de contacto de aproximadamente 5.9 pulgadas. Varios programas de computación están disponibles para el cálculo de las tensiones y presiones dentro de un pavimento de varias capas. Estos requieren como datos para cada capa, los valores de E, μ y los espesores. Programas como ELSYM5 y KENPAVE se encuentran disponibles en muy bajo costo, mientras que otros, como BISAR desarrollado por Shell, se han comercializado sobre todo en formato fácil de usar a un precio módico.

Teoría de Falla

En el Método Mecanistico empírico se relaciona cierto criterio de falla a un problema específico existente en la vía, esto en comparación al método ASSHTO 93 es más preciso ya que en el anterior se usaba el índice PSI para representar en general las condiciones del pavimento.

En la falla por agrietamiento se debe considerar un factor para igualar el número de repeticiones de carga en el pavimento real y llevarlo al laboratorio donde se ensaya las muestras para el diseño.

En la falla por ahuellamiento se debe correlacionar las pruebas de campo reales, ya que esta falla puede ser controlada fácilmente si se reduce el esfuerzo vertical en la subrasante.

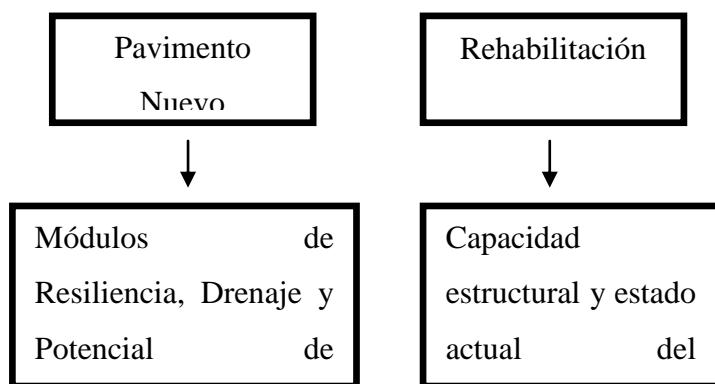
Para la falla por temperatura se debe considerar que el pavimento solo se agrieta si el esfuerzo térmico es mayor que el esfuerzo permisible a la fractura o falla. Además este tipo de falla es similar al del agrietamiento donde el número de veces que ocurre es determinante para generarse la falla.

Metodología de Uso:

Al ser presentado como una Guía, los MEPDG deben seguir una secuencia en su aplicación a proyectos de diseño y construcción.

En la primera etapa se considera si el pavimento es nuevo o existente para la rehabilitación

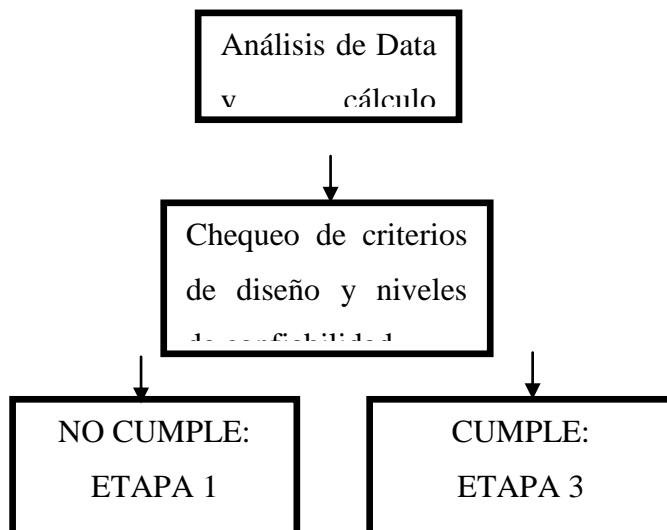
Figura 20: Fase inicial MEPDG



También se consideran los factores de Tránsito (sin uso de ejes equivalentes) y Clima (Temperatura, Precipitación, Velocidad de Viento, Nubosidad, Humedad Relativa) para ambos casos de diseño.

En la segunda etapa se inicia el proceso iterativo de cálculo usando los modelos de deterioro del programa, así también se obtienen los resultados de desempeño e iteración.

Figura 21: Fase intermedia MEPDG



En la tercera etapa se dan recomendaciones para una elección de alternativas viales estructuralmente hablando, esta última parte ya no es parte del cálculo iterativo.

Finalmente se debe mencionar que los datos recolectados tienen un valor jerárquico de 3 niveles en el análisis, donde el Nivel I representa los datos recolectados en campo, el Nivel II que representa datos correlacionados con ubicaciones similares. Y Nivel III que usa datos con gran error estimado y a gran escala.

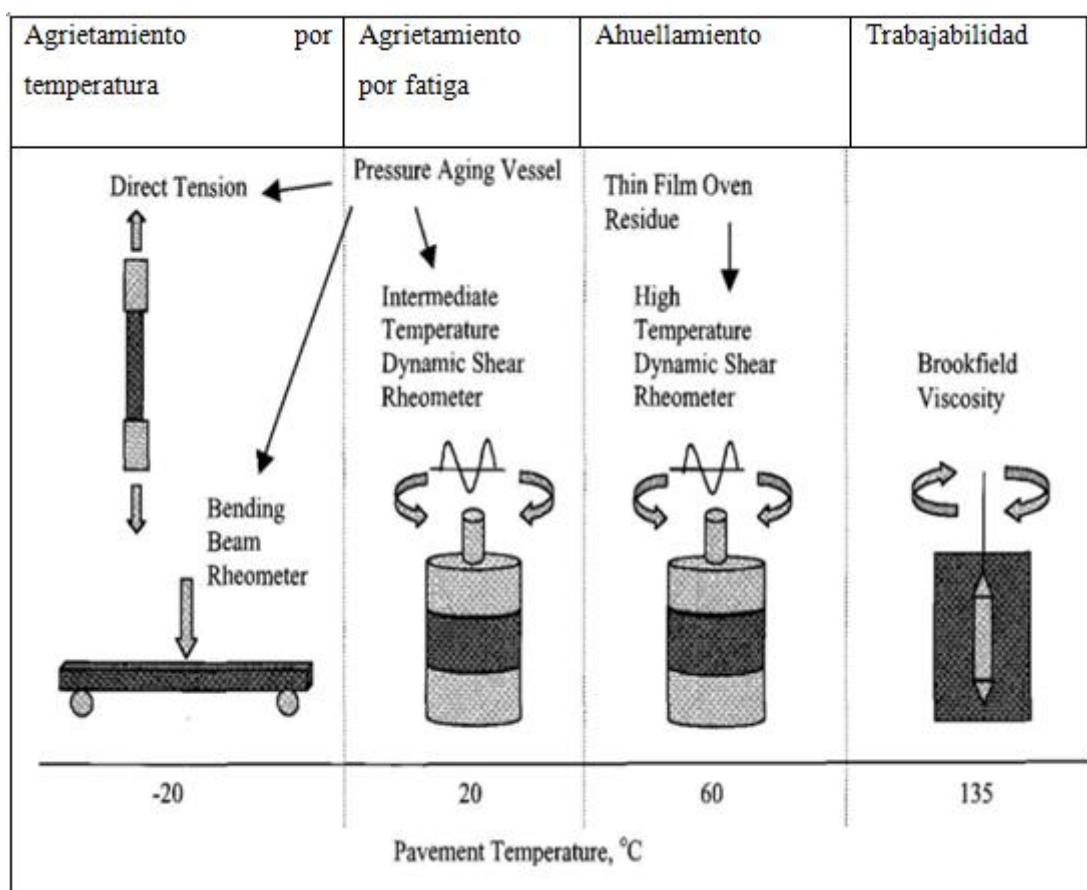
Método Superpave

El método Superpave fue creado por el Strategic Highway Research Program (SHRP), en respuestas y mejora de los antiguos métodos en la elaboración de asfalto. Superpave es un acrónimo para Superior Performing Asphalt Pavements y es una metodología que considera básicamente el clima y el tráfico de la vía, así también se resalta por la inserción de un Sistema de Clasificación del Ligante Asfáltico.

Sistema de Clasificación de Ligante Asfáltico:

También conocido como sistema de desempeño o “Performance Grading” (PG) que se basan en mediciones con parámetros de ingeniería fundamentales, adicionalmente superpave considera el impacto ambiental de la zona con temperaturas altas, intermedias y bajas, estas son recolectadas del análisis estadístico del clima de las regiones locales adyacentes que son influyentes. Así también, para simular el envejecimiento de la vía por criterios de agrietamiento térmico, agrietamiento por fatiga, ahuellamiento y por trabajabilidad.

Figura 22: Pruebas Mecánicas por criterio de falla en MEPDG



El sistema PG trabaja en base a 2 temperaturas extremas, es así que por ejemplo la denominación PG 64-28 para un ensayo significa que la temperatura máxima es de 64 grados centígrados y la mínima de -28 grados centígrados.

Las consideraciones tomadas en los ensayos de diseño superpave son:

Para cada criterio de falla y cada ensayo se sostienen especificaciones que establecen límites en la aplicación de esfuerzos de corte y tensión (Ver Anexos 5, 6 y 7)

Los agregados también presentan requerimientos para los ensayos dependiendo del factor de tráfico ESAL, véase Anexos 9 y 10.

El método de diseño Superpave se basa en cálculo de propiedades volumétricas y niveles de compactación realizados en laboratorio con la "Maquina Giratoria de Compactación SUPERPAVE", para lo cual también se consideran especificaciones, ver Anexo 11.

Finalmente al tener las condiciones del agregado y ligante adecuadas, se aplica el criterio principal del Diseño, el cual es encontrar la cantidad de ligante óptimo correspondiente a los criterios volumétricos.

Proceso Constructivo del Pavimento Flexible

El proceso constructivo del pavimento flexible puede dividirse en 4 fases:

Preparación de sub rasante:

Está formada por el suelo natural. Debe cumplir con ciertas especificaciones sin importar el tipo de pavimento que se vaya a colocar. Debe ser lo suficientemente resistente para soportar el pavimento y el tránsito esperado. También debe estar propiamente graduada para garantizar un buen drenaje, una superficie suave y debe tener un coronamiento correcto. Además, debe estar completa y uniformemente compactada a la densidad requerida. Durante la inspección deben buscarse áreas de suelo blando pues estas áreas son demasiado débiles para soportar la maquinaria. Estas áreas deberán ser corregidas antes de la pavimentación. También deben hacerse

revisiones periódicas del perfil transversal y longitudinal de la sub rasante. Si estos no están dentro de los límites de tolerancia se deberán corregir, ya sea removiendo material o añadiendo y compactando material igual al que está en el lugar. Antes de iniciar la construcción del pavimento en sus diferentes capas es necesario verificar el estado de las actividades previas como son el movimiento de tierras, las pendientes y bombeo de la sub rasante. También se debe verificar la correcta ejecución de las obras de drenaje y control de aguas, así como los muros de contención y protecciones de taludes que garantizan la estabilidad de la sub rasante.

Construcción de la sub-base:

Para construir la sub-base se emplean los siguientes equipos: motoniveladora, camión cisterna, cilindro metálico, compactador de llantas vibratorio y vehículos de transporte.

Todos estos equipos deben estar en perfectas condiciones de trabajo, de tal manera que se pueda garantizar un proceso continuo durante la construcción. El constructor deberá colocar el material de sub-base de tal manera que produzca segregación sin causar daño a la superficie de asiento. Las ruedas de los volquetes deberán mantenerse limpias para no contaminar con materiales indeseables. El material se colocará y extenderá en capas de espesor no mayor de 25 cm medido antes de la compactación. El espesor de cada capa y el número de pasadas dependerá de las características del equipo de que dispone el constructor y de las características del material .Si el afirmado existente en la vía forma parte de la sub-base en el diseño del pavimento, ésta deberá escarificarse en una profundidad de por lo menos 10 cm. Antes de colocar una nueva capa se debe verificar que la anterior satisfaga las condiciones de nivelación, espesor y densidad exigidas. El material se remojará o se oreará si fuere necesario hasta obtener un contenido de humedad cercano al óptimo y se compactará hasta obtener mínimo el 95% de la densidad seca máxima correspondiente al ensayo proctor modificado, a no ser que el diseño exija una mayor compactación. Durante el proceso constructivo del pavimento, es normal que se permita el tránsito de vehículos una vez construida la sub-base. El constructor la conservará en perfectas condiciones, hasta el momento de colocar la capa siguiente.

Construcción de la base:

Para la construcción de la base con material granular, se emplean los mismos equipos mencionados en la construcción de la sub-base. Estos deben estar en una condición tal, que se pueda asegurar continuidad en el trabajo. El espesor de las capas no será mayor a 25 cm medidos antes de la compactación. El material se compactará en humedad óptima hasta obtener como mínimo el 100% de la densidad seca máxima correspondiente al ensayo proctor modificado como promedio de los ensayos realizados, siempre y cuando ningún valor individual sea inferior al 98%. Si la humedad es muy alta, el material debe removese y dejarse secar hasta que adquiera la óptima que permita compactar el material y alcanzar la humedad especificada. En caso contrario, se debe humedecer el material con camión cisterna de agua .La compactación de la base se efectuará desde los bordes hacia el centro, excepto en las curvas donde la compactación avanzará desde la parte inferior del peralte hacia la parte superior. Si durante la compactación se presentan pérdidas de humedad por evaporación, deberá regarse la base para sostener en todo momento la humedad óptima del material.

Construcción de la carpeta asfáltica:

La construcción del pavimento asfáltico se inicia con la preparación de la mezcla asfáltica, labor que normalmente se realiza en la planta de mezclas, sitio en el cual existen todos los sistemas adecuados para el control. Normalmente este proceso es responsabilidad del sub-contratista, pero para trabajos importantes, el responsable general de la obra debe supervisar los trabajos en la planta de éste. Las mezclas pueden fabricarse en plantas continuas o discontinuas. Se permite el empleo de plantas con mezclado en el tambor secador, siempre y cuando se pueda garantizar una producción uniforme y que las curvas granulométricas se ajusten a los rangos específicos. Los agregados para la mezcla deben ser secados y calentados a la temperatura especificada antes de llevarlos al mezclador. Inmediatamente después de calentar los agregados se tamizan en 3 o 4 fracciones y se almacena en tolvas separadas. El asfalto sólido se debe calentar a la temperatura especificada en tanques diseñados para evitar sobrecalentamientos. Su suministro a la mezcla debe ser continuo y a temperatura uniforme.

Clasificación de Vehículos

En esta parte se adoptará la clasificación dada por el manual de diseño geométrico de carreteras (DG-2001) donde se muestran las nomenclaturas y las características básicas de los vehículos según su tipo, véase Anexo 12. Por su parte, para obtener los pesos por cada tipo de vehículos, los cuales se necesitarán para el cálculo de los ejes equivalentes y posteriormente para el diseño de pavimentos, están estipulados en el reglamento nacional de vehículos tal como se puede observar en Anexo 13. Por último, es preciso mencionar que ambos manuales mencionados fueron elaborados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Ejes Equivalentes

El estudio de ejes equivalentes inició por primera vez durante la Segunda Guerra Mundial cuando los bombarderos B-29 (avión de guerra) se introdujeron en misiones de combate. Debido a que los criterios de diseño de pavimentos flexibles disponibles en ese momento se basaban en una sola rueda de carga, la llegada de estos aviones de doble rueda requirió el desarrollo de nuevos criterios para múltiples cargas de ahí que se denomina ESWL (Equivalent Single Wheel Load o Carga equivalente de Rueda simple). Ni el tiempo ni las consideraciones económicas permitían el desarrollo directo de dichos criterios. Era necesario, por tanto, relacionar teoría y el efecto de varias cargas equivalentes a la inicial.

Las cargas de ejes equivalentes pueden aplicarse a cualquier teoría dependiendo del criterio seleccionado para comparar la carga de una rueda con múltiples cargas. El uso de la teoría de capas de Burmister y Huang (1969) realizaron un estudio teórico sobre el efecto de diversos factores suponiendo que las ruedas de uno y dos tienen la misma presión de contacto. Estudios similares fueron hechos por Gerrard y Harrison (1970) en las ruedas individuales, dobles y doble tandem, asumiendo que todas las ruedas tienen igual radio de contacto.¹³

EALF o “Equivalent Axel Load Factor” define el daño causado por un eje común, usualmente de 18 Kips. Este término depende del tipo de pavimento, espesor o capacidad estructural del pavimento.

Ecuación 11:

Factor de Carga de Ejes Equivalentes

$$EALF = \frac{W_{t\ 18}}{W_{tx}}$$

$W_{t\ 18}$: Carga de Ejes de 18 Kips en un tiempo t

W_{tx} : Carga de Ejes de “x” Kips en un tiempo t

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce un paso de un eje para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un Transito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y numero de ejes, y que para efectos del cálculo se les transforma a un numero de ejes equivalentes de 80 KN o 18 Kips, por lo que se les denomina “Equivalent simple axial load o ESAL.”

Ecuación 11:

Carga Equivalente de Eje Simple

$$ESAL = \sum_{i=2}^m F_i n_i$$

m : Número de Grupos de Carga

F : EALF para cada Grupo de Carga

n : Número de repeticiones en el periodo de diseño

Ecuación 12:

Carga Equivalente de Eje Simple - Diseño

$$ESAL = (ADT)(T)(T_f)(G)(D)(L)(365)(Y)$$

Dónde:

ADT : IMD. (Inicio del periodo de diseño)

T : % Camiones del IMD

T_f : Factor Camión

DL : % Uso de Vía

GY : Factor de Crecimiento, periodo de diseño

Tipos de Fallas

Existen distintos tipos de fallas que se presentan en los pavimentos flexibles, estas son clasificadas en 3 niveles de severidad: bajo, medio y alto. El ASTM propone la guía D-6433 para el cálculo del PCI. A continuación se presentarán los distintos tipos de fallas que se pueden encontrar en un pavimento flexible:

- Piel de Cocodrilo

Esta falla se representa como una serie de grietas de interconexión causadas por la fatiga generada en la superficie del concreto asfáltico al estar bajo constante carga. Comienza en la parte inferior de la superficie o base, donde la tracción y la tensión son más altas. La falla se propagan a la superficie inicialmente como una serie de grietas longitudinales, las grietas se conectan, formando muchas caras, con aristas angulosas que desarrollan un patrón parecido a la piel de un cocodrilo. Las marcas son generalmente de menos de 0,5 m (1,5 pies) en el lado más largo. Esta falla sólo se produce en áreas sujetas a la carga de tráfico constante. Cuando las grietas forman bloques más grandes de lo normal se le denomina “Falla de Bloque”

- Peladuras

La peladura se da cuando se revela una porción de agregado que se extiende por encima del asfalto. Esto causa déficit en la circulación normal de los vehículos ya que cuando la superficie no es considerablemente lisa la adherencia de los neumáticos es considerablemente reducido. Cuando la porción de agregado que se extiende por encima de la superficie es pequeña no existe gran afectación en la performance de la circulación.

- Ahuellamiento

Resulta de la acumulación de deformación permanente en el asfalto y el agregado. Es usualmente originada por la consolidación o por el desplazamiento lateral de los materiales debido a la acción de las cargas de tráfico. Los modelos utilizados para predecir la formación de roderas son funciones del tipo de material.

- Grietas longitudinales y transversales

Estas fallas pueden ser paralelas o perpendiculares al eje de la vía, por lo general de 0,3 a 0,5 m (1 a 1,5 pies) del borde exterior de la pavimento. Su presencia es común por la mala calidad de las juntas de construcción y por las heladas que debilitan la sub-base cerca del borde del pavimento por contracción constante¹⁵.

Capacidad Portante de la sub-rasante (CBR)

La prueba de “Ratio de Soporte de California” o “California Bearing Ratio “(CBR) es una prueba de penetración, en la que un pistón estándar, que tiene un área de 3 pulgadas cuadradas se utiliza para penetrar el suelo a una tasa estándar de 0 a 0,05 pulgadas por minuto. Se relaciona la perforación de la Roca con la Fuerza aplicada para obtener los ratios de campo.¹¹

¹⁵ Cfr. ASTM 5340 1998

Cuadro 1: Valores modelo en ensayo CBR

PENETRACION	PRESION
Pulgadas	1000 psi
0.2 Pulgadas	1500 psi
0.3 Pulgadas	1900 psi
0.4 Pulgadas	2300 psi
0.5 Pulgadas	2600 psi

En conclusión el ensayo de CBR es utilizado para definir la calidad del suelo, a mayor penetración menor será el CBR

Estudio y Diseño Vial

La situación Actual de la Avenida Mártir Olaya revela una carencia de señalización necesaria para permitir flujo libre de vehículos y a la vez brindar seguridad a los transeúntes.

Intensidad del Trafico

Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasa a través de una sección fija de carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son vehículos/hora (intensidad horaria) y vehículos/día (intensidad diaria). Es la característica más importante de la circulación, ya que las demás están relacionadas con ella y proporciona una descripción muy intuitiva del comportamiento del tráfico en cada momento.

Generalmente el período de medida se extiende a un año y la intensidad media diaria (IMD) es la magnitud más utilizada para caracterizar a cualquier vía. Se define como el número total de vehículos que atraviesan una sección en un año dividido por 365 días.

El Índice Medio Diario Anual del Tránsito (IMDA) representa, en una sección dada, el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año. Su

conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la vía en la sección considerada y permite realizar el cálculo de factibilidad económica. El IMDA puede ser obtenido a partir del Índice Medio Diario Semanal (IMDS) y del Factor de Corrección Estacional (FC) tal como se muestra en la siguiente fórmula:

Ecuación 13:

Índice Medio Diario Anual

$$IMDA = FC \times IMDS$$

FC : Factor de Corrección

IMDS : Índice Medio Diario Semanal

La carretera se diseña para un volumen de tránsito que se determina como la demanda diaria promedio a servir al final del período de diseño, calculado como el número de vehículos promedio que utiliza la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual, normalmente determinada por el MTC y estas son definidas para las diversas zonas del país.

Cálculo del tránsito proyectado

El crecimiento del tránsito se calculará utilizando la siguiente fórmula dada por el MTC:

Ecuación 14:

Índice Medio Diario Anual

$$T_n = T_0(1 + i)^{n-1}$$

T_n : Transito Proyectado al año de diseño "n"(veh/día)

T₀ : Transito actual (año base, veh/día)

n : Años del Periodo de diseño

i : Tasa anual del crecimiento del tránsito.

La Tasa anual del crecimiento del tránsito. Es definida en relación con la dinámica del crecimiento socio-económico (Tasa anual del crecimiento de la población) normalmente entre 2% y 6%.

Es preciso mencionar que estas tasas pueden variar significativamente si se sabe que existirán proyectos de desarrollo específico a implementarse a corto plazo en el área de influencia de la vía.

Según el MTC, esta misma proyección del tránsito puede dividirse en dos partes. La primera es una proyección para vehículos de pasajeros o también llamados vehículos particulares el cual se asume que crecerá aproximadamente al mismo ritmo de la tasa de crecimiento poblacional. Por su parte, la segunda proyección se aplica en los vehículos de carga o también conocidos como vehículos pesados. En este caso la proyección se podrá asumir de acuerdo a la tasa de crecimiento económica. Ambos índices de crecimiento tienen que corresponder a la región la cual normalmente cuenta con datos estadísticos de estas tendencias

Señales de Tránsito

Las señales de tránsito son los signos usados en las vías públicas para transmitir la información necesaria a los usuarios que transitan por un camino o carretera, estos son especialmente dirigidos para los conductores de vehículos y para los peatones.

- Requerimientos :

Para hacer efectivo la implementación de las señales de tránsito es necesario que cumpla con los requisitos exigidos por el MTC:

1. Que exista una necesidad para su utilización.

2. Que llame positivamente la atención.
3. Que encierre un mensaje claro y conciso.
4. Que su localización permita tiempo adecuado de reacción y respuesta.
5. Infundir respeto y ser obedecido.
6. Uniformidad

- Consideraciones :

En general, para el cumplimiento de los mencionados requerimientos debe tenerse en cuenta lo siguiente:

1. Diseño

Debe ser tal que la combinación de sus dimensiones, colores, forma, composición y visibilidad llamen apropiadamente la atención del conductor, de tal manera que esta reciba el mensaje claramente y pueda responder con la debida pertinencia.

2. Ubicación

Debe tener una posición que pueda llamar la atención del conductor dentro de su ángulo de visión.

3. Uso

La aplicación de las señales debe ser tal que esté de acuerdo con la operación del tránsito vehicular.

4. Uniformidad

Estas señales deben presentar las condiciones necesarias para que los usuarios puedan reconocer e interpretar adecuadamente el mensaje de la señal en situaciones normales de circulación vehicular.

5. Mantenimiento

Esta condición debe ser de primera importancia y representar un servicio preferencial para su eficiente operación y legibilidad.¹⁶

- Aspectos legales

Los dispositivos para el control de tránsito en calles y carreteras solo deberán ser colocados con la autorización y bajo el control del organismo competente, con jurisdicción para reglamentar u orientar el tránsito y de acuerdo con las normas establecidas en el manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del MTC.

Por otro lado, las autoridades competentes podrán retirar sin previo aviso cualquier rótulo, señal o marca que constituya un peligro para la circulación. Asimismo, queda prohibido colocar avisos publicitarios en el derecho de la vía, en el dispositivo y/o en su soporte.

Por último, nadie que no tenga autoridad legal intentará alterar o suprimir los dispositivos reguladores del tránsito. Ninguna persona o autoridad privada podrá colocar dispositivos para el control o regulación del tránsito, sin autorización previa de los organismos viales competentes.

- Tipos de Señales

1. Señales Verticales

Estas señales son destinadas a reglamentar el tránsito, advertir o informar a los usuarios mediante palabras o símbolos ya establecidos y normados. Estas señales se usan para regular el tránsito y prevenir cualquier peligro que pudiera presentarse en la vía. También tiene como objetivo informar al usuario sobre las direcciones, rutas, destinos, centros de recreo, lugares turísticos y culturales, así como dificultades de la carretera. A

¹⁶ Cfr. Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000

continuación se presentarán los tres tipos de señales verticales que se encuentran normados en el Perú a través de los reglamentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

1a) Señales Verticales Reguladoras

Tienen por objetivo informar a los usuarios de la vía acerca de las limitaciones, prohibiciones o restricciones que gobiernan el uso de ella y cuya violación constituye un delito. En la Figura 23 se puede apreciar algunos de estos tipos de señales.

Figura 23: Señales Reguladoras

 Señal: Pare. (R-1)	Indica a los conductores que deberán efectuar la detención de su vehículo.
 Señal: Ceda el paso. (R-2)	Indica al conductor que ingresa a una vía preferencial, ceder el paso a los vehículos que circulan por dicha vía.
 Señal: Siga de frente. (R-3)	Indica a los conductores de los vehículos que el único sentido de desplazamiento será el de continuar de frente.
 Señal: Prohibido seguir de frente, dirección prohibida. (R-4)	Indica que no está permitida la circulación en la dirección señalada por la flecha. Prohibe el paso de vehículos en la misma dirección que el conductor ha venido siguiendo.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000

1b) Señales Verticales de Prevención:

Tiene por objetivo advertir al usuario de la vía la existencia de un peligro y la naturaleza de esta. En la Figura 24 se puede apreciar algunos de estos tipos de señales

Figura 24: Señales de Prevención

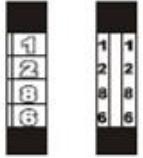
Orden e imagen de las señales	Significado
 Señal: Curva y contracurva (derecha a izquierda). (P-4A) (izquierda a derecha). (P-4B)	(P- 4A) Indica la presencia de dos curvas de sentido contrario para el lado derecho de la pista. (P-4B) Indica la presencia de dos curvas de sentido contrario para el lado izquierdo de la pista.
 Señal: Camino sinuoso. (P-5-1)	Indica una sucesión de tres o más curvas, evitando la repetición frecuente de señales de curva. Por lo tanto, se deben tomar precauciones.
 Señal: Curva en U a la derecha. (P-5-2A) Señal: Curva en U a la izquierda. (P-5-2B)	(P-5-2A) Previene la presencia de una curva para el lado derecho de la pista, cuyas características geométricas la hacen sumamente pronunciada. (P-5-2B) Previene la presencia de una curva para el lado izquierdo de la pista.
 Señal: Intersección rotatoria. (P-15)	Esta señal se utiliza para advertir al conductor la proximidad de una intersección rotatoria (óvalo o rotonda).

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000

1c) Señales Verticales de Información

Tiene por objetivo identificar las vías y guiar al usuario proporcionándole la información que pueda necesitar. En la figura 25 se puede apreciar algunos de estos tipos de señales.

Figura 25: Señales Informativas

 Señal: de destino. (I-5)	Se utiliza antes de una intersección a fin de guiar al usuario en el itinerario a seguir para llegar a su destino.
 Señales: De destino con indicaciones de distancia. (I-6)	Se utilizan en las carreteras, antes de una intersección, para indicar al usuario la dirección que debe seguir para llegar a una población o punto determinado, informando al mismo tiempo la distancia a la que se encuentra el destino mostrado.
 Señales: Con indicaciones de distancia. (I-7)	Se utilizan en las carreteras para indicar al usuario las distancias a las que se encuentran las poblaciones o lugares de destino, respecto del punto donde esté localizada la señal.
 Señal: Poste de kilometraje. (I-8)	Indica la distancia desde el punto de origen de la vía.

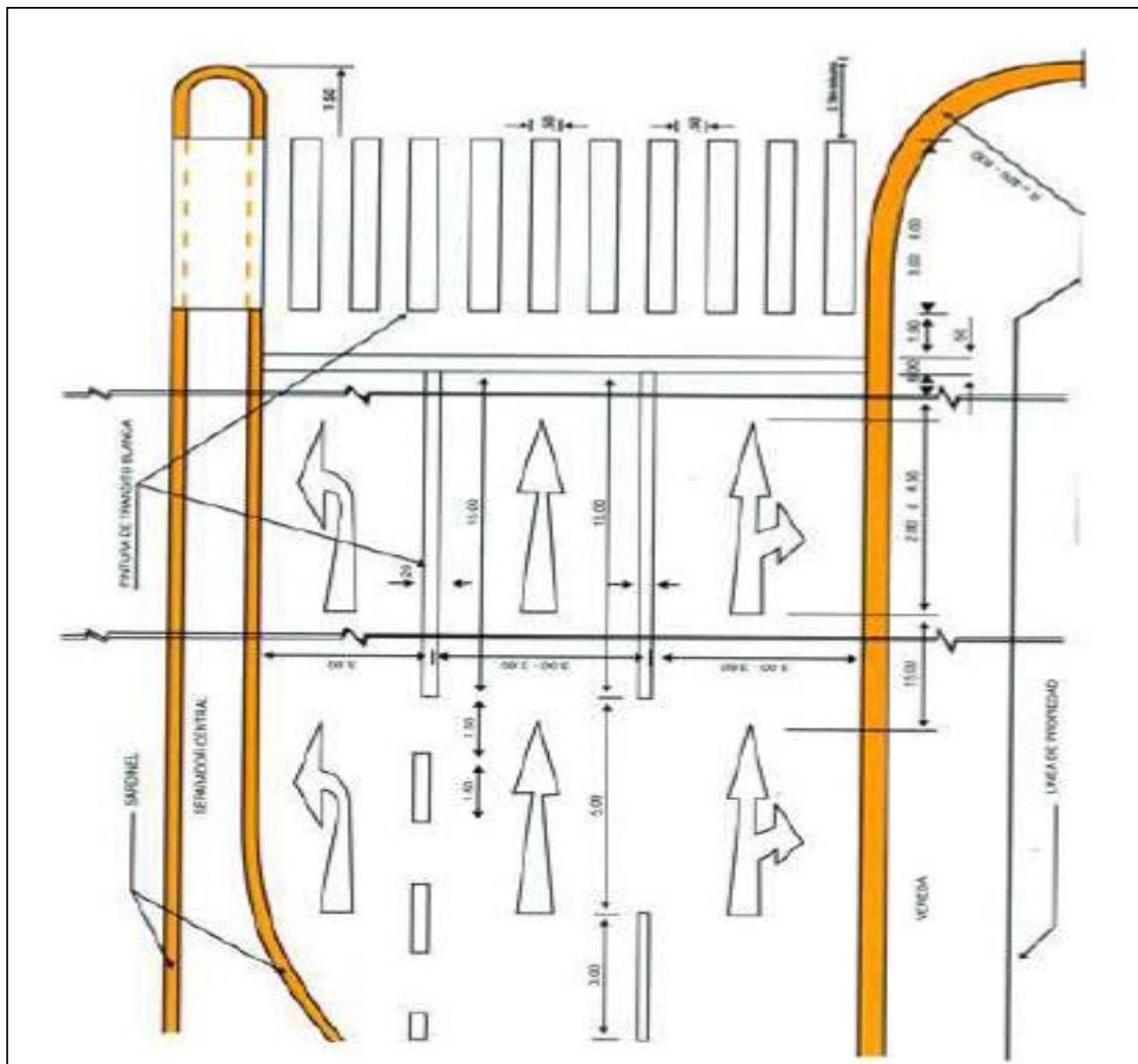
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000

2. Señales Horizontales

Se refiere a las marcas en el pavimento o en los obstáculos que son utilizados con el objetivo de controlar el movimiento de vehículos e incrementar la seguridad de su operación. En algunos casos sirven como suplemento a las señales y semáforos en el control del tránsito, en otros casos constituye un único medio, desempeñando un factor de suma importancia en la regulación de la operación de vehículos en la vía. A continuación se presentarán los tipos de señales horizontales: marcas en el pavimento, marcas en los obstáculos y delineadores reflectivos; los cuales se presentan en las

Figuras 26, 27 y 28 respectivamente. Es importante mencionar que todas estas señales se encuentran normadas en el Perú a través de los reglamentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹⁷.

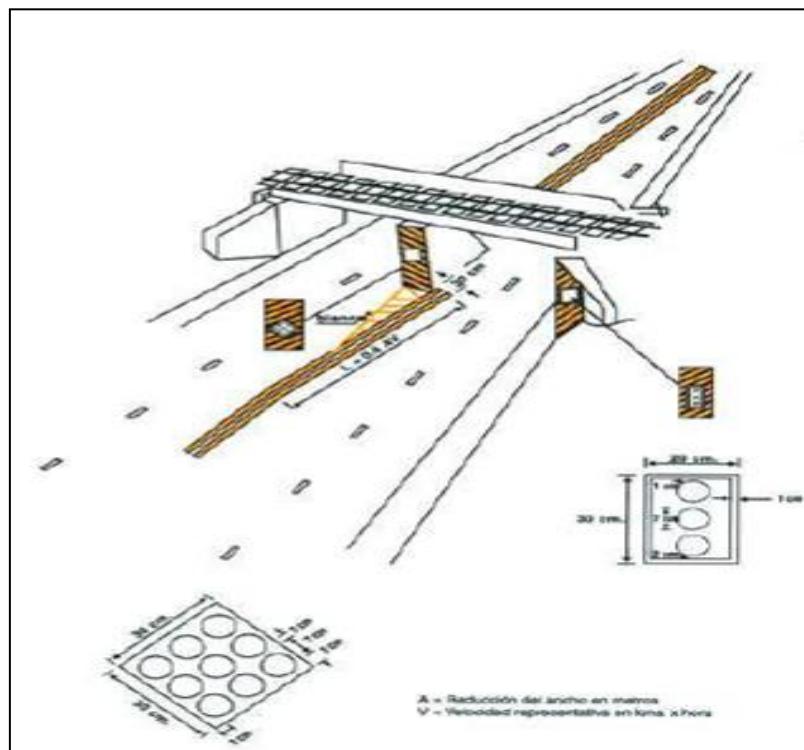
Figura 26: Marcas en el Pavimento



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000

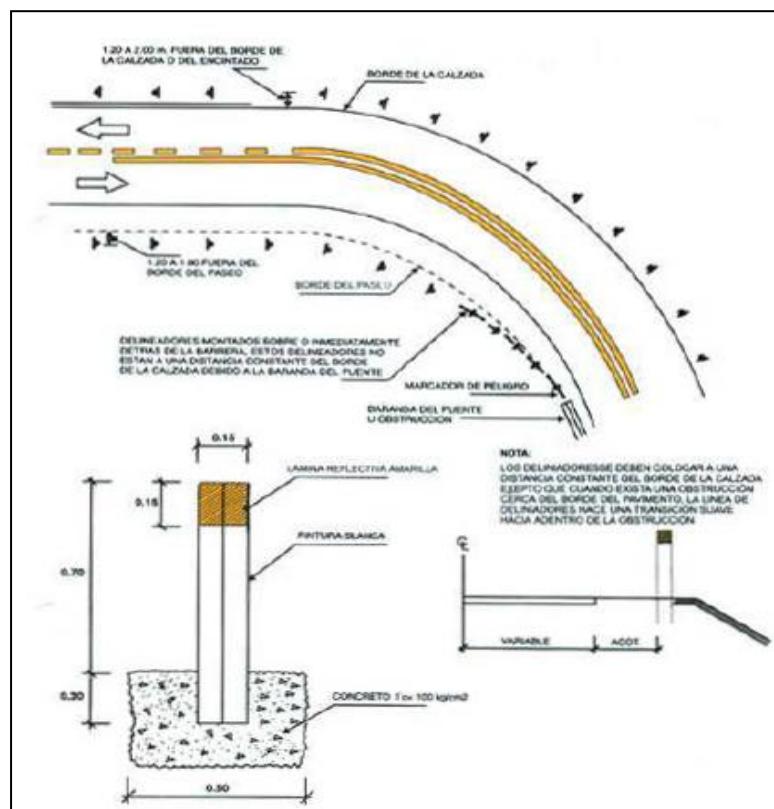
¹⁷ Cfr. Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000

Figura 27: Marcas en los Obstáculos



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000

Figura 28: Delineadores Reflectivos



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2000

Teoría de Flujo Vehicular

En el análisis del flujo vehicular se presentan tres variables principales: el flujo, la velocidad y la concentración. Mediante la deducción de relaciones entre ellas, se puede determinar las características de la corriente de tránsito, y así predecir las consecuencias de diferentes opciones de operación. De igual manera, el conocimiento de estas tres variables reviste singular importancia, ya que éstas indican la calidad o Nivel de Servicio experimentado por los usuarios de cualquier sistema vial. A su vez, estas tres variables pueden ser expresadas en términos de otras, llamadas variables asociadas. El volumen, el intervalo, el espaciamiento, la distancia y el tiempo. Las tres características principales que se pueden expresar matemáticamente en lo que se conoce como la ecuación fundamental de una corriente vehicular:

Ecuación 15:

Flujo Vehicular

$$q = kv$$

q : Volumen o flujo (veh/h)

k : Concentración (veh/km)

v : Velocidad (km/h)

SITUACION ACTUAL – DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

En este proyecto se presentarán problemas reales causados por el aumento de viajes y el cambio de la composición vehicular que presenta la avenida Mártir Olaya ubicada en el distrito de Lurín del departamento de Lima. Estos problemas serán presentados mediante fotos y datos recopilados de la Municipalidad de Lurín, los cuales serán analizados para posteriormente lograr plantear propuestas de soluciones pertinentes.

El principal problema que presenta la vía son los daños existentes en la capa de rodadura que se podrán visualizar en las Figuras 29 y 30, los cuales son ocasionados por el aumento del flujo de vehículos livianos como autos y camionetas, y por la generación de un nuevo flujo de tránsito de vehículos pesados. El aumento de flujo de estos tipos de vehículos se debe al crecimiento urbano, presencia de canteras de agregados e industrias diversas que se viene dando en esta zona de Lurín. Estos crecimientos se ven reflejados en la construcción de nuevas urbanizaciones tales como “Las Praderas de Lurín”, “La Estancia de Lurín”, el aumento de la densidad poblacional debido a las zonas residenciales exclusivas ya existentes como el “Fundo Paso Chico”. Por parte del sector industrial, se puede identificar el centro de antenas parabólicas de Telefónica, zonas ganaderas, zonas agrícolas, el camal frigorífico industrial “Santa Genoveva”, la fábrica de explosivos y soldaduras Soldexsa S.A., la cantera de “Limatambo” y otras más existentes. Todas estas áreas serán identificadas en la parte de áreas de influencia con su respectivo esquema.

Figura 29: Progresiva 2+250 – Estado actual de la vía vista de N-S



Fuente: Elaboración Propia

Figura 30: Progresiva 0+895 – Estado actual de la vía vista N-S



Fuente: Elaboración Propia

- Evaluación del Transito Vial

Transito Actual

El tránsito actual de la avenida Mártir Olaya se registró a través de aforos semanales realizados por la Municipalidad Distrital de Lurín en el mes de Mayo del 2011, estos datos fueron tomados cerca a la progresiva 0+00 ya que es la avenida principal (antigua panamericana sur) adonde se dirigen y de donde vienen todos los vehículos, ver el Cuadro 2.¹

Cuadro 2: Aforo Vehicular Diario Semanal

Resultados de conteo de tráfico semanal de la Avenida Mártir Olaya según el tipo de vehículo - Mayo 2011							
Tipo de vehículo	SABADO 14	DOMINGO 15	LUNES 16	MARTES 17	MIERCOLES 18	JUEVES 19	VIERNES 20
AUTO	25	29	23	21	23	27	26
CAMIONETA	20	18	15	17	14	13	16
BUS MED	10	12	12	13	11	12	10
BUS GRAN	9	11	10	8	10	9	11

CAM 2E	47	45	42	39	41	43	42
CAM 3E	42	39	41	36	38	38	40
ARTICULADO	17	17	14	18	17	19	21
TOTAL	170	171	157	152	154	161	166

Fuente: Municipalidad Distrital de Lurín 2011

Con estos valores se procedió a calcular el IMDA de la avenida Mártir Olaya obteniendo los resultados que se pueden observar en el Anexo 14.

Capacidad Vial Actual

Según los conceptos explicados en la sección 2.9 “Teoría de Flujo Vehicular” se procede a determinar la capacidad vial actual de la avenida según los datos levantados en campo, ver Anexos 15 y 16.

De los datos trabajados resulta que cuando $k = 0$, se obtiene la velocidad máxima, $v_{máx} = 32.84$ km/hr, asimismo cuando $v = 0$ se obtiene la concentración máxima, $k_{máx} = 15.6$ veh/km, y por lo tanto la capacidad máxima de la avenida es de 127.9 veh/hr, los cuales circulan a una velocidad promedio de 16.2 km/hr y una concentración de casi 8 veh/km lo cual explica la condición tan pobre de la vía y lo pesado de los vehículos, ver cálculos en Anexo 17, 18, 19, 20 y 21.

Composición Vehicular

Para poder determinar la composición vehicular es necesario usar el cuadro 16 del IMDA obtenido anteriormente (3.1.1 Transito Actual), de tal manera se puede clasificar los vehículos según el tipo que sean como se puede apreciar en el cuadro 3.

Cuadro 3: Composición vehicular

VEHÍCULO	CLASIFICACIÓN	NOMENCLATURA	IMDA
AUTO	VEHICULO LIGERO	VL	29
CAMIONETA	VEHICULO LIGERO	VL	19
BUS MEDIANO	OMNIBUS DE 2 EJES	B2	13
BUS GRANDE	OMNIBUS DE 3 EJES	B3	10
CAM 2E	CAMION SIMPLE 2 EJES	C2	44
CAM 3E	CAMION SIMPLE 3 EJES	C3	40
ARTICULADO	REMOLQUE 3 EJES + 1 DOBLE	C3 - R2	18
TOTAL			173

Fuente: Elaboración Propia

Se muestran algunos de los tipos de vehículos considerados en esta composición.

Figura 31: Progresiva 0+895 – Camión (C3-R2) y camión (T2S3) dirigiéndose de S-

N



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32: Progresiva 2+400 – Camioneta y auto dirigiéndose de S-N



Fuente: Elaboración Propia

Figura 33: Progresiva 0+890 – Camión Remolque (C4-R3) dirigiéndose de N-S



Fuente: Elaboración Propria

Condiciones Actuales del Pavimento

La avenida Mártir Olaya tiene una longitud de aproximadamente 2.4 km de los cuales el 90% de la vía se encuentran con saneamiento físico legal, la vía es de sección variable con una superficie de rodadura de arena suelta, y una topografía longitudinal regular con tramos de pendientes de 0.25%.

Por otro lado, es preciso mencionar que la avenida poseía un pavimento diseñado para un flujo vehicular de baja densidad, el cual estaba compuesto mayormente por vehículos livianos. Actualmente dicho pavimento presenta tal desgaste que en la mayoría del tramo de la avenida solo se evidencia la parte de la capa perteneciente a la base del pavimento, sin embargo se puede observar lo poco que queda de este pavimento existente en pequeñas secciones de la vía como se muestra en la Figura 34 y 35.

Figura 34: Progresiva 0+905 – Vista S-N del pavimento existente



Fuente: Elaboración Propia

Figura 35: Progresiva 0+910 – Pavimento existente en otro tramo de la vía



Fuente: Elaboración Propia

A pesar de que la mayoría del tramo presenta una capa de rodadura en mal estado, existe un tramo de aproximadamente 456 metros con pavimento completo pero que contiene muchas fallas. Para este caso, se decidió analizar el tramo en cuestión para que de esta manera se sustente la actual condición de dicho pavimento. El método que se usó para determinar el estado del pavimento de aquel tramo fue el PCI (Pavement Condition Index). En primer lugar se hizo una inspección visual y se identificó las

diferentes fallas encontradas en el pavimento a lo largo del tramo. Estas fallas se identificaron de acuerdo a la norma ASTM 5340-98, véase la Figura 36, 37, 38 y 39.

Figura 36: Falla de peladura en el primer tramo de la avenida 0+000 – 0+040



Fuente: Elaboración Propia

Figura 37: Falla de agrietamiento por bloque en el segundo tramo de la avenida 0+040 – 0+080



Fuente: Elaboración Propia

Figura 38: Falla de agrietamiento por fatiga en el segundo tramo de la avenida

0+040 – 0+080



Fuente: Elaboración Propia

Figura 39: Grieta Transversal en el cuarto tramo de la avenida 0+10 – 0+160



Fuente: Elaboración Propia

Luego de la identificación de las fallas se procede a plasmar lo encontrado en un plano teniendo en cuenta la correcta nomenclatura. - Plano de Fallas, ver Anexos.

Cabe mencionar que a partir de la progresiva 0+456.5 hasta la 2+400, que es donde acaba la avenida, corresponde a la parte de la trocha de la vía por ello no es contada en el análisis de levantamientos de fallas.

Así pues considerando el reconocimiento de fallas se procederá a calcular el PCI y de esta manera confirmar el mal estado del tramo de la vía pavimentada. Ver Anexos – “Cálculo del PCI”

El PCI calculado resultó 37, el cual es considerado como “muy pobre “según la norma ASTM 5340-98 y por lo tanto se recomienda una reconstrucción de la avenida.

ANALISIS Y RESULTADOS

Diseño de Pavimentos

Determinación de la matriz vehicular

En base a los tipos de vehículos existentes en la vía, se define la matriz de la siguiente manera.

Cuadro 4: Matriz utilizada para el MEPDG

CLASIFICACION AASTHO	CLASIFICACION MEPDG	IMDA	(%)
BUSES	CLASE 4	23	17.97
CAMION 2 EJES	CLASE 6	44	34.38
CAMION 3 EJES	CLASE 7	40	31.25
ARTICULADO	CLASE 11	21	16.41
TOTAL		128	100

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 5: Clasificación vehicular según AASTHO

Sketch	Descripción
	Motocicletas
	Vehículos de Pasajeros
	Camionetas Ligeras, 2 ejes, 4 llantas
	Buses
	Camiones simples, 2 ejes, 6 llantas
	Camiones simples, 3 ejes
	Camiones simples, 4 ejes o mas

Fuente: AASTHO 1993

Cuadro 6: Nomenclatura y ejes

TIPO DE VEHICULO	NOMENCLATURA	Nº DE EJES	DESCRIPCION
AUTO	VL	2	2 ejes , 4 llantas
CAMIONETA	VL	2	2 ejes , 4 llantas
BUS MEDIANO	B2	2	2 ejes 6 llantas
BUS GRANDE	B3	3	3 ejes, 8 llantas
CAMION 2 EJES	C2	2	2 ejes , 6 llantas
CAMION 3 EJES	C3	3	3 ejes, 8 llantas
ARTICULADO	T3S1/2/3	5	1 eje simple, 4 tandem dual

Fuente: Elaboración propia

Determinación del número de ejes equivalentes

En el siguiente cuadro se presentara el cálculo del factor EALF por tipo de vehículo Ligero y Pesado. Este cálculo será utilizado para el cálculo del factor Camión que es usado para el cálculo de ESAL. Además, es preciso mencionar que todos los datos de las cargas son asumidas como las reglamentarias ya que no se efectuó un pesaje real de las cargas de los vehículos que transitan por esta avenida.

Cuadro 7: Cálculo del EALF

VEHICULOS	PESOS (TN)	PESOS(TN) EJES POSTERIORES			EJES EQUIVALENTES(EALF)			
	Eje delantero	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje delantero	Eje 1	Eje 2	Eje 3
AUTO	2	2			0.0022	0.0022		
CAMIONETA	5	5			0.1311	0.1311		
BUS MEDIANO	7	11			0.5505	3.03		
BUS GRANDE	7	16			0.5505	0.0472		
CAMION 2 EJES	7	11			0.5505	3.03		
CAMION 3 EJES	7	18			0.5505	1.985		
CAMION ARTICULADO	7	11	11	11	0.5505	3.03	3.03	3.03

Fuente: Elaboración propia

Se procede al cálculo de los factores para la aplicación de la formula ESAL.

ADT y T son factores que priorizan los vehículos de carga pesada del conteo de vehículos IMDA.

Cuadro 8: Aforo de Vehículos

TIPO DE VEHICULO	IMDA
AUTO	29
CAMIONETA	19
BUS MED	13
BUS GRAN	10
CAM 2E	44
CAM 3E	40
ARTICULADO	18
SUB TOTAL	173

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje entre Camiones de dos y tres ejes, más los articulados es 58.9%. En base a la sumatoria de ESAL de los vehículos presentes en el conteo IMD se puede obtener el factor camión Tf.

Cuadro 9: Cálculo del factor camión

EJES EQUIVALENTES					
Vehículo	Eje delantero(EALF)	Eje 1(EALF)	Eje 2(EALF)	Eje 3(EALF)	ESAL(*)
Auto	0.0022	0.0022			0.0044
Camioneta	0.1311	0.1311			0.2622
Bus Med	0.5505	3.0300			3.5805
Bus Grande	0.5505	0.0472			0.5977
Cam. 2 ejes	0.5505	3.0300			3.5805
Cam. tandem	0.5505	1.9850			2.5355
Articulado	0.5505	3.0300	3.0300	3.0300	9.6405

Sumatoria	20.201
Tf	0.198

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el factor camión es 0,198.

El factor de crecimiento (G, Y) es comparable con otro factor de medida como el PBI (Producto Bruto Interno) y se proyecta a una cantidad de años elegida para el periodo de diseño.

Cuadro 10: Factor de crecimiento

Design period (years)	Annual growth rate (%)							
	No growth	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Source. After AASHTO (1981a).

Fuente: Guía AASTHO 1993

Se define en base al PBI actual (6 %) y al periodo de diseño (20 años). Obteniendo 36,79.

d) Para el uso de la Vía (D, L) se asume a un 50 %, según teoría vehicular para una vía de 2 carriles en dirección contraria.

Finalmente se aplica la fórmula de ESAL(ecuación 12) para el periodo de diseño para obtener:

Cuadro 11: Factor ESAL

RESUMEN CALCULO ESAL		
ADT	173	-
Tf	0.198	-
T	0.589	%
(G)(Y)	36.79	-
(D)(L)	0.5	%
Días	365	días
ESAL	135 498	veh/año

Fuente: Elaboración propia

Entonces se obtiene que el factor ESAL a considerar en el diseño sea de 135 498 vehículos al año. Tenemos según el resultado del ESAL un IMDA = 135 498/365 = 371.22 veh/día. Según este resultado y a la clasificación de acuerdo a la demanda del manual de Diseño Geométrico para Carreteras DG 2007, es vía debe ser considerada una avenida de tercera clase ya que tiene un IMDA menor a 400 veh/día (bajo tránsito).

Diseño

Método AASHTO

En este subcapítulo se procederá a realizar el diseño y el cálculo de los espesores de las diferentes capas que componen la estructura típica de un pavimento como la carpeta asfáltica, la base y la sub-base, todo en base a los parámetros que proporciona la guía de diseño de pavimentos de AASHTO 93. Para lograr esto a continuación se procederá a definir algunas de las variables necesarias para realizar el diseño.

- Periodo de análisis

Cuadro 12: Tabla de periodos de diseños

Guidelines for Length of Analysis Period	
Highway conditions	Analysis period (years)
High-volume urban	30-50
High-volume rural	20-50
Low-volume paved	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

Fuente: Guía AASTHO 1993

En el caso de la avenida Mártir Olaya, que es una vía pavimentada y con bajo volumen de tránsito se elegirá un periodo de diseño según lo recomendado por la AASTHO 93 la cual está indicada en el cuadro líneas arriba. Por lo tanto, el periodo de diseño escogido es de 20 años, que es un promedio entre el máximo y mínimo que manda la tabla.

- Grado de confiabilidad

El nivel de confiabilidad a usar varía con el volumen del tránsito, el tipo de calle y otras consideraciones como se ve en la tabla a continuación.

Cuadro 13: Tabla de grados de confiabilidad

Suggested Levels of Reliability for Various Functional Classifications		
	Recommended level of reliability	
Functional classification	Urban	Rural
Interstate and other freeways	85-99.9	80-99.9
Principal arterials	80-99	75-95

Collectors	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

Fuente: Guía AASTHO 93

Para este caso se elegirá un grado de confiabilidad será de (R): 90% ya que la avenida Mártil Olaya es una vía considerada como colectora actualmente. Por otra parte, la desviación estándar del sistema es (S_o): 0.49 (valor recomendado para pavimentos flexibles según la AASTHO 93).

- Valor del desviador

Cuadro 14: Desviación estándar de la distribución normal

Standard Normal Deviates for Various Levels of Reliability			
Reliability (%)	Standard normal deviate (Z_R)	Reliability (%)	Standard normal deviate (Z_R)
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

Fuente: Guía AASTHO 93

Para nuestro caso la desviación estándar de la función normal correspondiente a una confiabilidad del 90% la cual fue elegida anteriormente es igual a $Z_r = -1.282$ tal como se indica en la tabla líneas arriba.

- Serviceabilidad

Los índices de serviceabilidad inicial y terminal deben ser establecidos para poder calcular el cambio en serviceabilidad PSI. Este último valor será usado en las ecuaciones a utilizar.

Serviceabilidad Inicial (pi):

Flexible: 4.2

Rígido: 4.5

Serviceabilidad Final (pt):

Nivel más bajo tolerable antes de una rehabilitación, recapeo y/o reconstrucción.

Carreteras Mayores: 2.5

Carreteras de Bajo Tráfico: 2.0

Para este caso se utilizará una $\pi_i = 4.2$ (pavimentos flexibles) y un $\pi_f = 2$ (volumen bajo de tránsito)

- Tráfico

Se usan los 18-kip (80 kN) ESAL.

Existen valores ESAL para pavimentos flexibles y rígidos.

Si se diseña solo para un periodo de tiempo, saber el ESAL al final de ese periodo sería suficiente.

Si se diseña para varios períodos (incluyendo rehabilitaciones y recapeos) entonces se necesita saber el valor de ESALs vs. tiempo.

El ESAL para este diseño será de 135 498 veh/año.

- Módulo resiliente

Para nuestro caso, el número resiliente que se necesita en la fórmula para lograr nuestro diseño de manera satisfactoria es obtenido a partir del estudio del CBR de los diferentes materiales que se utilizarán en la base, sub-base y sub-rasante de la sección típica de la estructura del pavimento. Para ello se utilizarán las conversiones dadas por la guía AASTHO 93 para obtener un módulo resiliente a partir del CBR de un material.

Cuadro 15: Conversiones de valores de CBR a MR

Estimando los valores "normales" de módulo resiliente de los materiales, a partir de propiedades conocidas, tales como el CBR, plasticidad, contenido de arcilla, etc. Luego, mediante la aplicación de relaciones empíricas se estima el módulo resiliente para diferentes épocas del año. Estas relaciones pueden ser del tipo: Módulo Resiliente en invierno = 20 a 30% del Módulo en verano.

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

1. Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 7.2%

$$MR = 1500 \times CBR$$

2. Para materiales de sub-rasante con CBR mayor a 7.2% pero menor o igual a 20.0%

$$MR = 3000 \times (CBR)^{0.65}$$

3. Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 20.0%, se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia guía de Diseño AASHTO 93

$$MR = 4326 \times \ln(CBR) + 241$$

Fuente: Guía AASTHO 1993

Asimismo vale mencionar que los valores de CBR tanto de la base como de la sub-base se asumieron como los mínimos admitidos por el MTC en el manual de suelos, geología, geotécnica y pavimentos. Por su parte, el valor de CBR para la sub-rasante se obtuvo en base a las especificaciones técnicas de la municipalidad de Lurín.

Según lo desarrollado por la Asociación de Pavimentadores de Concreto de los Estados Unidos (ACPA) y en base a los CBR se puede calcular con la siguiente fórmula los Mr correspondientes a la base y sub-base que se colocará.

$$MR(\text{base}/\text{sub-base}) = 385.08 \times CBR + 8.66 \text{ (PSI)}$$

Usando estas conversiones y teniendo los datos de cada material se procede a calcular los módulos resilientes correspondientes

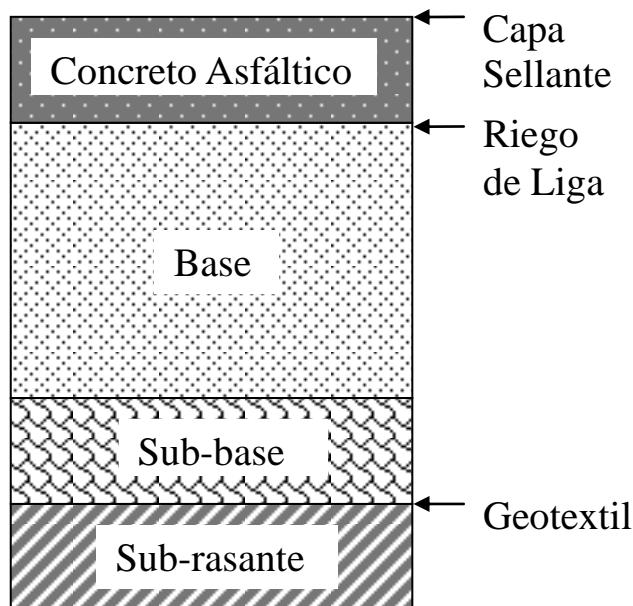
Cuadro 16: Cálculo de los módulos resilientes

CAPAS	CBR (%)	MR (PSI)
BASE	80	30815
SUB-BASE	40	15412
SUB-RASANTE	7	10500

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido estos datos, se procederá a calcular los espesores de las capas que componen una estructura típica de pavimento flexible, como la que se muestra en la Figura 40.

Figura 40: Estructura típica de un pavimento flexible



Fuente: Google imágenes

- Cálculo de los espesores de la capas

La fórmula usada para realizar dichos cálculos es la que se muestra a continuación:

$$\log_{10} Wt18 = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Dónde:

Variables independientes:

- Wt18:

Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el periodo de diseño (n)

- ZR:

Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

- So:

Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.

- Δ PSI:

Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre el pavimento al concluirse su construcción (Serviceabilidad Inicial (po) y su periodo de diseño (Serviceabilidad Final (pt).

- MR:

Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub-bases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

Variable dependiente:

- SN:

Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

Aplicando la fórmula presentada y usando las variables descritas anteriormente se procede a realizar los cálculos correspondientes, obteniendo los siguientes resultados.

Cuadro 17: Resultados del diseño AASTHO

DATOS	
ESAL =	135,498.10
So =	0.49 DESVIACION ESTANDAR
R =	0.9
Zr =	-1.282
m2 =	0.8
m3 =	0.5
pi =	4.2
pt =	2
diferencia(psi) =	2.2
Mr base =	30815 psi
Mr sub-base =	15412 psi
Mr efec (sub-rasante) =	10500 psi
a1 =	0.44 AASTHO ROAD TEST CAPA DE RODARURA ASFALTICA
a2 =	0.14 a2-base = 0.249log(Mr base)-0.977 (AASTHO 72)
a3 =	0.11 a3-sub base = 0.227 log(Mr sub base)-0.839 (AASTHO 72)
SN1 =	1.44 formula
SN 2 =	1.9 formula
SN 3 =	2.2 formula

Fuente: Elaboración propia

Sabiendo que D son las alturas de los espesores de cada capa las cuales se obtienen de las siguientes fórmulas:

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - a_1 D_1}{a_2 m_2}$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - a_1 D_1 - a_2 D_2 m_2}{a_3 m_3}$$

Por lo tanto, los espesores de las capas D1, D2 y D3 corresponden al espesor de la carpeta asfáltica, espesor de la base y espesor de la sub-base respectivamente.

Solución final:

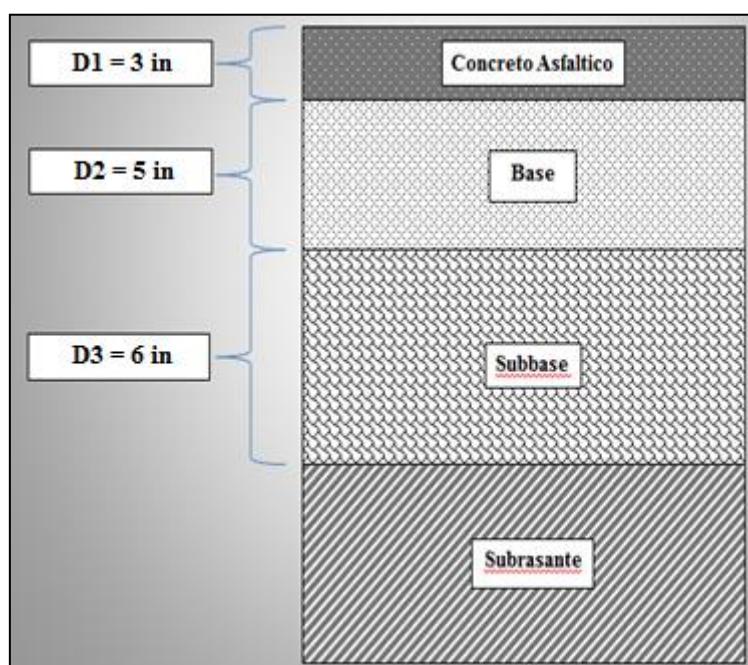
$$D1 = 3 \text{ in}$$

$$D2 = 5 \text{ in}$$

$$D3 = 6 \text{ in}$$

Por último, a continuación se presentará un esquema representativo de los resultados obtenidos en los cálculos descritos líneas arriba, Figura 41.

Figura 41: Espesores finales diseño AASTHO



Fuente: Elaboración Propia

- Drenaje

Un drenaje inadecuado afecta negativamente el comportamiento del pavimento, puede acelerar las apariciones de las deficiencias estructurales del pavimento ocasionando fallas prematuras, es por ello que dentro del diseño de pavimentos, se tiene que

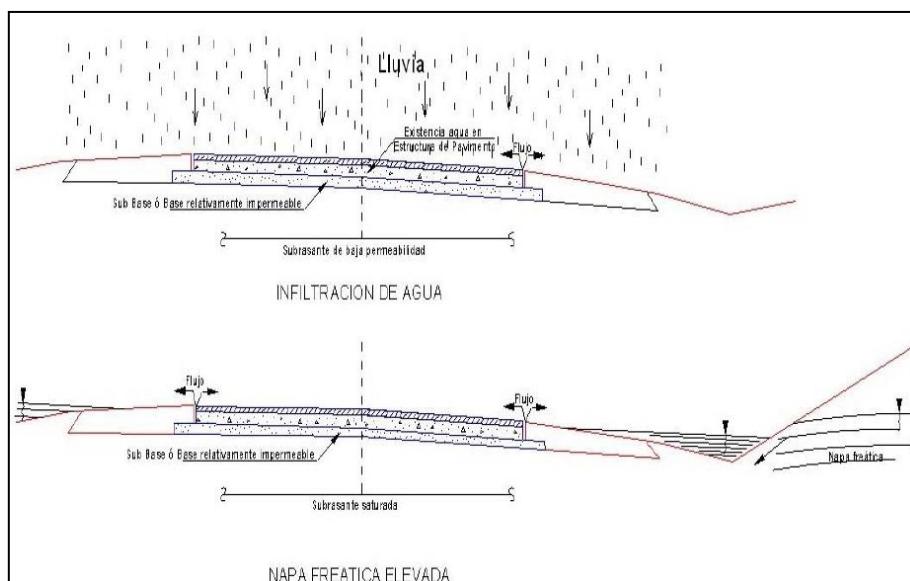
considerar alguna forma para evacuar tanto las aguas superficiales como las que se filtran dentro de las capas que conforman el pavimento.

Las condiciones desfavorables de drenaje se pueden dividir principalmente en dos categorías, ver figura 44:

a) Debido a infiltraciones de agua (lluvia) en el interior del pavimento, a través de grietas y juntas, sobre bases y sub bases poco permeable o sobre una subrasante relativamente impermeable, que da lugar a que el agua se encuentre atrapada en la estructura del pavimento y no pueda evacuar fácilmente.

b) Debido a nivel alto de la napa freática, ver Figura 42.

Figura 42: Condiciones desfavorables para el drenaje



Fuente: AASTHO Guide for Desing of Pavement Structures

Cuando los suelos de la subrasante son suficientemente permeables el drenaje es natural y no habría una necesidad real de un sistema de subdrenaje. La eficiencia del sistema de drenaje se mide por el tiempo necesario para lograr la eliminación de agua libre de la estructura del pavimento, sin una pérdida significativa de la eficiencia con el paso del tiempo y sin transporte de finos del suelo de la subrasante, subbase y base.

En este caso, para el proyecto de la avenida Mártir Olaya se presenta solo el primer caso desfavorable, que es la posibilidad de tener la presencia de aguas superficiales originadas por las lluvias, las cuales se pueden infiltrar en la estructura del pavimento. Para solucionar estos posibles problemas, en primer lugar se procederá a investigar sobre estudios hidrológicos de la zona en donde se construirá la pista. Esto se realizará con el fin de determinar principalmente las mayores intensidades de lluvias que han sido registradas en dicho lugar. Según las especificaciones otorgadas por la municipalidad distrital de Lurín la cuales fueron sacadas de un estudio hidrológico de Senamhi, indican que la precipitación promedio anual oscila entre 2 y 100 mm totales anuales. Estos datos fueron sacados de un registro mensual entre los años 1964-2004 de las estaciones pertenecientes a la cuenca del río Lurín, estación de Antioquia, Langa, San Lorenzo de Escama y Santiago de Tunas¹⁸.

Una vez obtenido los datos de precipitación promedio por año y sabiendo ya las características de la vía, como el flujo vehicular actual y proyectado, se puede decir cual solución será la más conveniente las condiciones de la avenida analizada. La solución es elegida en base al manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC del Perú. Este indica que en carreteras de bajo volumen de tránsito con IMDA inferior a 200 veh/día, se puede usar un bombeo para ambos carriles ente 2.5 y 3%. Aparte de esto en el mismo manual clasifica las zonas dependiendo de la intensidad de lluvia anual como se puede observar en el cuadro 18.

Cuadro 18: Clasificación de zonas según la intensidad de lluvia

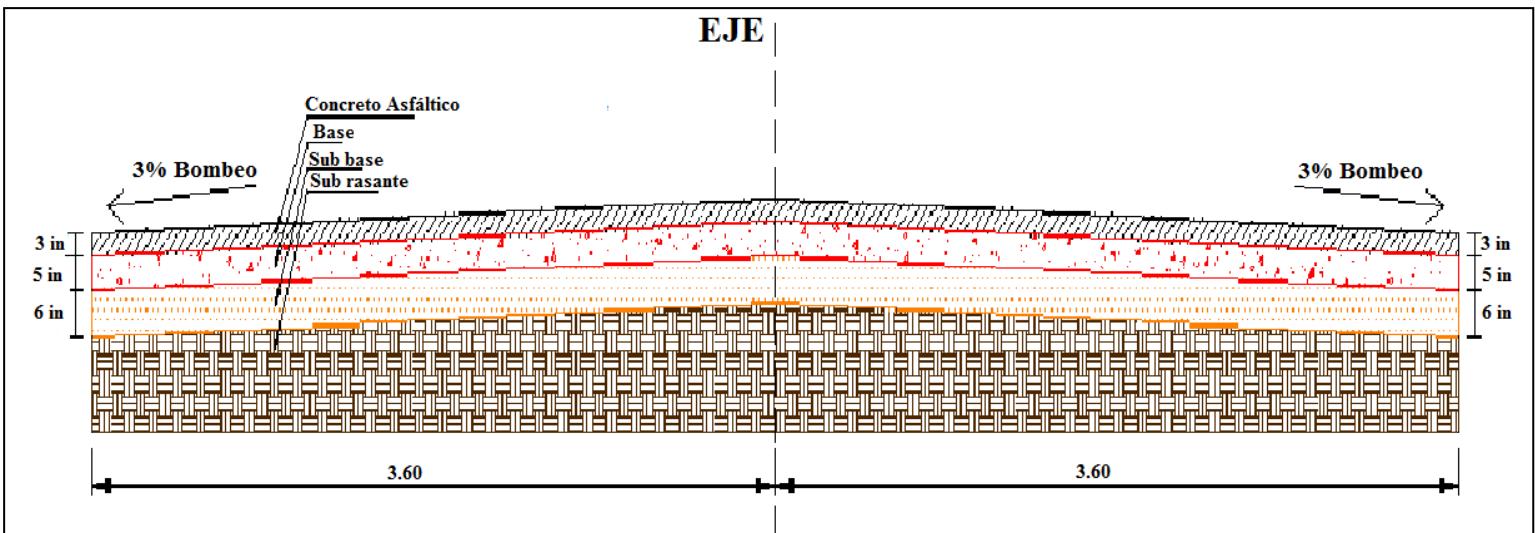
Región
Seca (<400 mm/año)
Lluviosa (De 400 a <1600mm/año)
Muy lluviosa (De 1600 a <3000mm/año) Muy lluviosa (>3000mm/año)

Fuente: AASTHO Guide for Desing of Pavement Structures

¹⁸ Cfr. Municipalidad Distrital de Lurín 2011

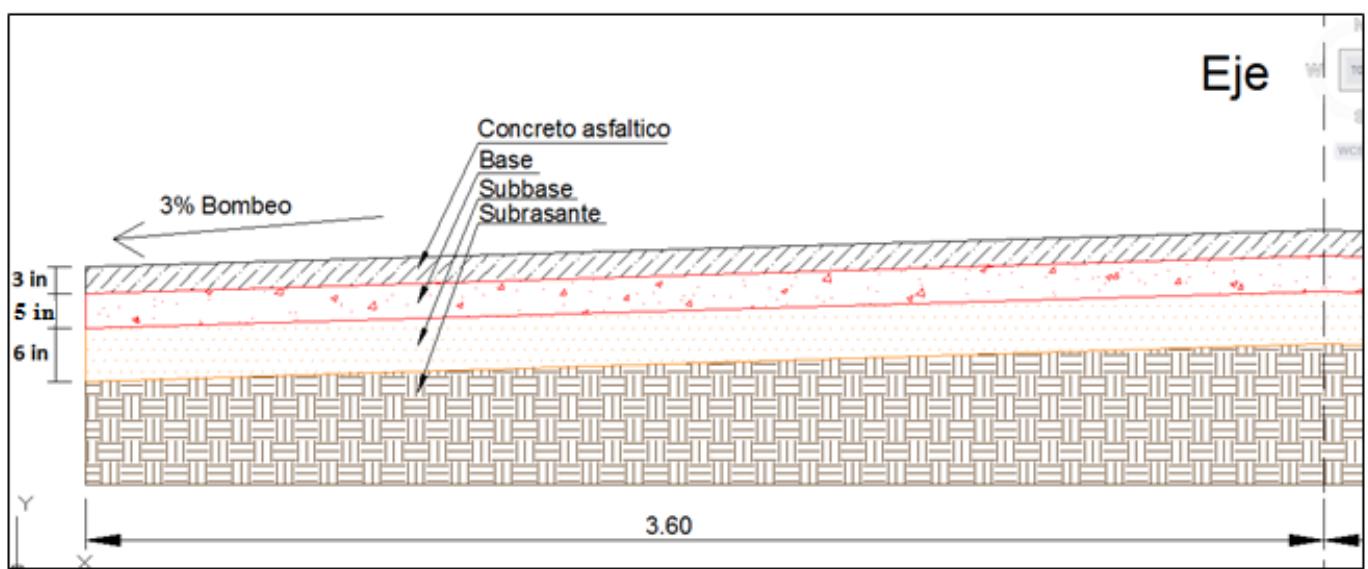
Por lo tanto, se puede decir que la zona donde se encuentra la avenida Mártir Olaya está considerada como una zona seca, es por ello que el diseño de drenaje para esta vía es básicamente por bombeo. Para esta avenida se escogerá un bombeo de 3% para cada carril debido a que si bien las condiciones de la vía como la intensidad de lluvia es baja también se tiene que considerar que el lugar donde se va a construir la avenida es cercana a la playa lo cual puede incrementar la humedad y por ende la intensidad de la lluvia. A continuación, en la Figura 43 y 44, se presentará la sección típica final propuesta para la avenida Mártir Olaya en cuanto al diseño de pavimentos.

Figura 43: Sección típica final



Fuente: Elaboración Propia

Figura 44: Sección típica del lado izquierdo de la avenida



Fuente: Elaboración Propia

Método Marshall

Con el cálculo estructural y las dimensiones de capas para el pavimento es necesario diseñar la mezcla de la carpeta de rodadura, por lo que se debe considerar:

- Análisis granulométrico y cumplimiento de huso granulométrico.

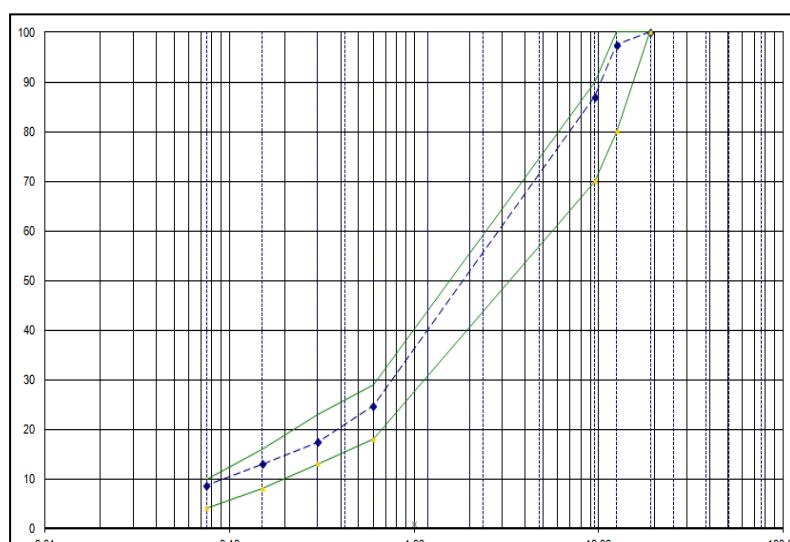
El huso granulométrico que se usará es el IV- B, según el MTC, apto para Carpetas de 1 a 2 pulgadas, por cual siendo la calculada de 3 pulgadas, se harán 2 capas de 1.5 para llegar al espesor de diseño.

Cuadro 19: Análisis Granulométrico

COMPOSICION DE MEZCLA GRANULOMETRIA								
TAMICES	TAMICES en mm	GRAVA 3/4" CHANCADA 9,0%	GRAVA 1/2" CHANCADA 27,0%	ARENA GRUESA <3/8" 64,0%	ESPECIFICACIONES IV - B		MEZCLA	OBSERVACION
					MIN	MAX		
3/4"	19,00	100,0	100,0	100,0	100	100	100,0	CUMPLE
1/2"	12,50	72,2	100,0	100,0	80	100	97,5	CUMPLE
3/8"	9,50	16,0	80,0	100,0	70	90	87,1	CUMPLE
Nº 4	4,75	3,5	9,1	95,4	50	70	63,8	CUMPLE
Nº 8	2,36	1,3	2,5	71,0	35	50	46,2	CUMPLE
Nº 30	0,600	0,6	1,1	38,0	18	29	24,7	CUMPLE
Nº 50	0,300	0,5	0,8	26,7	13	23	17,4	CUMPLE
Nº 100	0,150	0,4	0,4	20,0	8	16	12,9	CUMPLE
Nº 200	0,075	0,3	0,1	13,5	4	10	8,7	CUMPLE

Fuente: Ensayo de laboratorio “La Gloria”

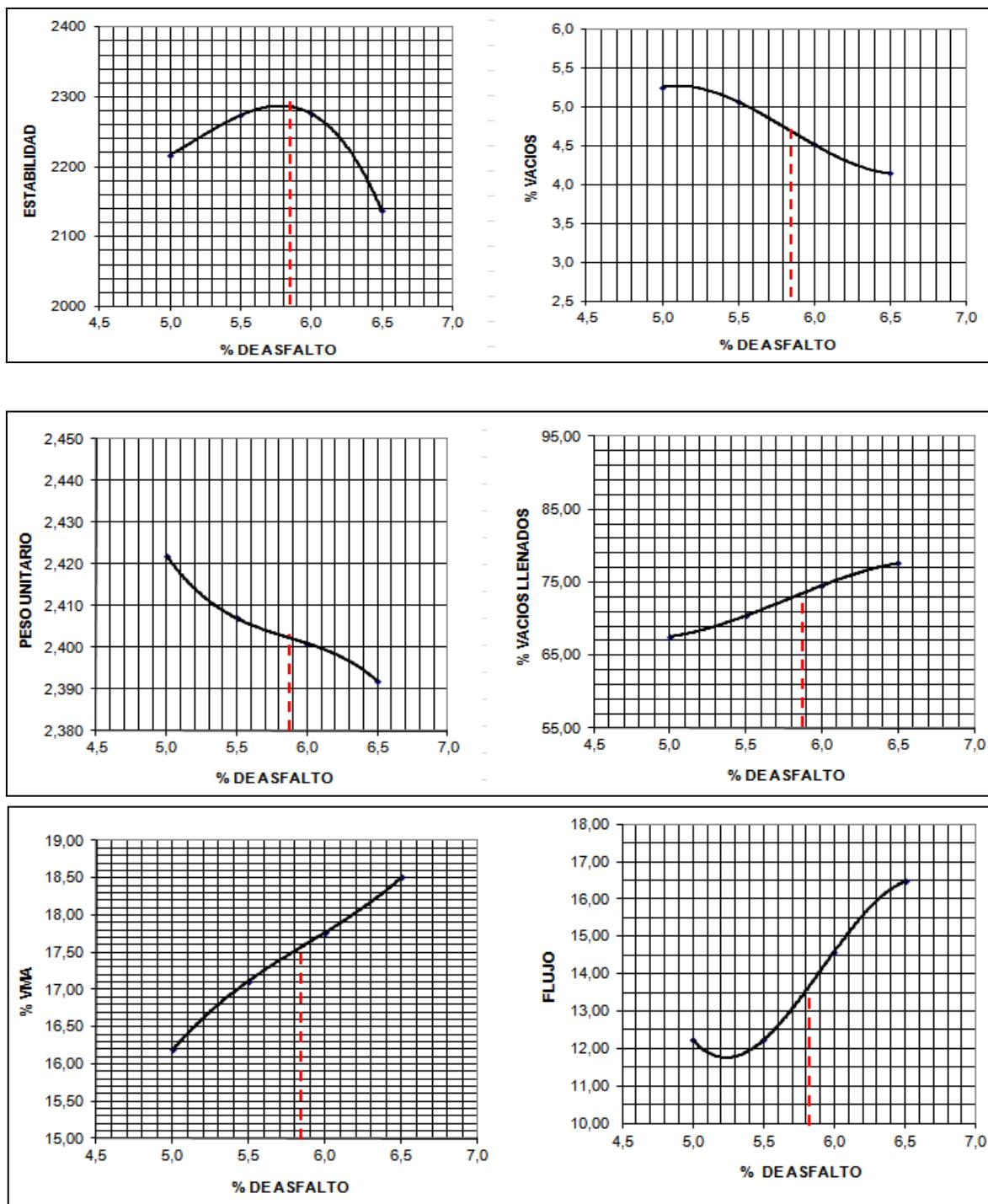
Figura 45: Curva Granulométrica



Fuente: Ensayo de laboratorio “La Gloria”

Análisis de propiedades físicas y relaciones específicas de asfalto con vacíos.

Figura 46: Relaciones específica Agregado - % de Asfalto



Fuente: Ensayo laboratorio “La Gloria”

De los 6 gráficos la relación de porcentaje de asfalto con la Estabilidad y el Flujo son los que definen el resultado del ensayo, estos se miden al fallar la muestra durante la compactación en laboratorio.

Definición de la cantidad específica de Asfalto de las 4 muestras analizadas.

Cuadro 20: Datos finales ensayo Marshall

	MUESTRA			
	M N°1	M N°2	M N°3	M N°4
% Asfalto	5,0	5,5	6,0	6,5
PESO UNITARIO	2,422	2,407	2,401	2,392
VACIOS DE AIRE	5,26	5,07	4,52	4,15
ESTABILIDAD	2217	2274	2276	2137
FLUJO	12,23	12,23	14,60	16,47
VMA	16,19	17,12	17,77	18,51
VACIOS LLENADO	67,54	70,40	74,54	77,59

Fuente: Ensayo laboratorio “La Gloria”

Los resultados confirman las relaciones encontradas en los gráficos de relaciones con asfalto, la estabilidad máxima se encuentra en el rango de 2274 y 2276 libras, por lo que la relación ideal de asfalto se corrobora como 5,6 %.

El ligante usado para las muestras es PEN 60-70, ya que el ensayo no provee un criterio de elección, se tomó el más común en el mercado actual.

Análisis MEPDG / Superpave

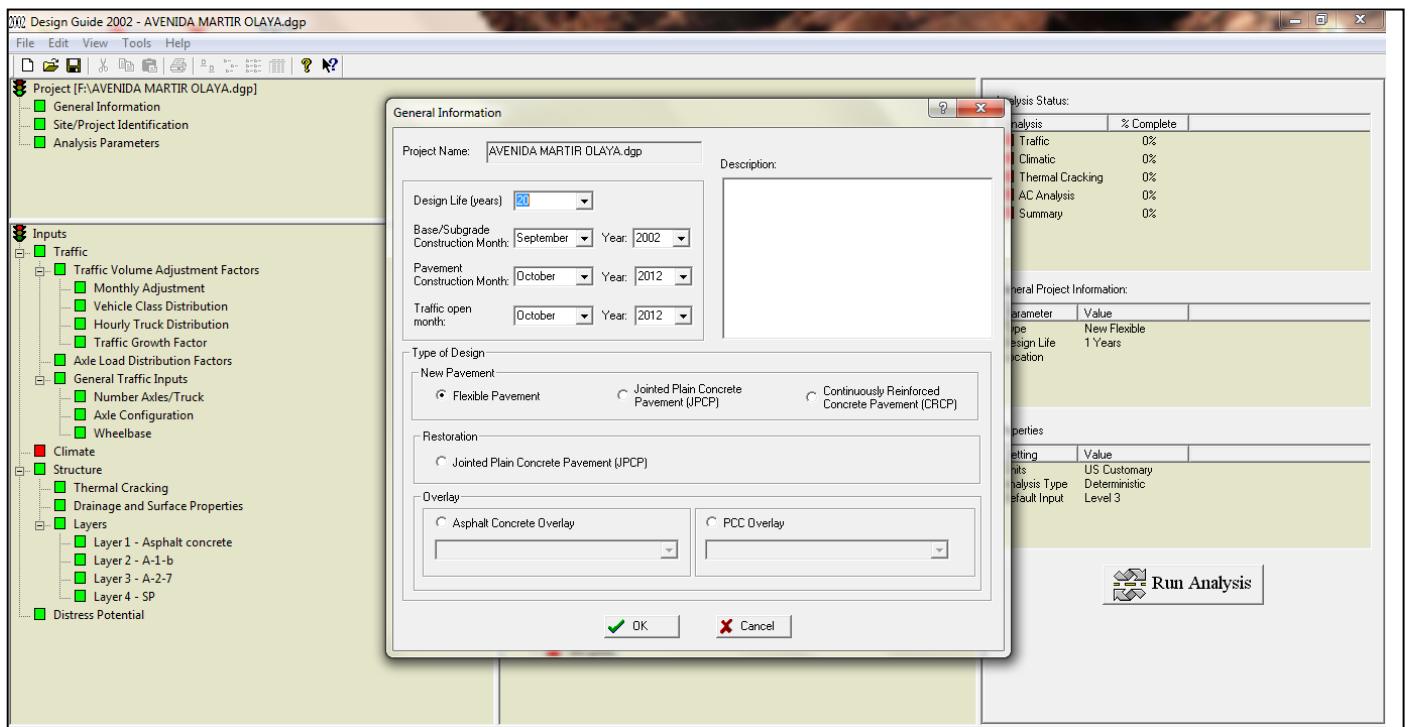
El ingreso de la data al software es dividido en 3 grupos: Datos Generales, Tráfico, Clima y características estructurales del suelo. Al no poder ingresar en un 100 % las condiciones reales ya que no se cuenta con los estudios previos en las áreas que competen el diseño del pavimento como análisis de tráfico, estudios de suelos y factores ambientales, se debe priorizar los cálculos obtenidos y usar el resto de data necesaria que el programa ofrece por defecto.

DATOS GENERALES

Información General:

Se ingresa el periodo de diseño y las fechas estimadas para el inicio y final de la construcción del pavimento, así también el tipo de diseño; flexible o rígido; y la posibilidad de un recapeo en vez de un diseño inicial.

Figura 47: Información general del proyecto

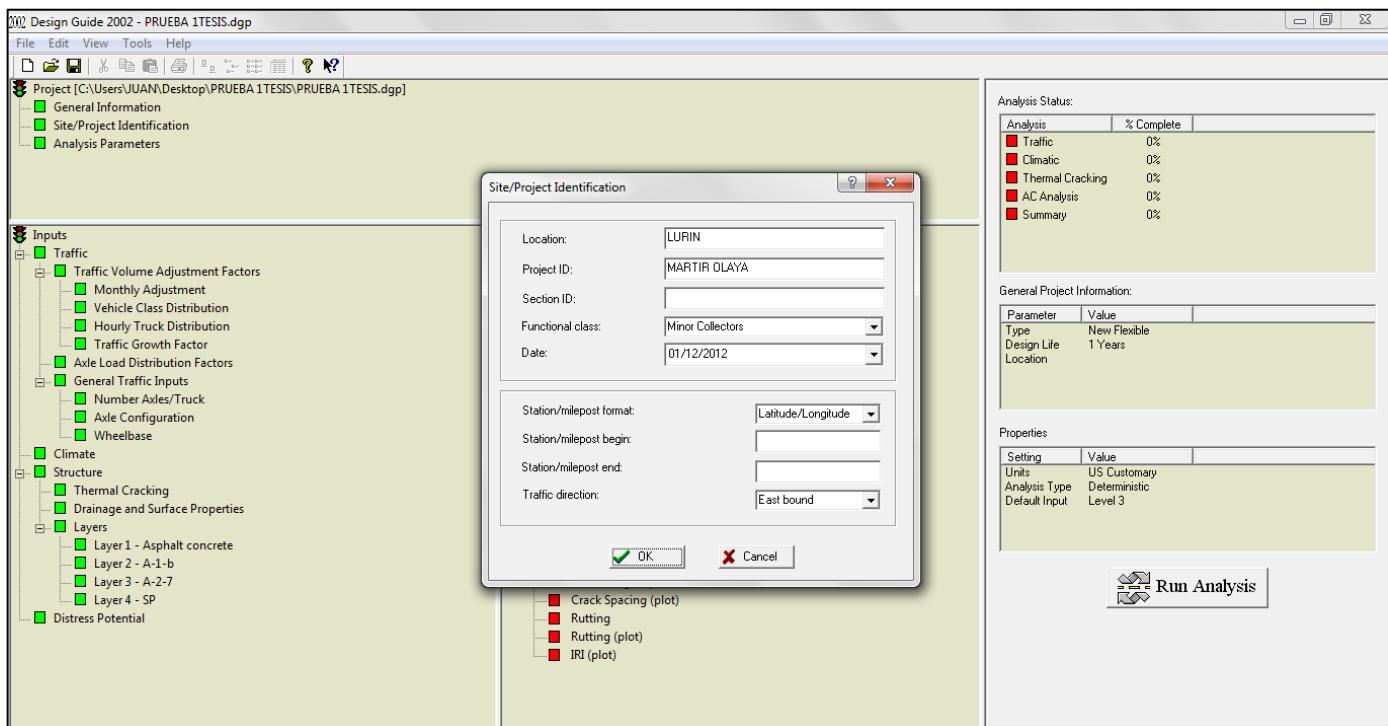


Fuente: Elaboración Propia

Lugar e identificación:

Se define la ubicación y datos referencia de localización en unidades de latitud y longitud.

Figura 48: Definiendo ubicación y datos de referencia del proyecto

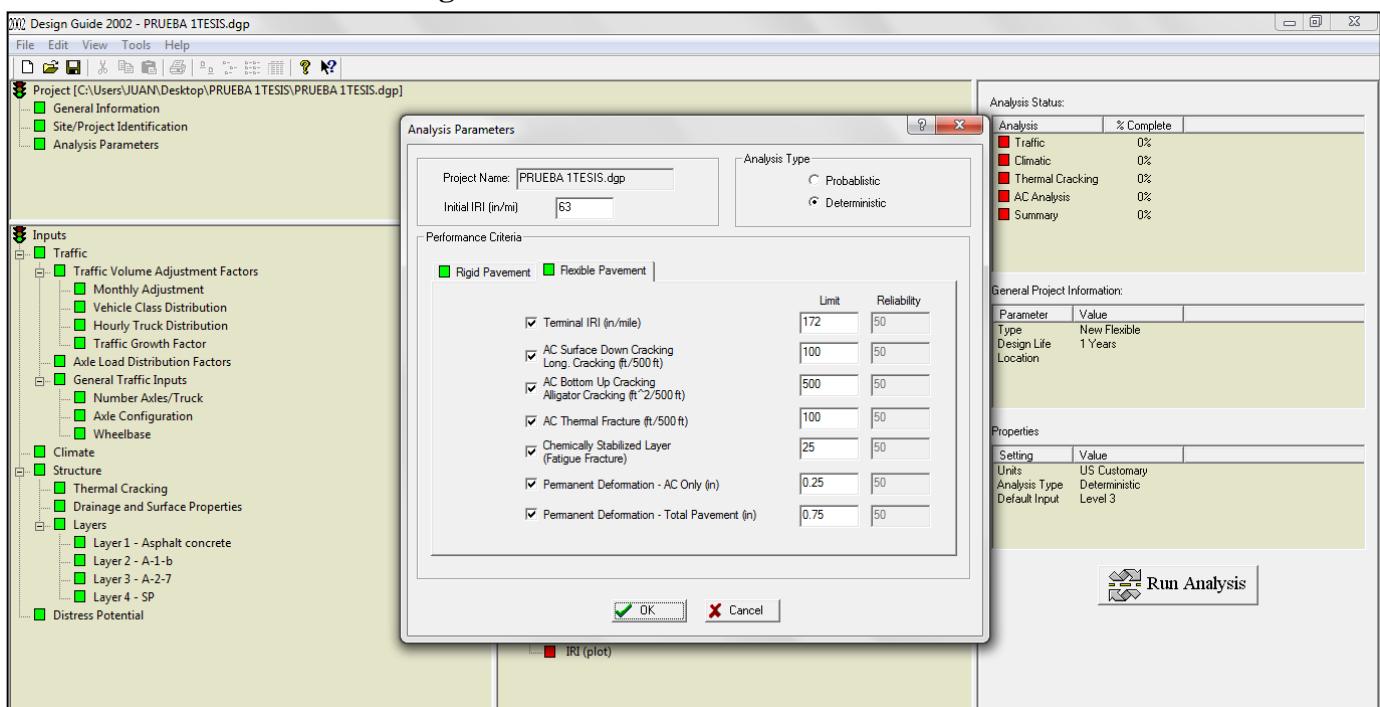


Fuente: Elaboración Propia

Parámetros de análisis:

Se define los parámetros de serviciabilidad bajo datos de análisis IRI, los cuales representan las características de una vía en función de la rugosidad presente o futura para un tipo de pavimentos genérico flexible.

Figura 49: Parámetros de serviciabilidad

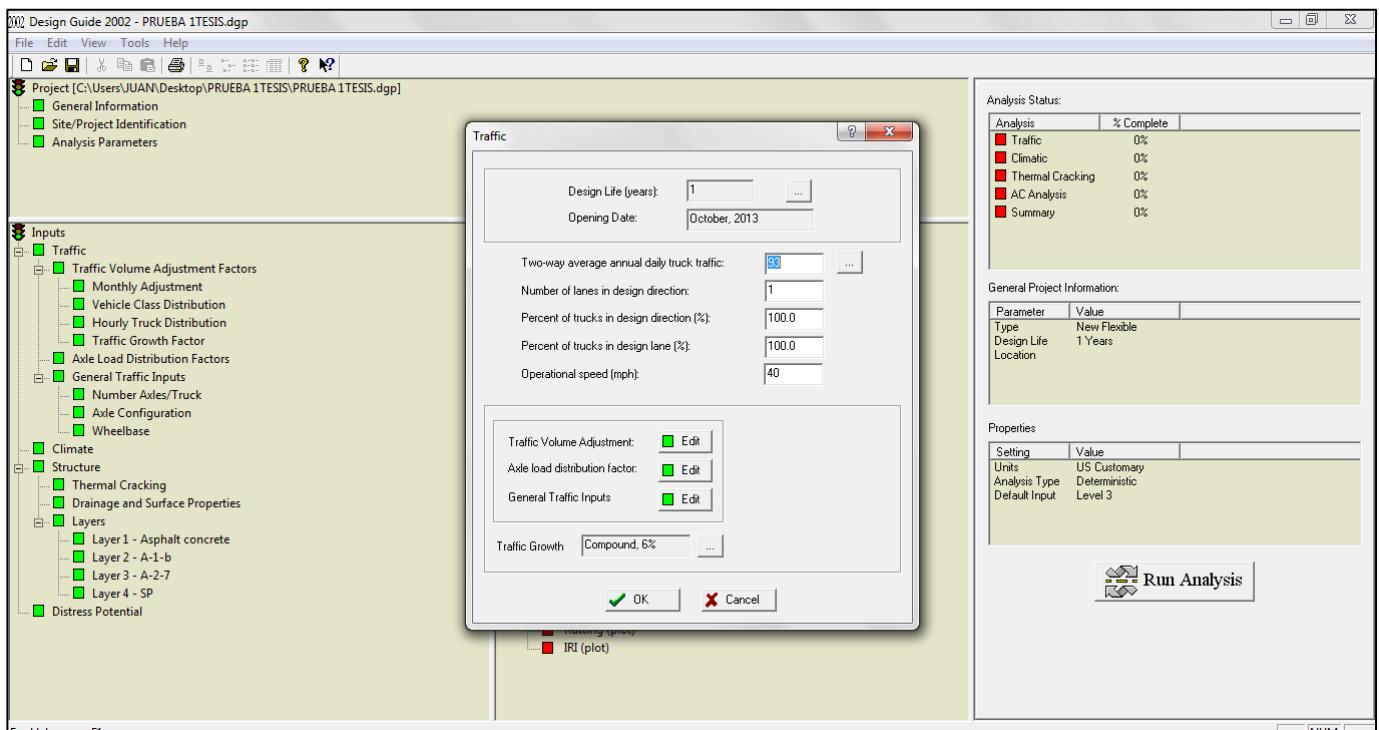


TRÁFICO

Características de la vía :

Se definen el promedio de camiones por día, el número de carriles de la avenida para el análisis, el porcentaje de vehículos pesado total y en carril de diseño, y finalmente la velocidad de diseño operacional.

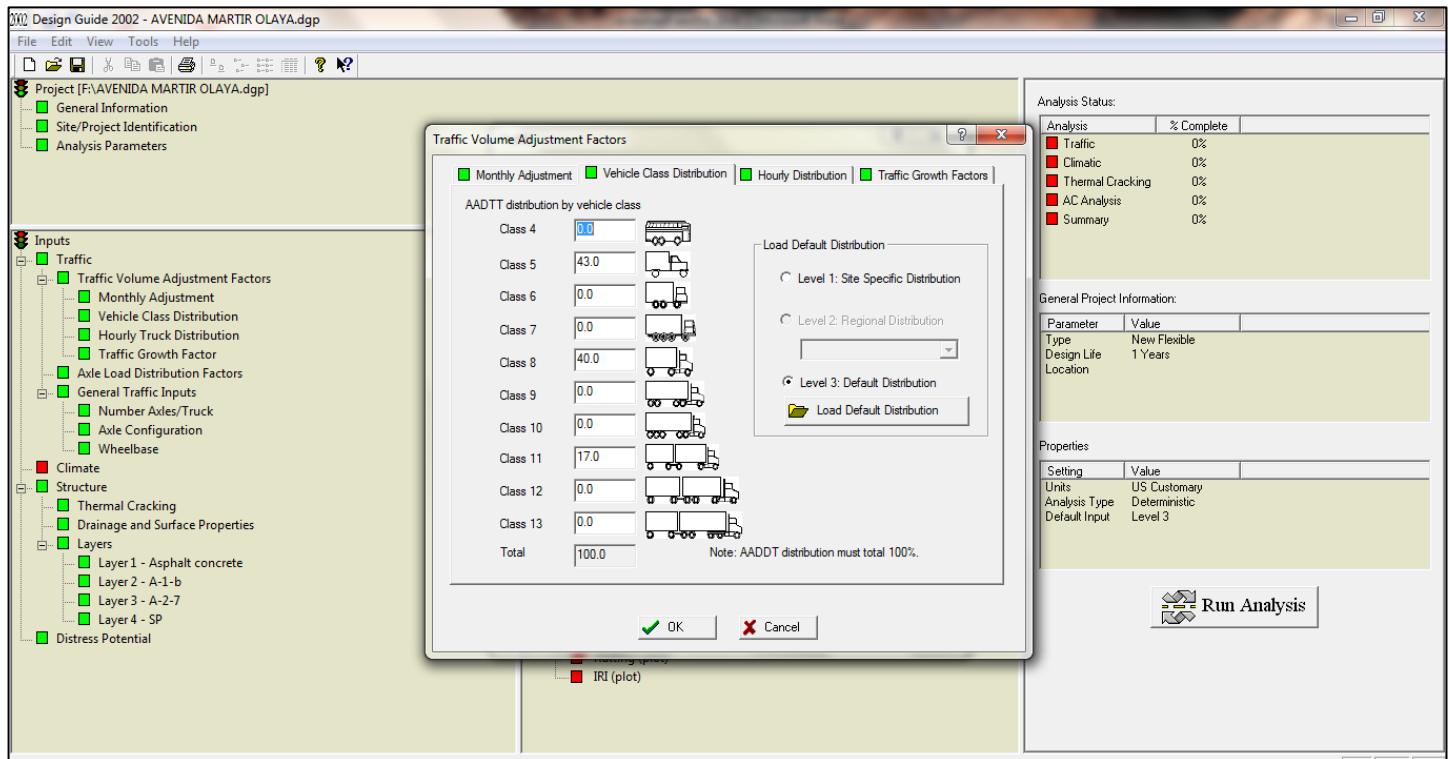
Figura 50: Características de la avenida



Factores de ajuste del volumen de tráfico con distribución por clase de vehículo:

Se asume para esta tabulación de datos el conteo del IMD que se obtuvo de los aforos, para identificar la distribución de vehículos pesado existentes que causan mayor daño y se encuentran en mayor volumen. (Clase 5, 8 y 11)

Figura 51: Distribución por clase de vehículo

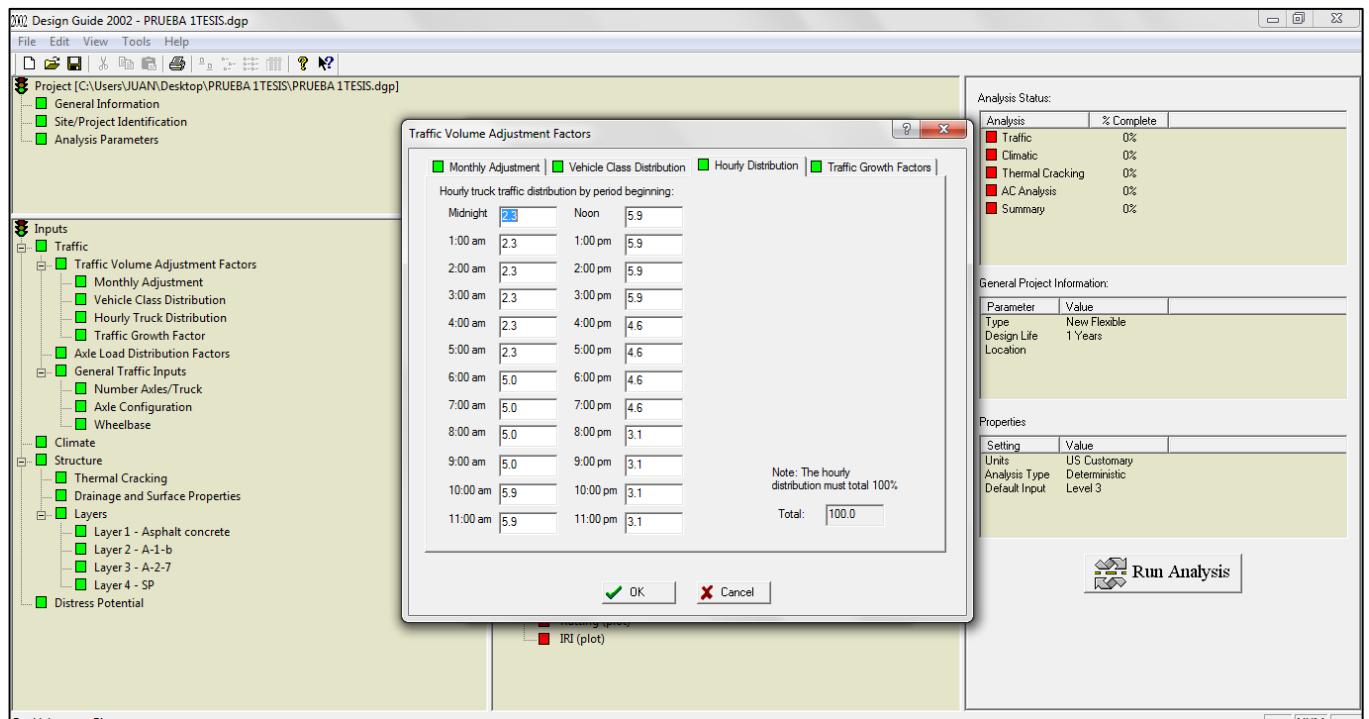


Fuente: Elaboración Propia

Factores de ajuste del volumen de tráfico con distribución por hora:

Se asume para esta tabulación los datos brindados por el programa ya que no se tiene aforo a tal nivel de detalle por cada tipo de vehículo.

Figura 52: Factores de ajuste de volumen de tráfico por hora

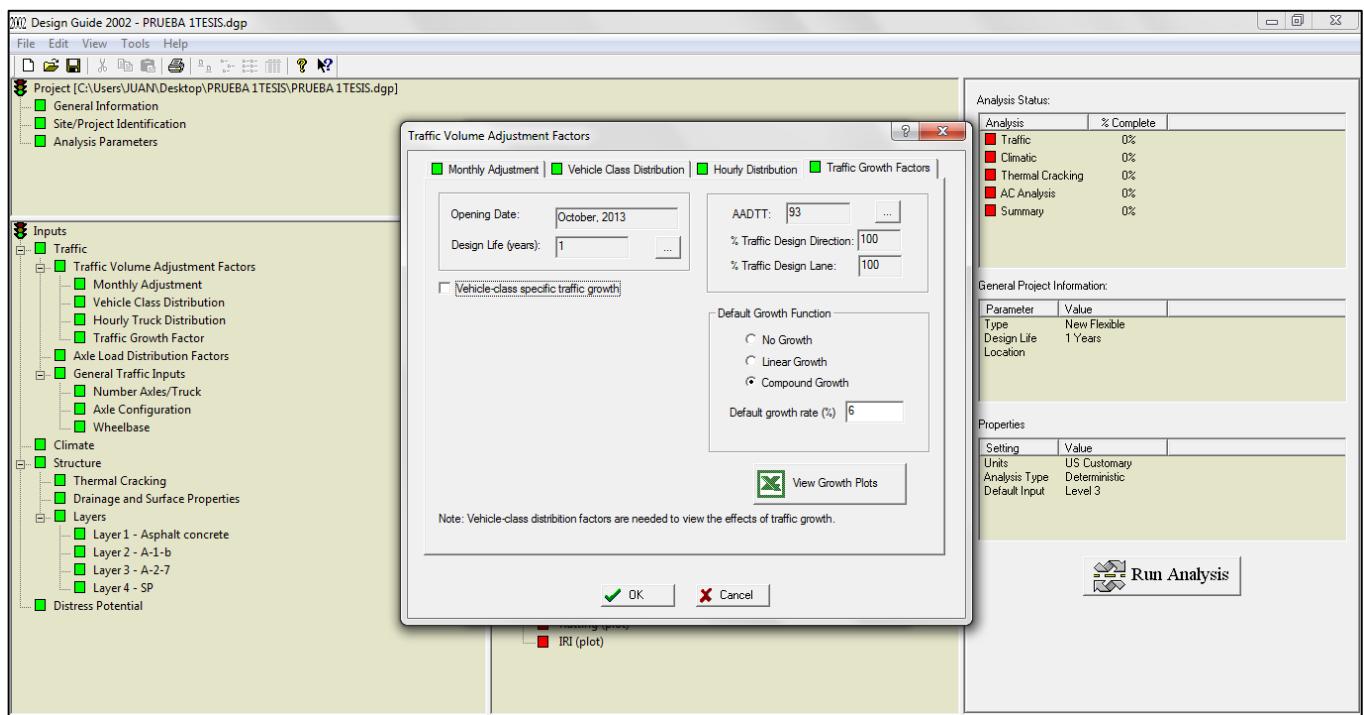


Fuente: Elaboración Propia

Factor de crecimiento del volumen del tráfico:

Se define el factor de crecimiento del tráfico que se asume como 6 % según cálculo de ESAL en el capítulo 2.

Figura 53: Factor de crecimiento del tráfico

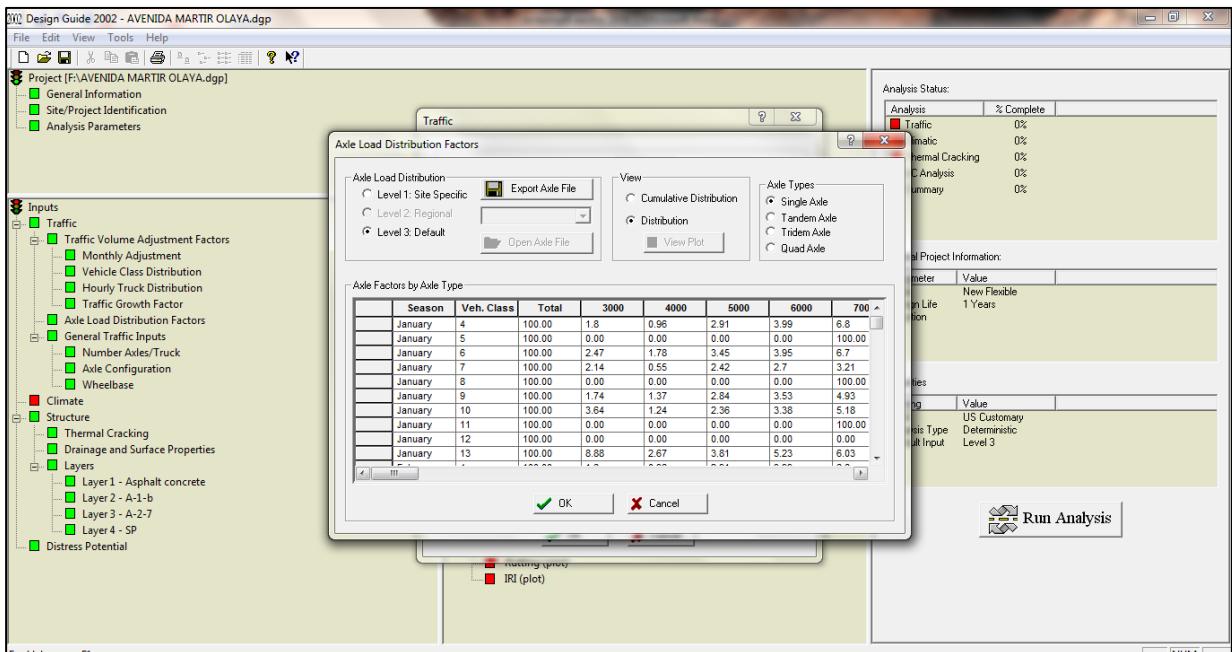


Fuente: Elaboración Propia

Factor de distribución de Carga por Eje:

Al definirse el porcentaje de vehículos pesados por cada tipo en pasos anteriores se debe calcular el porcentaje de distribución del peso por tipo de eje (simple o tandem).

Figura 54: Distribución de peso por tipo de eje

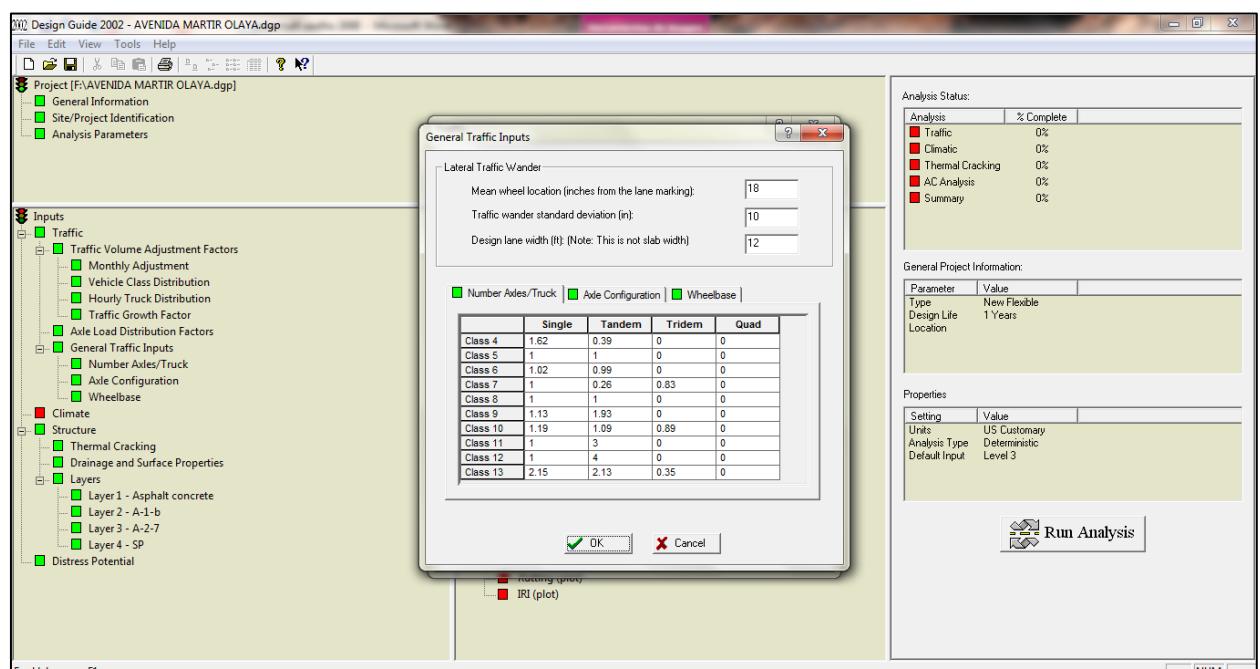


Fuente: Elaboración Propia

Cantidad de Ejes por tipo de vehículo:

En este paso se define la cantidad de ejes simples y tandem en cada tipo de vehículo pesado del conteo.

Figura 55: Definición de ejes simples y tandem

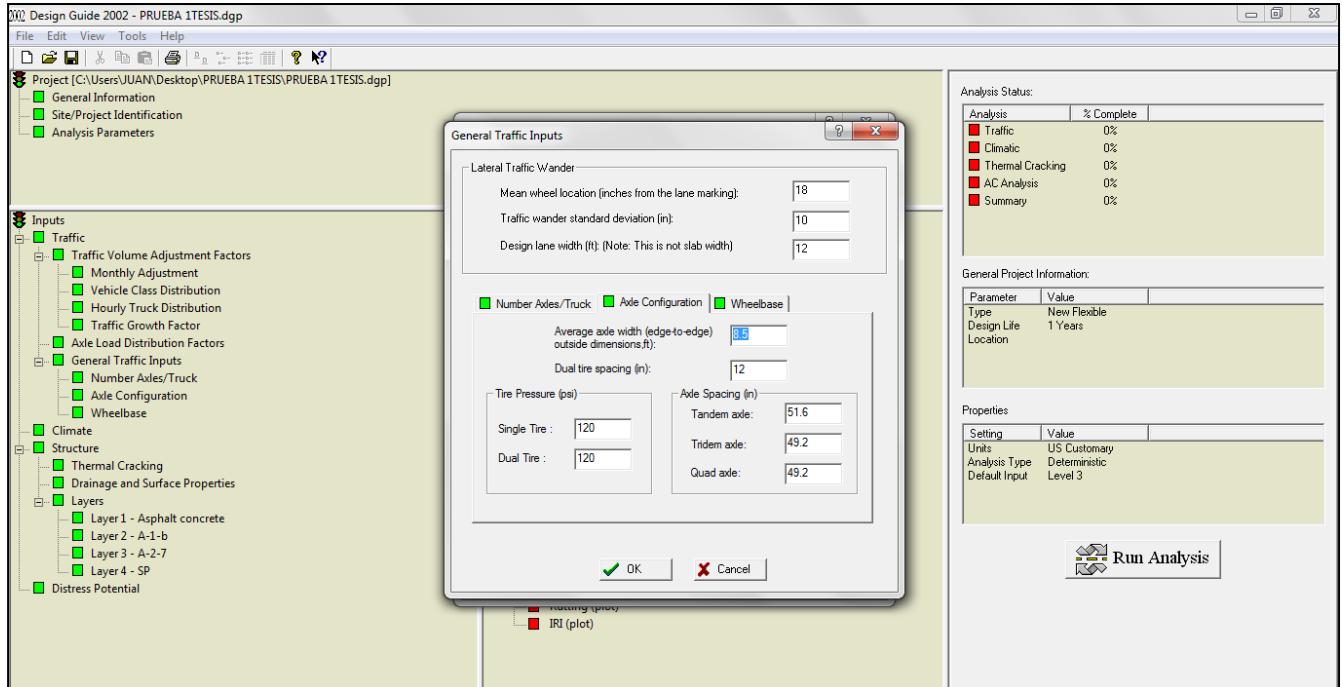


Fuente: Elaboración Propia

Datos generales de tráfico:

Se usan datos del programa como espaciamiento entre llanta, desviación de línea de seguimiento de llanta entre vehículos, presión de llanta, etc. (para cada tipo de eje).

Figura 56: Datos generales del tráfico

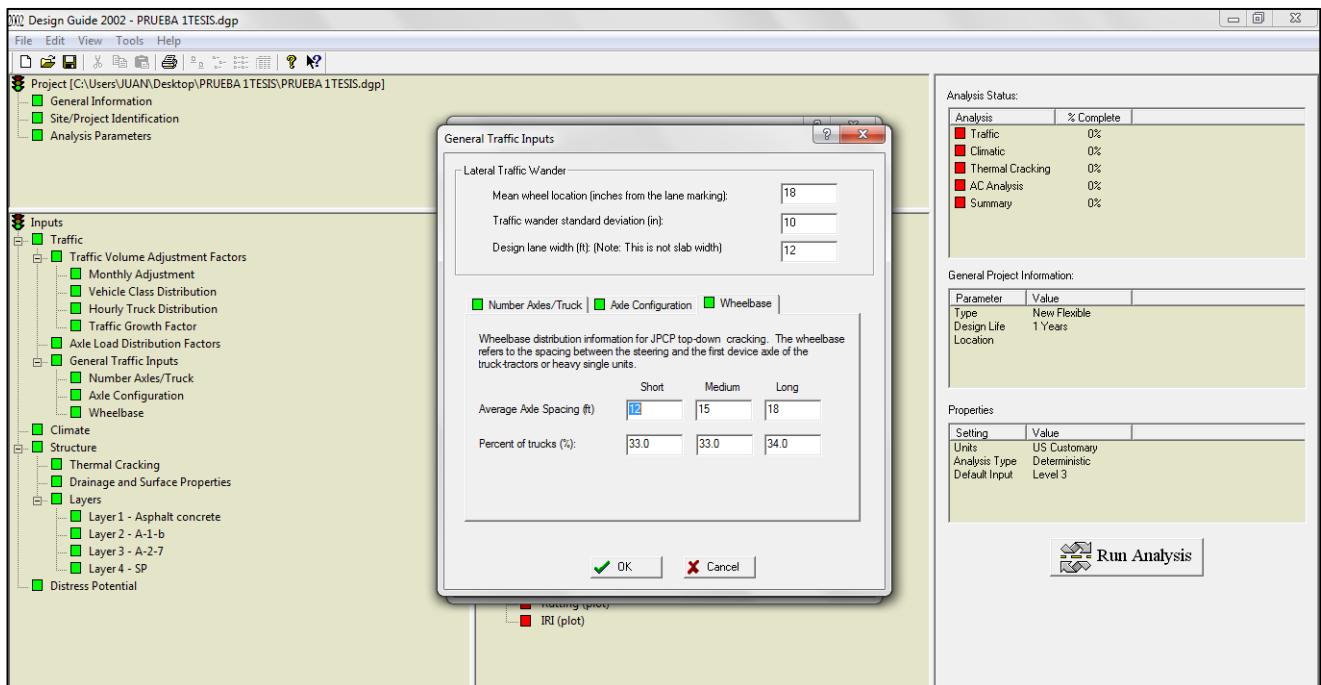


Fuente: Elaboración Propia

Espaciamiento entre ejes:

Se definen lo espaciamiento entre ejes por cada tipo de camión y por porcentaje del tipo existente ya definido.

Figura 57: Espaciamiento entre ejes



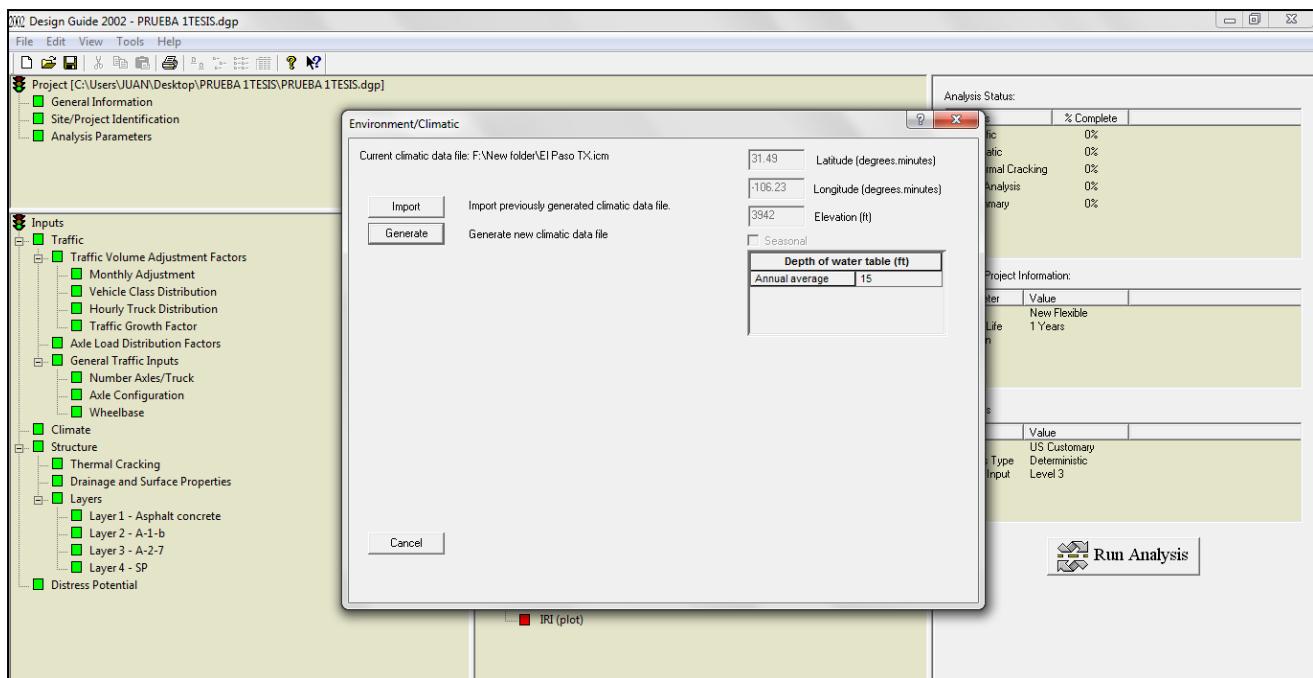
Fuente: Elaboración Propia

CLIMA

No se tienen estaciones de análisis de las condiciones ambientales por lo que elige la data de una ciudad de Estados Unidos con similar condición que el departamento de Lima.

Con el diseño mediante el método AASHTO 2008 y el uso de los MEPDG se espera la posibilidad iterar en una curva de tiempo los posibles daños a la estructura de tal manera que no solo se obtienen datos de diseño y construcción inicial, sino además una posibilidad abierta de control, mantenimiento y rediseño para la vía por predicción, con esta posibilidad se abre una nueva etapa en el diseño de pavimentos en el Perú.

Figura 58: Información del clima



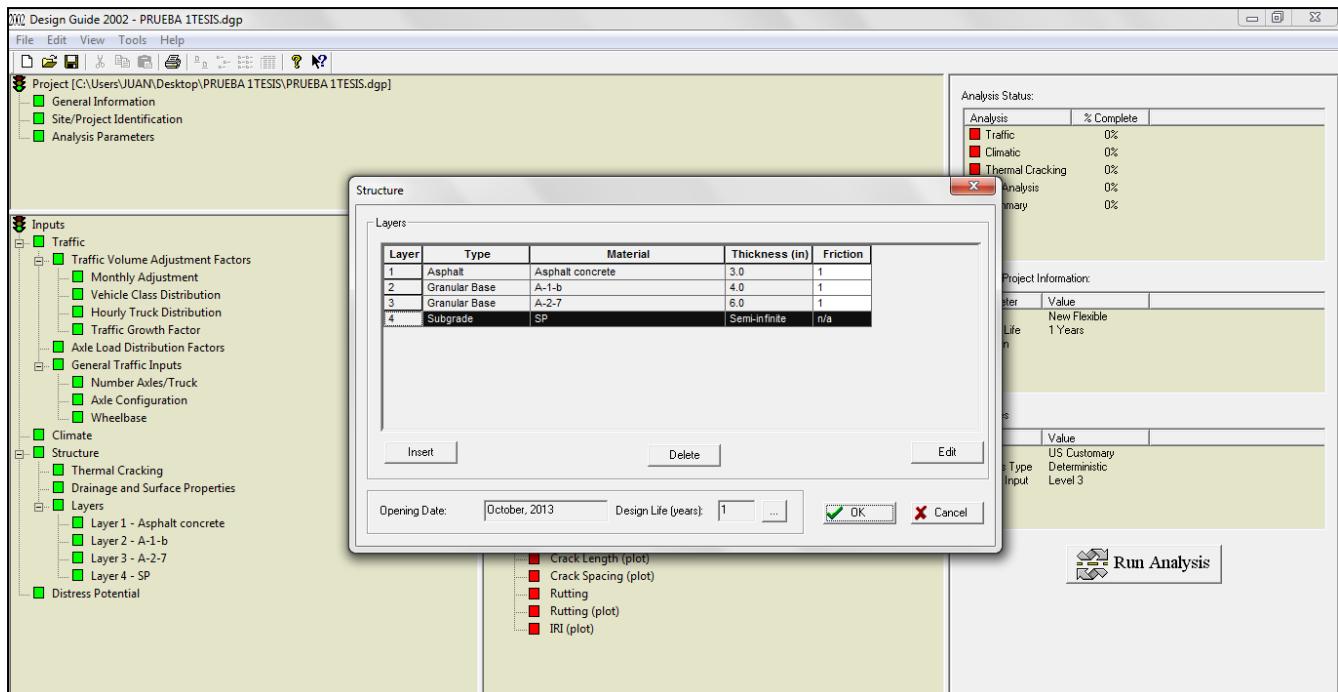
Fuente: Elaboración Propia

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Diseño AASHTO 93:

Con la guía del AASHTO 1993 se obtuvo las dimensiones de las capas del pavimento, por lo que se debe ingresar los resultados de cada una de estas. Se relaciona cada una de los estratos con el agregado característico que se debe usar y se define un factor de fricción.

Figura 59: Resultados de espesores del método AASHTO 93

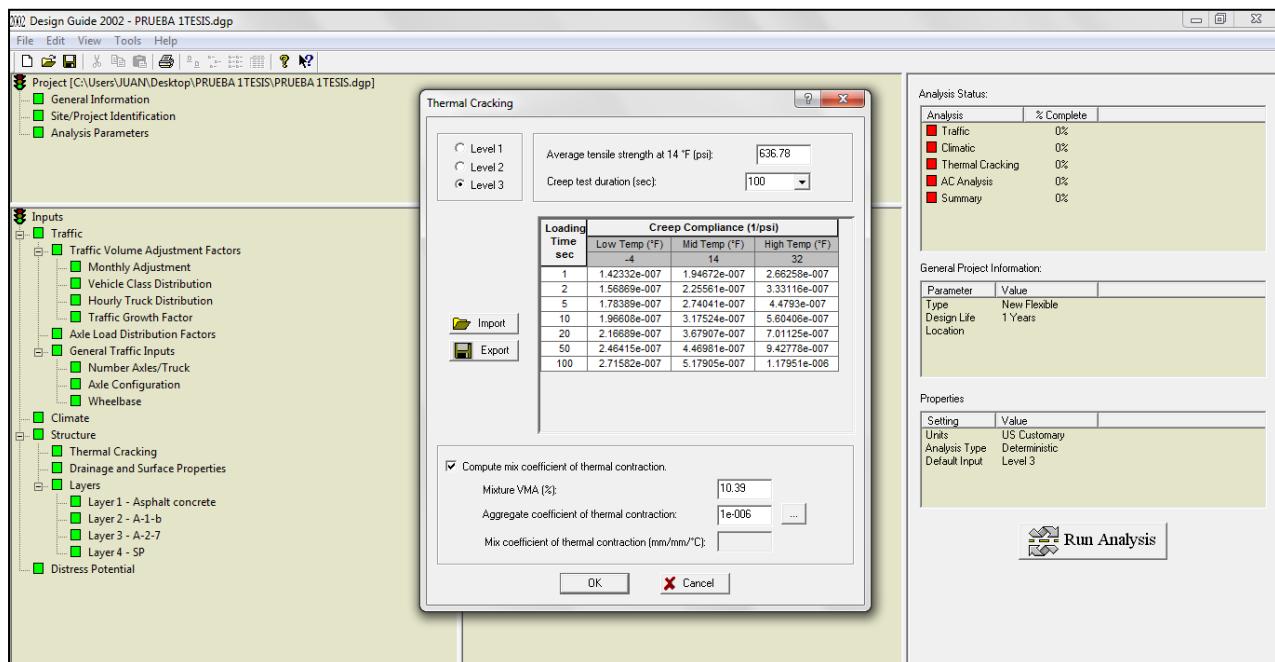


Fuente: Elaboración Propia

Falla por temperatura :

El análisis de falla de la carpeta asfáltica por temperatura se asume bajo la data ofrecida del programa, ya que no se realizó este cálculo en el ASHHTO 93 pero ahora es indispensable para el cálculo final.

Figura 60: Resultado de falla por temperatura

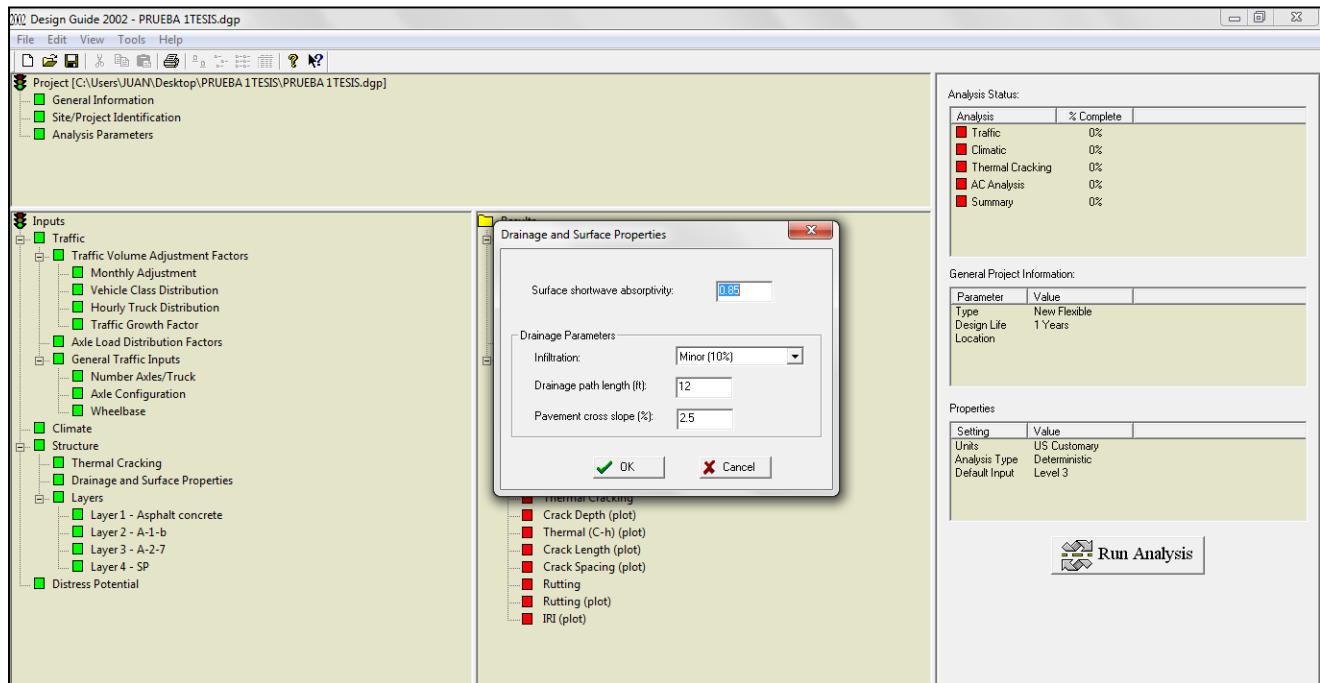


Fuente: Elaboración Propia

Características del drenaje:

Así como el análisis del efecto de la temperatura tampoco se tiene un estudio de infiltración y drenaje de agua en el pavimento; se asumen datos estándar del programa.

Figura 61: Características del drenaje de la avenida

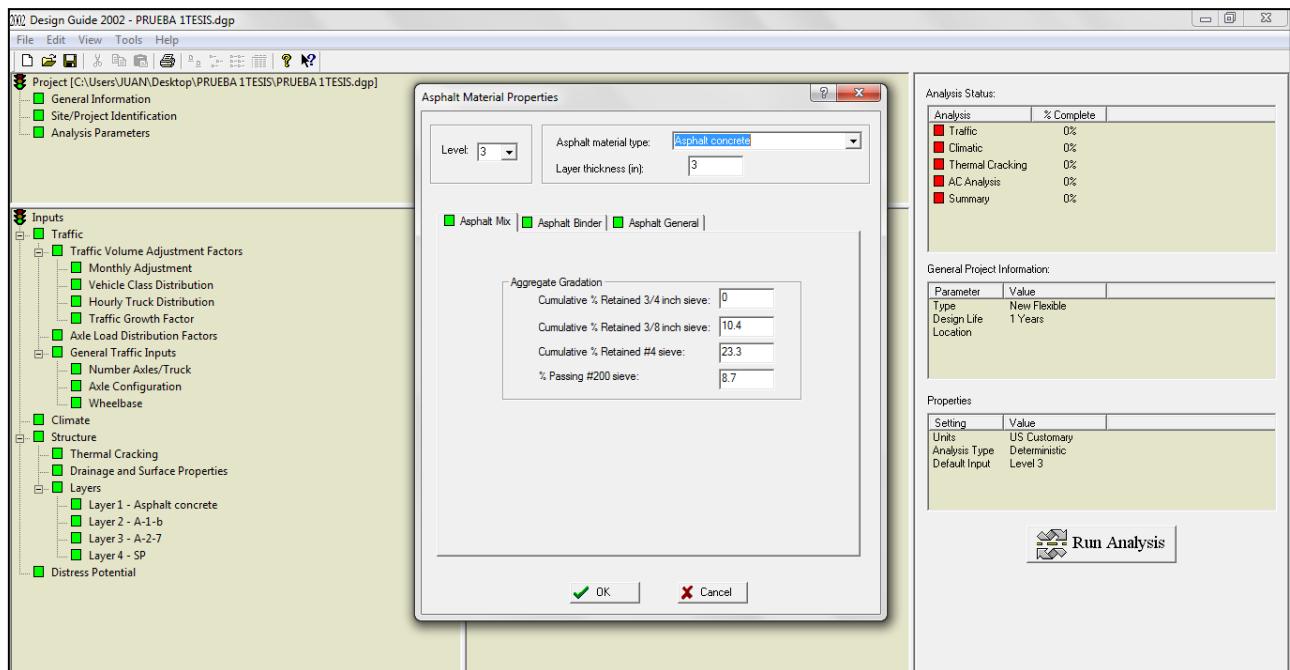


Fuente: Elaboración Propia

Carpeta Asfáltica

Se editan los valores estándar en la carpeta diseñada, donde se ingresan los datos de la granulometría evaluada en el ensayo Marshall.

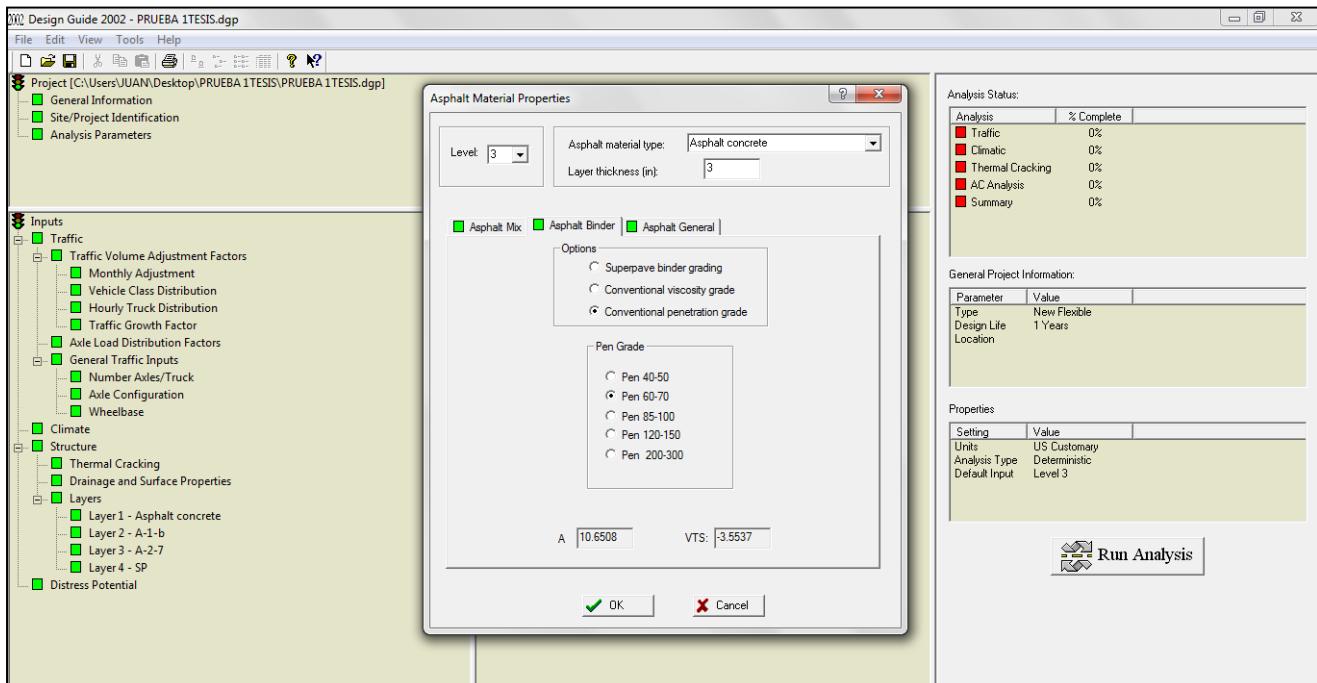
Figura 62: Parámetros obtenidos del ensayo Marshall



Fuente: Elaboración Propia

También se selecciona el tipo de ligante utilizado en el ensayo Marshall, siendo el más común en Perú el tipo Pen 60-70.

Figura 63: Ligante más común utilizado en el Perú

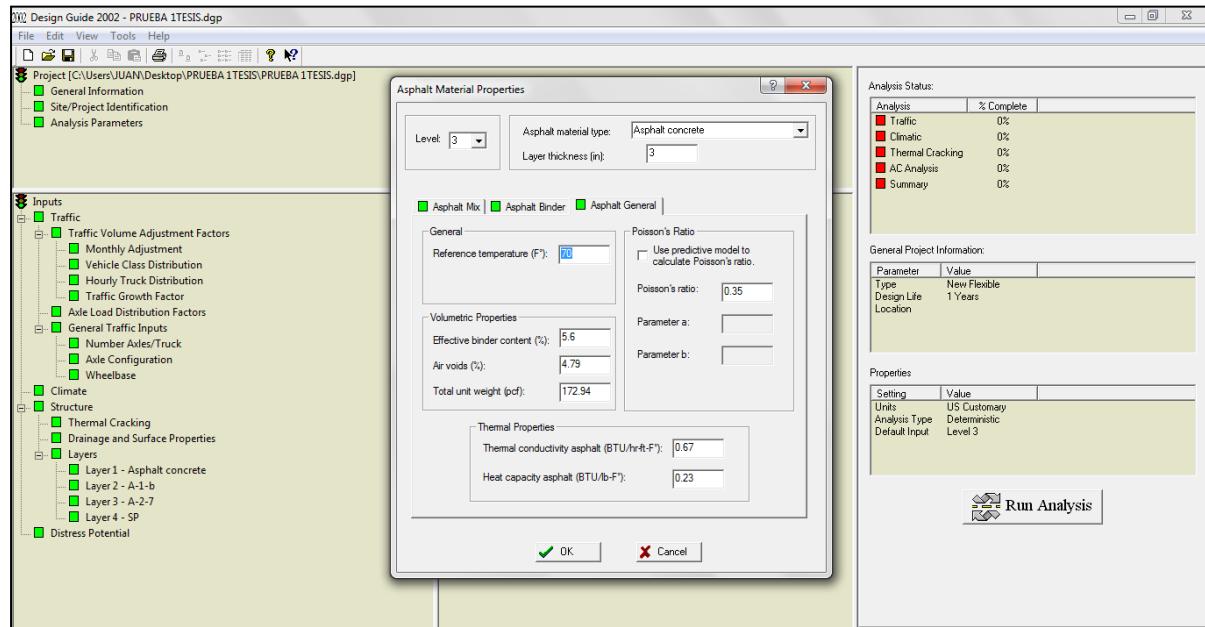


Fuente: Elaboración Propria

Finalmente se ingresan los resultados finales de diseño de mezclas en laboratorio con el obtenido ideal de asfalto, porcentaje de vacíos y peso específico total. Los demás datos

brindados por el programa como el coeficiente de poisson y factores térmicos se asumen como correctos.

Figura 64: Resultados finales de diseño de mezclas de asfalto

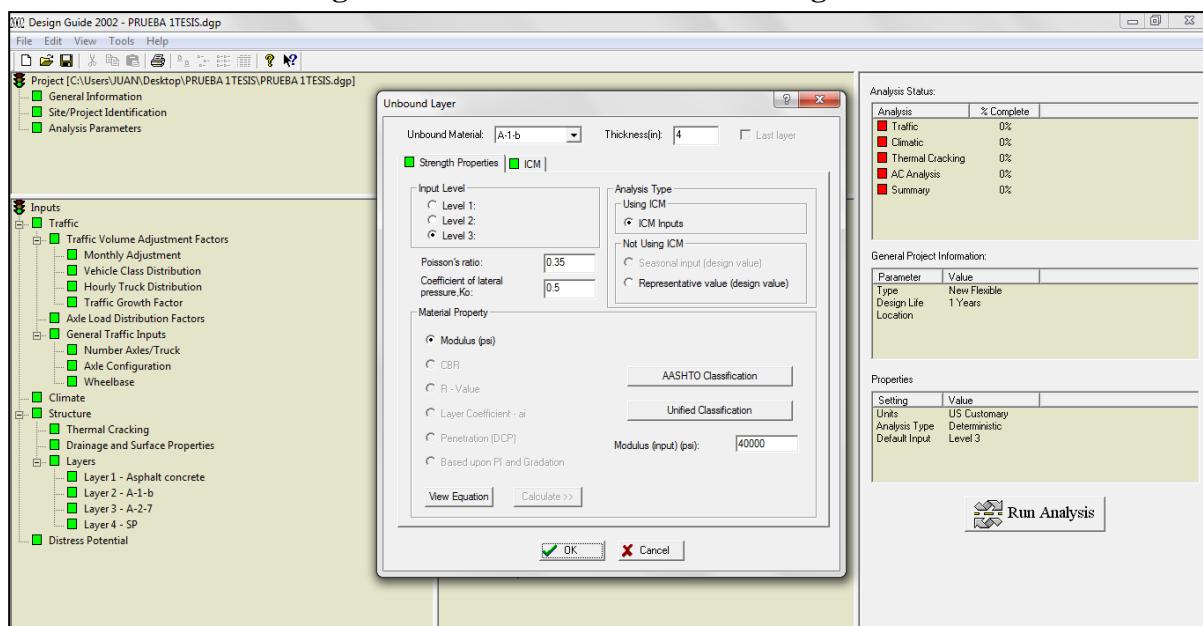


Fuente: Elaboración Propia

Base granular:

Para esta capa solo se debe procurar insertar el módulo resiliente común al tipo de suelo previamente seleccionado, en este caso fue de 40000 psi.

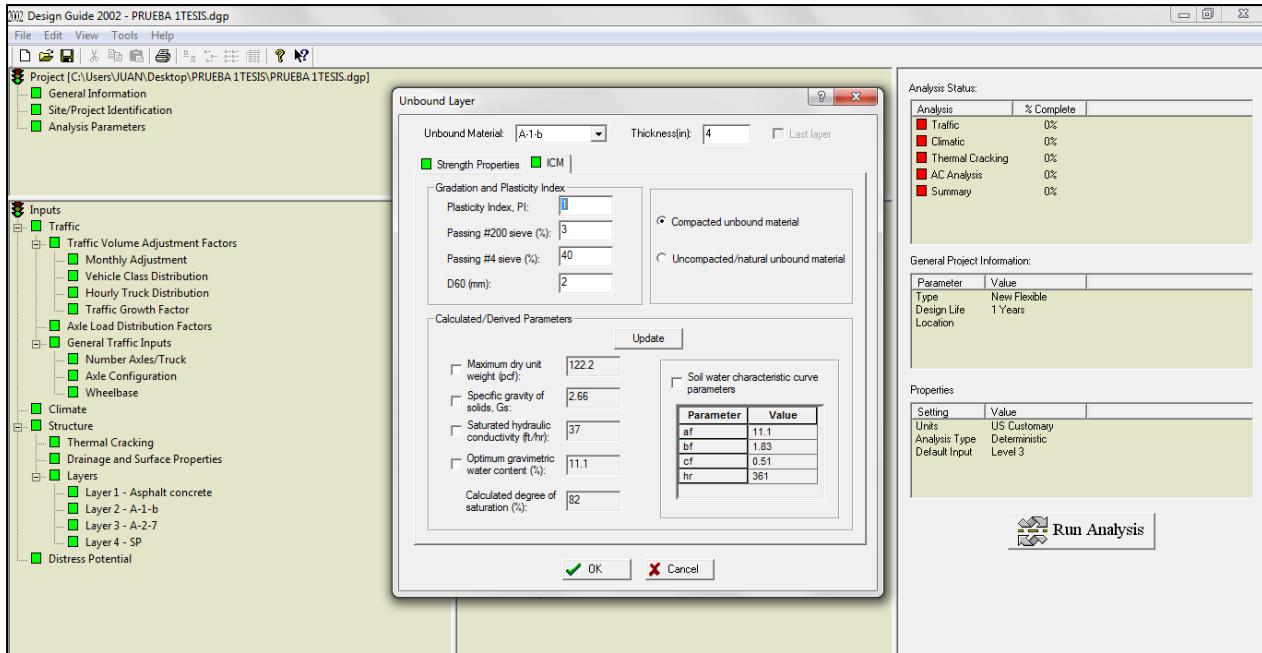
Figura 65: Características de la base granular



Fuente: Elaboración Propia

Los demás datos como la granulometría se asumen según el tipo de suelo A-1-b

Figura 66: Datos asumidos según el tipo de base granular a usar

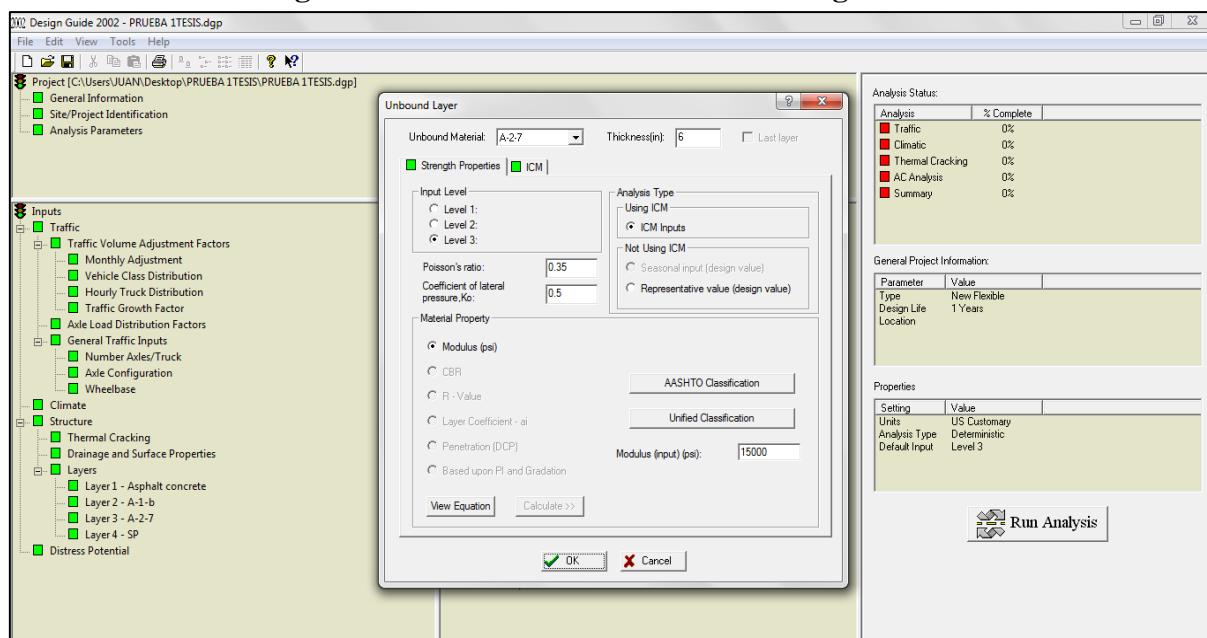


Fuente: Elaboración Propria

Sub – base granular:

Esta capa del pavimento tiene un módulo de 15000 menores a la base. Al igual que la anterior los demás datos como la granulometría y módulo de poisson son asumidos como correctos.

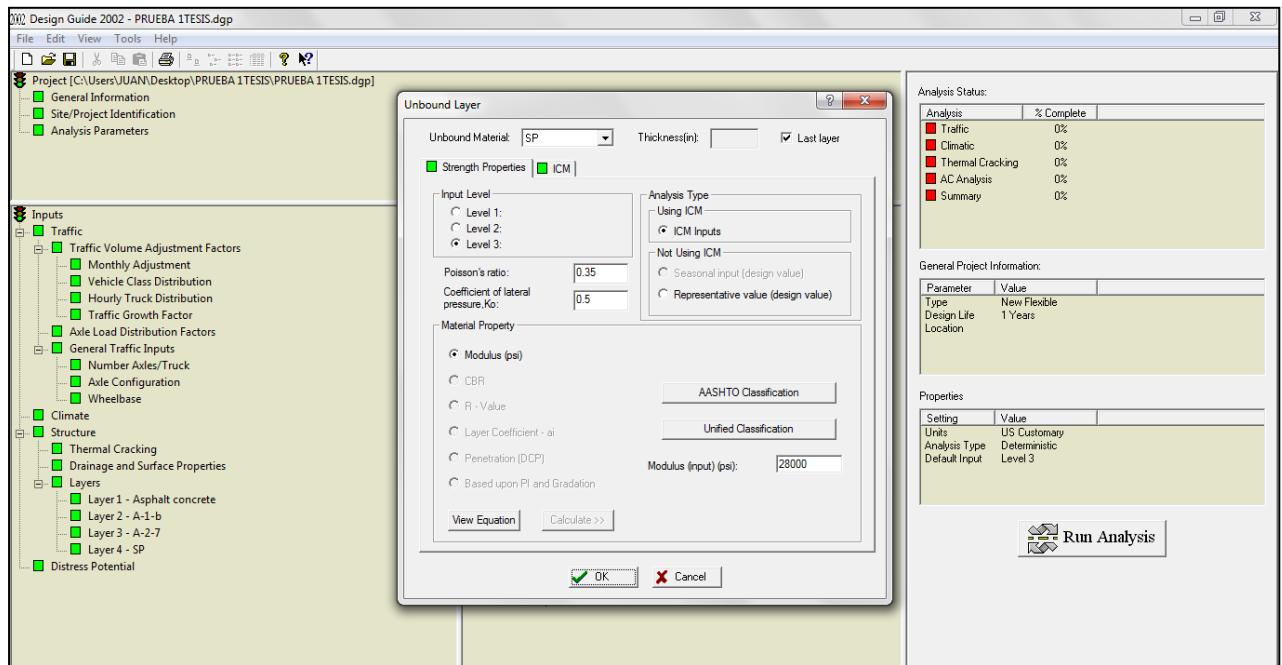
Figura 67: Características de la sub-base granular



Fuente: Elaboración Propia

Sub-Rasante:

Figura 68: Características de la sub-rasante

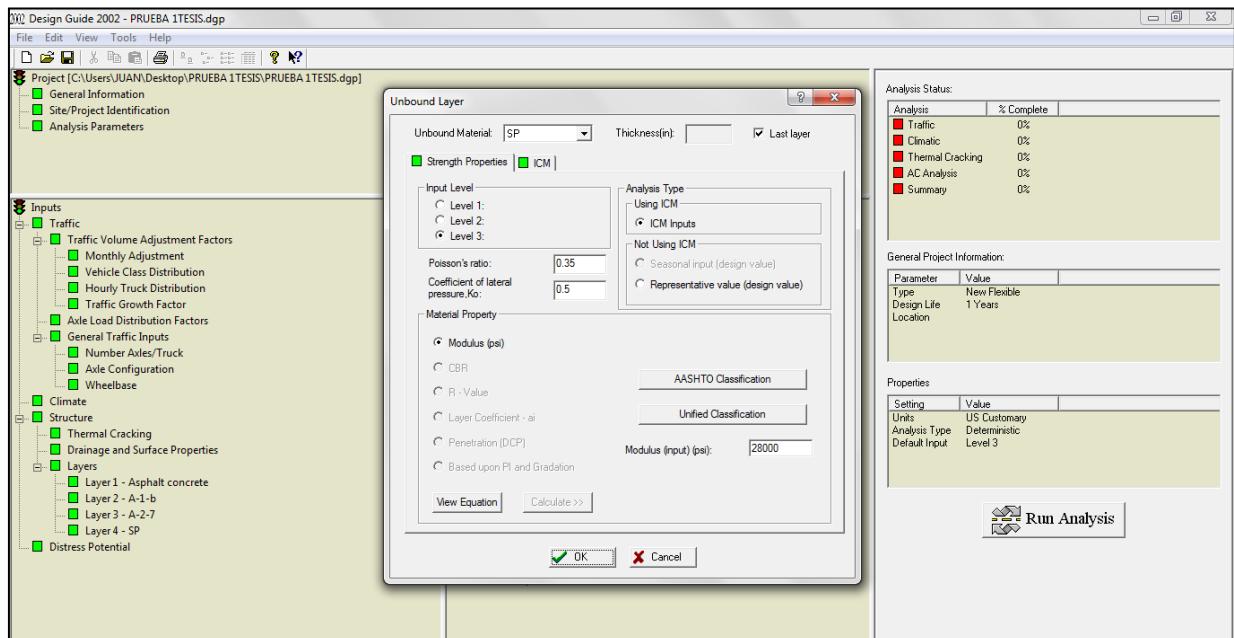


Fuente: Elaboración Propria

Debido al tipo de suelo SP, el programa solo acepta un Módulo resiliente de 28000 psi.

Al igual que las demás Capas los demás datos son asumidos como correctos.

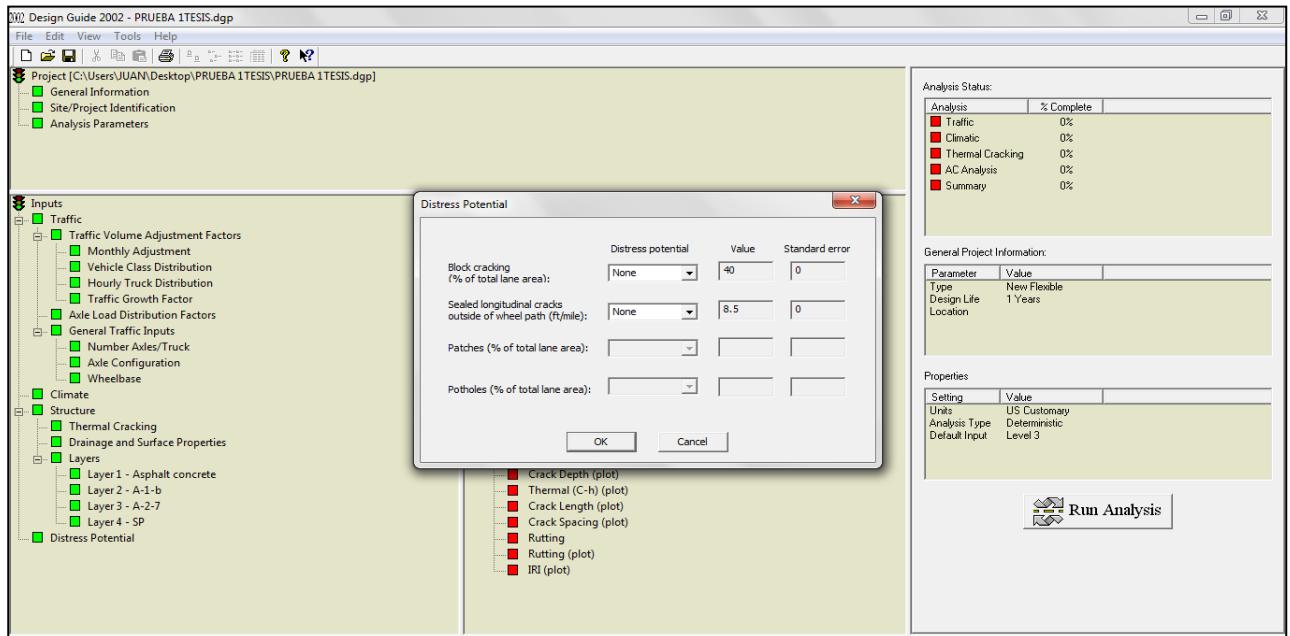
Figura 69: Modulo resiliente de la sub-rasante



Potencial de Fatiga:

El estudio de potencial de fatiga no es contemplado en la guía de AASHTO 93, se asume como lo brinda el programa.

Figura 70: Potencial de Fatiga



Señalización Vial

Se ha propuesto un diseño de señalización horizontal y vertical lo más acorde al tránsito vehicular existente, respetando las normativas competentes y sus diseños, al igual que los insumos a utilizar responderán a los requerimientos mínimos necesarios para su correcta funcionalidad.

Señales Horizontales

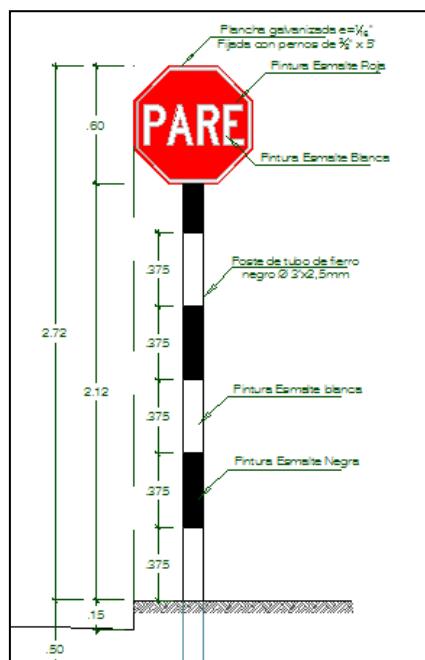
Estas señales están colocadas de acuerdo a lo que se estipula en el MTC en el manual de diseño de dispositivos de control de tránsito. Para este caso se procederá a realizar un

pequeño plano de una propuesta de señalización vial para la avenida Mártir Olaya, véase Anexo 48.

Señales Verticales

En este subcapítulo se presentará los detalles correspondientes a las señales verticales usadas en la vía Mártir Olaya la cuales se encuentran detalladas en el plano de señalización, véase Figura 47.

Figura 71: Detalle de señal de pare colocadas a lo largo de la avenida



Fuente: MTC

CONCLUSIONES

- La presente tesis representa una propuesta del diseño estructural y asfáltico del pavimento necesario para la Avenida Mártir Olaya, sin embargo el alcance desarrollado es fundamental para cualquier ampliación del estudio como un diseño geométrico que se complementaría con la data obtenida para la conclusión de un proyecto de Construcción.
- Las condiciones actuales de la avenida Mártir Olaya muestran fácilmente la necesidad de un pavimento que cumpla con las condiciones actuales del tráfico (ver sección 3.2). Al encontrarse un pavimento con tal deficiencia, el recapeo no es una opción a considerarse y se encuentra como única solución la reconstrucción.
- La denominación de alto tráfico pesado que se le da a la avenida Mártir Olaya se concluyó en base al porcentaje del volumen de estos sobre el conteo total del tráfico vehicular y a pesar de que el daño causado por estos es considerable, este número incrementará con relación a los índices de crecimiento económico en el futuro, por lo que al esperarse tal incremento es posible la ampliación de carriles ya que el derecho de vía lo permite (ver sección 3.1 y 4.1).
- Se definió la data necesaria para los diseños realizados en base a estudios de campo y recolección de información de estudios de pre-factibilidad realizados por la Municipalidad Distrital de Lurín (ver sección 1.4), de tal manera es importante resaltar que siendo la información de análisis de tráfico, estudios de suelos y factores ambientales escasos o nulos, es posible realizar solo el diseño Marshall con total fidelidad, ya que en el caso del diseño de Mezcla SUPERPAVE y MPEDG se requiere de una alta investigación que describa en cada una de las áreas de estudio mencionadas una recolección de información de carácter confiable.

- El diseño para mezclas asfálticas superpave se basa, al igual que el método AASTHO 2008, de las características o condiciones específicas del lugar donde se construirá la estructura del pavimento, prueba de esto se ve reflejado en los diferentes ensayos que se le practican a la mezcla asfáltica superpave.
- Se propone considerar un plan de levantamiento de fallas (ver sección 3.2), para poder evaluar en la posteridad el comportamiento de esta avenida que es caracterizada por su preponderante tráfico pesado. Por ende se podrá realizar una gestión de pavimentos que minimice costos y maximice la funcionalidad de esta vía.
- En conclusión, con respecto a los métodos AASTHO 93 y AASTHO 2008 se puede decir que este último es una herramienta más completa para el análisis y diseño de pavimentos ya que en primer lugar, dejando atrás al método ESAL, se puede analizar los daños de diversos vehículos de manera individual como la deformación permanente y el agrietamiento por fatiga. Asimismo, el AASTHO 2008 exige datos de entrada o inputs del clima, materiales, tráfico específicamente de la zona en donde se va a llevar a cabo la construcción de la vía. Para obtener todo esto, primero se necesita implementar modelos de deterioro de pavimentos para poder predecir fallas como fatiga, deformación, ahueamientos, deformación térmica, etc. También desarrollar base de datos climáticos detallados para diferentes regiones, desarrollar base de datos de espectro de carga para diferentes vías, mediciones de coeficientes de expansión térmica, desarrollar base de datos de módulos resilientes.
- Con este proyecto se sientan las bases para la aplicación de nuevos métodos que aún no son utilizados en del Perú pero se debe tener en cuenta que la disponibilidad de la información demográfica y geográfica son factores claves para tener éxito en proyectos de similar o mayor magnitud.
- Al final de la tesis, como un adicional, también se llega a proponer un plano de señalización vial de la avenida en base a los datos existentes de esta y en base a las normas dictaminadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú,

todo esto con la finalidad de conservar la seguridad de los peatones y conductores que utilizarán esta avenida.

RECOMENDACIONES

- Se destaca la variabilidad de los requerimientos necesarios para la aplicación del diseño estructural de AASHTO 2008. Así también el uso del software en el diseño, el cual provee los resultados necesarios con relativa rapidez, sin embargo se debe recalcar la importancia que tiene la comprensión teórica de la data a ingresar para el diseño que se traduce en un análisis efectivo de los resultados al finalizar este.
- Los ensayos mecanísticos empíricos utilizados por la AASTHO 2008 poseen como principal objetivo simular las condiciones a las cuales la estructura del pavimento va estar sometida, es por ello que este método necesita años de registros de estudios del lugar donde se va a construir el estructura del pavimento, claro siempre dependiendo del nivel de detalle del diseño al que se desea llegar.
- Durante el procedimiento del diseño de pavimentos debe exigirse la verificación de la permeabilidad de las capas granulares que conforman la estructura del pavimento, incluido la subrasante; la comprobación de la baja permeabilidad de los suelos podría causar que el agua se atrape en la estructura, lo cual a su vez puede originar una destrucción total o parcial del pavimento.

BIBLIOGRAFIA

HUANG, Yang (2004) Pavement Analysis and Design. 2 ed. San Diego: Pearson Education.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA – Censos Nacionales 2007: XI de la Población y VI de Vivienda. INEI (2013) (www.inei.gob.pe) (consulta: 10 de junio)

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LURÍN (2011) Estudio de pre inversión a nivel de perfil: “Construcción de pistas, veredas y habilitaciones de áreas verdes en la avenida Mártir Olaya, A.H. Los Jardines, zona A, distrito de Lurín”. Lima: Municipalidad distrital de Lurín.

MINISTERIO DEL TRABAJO Y PROMOCIÓN DEL EMPLEO (2012) (<http://www.mintra.gob.pe/mostrarContenido.php?id=141&tip=141>) (consulta: 10 de junio)

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES (2000) Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

----- (2001) Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2001) (http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/DG-2001.pdf) (consulta: 16 de junio)

----- (2001) Reglamento Nacional de Vehículos (http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_1021.pdf) (consulta: 16 de junio)

----- (2008) Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

ROBINSON, Richard (2004) Road Engineering for Development.2da ed. London: Spon Press.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERÚ
Registros de intensidades de lluvia del departamento de Lurín(
<http://www.senamhi.gob.pe/>) (consulta: 20 julio)

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION
OFFICIALS (1993a). AASHTO guide for design of pavement structures (4th Edition)
American Association of State Highway and Transportation Officials.

ASTM D 6433 (2007) Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement
Condition Index Surveys

ANEXOS

Método ASSHTO

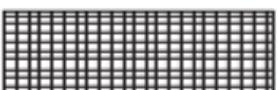
Anexo 1: Tabla de Diseño - AASTHO

Traffic class	10^6 CN_{esa}	Subgrade class	CBR (%)
T1	<0.3	S1	2
T2	0.3–0.7	S2	3–4
T3	0.7–1.5	S3	5–7
T4	1.5–3.0	S4	8–14
T5	3.0–6.0	S5	15–29
T6	6.0–10	S6	30 +
T7	10–17		
T8	17–30		

 Double surface dressing

 Asphalt concrete

 Granular base

 Granular sub-base

 Capping layer

Anexo 2: Base granular para cobertura de superficie

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
S1	SD 150 175 300	SD 150 225*	SD 200 200 300	SD 200 250* 300	SD 200 300* 300	SD 200 300 300	SD 225 325* 300	
S2	SD 150 150 200	SD 150 200 200	SD 200 175 200	SD 200 225* 200	SD 200 275* 200	SD 225 300*		
S3	SD 150 200	SD 150 250	SD 200 225	SD 200 275*	SD 200 325*	SD 225 350*		
S4	SD 150 125	SD 150 175	SD 200 150	SD 200 200	SD 200 250	SD 225 275		
S5	SD 150 100	SD 150 100	SD 175 100	SD 200 125	SD 225 150	SD 250 175		
S6	SD 150	SD 150	SD 175	SD 200	SD 225	SD 250		

Notes

1 * Up to 100 mm of sub-base may be substituted with selected fill provided the sub-base is not reduced to less than the base thickness or 200 mm whichever is the greater. The substitution ratio of sub-base to selected fill is 25 mm: 32 mm.

2 A cement or lime-stabilized sub-base may also be used.

Anexo 3: Coeficiente Estructural por capa

Structural design of asphalt pavements		
Table 15.2 Typical strength coefficients		
Layer type	Comments	Coefficient
Surface treatment	$h_1 < 30 \text{ mm}$	$a_1 = 0.1 - 0.2$
Asphalt mix surfacings	$h_1 < 30 \text{ mm}$ Low stability and cold mixes $h_1 > 30 \text{ mm}$	$a_1 = 0.20$ $a_1 = 0.412 \log_{10}(E_1/1000) + 0.246$
Asphalt mix base	Dense graded with high stiffness	$a_2 = 0.32$ For high temperatures use $a_2 = 0.412 \log_{10}(E_1/1000) + 0.246$
Unbound granular base	$CBR > 40$ $CBR > 70$, on a cemented sub-base	$a_2 = (29.14 CBR - 0.1977 CBR^2 + 0.00045 CBR^3) \times 10^{-4}$ $a_2 = 1.6 \cdot (29.14 CBR - 0.1977 CBR^2 + 0.00045 CBR^3) \times 10^{-4}$
Stabilized base	Lime or cement	$a_2 = 0.075 + 0.039 \text{ UCS} - 0.00088(\text{UCS})^2$
Sub-bases	Granular Cement-stabilized UCS > 0.7 MPa Cement-stabilized UCS < 0.7 MPa	$a_3 = -0.075 + 0.184(\log_{10} CBR) - 0.0444(\log_{10} CBR)^2$ $a_3 = 0.14$ $a_3 = 0.11$

Notes
UCS, unconfined compressive strength in MPa at 14 days. E is the resilient modulus by the indirect tensile test in MPa.

Método MEPDG:

Anexo 4: Módulos elásticos comunes en pavimentos

Table 15.3 Typical values of elastic modulus for pavement materials	
Material type	E-modulus (MPa)
Asphalt concrete	1,500–8,000
Bituminous macadam	1,500–7,000
Strong cement-stabilized gravel	4,000–12,000
Average cement-stabilized gravel	2,000–7,000
Crushed stone	150–500
Graded natural gravel	100–350
Natural gravel	75–250

Método SUPERPAVE

Anexo 5: Especificaciones para el Ahueamiento

Superpave Binder Specifications	
Average 7-day Maximum Pavement Design Temperature, °C	
Minimum Pavement Design Temperature, °C	
Flash Point Temp, T48: minimum, °C	
Viscosity, ASTM D 4402:	
Maximum, 3-Pa·s (3000 cP).	
Test Temp, °C	
Dynamic Shear, TP5	
G*/sin δ, Minimum, 1.00 kPa	←
Test Temperature@ 10 rad/s, °C	
Rolling Thin Film Oven (T240)	
Mass Loss, Maximum, %	
Dynamic Shear, TP5:	
G*/sin δ, Minimum, 2.20 kPa	←
Test Temp @ 10 rad/sec, °C	

Superpave Specification Limits for Rutting

Anexo 6: Especificaciones para la falla por Fatiga

Superpave Binder Specifications	
PAV Aging Temp, °C	
Dynamic Shear, TP5:	
G*sin δ, Maximum, 5000 kPa	←
Test Temperature@ 10 rad/s, °C	
Physical Hardening	
Creep Stiffness, TP1:	
S, Maximum, 300 MPa	
m-value, Minimum, 0.300	
Test Temperature@ 60sec, °C	
Direct Tension, TP3:	
Failure Strain, Minimum, 1.0%	
Test Temperature@ 1.0mm/min, °C	

Superpave Specification Limit for Fatigue Cracking

Anexo 7: Especificaciones para la falla por Fatiga

Table D.3 Superpave Specifications for Thermal Cracking

Superpave Binder Specifications
PAV Aging Temp, °C
Dynamic Shear, TP5: G* $\sin \delta$, Maximum, 5000 kPa Test Temperature@ 10 rad/s, °C
Physical Hardening
Creep Stiffness, TP1: S, Maximum, 300 MPa ← m-value, Minimum, 0.300 Test Temperature@ 60sec, °C
Direct Tension, TP3: Failure Strain, Minimum, 1.0% ← Test Temperature@ 1.0mm/min, °C

Superpave
Specification Limits
for Thermal
Cracking

Anexo 8: Especificaciones PG temperaturas máximas

High Temperature Grades (°C)	Low Temperature Grades (°C)
46	-34, -40, -46
52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
58	-16, -22, -28, -34, -40
64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
76	-10, -16, -22, -28, -34
80	-10, -16, -22, -28, -34

Anexo 9: Especificaciones del agregado grueso

TABLE D.5 Superpave Coarse Aggregate Angularity Requirements

Traffic, million ESALs	Minimum Fractured Surface Requirements (%)	
	D < 100 mm	D > 100 mm
<0.3	55/-	-/-
<1	65/-	-/-
<3	75/-	50/-
<10	85/80	60/-
<30	95/90	80/75
<100	100/100	95/90
≥100	100/100	100/100

Note. "85/80" means that 85% of the coarse aggregate has one fractured face, and 80% has two fractured faces. *D* = depth from surface

Anexo 10: Especificaciones para el agregado fino

TABLE D.6 Superpave Fine Aggregate Angularity Requirements

Traffic, million ESALs	Minimum Uncompacted Fine Aggregate Air Voids Requirements (%)	
	D < 100 mm	D > 100 mm
<0.3	—	—
<1	40	—
<3	40	40
<10	45	40
<30	45	40
<100	45	45
≥100	45	45

Note. Air voids criteria are presented as percent air voids in loosely compacted fine aggregate. *D* = depth from surface

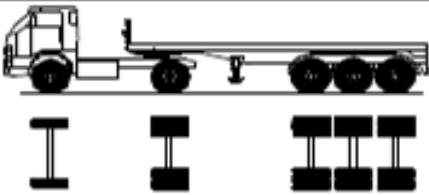
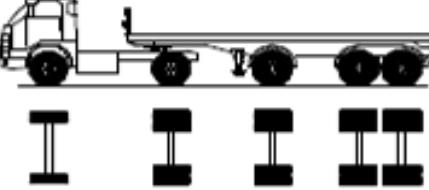
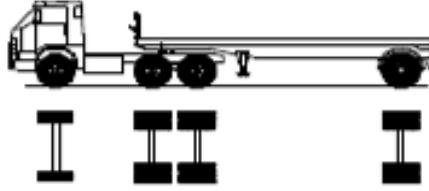
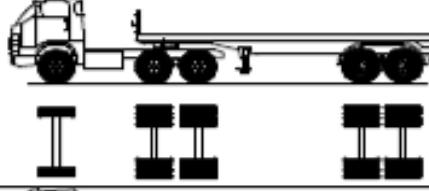
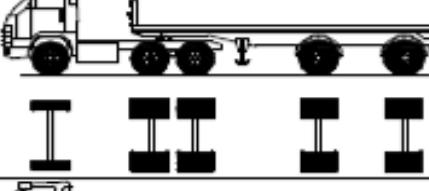
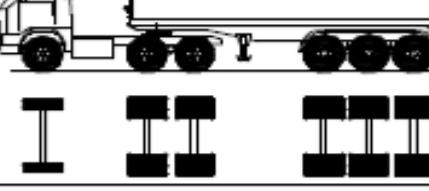
Anexo 11: Terminología de Diseño Superpave

TABLE D.8 Superpave Volumetric Terminology		
Constituent	Abbreviated Term	Parameter
Aggregate	P —mass percent G —specific gravity s—stone (aggregate) b—bulk a—apparent e—effective	P_s —percent of mixture which is stone G_{sb} —bulk specific gravity of stone G_{sa} —apparent specific gravity of stone G_{se} —effective specific gravity of stone
Asphalt binder	P —mass percent G —specific gravity b—binder (asphalt) a—absorbed e—effective	P_b —percent of mixture which is binder P_{be} —percent effective binder P_{ba} —percent binder absorbed G_b —specific gravity of binder
Mixture	G —specific gravity b—bulk m—maximum m—mixture V —volume percent	G_{mb} —bulk gravity of mix G_{mm} —maximum theoretical gravity of mix V_a —volume of air in compacted mix VMA—voids in mineral aggregate VFA—voids filled with asphalt D:B ratio—dust to binder ratio

Anexo 12: Clasificación vehicular

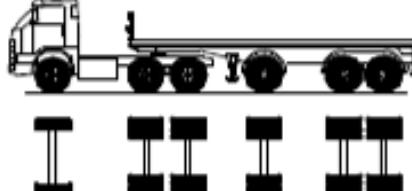
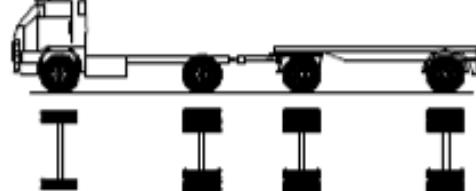
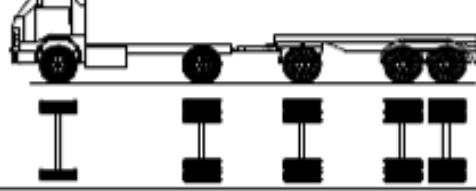
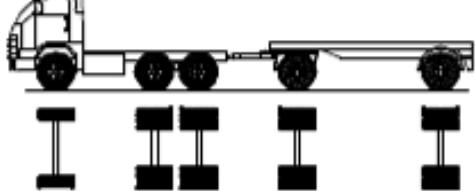
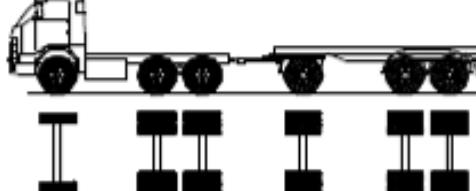
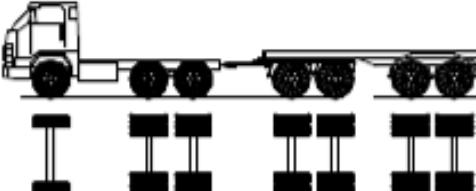
TIPO DE VEHÍCULO	NOMENCLATURA	ALTO TOTAL	ANCHO TOTAL	LARGO TOTAL	LONGITUD ENTRE EJES	RADIO MÍNIMO RUEDA EXTERNA DELANTERA	RADIO MÍNIMO RUEDA INTERNA TRASERA
VEHÍCULO LIGERO	VL	1,30	2,10	5,80	3,40	7,30	4,20
OMNIBUS DE DOS EJES	B2	4,10	2,60	9,10	6,10	12,80	8,50
OMNIBUS DE TRES EJES	B3	4,10	2,60	12,10	7,60	12,80	7,40
CAMION SIMPLE 2 EJES	C2	4,10	2,60	9,10	6,10	12,80	8,50
CAMION SIMPLE 3 EJES O MAS	C3 / C4	4,10	2,60	12,20	7,6	12,80	7,40
COMBINACION DE CAMIONES							
SEMIREMOLQUE TANDEM	T2S1 / 2 / 3	4,10 *	2,60	15,20	4,00 / 7,00	12,20	5,80
SEMIREMOLQUE TANDEM	T3S1 / 2 / 3	4,10	2,60	16,70	4,90 / 7,90	13,70	5,90
REMOLQUE 2 EJES + 1 DOBLE (TANDEM)	C2 – R2 / 3	4,10	2,60	19,90	3,80 / 6,10 / 6,40	13,70	6,80
REMOLQUE 3 EJES + 1 DOBLE (TANDEM)	C3 – R2 / 3 / 4	4,10	2,60	19,90	3,80 / 6,10 / 6,40	13,70	6,80

Anexo 13: Pesos y Medidas máximas permitidas de camiones de carga pesada

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1*	2*	3*	4*		
T2S3		20,50	7	11	25	—	—	43	
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽⁴⁾	18	—	47	
T3S1		20,50	7	18	11	—	—	36	
T3S2		20,50	7	18	18	—	—	43	
T3Se2		20,50	7	18	11	11	—	47	
T3S3		20,50	7	18	25	—	—	48 ⁽²⁾	

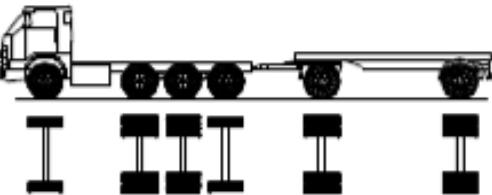
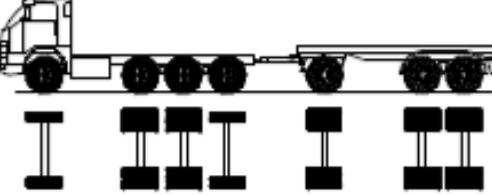
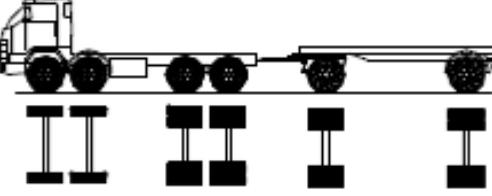
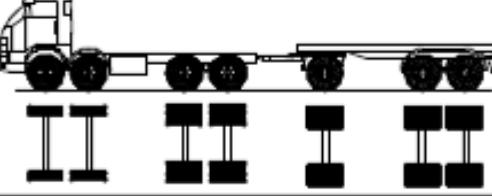
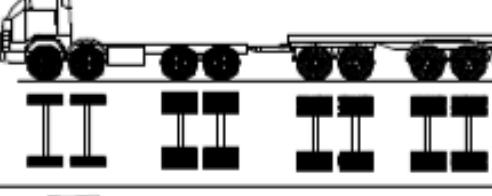
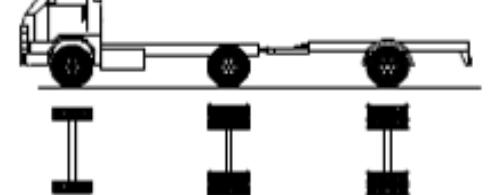
Anexo 13: Pesos y Medidas máximas permitidas de Camiones de Carga Pesada

(Continuación)

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)						Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant.	Conjunto de ejes posteriores						
				1*	2*	3*	4*			
T3Se3	 	20,50	7	18	11 ⁽⁴⁾	18	—	48 ⁽²⁾		
C2R2	 	23,00	7	11	11	11	—	40		
C2R3	 	23,00	7	11	11	18	—	47		
C3R2	 	23,00	7	18	11	11	—	47		
C3R3	 	23,00	7	18	11	18	—	48 ⁽²⁾		
C3R4	 	23,00	7	18	18	18	—	48 ⁽²⁾		

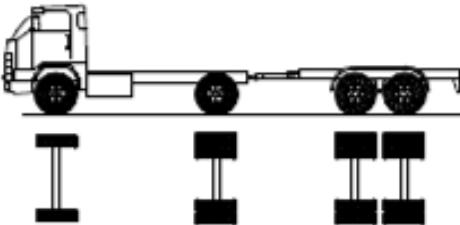
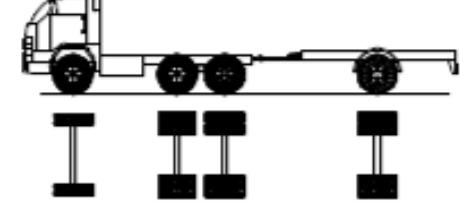
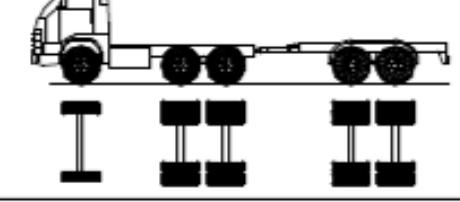
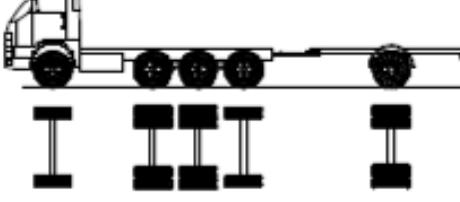
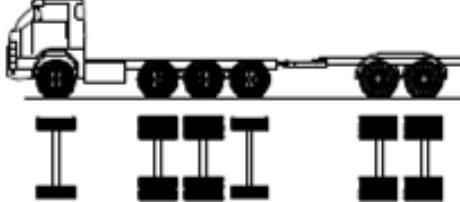
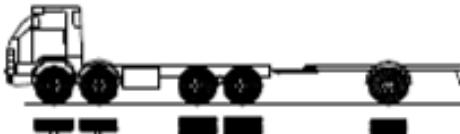
Anexo 13: Pesos y Medidas máximas permitidas de Camiones de Carga Pesada

(Continuación)

Configu- ración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1°	2°	3°	4°		
C4R2		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	11	—	48 ⁽²⁾	
C4R3		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	18	—	48 ⁽²⁾	
8x4R2		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	11	—	48 ⁽²⁾	
8x4R3		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	18	—	48 ⁽²⁾	
8x4R4		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	18	—	48 ⁽²⁾	
C2RB1		20,50	7	11	11	—	—	29	

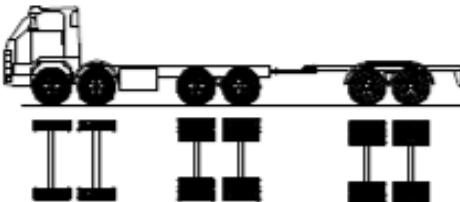
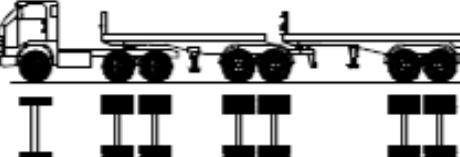
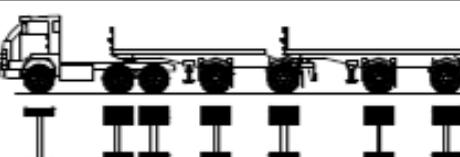
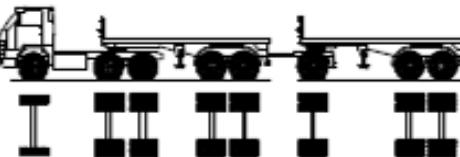
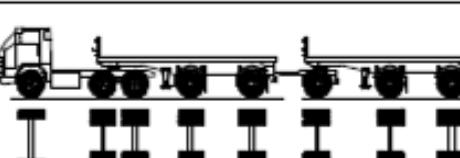
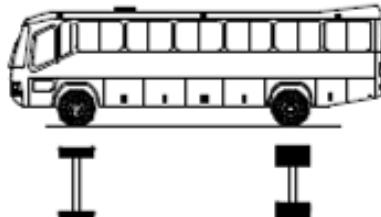
Anexo 13: Pesos y Medidas máximas permitidas de Camiones de Carga Pesada

(Continuación)

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant.	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
C2RB2		20,50	7	11	18	--	--	36	
C3RB1		20,50	7	18	11	--	--	36	
C3RB2		20,50	7	18	18	--	--	43	
C4RB1		20,50	7	23 ⁽¹⁾	11	--	--	41	
C4RB2		20,50	7	23 ⁽¹⁾	18	--	--	48	
8x4 RB1		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	--	--	43	

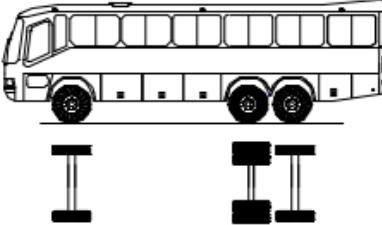
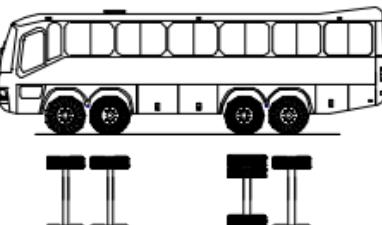
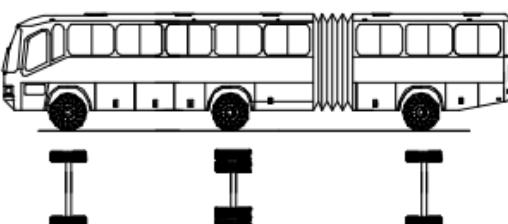
Anexo 13: Pesos y Medidas máximas permitidas de Camiones de Carga Pesada

(Continuación)

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant.	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
8x4 RB2		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	--	--	48 ⁽²⁾
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	--	48 ⁽²⁾
T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11 + 11 ⁽³⁾	--	48 ⁽²⁾
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 ⁽²⁾
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11	11 + 11 ⁽³⁾	48 ⁽²⁾
B2		13,20	7	11	--	--	--	18

Anexo 13: Pesos y Medidas máximas permitidas de Camiones de Carga Pesada

(Continuación)

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)					Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
B3-1		14,00	7	16	---	---	---	23	
B4-1		15,00	7+7 ⁽⁵⁾	16	---	---	---	30	
BA-1		18,30	7	11	7	---	---	25	

Anexo 14: Cálculo de Índice Medio Diario Anual

TIPO DE VEHICULO	IMDA DE LA AVENIDA MARTIR OLAYA - LURÍN							TOTAL SEMANAL	IMDS = $\sum Vi / 7$	FC	IMDA = IMDS x FC
	SABADO 14	DOMINGO 15	LUNES 16	MARTES 17	MIERCOLES 18	JUEVES 19	VIERNES 20				
AUTO	25	29	23	21	23	27	26	174	24.857	1.169	29
CAMIONETA	20	18	15	17	14	13	16	113	16.143	1.169	19
BUS MED	10	12	12	13	11	12	10	80	11.429	1.169	13
BUS GRAN	9	11	10	8	10	9	11	68	9.714	1.030	10
CAM 2E	47	45	42	39	41	43	42	299	42.714	1.030	44
CAM 3E	42	39	41	36	38	38	40	274	39.143	1.030	40
ARTICULADO	17	17	14	18	17	19	21	123	17.571	1.030	18
SUB TOTAL	170	171	157	152	154	161	166	1131	161.571	1.030	173

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD VIAL ACTUAL

Anexo 15: Aforo Capacidad Vial

Sentido	O-E	E-O	E-O
Tiempo del Día	Me	Mc (me pasan)	Mc (paso)
10:50:00 a.m.	30	25	0
11:30:00 a.m.	27	20	0
12:30:00 p.m.	20	0038	0

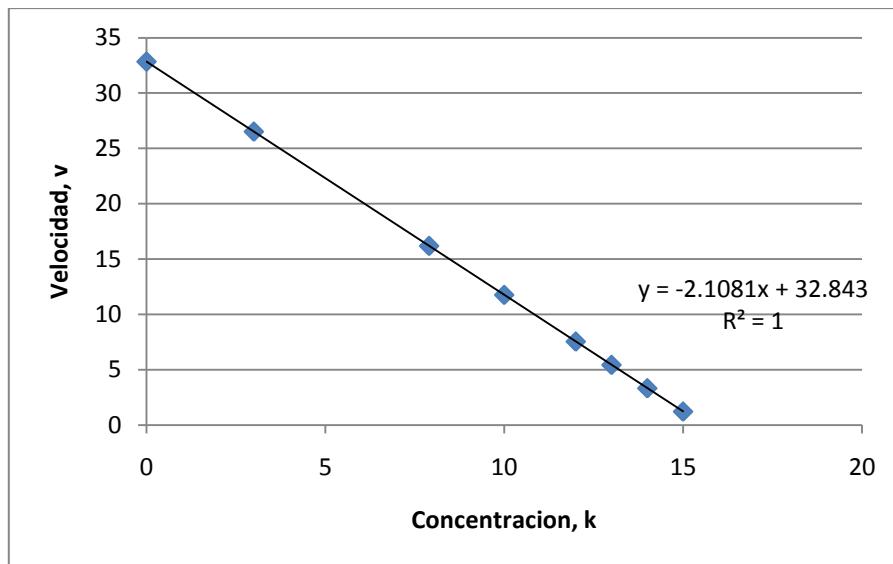
Anexo 16: Aforo Capacidad Vial - Tiempo

Te = 5'29"00"	Tc = 5'20"00"	d = 1,5 km
Te = 14'45"40"	Tc = 15'06"26"	d = 1 km
Te = 13'23"30"	Tc = 13'16"39"	d = 1 km

Anexo 17: Cálculo de la capacidad actual de la avenida

Te	Tc	T	L	cruce	Mc	Mc	(v)	(v/hr)	(hr)	(hr)	(hr)	(hr)	V	v	k
5.33	5.48	0.09	0.75	19.00	3.00	0.00	22.00	122.03	0.16	0.02	0.07	0.07	11.23	11.23	10.87
15.11	14.76	0.25	0.50	30.00	25.00	0.00	55.00	110.48	0.27	0.23	0.02	0.02	25.33	25.33	4.36
13.28	13.39	0.22	0.50	27.00	20.00	0.00	47.00	105.74	0.26	0.19	0.03	0.03	14.68	14.68	7.20

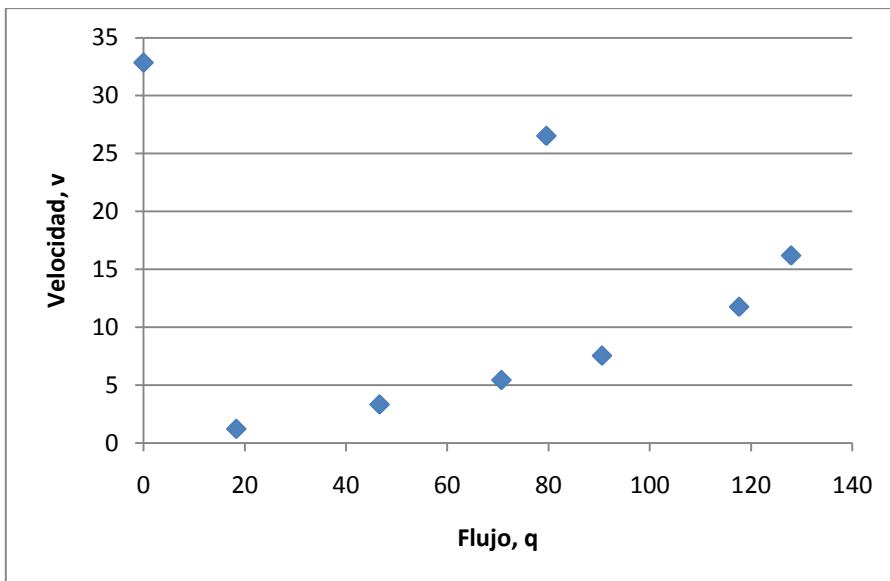
Anexo 18: Gráfico de velocidad versus concentración



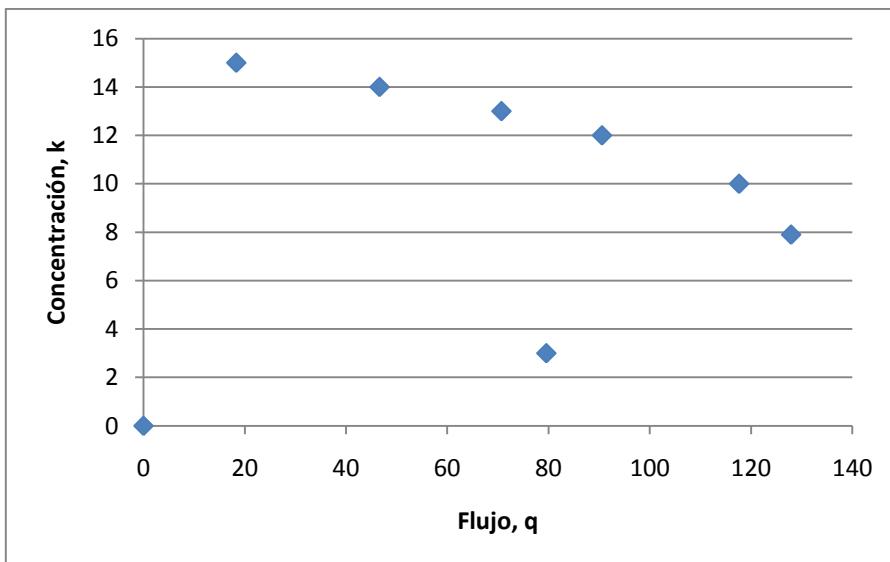
Anexo 19: Calculando datos con la ecuación lineal obtenida

q	k	v
0	0	32.8
79.56	3	26.5
127.9	7.9	16.2
117.6	10	11.8
90.55	12	7.55
70.69	13	5.44
46.61	14	3.33
18.32	15	1.22

Anexo 20: Gráfico velocidad versus flujo



Anexo 21: Gráfico concentración versus flujo



CÁLCULO DEL PCI

Identificación e fallas por tramos:

Se procedió a dividir en tramos de 40 metros los 456 metros del pavimento que se encuentra en condiciones de ser analizado, por lo que descarta la parte de “trocha” en la avenida Mártir Olaya. Considerando un área máxima de estudio por tramo de 248 metros cuadrados por tramo, se mostraran a continuación las fallas encontradas.

Anexo 22: Fallas de la avenida Mártir Olaya

Tramo	Tipo de Falla	Área (m2)	Nivel de severidad		
			Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)
De 0m. a 40m.	Peladura	30			X
	Agrietamiento por Bloque	0			
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	81,58			X
	Grieta Transversal	0			
De 40m. a	Peladura	0			

80m.					
	Agrietamiento por Bloque	7,76		X	
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	2,58	X		
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	215,94		X	
	Grieta Transversal	0			
De 80m. a 120m.	Peladura	0			
	Agrietamiento por Bloque	34,92		X	
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	11,57	X		
	Grieta Transversal	0			
De 120m. a	Peladura	0			

160m.					
	Agrietamiento por Bloque	28,44		X	
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	27,46		X	
	Grieta Transversal	7 ml		X	
De 160m. a 200m.	Tramo		Tipo de Falla	Área (m2)	Nivel de severidad
					Leve (L) Moderado (M) Severo (S)
	Peladura		0		
	Agrietamiento por Bloque		117,02		X
De 200m. a 240m.	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)		0		
	Grieta Transversal		0		
Peladura		0			

	Agrietamiento por Bloque	40,54		X	
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	40,42			X
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	8,12	X		
	Grieta Transversal	0			
De 240m. a 280m.	Peladura	0			
	Agrietamiento por Bloque	0			
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	67,8			X
	Grieta Transversal	0			
De 280m. a 320m.	Peladura	1,67		X	

	Agrietamiento por Bloque	0			
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	9,14			X
	Grieta Transversal	0			
De 320m. a 360m.	Peladura	1,67		X	
	Agrietamiento por Bloque	0			
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	103,56			X
	Grieta Transversal	0			

Tramo	Tipo de Falla	Área (m2)	Nivel de severidad		
			Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)
De 360m. a 400m.	Peladura	0			
	Agrietamiento por Bloque	0			
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	25,79			X
	Grieta Transversal	0			
De 400m. a 440m.	Peladura	6,98		X	
	Agrietamiento por Bloque	0			
	Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	55,90			X
	Grieta Transversal	0			

Fuente: Elaboración propia

Calculo y aplicación de tablas:

Para corroborar la condición actual del pavimento se debe hallar el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Al ser necesario el cálculo por tramo para luego hallar un promedio, se mostrara el procedimiento de cálculo completo del primero y luego se adjuntara el resumen de cálculos de PCI obtenidos en todos los tramos.

Ejemplo: (TRAMO 1)

Paso 1:

Obtengo el porcentaje de área (densidad) ocupada por tipo de falla, para luego utilizar las tablas de deducciones (%) para cada una de estas. Y finalmente encontrar la deducción mayor (DM).

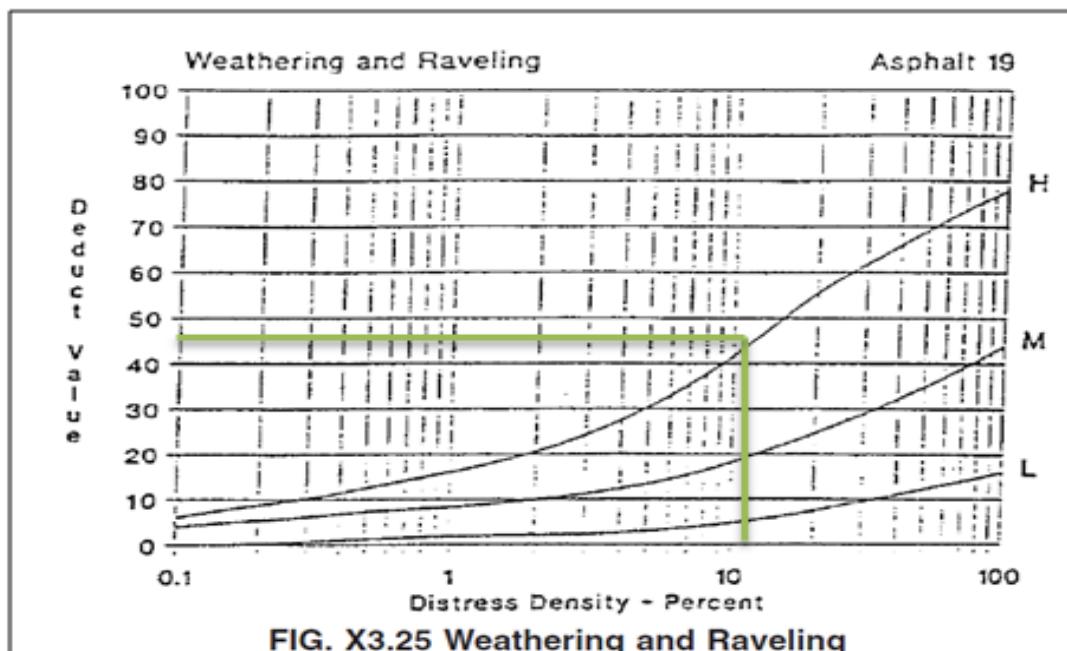
Anexo 23: Factores de deducción de Tramo I – Av. Mártir Olaya

Código	Densidad %	Deducciones			Max	m
		Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	12.097	----	----	47	78	3
Agrietamiento por bloque	0.000	----	----	----	----	----
		----	----	----	----	----
Agrietamiento por fatiga(piel de cocodrilo)	32.895	----	----	----	----	----
		----	----	78	----	----
		----	----	----	----	----

Grieta Transversal	0.000	----	----	----	----	----
---------------------------	-------	------	------	------	------	------

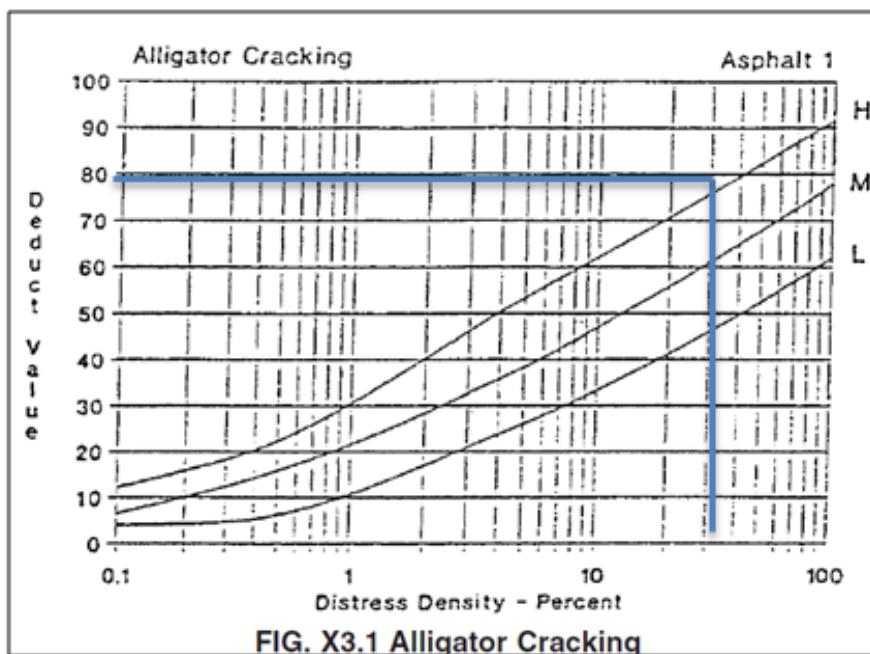
Fuente: Elaboración propia

Anexo 24: Falla de Peladura



Se ingresa el 12 % en “x” y se proyecta hasta el tipo de severidad (Grave) y se obtiene el valor deducido.

Anexo 25: Falla Piel de Cocodrilo



Se proyectan los valores de la misma forma con 32 % y mismo grado de severidad.

Paso 2:

Como se apreció en la tabla de datos mostrada se halla el factor "m" rápidamente con la formula $m = 9/98 (100-DM)$

Paso 3:

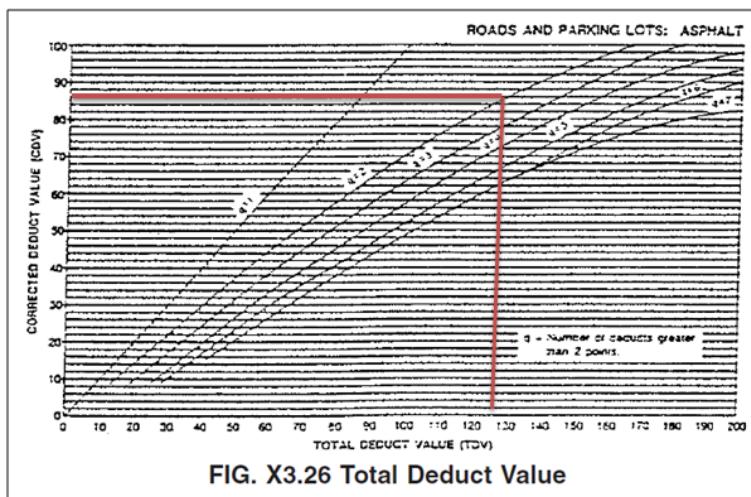
Se considera "m" como el número máximo de deducciones por tramo a considerar en orden descendente para resolver las iteraciones necesarias. De esta manera se halla el valor de Deducción máxima corregida (DMC). Y finalmente se halla el PCI del primer tramo. (El número de iteraciones depende del número "m")

Anexo 26: Cálculo PCI Tramo I – Av. Mártir Olaya

ITERACIONES		q	DMC	PCI
Iteración 1	78+47	125	2	86
Iteración 2	78+2	80	1	78

Con el máximo resultado de hallar el DMC usando los datos de cada iteración, se llega al verdadero valor a utilizar como DMC.

Anexo 27: DM vs DMC



Se ingresa con la mayor iteración obtenida, en este caso 125 y $q=2$, se obtuvo 86, que es mayor a 78. Es así que finalmente se halla el PCI de este tramo.

$$\text{PCI} = 100 - \text{DMC}$$

De tal manera considerando el resultado anterior de 86, el PCI es 14

Anexo 28: Factores de deducción de Tramo II – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones				
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)	Max	m
Peladura	0,000				78	3
Agrietamiento por Bloque	3,129		9			
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	1,040	10				
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	87,073		78			

Anexo 29: Cálculo PCI Tramo II – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1 78+10+9	97	3	62
Iteración 2 78+10+2	90	2	64
Iteración 3 78+2+2	82	1	84

Anexo 30: Factores de deducción de Tramo III – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones			Max	m
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	0,000				32	7
Agrietamiento por Bloque	14,081		32			
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	4,665	21				

Anexo 31: Cálculo PCI Tramo III – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1	32+21	53	2
Iteración 2	32+2	34	1

Anexo 32: Factores de deducción de Tramo IV – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones			Max	m
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	0,000				23	8
Agrietamiento por Bloque	11,468		23			
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	11,073		18			
Grieta Transversal (ml)	2,823		6			

Anexo 33: Cálculo PCI Tramo IV – Av. Mártir Olaya

ITERACION		q	DMC	PCI
Iteración 1	23+18+6 47	3	30	68
Iteración 2	23+18+2 43	2	32	
Iteración 3	23+2+2 27	1	28	

Anexo 34: Factores de deducción de Tramo V – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones			Max	m
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	0,000				32	7
Agrietamiento por Bloque	47,185		32			
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	0,000					
Grieta Transversal	0,000					

Anexo 35: Cálculo de PCI Tramo V – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1	32	32	68

Anexo 36: Factores de deducción de Tramo VI – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones			Max	m
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	0,000				68	4
Agrietamiento por Bloque	16,347		21			
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	16,298			68		
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	3,274	20				

Anexo 37: Cálculo PCI Tramo VI – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1 68+21+20 109	3	73	27
Iteración 2 68+21+2 91	2	65	
Iteración 3 68+2+2 72	1	72	

Anexo 38: Factores de deducción de Tramo VII – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones			Max	m
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	0,000				73	3
Agrietamiento por Bloque	0,000					
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	27,339			73		
Grieta Transversal	0,000					

Anexo 39: Cálculo PCI Tramo VII – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1	73	73	1
			75
			25

Anexo 40: Factores de deducción de Tramo VIII – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad %	Deducciones			Max	m
		Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	0,673		8		22	8
Agrietamiento por Bloque	0,000					
(Piel de cocodrilo)	3,685			22		
Grieta Transversal	0,000					

Anexo 41: Cálculo PCI Tramo VIII – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1	22+8	30	2
Iteración 2	22+2	24	1

Anexo 42: Factores de deducción de Tramo IX – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones			Max	m
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	0,673		8		80	3
Agrietamiento por Bloque	0,000					
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	41,758			80		

Anexo 43: Cálculo PCI Tramo IX – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1	80+8	88	2
Iteración 2	80+2	82	1

Anexo 44: Factores de deducción de Tramo X – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones			Max	m
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	0,000				70	4
Agrietamiento por Bloque	0,000					
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	10,399			70		

Anexo 45: Cálculo de PCI Tramo X – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1	70	70	1
			70
			30

Anexo 46: Factores de deducción de Tramo XI – Av. Mártir Olaya

Falla	Densidad	Deducciones			Max	m
	%	Leve (L)	Moderado (M)	Severo (S)		
Peladura	2,815		11		82	3
Agrietamiento por Bloque	0,000					
Agrietamiento por Fatiga (Piel de cocodrilo)	22,540			82		

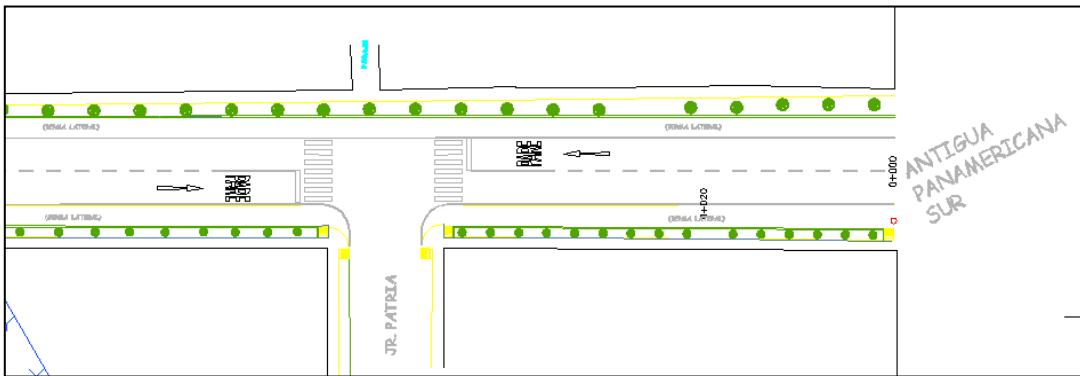
Anexo 47: Cálculo PCI Tramo XI – Av. Mártir Olaya

ITERACION	q	DMC	PCI
Iteración 1	82+11	93	2
Iteración 2	82+2	84	1

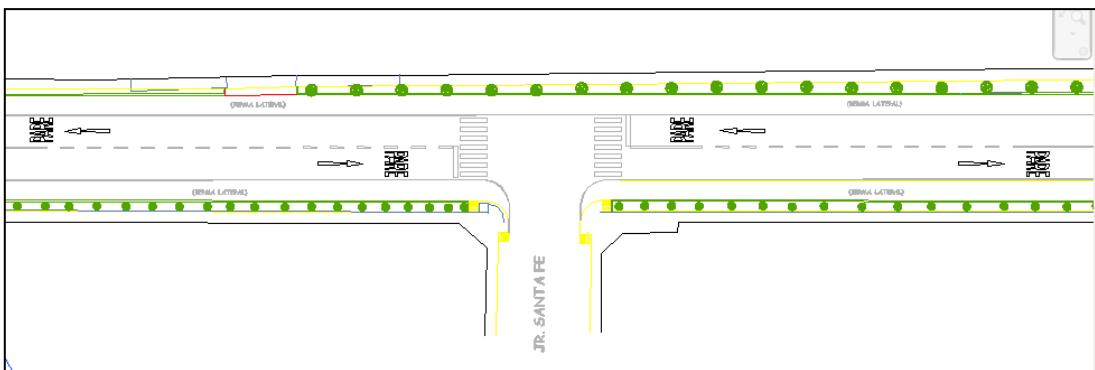
SEÑALIZACIÓN VIAL

Anexo 48: Plano de la señalización de la avenida Mártir Olaya

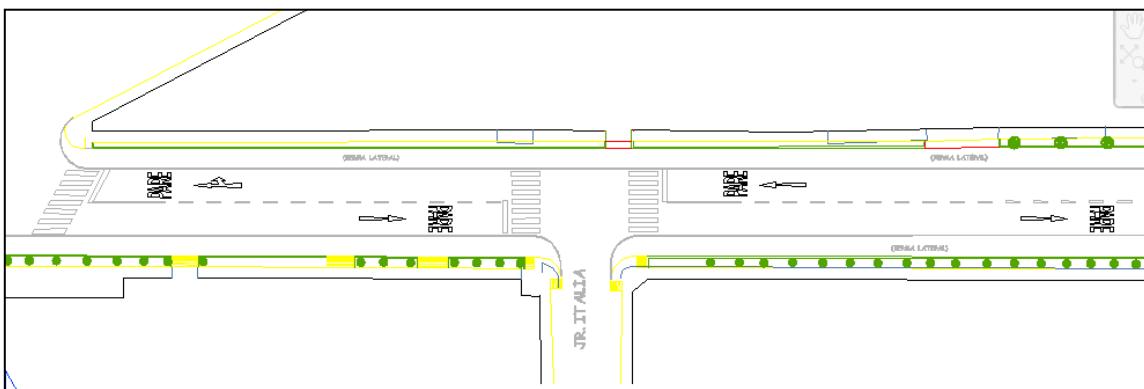
Tramo 1



Tramo 2

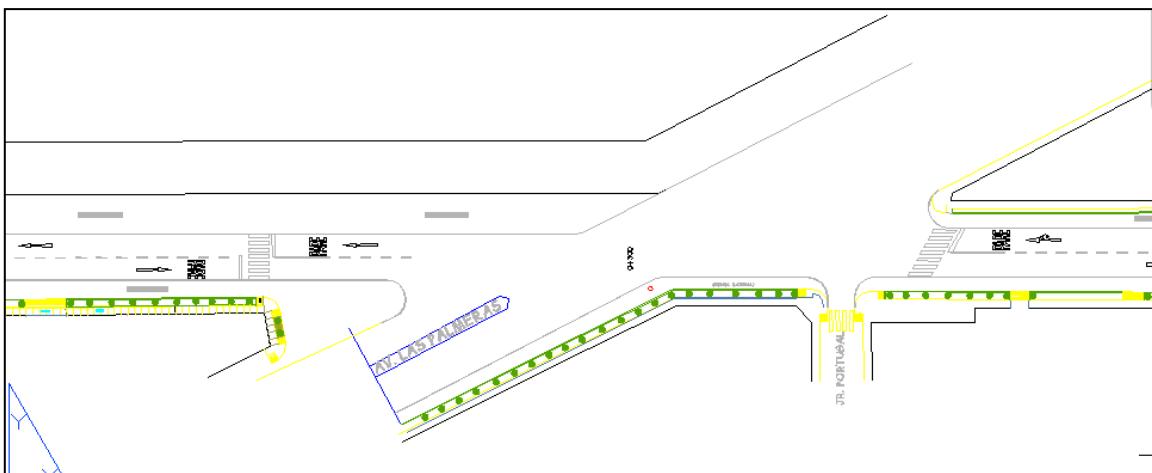


Tramo 3



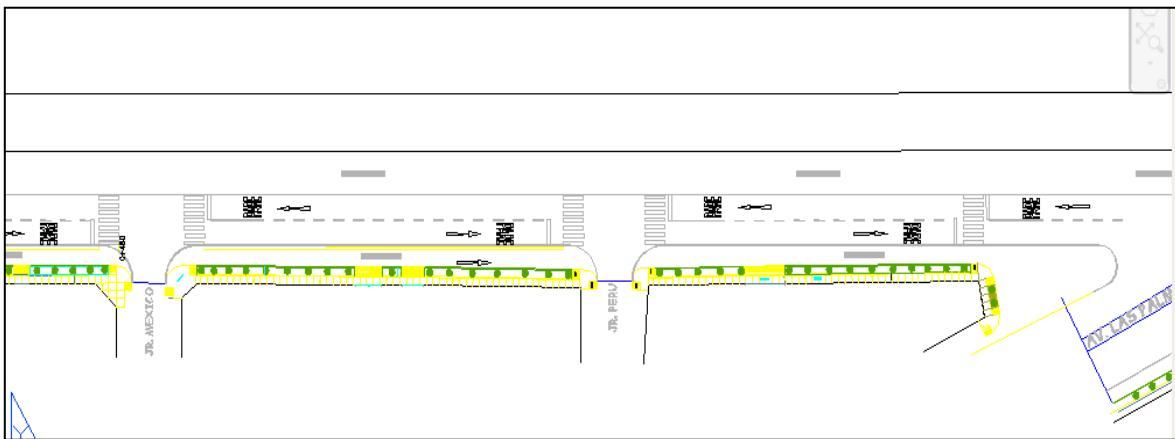
Tramo

4

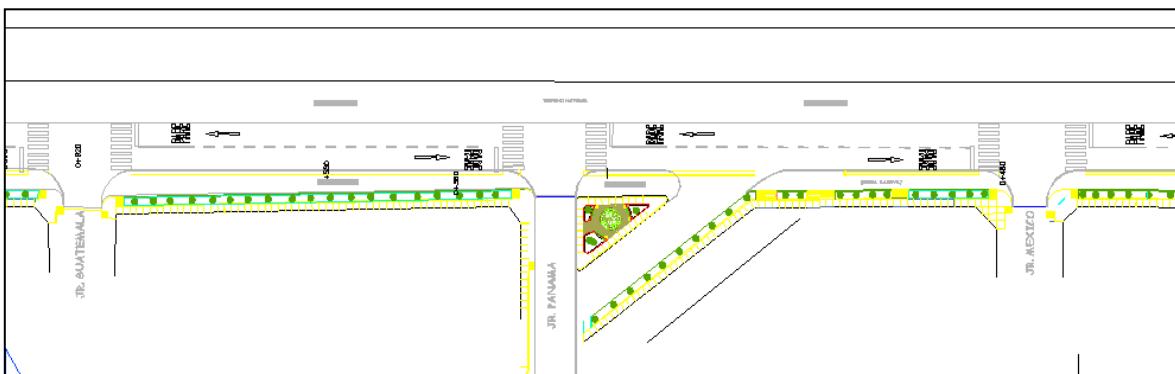


Tramo

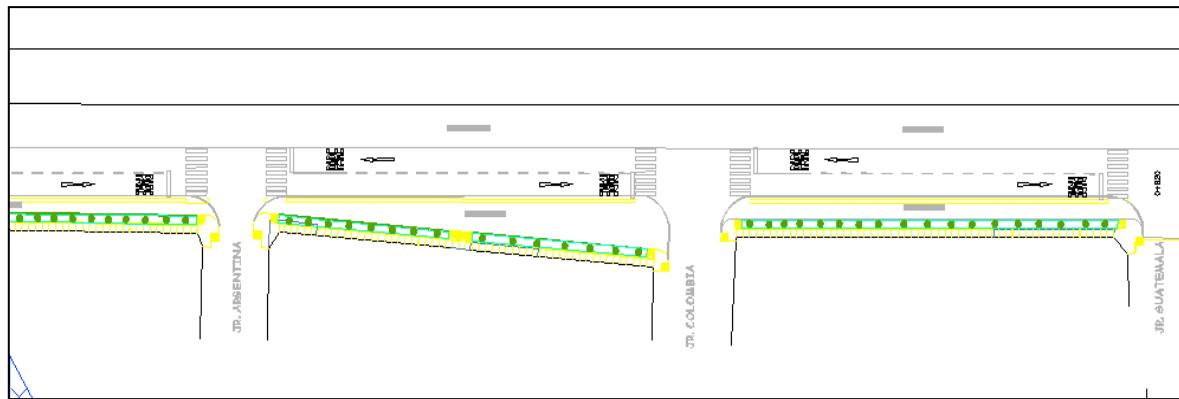
5



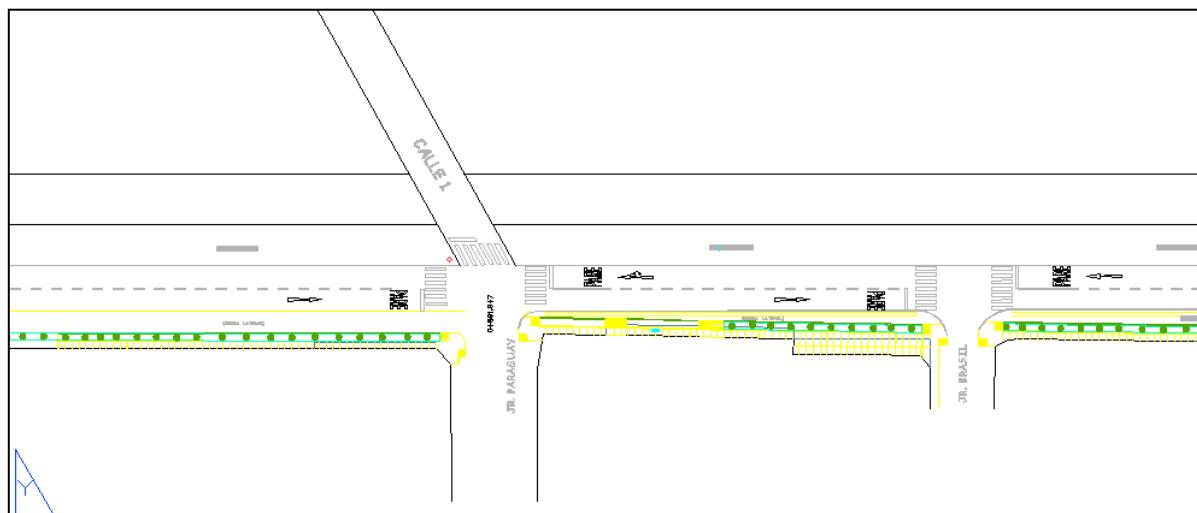
Tramo 6



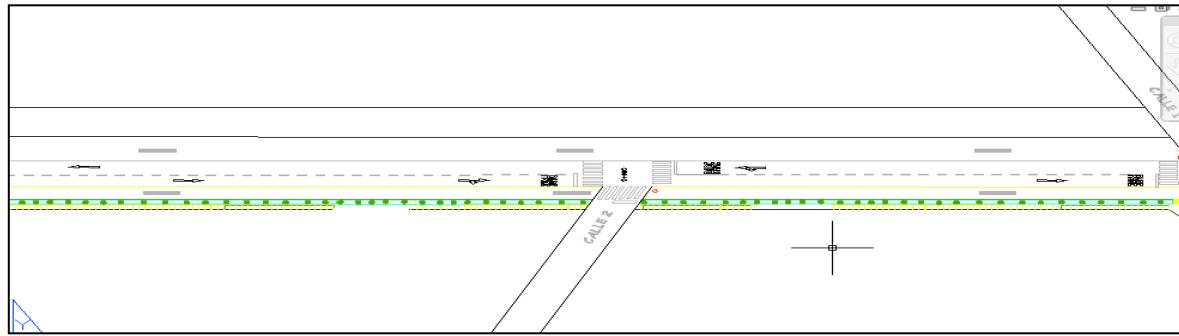
Tramo 7



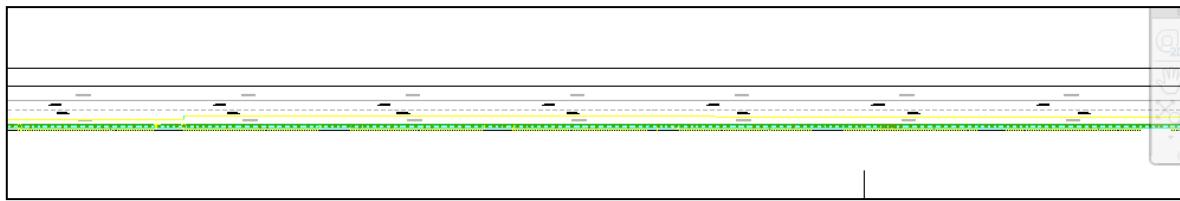
Tramo 8



Tramo 9



Tramo 9 al último



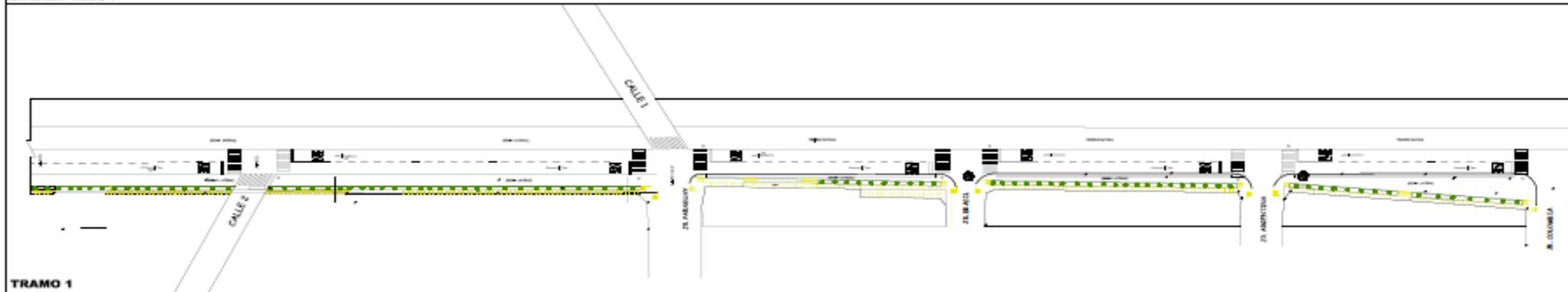
Fuente: Elaboración Propia

VISTA EN PLANTA

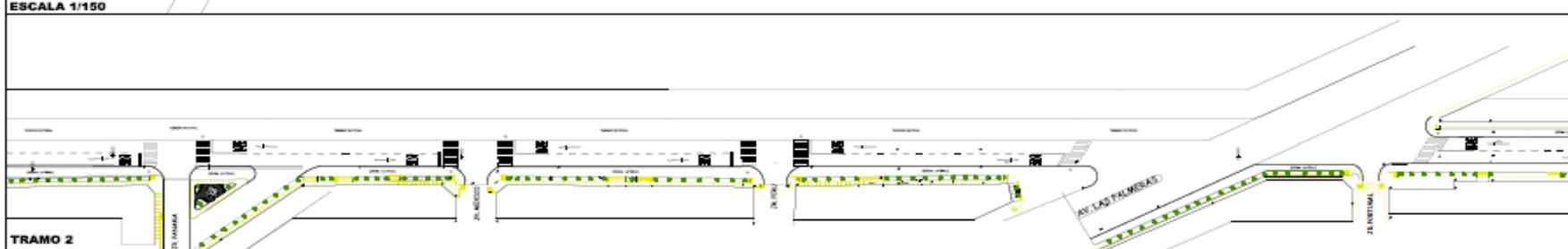
ESCALA 1/250



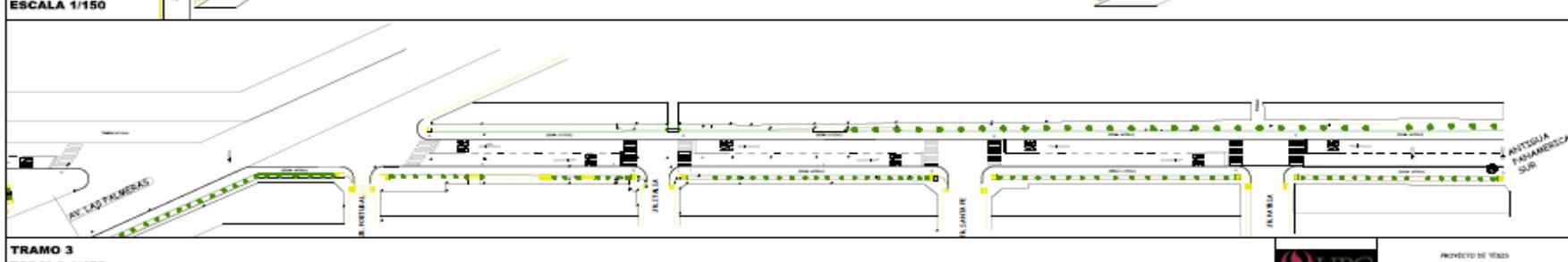
TRAMO 1
ESCALA 1/150



TRAMO 2
ESCALA 1/150



TRAMO 3
ESCALA 1/150



	PROYECTO DE TRAMOS
	PLANO DE DENSIFICACION DE LA AVENIDA MARTIR OLAYA LUJAN
Diseñado por:	Zum Alberto Sombrero Schi Tony Waldo Artes Chapek
Diseño:	IN 005A

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonificación del área del proyecto	4
Figura 2: Ubicación de áreas de influencia y accesos.....	5
Figura 3: Zonas de influencia de la Avenida Mártir Olaya.....	9
Figura 4: Entrada a la Zona Residencial Paso Chico	11
Figura 5: Cartel de desvío para “Las Praderas de Lurín”	12
Figura 6: Cartel de desvío para “La Estancia de Lurín”	12
Figura 7: Puerta de entrada de la empresa Soldexa S.A. – Progresiva 2+200 de la Av. Mártir Olaya	13
Figura 8: Entrada al camal Santa Genoveva – Progresiva 0+800 de la Av. Mártir Olaya	14
Figura 9: Actividad que se realiza en el camal Santa Genoveva.....	14
Figura 10: Estación de antenas de Telefónica.....	15
Figura 11: Plano abierto de estación de antenas de Telefónica.....	15
Figura 12: Volquete cargado de material de cantera – Progresiva 2+300 de la Av. Mártir Olaya	16
Figura 13: Progresiva 0+000 – Intersección de la Av. Mártir Olaya con la Antigua Panamericana Sur. Vista de N-S	17
Figura 14: Progresiva 0+320 – Intersección de la Av. Mártir Olaya con la Av. Las Palmeras. Vista de N-S	17
Figura 15: Progresiva 0+890 – Intersección de la Av. Mártir Olaya con la Av. Calle 1. Vista de S-N	18
Figura 16: Progresiva 0+990 – Intersección de la Av. Mártir Olaya con la Av. Calle 2. Vista de S-N	18
Figura 17: Progresiva 0+895 – Giba desgastada por la circulación de vehículos pesados.....	18
Figura 18: Máquina de ensayo Marshall.....	29
Figura 19: Análisis Comparativo de Material Bituminoso.....	30
Figura 20: Fase inicial MEPDG	33
Figura 21: Fase intermedia MEPDG	34

Figura 22: Pruebas Mecánicas por criterio de falla en MEPDG	35
Figura 23: Señales Reguladoras	48
Figura 24: Señales de Prevención	49
Figura 25: Señales Informativas	50
Figura 26: Marcas en el Pavimento	51
Figura 27: Marcas en los Obstáculos	52
Figura 28: Delineadores Reflectivos	52
Figura 29: Progresiva 2+250 – Estado actual de la vía vista de N-S.....	54
Figura 30: Progresiva 0+895 – Estado actual de la vía vista N-S.....	55
Figura 31: Progresiva 0+895 – Camión (C3-R2) y camión (T2S3) dirigiéndose de S-N	57
Figura 32: Progresiva 2+400 – Camioneta y auto dirigiéndose de S-N	58
Figura 33: Progresiva 0+890 – Camión Remolque (C4-R3) dirigiéndose de N-S.....	58
Figura 34: Progresiva 0+905 – Vista S-N del pavimento existente	59
Figura 35: Progresiva 0+910 – Pavimento existente en otro tramo de la vía.....	59
Figura 36: Falla de peladura en el primer tramo de la avenida 0+000 – 0+040	60
Figura 37: Falla de agrietamiento por bloque en el segundo tramo de la avenida 0+040 – 0+080	60
Figura 38: Falla de agrietamiento por fatiga en el segundo tramo de la avenida 0+040 – 0+080	61
Figura 39: Grieta Transversal en el cuarto tramo de la avenida 0+10 – 0+160	61
Figura 40: Estructura típica de un pavimento flexible	73
Figura 41: Espesores finales diseño AASTHO	76
Figura 42: Condiciones desfavorables para el drenaje	77
Figura 43: Sección típica final	79
Figura 44: Sección típica del lado izquierdo de la avenida.....	79
Figura 45: Curva Granulométrica	80
Figura 46: Relaciones específica Agregado - % de Asfalto	81
Figura 47: Información general del proyecto	83
Figura 48: Definiendo ubicación y datos de referencia del proyecto.....	84
Figura 49: Parámetros de serviciabilidad	84

Figura 50: Características de la avenida	85
Figura 51: Distribución por clase de vehículo	86
Figura 52: Factores de ajuste de volumen de tráfico por hora	86
Figura 53: Factor de crecimiento del tráfico.....	87
Figura 54: Distribución de peso por tipo de eje.....	88
Figura 55: Definición de ejes simples y tandem.....	88
Figura 56: Datos generales del tráfico	89
Figura 57: Espaciamiento entre ejes	90
Figura 58: Información del clima	91
Figura 59: Resultados de espesores del método AASHTO 93.....	92
Figura 60: Resultado de falla por temperatura	92
Figura 61: Características del drenaje de la avenida.....	93
Figura 62: Parámetros obtenidos del ensayo Marshall.....	94
Figura 63: Ligante más común utilizado en el Perú.....	94
Figura 64: Resultados finales de diseño de mezclas de asfalto	95
Figura 65: Características de la base granular	95
Figura 66: Datos asumidos según el tipo de base granular a usar	96
Figura 67: Características de la sub-base granular	96
Figura 68: Características de la sub-rasante	97
Figura 69: Modulo resiliente de la sub-rasante	97
Figura 70: Potencial de Fatiga.....	98
Figura 71: Detalle de señal de pare colocadas a lo largo de la avenida	99

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Valores modelo en ensayo CBR	43
Cuadro 2: Aforo Vehicular Diario Semanal	55
Cuadro 3: Composición vehicular	56
Cuadro 4: Matriz utilizada para el MEPDG	63
Cuadro 5: Clasificación vehicular según AASTHO	63
Cuadro 6: Nomenclatura y ejes	64
Cuadro 7: Cálculo del EALF	64
Cuadro 8: Aforo de Vehículos	65
Cuadro 9: Cálculo del factor camión	65
Cuadro 10: Factor de crecimiento	66
Cuadro 11: Factor ESAL	67
Cuadro 12: Tabla de periodos de diseños.....	68
Cuadro 13: Tabla de grados de confiabilidad.....	68
Cuadro 14: Desviación estándar de la distribución normal	69
Cuadro 15: Conversiones de valores de CBR a MR	71
Cuadro 16: Cálculo de los módulos resilientes	72
Cuadro 17: Resultados del diseño AASTHO	75
Cuadro 18: Clasificación de zonas según la intensidad de lluvia	78
Cuadro 19: Análisis Granulométrico.....	80
Cuadro 20: Datos finales ensayo Marshall.....	82

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1: Tabla de Diseño - AASTHO	106
Anexo 2: Base granular para cobertura de superficie	107
Anexo 3: Coeficiente Estructural por capa	108
Anexo 4: Módulos elásticos comunes en pavimentos	108
Anexo 5: Especificaciones para el Ahuellamiento	109
Anexo 6: Especificaciones para la falla por Fatiga.....	109
Anexo 7: Especificaciones para la falla por Fatiga.....	110
Anexo 8: Especificaciones PG temperaturas máximas	110
Anexo 9: Especificaciones del agregado grueso	111
Anexo 10: Especificaciones para el agregado fino	111
Anexo 11: Terminología de Diseño Superpave	112
Anexo 12: Clasificación vehicular	112
Anexo 13: Pesos y Medidas máximas permitidas de camiones de carga pesada	113
Anexo 14: Cálculo de Índice Medio Diario Anual.....	119
Anexo 15: Aforo Capacidad Vial	120
Anexo 16: Aforo Capacidad Vial - Tiempo	120
Anexo 17: Cálculo de la capacidad actual de la avenida.....	120
Anexo 18: Gráfico de velocidad versus concentración	121
Anexo 19: Calculando datos con la ecuación lineal obtenida	121
Anexo 20: Gráfico velocidad versus flujo.....	122
Anexo 21: Gráfico concentración versus flujo	122
Anexo 22: Fallas de la avenida Mártir Olaya	123
Anexo 23: Factores de deducción de Tramo I – Av. Mártir Olaya.....	129
Anexo 24: Falla de Peladura.....	130
Anexo 25: Falla Piel de Cocodrilo	131
Anexo 26: Cálculo PCI Tramo I – Av. Mártir Olaya.....	132
Anexo 27: DM vs DMC	132
Anexo 28: Factores de deducción de Tramo II – Av. Mártir Olaya	132
Anexo 29: Cálculo PCI Tramo II – Av. Mártir Olaya	133

Anexo 30: Factores de deducción de Tramo III – Av. Mártir Olaya.....	134
Anexo 31: Cálculo PCI Tramo III – Av. Mártir Olaya.....	134
Anexo 32: Factores de deducción de Tramo IV – Av. Mártir Olaya	135
Anexo 33: Cálculo PCI Tramo IV – Av. Mártir Olaya	135
Anexo 34: Factores de deducción de Tramo V – Av. Mártir Olaya	136
Anexo 35: Cálculo de PCI Tramo V – Av. Mártir Olaya	136
Anexo 36: Factores de deducción de Tramo VI – Av. Mártir Olaya	137
Anexo 37: Cálculo PCI Tramo VI – Av. Mártir Olaya.....	137
Anexo 38: Factores de deducción de Tramo VII – Av. Mártir Olaya	138
Anexo 39: Cálculo PCI Tramo VII – Av. Mártir Olaya	138
Anexo 40: Factores de deducción de Tramo VIII – Av. Mártir Olaya.....	139
Anexo 41: Cálculo PCI Tramo VIII – Av. Mártir Olaya.....	139
Anexo 42: Factores de deducción de Tramo IX – Av. Mártir Olaya	140
Anexo 43: Cálculo PCI Tramo IX – Av. Mártir Olaya.....	140
Anexo 44: Factores de deducción de Tramo X – Av. Mártir Olaya	141
Anexo 45: Cálculo de PCI Tramo X – Av. Mártir Olaya	141
Anexo 46: Factores de deducción de Tramo XI – Av. Mártir Olaya	142
Anexo 47: Cálculo PCI Tramo XI – Av. Mártir Olaya	142
Anexo 48: Plano de la señalización de la avenida Mártir Olaya	143