

**Diseño del Pavimento de
la Ruta Alternativa Sector
“A” que enlaza las Rutas
Nacionales No. 224 y No.
10 en el Distrito Central del
Cantón de Paraíso.**



Abstract

The fundamental aim of this report is to describe the design of pavement along the route switches located in the Urban Sector South Quadrant of the City of Paradise which, National Roads linking the no. 224 and no. 10, allowing a smooth and safe transport of heavy and light vehicles from the Districts of Orosi and Cachí.

The technical report there possesses an addressee, the Municipality of Paradise, who is the responsible entity of approving the project and realizing your execution.

Given the scanty capacity of economic response of this municipality, one recommends to initiate the project in the year 2015 for ende, the cost of the same one is projected for this year considering a loss of the value of the money across the time per year of 15 %.

Total project cost: Paving flexible (asphalt folder) ¢ 1 164 822 960.00 (\$ 2 588 495.0).

The alternate route has studied the category of urban road cantonal therefore, it is recommended that the City Council put the road map as mentioned in national journey to the authorities of the Ministry of Public Works and Transport, governing body of the National Road Plan to assume responsibility for the maintenance of the route and possible financing thereof (keywords).

Resumen

El objetivo fundamental del presente informe, consiste en exponer el diseño del pavimento de la ruta alterna sector "A" ubicada en el Sector Sur del Cuadrante Urbano de la Ciudad de Paraíso la cual, enlaza las Rutas Nacionales No. 224 y No. 10, permitiendo un tránsito fluido y seguro de los vehículos livianos y pesados procedentes de los Distritos de Cachí y Orosi

El informe técnico posee un destinatario, la Municipalidad de Paraíso, quien es el ente responsable de aprobar el proyecto y realizar su ejecución.

Dada la escasa capacidad de respuesta económica de este municipio, se recomienda iniciar el proyecto en el año 2015 por ende, el costo del mismo se proyecta para ese año considerando una pérdida del valor del dinero a través del tiempo del 15 % anual.

Costo total del proyecto: Pavimento flexible (carpeta asfáltica) ¢ 1 164 822 960.00 (\$ 2 588 495.0).

La ruta alterna en estudio posee la categoría de vía urbana cantonal por lo tanto, se recomienda al Concejo Municipal plantear la vía en mención como ruta nacional de travesía ante las autoridades del Ministerio de Obras Publicas y Transportes, ente rector del Plan Vial Nacional con la finalidad de que asuma la responsabilidad del mantenimiento de la ruta y el posible financiamiento de la misma

Diseño del Pavimento de la Ruta Alternativa Sector "A" que enlaza las Rutas Nacionales No. 224 y No. 10 en el Distrito Central del Cantón de Paraíso.



**Estudiante
José Francisco Madrigal Morales**

**Proyecto Final de Graduación para optar por el Grado de Licenciatura
en Ingeniería en Construcción.**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

Noviembre 2008

Contenido

PREFACIO	5	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIAL DE	
RESUMEN EJECUTIVO	6	LA SUBBASE	14
DISEÑO DEL PAVIMENTO.....	7	BASE	14
DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO		CARPETA ASFÁLTICA FLEXIBLE	15
POR HORA (TPH) DE LOS SECTORES DE LA		SUPERFICIE DE RODAMIENTO RÍGIDA.....	15
RUTA NACIONAL NO. 224 PARAÍSO - OROSI		LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS PUEDEN	
Y PARAÍSO CACHÍ.....	7	DIVIDIRSE EN TRES TIPOS:	15
ANÁLISIS DE LA SUBRASANTE.....	7	CARACTERISTICA DE LOS _MATERIALES DEL	
PAVIMENTO FLEXIBLE	7	PAVIMENTO RÍGIDO	16
PAVIMENTO RÍGIDO (LOSA DE CONCRETO		DRENAJES.....	16
HIDRÁULICO).....	8	DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS... 18	
SISTEMA PLUVIAL	8	DESARROLLO DE EXPRESIONES PARA EL	
DISEÑO GEOMÉTRICO	8	ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD.....	19
VIABILIDAD SOCIOPOLÍTICA DEL PROYECTO		DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL	
.....	8	MÉTODO DE LA AASHTO (1993).....	220
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DOS		FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL	22
PROPUESTAS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO		SERVICIABILIDAD.....	22
DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO.....	9	MÓDULO DE RESILIENCIA (RIGIDEZ)	
COSTOS ESTIMADOS	9	EFFECTIVO DE LA SUBRASANTE.....	23
INTRODUCCIÓN.....	10	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO	
UBICACIÓN Y CONDICIONES ACTUALES DE		ESTRUCTURAL REQUERIDO	24
LA RUTA ALTERNA EN ESTUDIO	10	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO.....	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11	MÉTODOS DE DISEÑO	25
METODOLOGÍA	12	FACTORES DE DISEÑO ESTRUCTURAL	26
MARCO TEÓRICO.....	12	ACERAS	29
SUBRASANTE.....	12	BORDILLOS Y CUNETAS	29
CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	13	LOS CARRILES DE CIRCULACIÓN.....	29
SUBBASE	13	PENDIENTE TRANSVERSAL DE LOS	
		CARRILES.....	30

HOMBROS O ESPALDONES.....	30	METODOLOGÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	42
ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	30	METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS	43
ALINEAMIENTO VERTICAL	31	OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO TANTO FLEXIBLE COMO RÍGIDO.....	43
DISEÑO DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DE LA RUTA ALTERNA.....	32	DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DE LA RUTA ALTERNA EXISTE	44
POZOS DE REGISTRO.....	35	DESCRIPCIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS CURVAS HORIZONTALES.....	44
TRAGANTES	35	DESCRIPCIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LAS CURVAS VERTICALES	44
COSTO COMPARATIVO DE LAS DOS PROPUESTAS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO DE LA RUTA ALTERNA SECTOR “A“	35	DISEÑO DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES DE LA RUTA ALTERNA SECTOR “A”	44
EFFECTO DEL TIEMPO EN EL VALOR DEL DINERO.....	36	COSTO COMPARATIVO DE LAS DOS PROPUESTAS DEL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE LA RUTA ALTERNA SECTOR“ A“	45
VIABILIDAD SOCIAL Y POLÍTICA DEL PROYECTO.....	36	MANTENIMIENTO.....	46
EL CONCEPTO DE POBLACIÓN	37	VIABILIDAD SOCIOPOLITICA DEL PROYECTO	46
EL CONCEPTO DE MUESTRA	37	ENCUESTA DIRIGIDA A LOS REGIDORES MUNICIPALES	46
LA SELECCIÓN DE UNA MUESTRA.....	38	ENCUESTA DIRIGIDA A LOS JEFES DE FAMILIA QUE HABITAN AMBOS COSTADOS DE LA RUTA ALTERNA SECTOR “A”	46
DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO SEGUIDO	38	RESULTADOS	47
ESTUDIO DE INTENSIDAD DEL TRÁNSITO... ..	38	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES DE 18 KIPS A CARGA DE EJES SIMPLES	40	CONCLUSIONES	74
PAVIMENTO FLEXIBLE	41	APENDICE	77
PAVIMENTO RÍGIDO.....	41	ANEXO.....	78
SUBRASANTE.....	41	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
UBICACIONES DE LOS ENSAYOS Y MUESTREOS REALIZADOS EN LA SUBRASANTE DE LA RUTA ALTERNA SECTOR “A”	41		
CLASIFICACIÓN DEL SUELO	41		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE	42		
MATERIALES UTILIZADOS EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO	42		

Prefacio

La Ciudad de Paraíso como el resto de las ciudades del país, han colapsado sus vías principales de comunicación, debido a la gran cantidad de vehículos que transitan por ellas.

Paraíso es un Cantón turístico y pujante en la exportación de productos no tradicionales tales como el ayote, chayote entre otros y a la vez, cuenta con quebradores de materiales pétreos extraídos del Río Grande de Orosi. Estos materiales se convierten en arena y piedras de diferentes granulometrías que posteriormente son trasladados en vagonetas al Valle Central, los productos no tradicionales son transportados por medio de contenedores.

Los contenedores refrigerados, trailetas, vagonetas y demás vehículos provenientes de las ciudades de Cachí, Orosi, Tucurrique y Ujarrás, utilizan la Ruta Nacional No. 224 que atraviesa el centro de la Ciudad de Paraíso con todos los inconvenientes que suma una ciudad de vías angostas, cuyos espaldones son utilizados como área de parqueo, la cual se entronca con la Ruta Nacional No.10 dentro de la ciudad, provocando grandes embotellamientos de vehículos y dañando severamente a la infraestructura vial existente.

Otro punto importante a considerar, es la capacidad hidroeléctrica que representa el Cantón de Paraíso para el resto del país, al desarrollarse proyectos hidroeléctricos de suma importancia tales como la Represa de Cachí y Palomo, las cuales en su momento requerirán mantenimiento y posiblemente transporte de equipo pesado con el gran inconveniente de que la ruta en mención, presenta grandes problemas de diseño.

A la fecha, la Ciudad de Paraíso cuenta con una ruta alterna, la cual esta siendo utilizada por un porcentaje pequeño de vehículos pesados, provenientes de los Distritos de Cachí y Orosi, con el gran inconveniente de que dicha ruta, no está diseñada para desempeñarse eficientemente en la labor a la cual se le está encomendando.

Por tanto, es de suma importancia para el Cantón de Paraíso, habilitar en un 100 % la ruta alterna existente. Esta vía se ubica en el sector sur del Cuadrante Urbano del Distrito Central iniciándose frente al Liceo de Paraíso y se desplaza 450 m al oeste, 360 m. norte y 500 m oeste empalmase con la Ruta Nacional No. 10. Así el presente informe, propone los elementos necesarios para la rehabilitación de la ruta sector "A": diseño estructural del pavimento, diseño geométrico de la misma, diseño del sistema de evacuación de aguas pluviales y un análisis comparativo de costo entre dos alternativas de diseño, la alternativa uno presenta un pavimento asfáltico y la alternativa dos presenta un pavimento rígido con losa de concreto hidráulico.

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto brinda a la Municipalidad de Paraíso, una solución técnica para la reconstrucción de la ruta alterna ubicada al costado sur del cuadrante de la ciudad, posible solución del congestionamiento vial. Esta vía está siendo utilizada por un porcentaje pequeño de empresarios de vehículos pesados, provenirte de los sectores de Paraíso - Orosi y Paraíso – Cachí, ambos sectores pertenecientes a la Ruta Nacional No. 224, y que se enlaza con la Ruta Nacional No. 10.

La Ciudad de Paraíso como la mayoría del territorio nacional, ha visto colapsar sus vías principales de comunicación debido a la gran cantidad de vehículos que transitan en ellas por ende, la ruta alterna se convierte en una solución viable para evitar el congestionamiento de las vías principales de distrito central por causa de los vehículos de carga pesada provenientes de los Distritos de Cachí y Orosi por lo tanto, es de vital importancia para el Cantón de Paraíso rehabilitar en un 100 % esta ruta. El presente informe propone los elementos necesarios para la rehabilitación de la ruta a saber: Diseño estructural del pavimento, revisión del diseño geométrico de la misma, diseño del sistema de evacuación de aguas pluviales y un análisis de costo entre dos alternativas de diseño, una con pavimento asfáltico y otra con pavimento rígido de concreto hidráulico .

La ruta alterna en estudio está constituida por 1500 m dividiéndose en dos sectores bien definidos:

Sector “A”:

La conforman 823 m, iniciándose en la intersección con la Ruta Nacional N° 224 frente a la Librería Súper Paco (Costado este del Liceo de Paraíso) Calle 44, desplazándose 468 m al oeste

y 355 m norte (Avenida 11) hasta encontrar el cruce INVU y calle al cementerio. Se caracteriza por estar conformado de un tratamiento superficial de 2 cm de espesor el cual descansa sobre un cascote de lastre conocido como material de charrara de aproximadamente 20 a 30 cm de espesor.

Las condiciones que presenta el pavimento no son las idóneas, pues presenta un deterioro progresivo producto del tránsito de vehículos pesados que ha empezado a transitarla y del inadecuado sistema de evacuación de aguas pluviales existentes.

Sector “B”

Está constituido por 670 m. lineales, cuenta con un pavimento flexible compuesto de una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor y un sistema de evacuación de aguas pluvial relativamente aceptable. Se observa un pavimento con muy pocas fisuras transversales y longitudinales, indicando una base y subbase en condiciones aceptables, existen baches que se deben atender.

Tomando como argumento la conformación de la estructura del pavimento existente, la condición actual de esta y la imperante necesidad de reconstruir en un 100 % el pavimento del Sector “A” de la ruta en mención, el presente documento técnico propone el diseño del pavimento y los elementos complementarios que conforma la vía del sector “A” de la ruta alterna en cuestión, planteándose como la primera etapa y prioridad del proyecto. Otro punto importante para contemplar el proyecto en dos etapas de diseño, es la poca capacidad de respuesta económica de la Municipalidad de Paraíso para enfrentar un proyecto de tal magnitud.

Diseño del pavimento

Se utilizó el Método AASHTO 1993 para los diseños de los pavimentos. Se consideraron dos alternativas de diseño: pavimento flexible y pavimento rígido con losa de concreto hidráulico. La fórmula de diseño del Método AASHTO fue resuelta en ambos casos en forma manual y con la ayuda de monogramas, la optimización de los diseños se logró al resolver la fórmula por medio de programas computarizados. Se estima un periodo de diseño de 20 años y se consideró un coeficiente de drenaje de calidad regular 0.90.

Determinación del tránsito promedio por hora (TPH) de los Sectores de la Ruta Nacional No. 224, Paraíso - Orosi y Paraíso - Cachí

Los aforos se realizaron en forma manual en los dos sectores de interés de la ruta nacional, arrojando valores que permitieron ubicar la hora pico de la Ruta Nacional No. 224, entre las 5:12 a.m. y las 6:12 a.m., estimándose un TPD de 3920, con el objetivo de poder determinar la intensidad de circulación de los posibles usuarios de la ruta alterna estudiada. Como punto relevante en el diseño del pavimento, se consideró que no todo vehículo estimado en la hora pico será usuario de la ruta alterna y al no contar el presente informe con un estudio de origen y destino de los usuarios de la Ruta Nacional No. 224, se procedió a estimar los posibles usuarios de la ruta alterna considerando los siguientes argumentos: Clasificación de los vehículos aforados y el conocimiento del área que envuelve el proyecto. Se estimó que un 56.4 % de los vehículos aforados, serían los posibles usuarios de la ruta alterna representando un TPH de 2211.6.

Para el cálculo de los ejes de equivalencia de 18 kips (ESAL – por carril de tránsito), se utilizaron los factores camión recomendados por el MOPT para diseños de estructuras del pavimento, según Oficio DVOP

5170-07 de fecha 10 de setiembre de 2007 remitido por parte del Despacho del Viceministro de Obras Públicas y Transportes Dr. Pedro L. Castro Fernández, Ph. D.. El valor ESAL's por carril de tránsito calculado en nuestro caso es de 6.38 millones.

Análisis de la subrasante

Se realizaron tres ensayos con el Penetrómetro Dinámico del Cono (DCP) sobre el posible eje de la subrasante en puntos bien definidos.

Estos arrojaron valores que permitieron correlacionarlos con fórmulas empíricas para el cálculo de la capacidad de soporte de California (CBR) de la subrasante. Como punto de partida del diseño del pavimento, se consideró un valor del CBR de la subrasante de 5 %. Posteriormente se muestreó la subrasante en los puntos donde se practicaron los ensayos de DCP. Las muestras se utilizaron para la clasificación del suelo según el método AASHTO, las cuales arrojaron valores del límite líquido por el orden de 70 a 77 e índice plástico de 26 a 38. Presento suelos sumamente finos, cuyo tamiz No. 200 permitió pasar del un 35% del suelo tamizado, lo cual permiten clasificarlo como un suelo tipo A-7-5 según AASHTO, (suelo limos arcilloso de alta plasticidad)

Pavimento flexible

El Módulo de Resiliencia (Mr) de la subrasante, factor fundamental en el diseño del pavimento, no fue corregido por humedad, este representa el valor del mes de mayo de 2008.

Diseño del pavimento flexible alternativa 1:

El método de diseño utilizado fue el AASHTO 1993, la fórmula de diseño del método fue resuelta empleando un programa de computación diseñado en Microsoft Excel, arrojando los siguientes resultados:

Carpeta asfáltica.....16 cm de espesor
Base granular20 cm de espesor
Subbase granular.....20 cm de espesor

Pavimento rígido (losa de concreto hidráulico)

El Método de Diseño de Pavimentos Rígidos AASHTO 1993, permite asumir espesores de subbase, en este caso particular se asumió 30 cm de subbase granular sin tratar.

No se corrigió el Módulo de Reacción (Mk), compuesto de la subrasante por posible ubicación sobre un manto rocoso a una profundidad menor de 3 m. ya que no lo amerita en este caso.

Diseño del pavimento rígido alternativa 2:

El método de diseño utilizado fue el AASHTO 1993, la formula de diseño fue resulta utilizando programa de computación diseñado Cemex Concreto, arrojando los siguientes resultados:

Losa de concreto sin refuerzo.. 21 cm de espesor

Subbase granular (estimada).....30 cm de espesor

Sistema pluvial

El diseño del sistema de evacuación de aguas pluviales, esta constituido por: el cordón y caño, tragantes, pozos de registro y tuberías de concreto sin refuerzo.

Las aguas pluviales que fueron encausadas en los sectores cementerio, costado sur del INVU y sector oeste del Barrio San Antonio, descargarán sus aguas en los colectores existentes (tubos de concreto de diámetros adecuados).

Consideraciones tomadas en el Diseño geométrico de la vía.

Dada las características urbanas del sector donde se desarrolla la ruta alterna, se considera la velocidad de diseño de 40 kilómetros por hora.

Para tramos de giro en intercepciones (curvas horizontales), se asumió un peralte máximo lateral de un 9 % con un coeficiente de fricción lateral de 0,33.

Por lo tanto, el radio mínimo de las curvas horizontales en los giros de intercepciones, será de 30 m y la curva vertical de 16% que existe en el encadenamiento 0+848.10, se rediseña a un 9 %.

Obsérvese a continuación la propuesta de los elementos que conformarán el derecho de vía de la ruta alterna:

Derecho de vía.....	14 m
Acera	1.8 m
Bordes y cuneta	0.65 m
Ancho hombros	0.90 m
Carril de circulación en un sentido.....	3.65 m

Para cumplir con la proposición anterior, la Municipalidad de Paraíso debe iniciar un proceso de expropiación de varias franjas de terrenos paralelos a la vía en estudio, deberá expropiarse 550 m² a lo largo de la vía, lo cual permitirá la ampliación del derecho de vía a 14 metros y además se ampliarán las curvas horizontales ubicadas en los tramos de giro de intercepciones, ampliándose a 30 m el radio de la curva horizontal.

Viabilidad sociopolítica del proyecto

En todo proyecto que se pretenda desarrollar en una comunidad, es fundamental conocer el grado de apoyo o rechazo de la población hacia el proyecto. En este caso particular, interesan los vecinos que habitan ambos costados de la ruta en estudio y por tratarse de un proyecto que demanda una gran inversión por parte de la comunidad, se consideró importante conocer el apoyo político que tendría el proyecto en el seno del Concejo Municipal por lo tanto, se procedió a encuestar a los vecinos de la ruta alterna sector "A" y a los Miembros del Concejo Municipal. La encuesta realizada a los jefes de familia que habitan en el sector de ruta "A", indico un apoyo del 77 %, la consulta realizada a los Regidores Propietarios y Suplentes que conforman el Concejo Municipal, obtuvo un rotundo apoyo.

Análisis comparativo de las dos propuestas de diseño del pavimento desde el punto de vista económico

El proyecto se presentará a las autoridades municipales quienes serán los responsables de aprobar la propuesta y buscar el financiamiento para su ejecución. La obra incluye expropiaciones y la construcción de la misma. Se consideró un lapso de tiempo prudente para que la municipalidad gestione el financiamiento del proyecto e inicie las expropiaciones. Se estima un periodo de 6 años para alcanzar tales fines, por lo tanto se proyecta iniciar las obras en el año 2015.

La alternativa del pavimento flexible en el ámbito del mantenimiento de la vía incluye para el año 2025 un recarpeteo, planeándose colocar una carpeta asfáltica de 8 cm de espesor sobre la existente. La alternativa del pavimento rígido proyecta para el año 2025, cambiar el asfalto AC-30 que protege las juntas longitudinales de contracción y juntas transversales de construcción.

Costos estimados al año 2015, posible fecha del inicio del proyecto.

- Alternativa del pavimento flexible (carpeta asfáltica) ¢ 1 164 822 960.00 (\$ 2 588 495.0).
- Alternativa del pavimento rígido (losa de concreto hidráulico) ¢ 1 194 647 323.00. (\$ 2 654 772.00)

Se consideró la pérdida del valor del dinero en el transcurso del tiempo y se estimó un interés del 15 %. (Interés compuesto).

Al compararse económicamente las dos alternativas, se observa una diferencia significativa entre ellas. El costo del pavimento rígido supera por ¢ 29 824 363.00 (\$ 55 230.0) al costo de la alternativa del pavimento flexible, esta diferencia es muy significativa para las arcas

municipales por lo que se recomienda la alternativa de la carpeta asfáltica.

Se sugiere al Concejo Municipal de este municipio, plantear la ruta alterna ubicada en el sector sur del cuadrante urbano al Ministerio de obras Públicas y Transportes como ruta de travesía, de esa manera el MOPT a través del Concejo Nacional de Vialidad, podría disponer del financiamiento para la ejecución del proyecto.

Introducción

El objetivo fundamental del presente informe, es exponer el diseño del pavimento de la ruta alterna del sector “A”, ubicada en el Sector Sur del Cuadrante Urbano de la Ciudad de Paraíso la cual, enlaza las Rutas Nacionales No.224 y No.10. Esta ruta permitirá un tránsito fluido y seguro de los vehículos livianos y pesados procedentes de los Distritos de Cachí y Orosi. A su vez facilitará el tránsito de los vehículos de transporte de equipo pesado provenientes de la Gran Área Metropolitana.

Ubicación y condiciones actuales de la ruta alterna

La ruta alterna se clasifica como “Calle Cantonal Urbana”, ubicada en el Sector Sur del Cuadrante Urbano del Distrito Central del Cantón de Paraíso. Se inicia en el entronque con la Ruta Nacional No.224 frente a la Librería Súper Paco (Costado este del Liceo de Paraíso) Calle 44 y se desplaza 468 m. al oeste hasta el cruce con la Calle La Laguna. Posteriormente se enrumba 355 m. hacia el norte (Avenida 11) hasta encontrar el cruce del INVU y calle del Campo Santo y por último se desplaza a 586 m. al oeste (Costado sur del cementerio) hasta conectarse con la Ruta Nacional No.10.

Dadas las características y condiciones actuales de la estructura del pavimento existente de la vía alterna en estudio, se propone dividir la ruta en dos sectores bien definidos:

Sector “A”

El Sector “A” de la vía alterna se inicia en el entronque con la Ruta Nacional N° 224 frente a la Librería Súper Paco (Costado este del Liceo de Paraíso) Calle 44 y se desplaza 468 m. al oeste y 355 mts. hacia el norte (Avenida 11) hasta

encontrar el cruce del INVU y calle del Campo Santo.

El pavimento de este sector está conformado por un tratamiento superficial de 2,0 cm de espesor el cual descansa sobre un cascote de material granular conocido como charrara con un espesor que oscila entre 20 y 30 cm. El 75 % del suelo de la subrasante, está constituido por arcillas limosa de alta plasticidad de color rojizo con pequeños fragmentos de color negro y gris, el resto de la subrasante la conforma un suelo limo arcilloso de café de alta plasticidad. El sistema de alcantarillado de aguas pluviales existente, no reúne las condiciones mínimas para ofrecer un servicio adecuado.

El pavimento presenta un estado progresivo de deterioro y deformación debido al aumento de los vehículos pesados que la transitan y el deficiente sistema de evacuación de aguas pluviales.

Sector “B”

El Sector “B” se inicia en el Barrio El INVU desplazándose hacia el oeste (calle ubicada al costado sur del campo santo) recorriendo 586 mts. y entroncándose con la Ruta Nacional No.10. Este sector está constituido por un pavimento que contiene una carpeta de asfalto de aproximadamente 5 cm de espesor, no presenta deformaciones ni agrietamientos considerables en la carpeta asfáltica, deben repararse los baches que existen en la calle y no cuenta con un sistema alcantarillado eficiente.

Tomando como argumento la conformación de la estructura del pavimento existente, las condiciones actuales del mismo y la imperante necesidad de reconstruir en un 100 % el pavimento del Sector “A” de la ruta en mención, el presente documento técnico propone el diseño del pavimento y los elementos complementarios que conforma la vía del sector “A” de la ruta alterna existente, planteándose la misma como la

primera etapa y prioridad del proyecto en mención. Otro punto importante que debe contemplar el proyecto en las dos etapas, es la capacidad de respuesta económica de la municipalidad para enfrentar un proyecto de tal magnitud.

Al ser conocedor del presupuesto que maneja esta corporación municipal, considero viable dividir el proyecto en dos etapas: Sector "A" y Sector "B", por lo tanto se planteará en dos etapas y el presente documento definirá las características técnicas y de costo de la primer etapa correspondiente al Sector "A".

Objetivos específicos

Diseñar el pavimento de la ruta altera del Sector "A" utilizando los conceptos de diseño AASHTO 1993 tanto para pavimentos flexibles con superficie de mezcla asfáltica, como para pavimentos rígidos de superficie de concreto hidráulico con la finalidad, de poder comparar los costos de ambos diseños y recomendar el más viable para los intereses municipales desde el punto de vista económico.

El proyecto está enfocado en brindar una solución técnica a la Municipalidad de Paraíso para la reconstrucción de la ruta alterna ubicada en el Sector Sur del Cuadrante Urbano de la ciudad que a la fecha, es utilizada por vehículos pesados provenientes de los Sectores Paraíso - Cachí y Paraíso - Orosi, ambos pertenecientes a la Ruta Nacional No.224 que se enlaza con la Ruta Nacional No.10.

Otro objetivo fundamental del presente proyecto es el rediseño geométrico de la vía alterna que abarcará el 100 % de la misma. El diseño geométrico de la vía alterna conlleva al diseño del sistema de evacuación de aguas pluviales.

Los diseños del pavimento obtenido en forma manual y con la ayuda de método gráfico (nomograma AASHTO), serán optimizados con la ayuda de programas de cómputo.

Metodología

La metodología utilizada en el desarrollo del presente proyecto está sustentada en un marco teórico el cual se expone a continuación:

Marco teórico

Tipos de pavimentos

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El diseño de pavimentos flexibles incluye la superficie con concreto o mezcla asfáltica y el pavimento rígido incluye la superficie de concreto hidráulico conjunta. El comportamiento de los pavimentos al aplicarles carga es muy diferente, en un pavimento rígido debido a la consistencia de la superficie de rodadura, produce una buena distribución de carga dando como resultado tensiones superficiales muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

La diferencia entre el pavimento flexible y rígido, está en la manera en que distribuyen las cargas al subsuelo. Variaciones menores en la capacidad de soporte del subsuelo, tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento de concreto hidráulico, esto debido a su capacidad estructural de distribuir los esfuerzos.

En el pavimento flexible se distribuyen las cargas en forma puntual, la capacidad de soporte de este tipo de pavimento se obtiene por medio de varias

capas para distribuir las cargas al subsuelo

Una estructura de pavimento en el cual se da una sola capa gruesa de asfalto, se comporta como un pavimento rígido.

Descripción de las capas que componen la estructura de un pavimento:

El pavimento está conformado por una estructura de capas: subrasante, subbase, base y una carpeta colocada encima de la rasante, destinada a sostener las cargas vehiculares.

A continuación se presenta un esquema de un pavimento:



Subrasante

Es el suelo existente, es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecta la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto, la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la subrasante, se conoce como Módulo de Resiliencia (Mr).

Inicialmente cuando se comenzaron a efectuar los primeros diseños de

pavimentos, estaba basado en las propiedades de la subrasante tales como:

- Granulometría
- Plasticidad
- Clasificación de suelos
- Resistencia al corte.
- Susceptibilidad a las variaciones de temperatura.
- Drenaje.

Posteriormente, se tomaron en cuenta las propiedades básicas de la subrasante y se analizaron otro tipo de ensayos que permitían conocer de mejor forma el comportamiento de los suelos. Se efectuaron ensayos utilizando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR.

Estos se cambiaron por ensayos dinámicos y de repetición de carga como el módulo de resiliencia.

El método de CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa primordialmente en que a menor valor de CBR de la subrasante, es necesario colocar mayores espesores en la estructura del pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

En el método de diseño de pavimentos flexibles AASHTO (1986 y 1993), el modelo de resiliencia reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, sub-base y base. Este ensayo se desarrolló con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales al comportarse bajo cargas dinámicas como las ruedas de tránsito. Una rueda al moverse transmite fuerzas dinámicas a todas las capas del pavimento incluyendo la subrasante y como reacción a estas fuerzas, cada capa del pavimento se deforma debido a la velocidad y peso del vehículo por tanto, la calidad de los suelos en el caso de la subrasante, se pueden relacionar con el módulo de resiliencia, módulo de Poisson (módulo elástico), valor de soporte del suelo (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante.

El contenido de humedad de un suelo, tiene un fuerte impacto en el valor del módulo de resiliencia, ya que este disminuye cuando se incrementa el

contenido de humedad. Se utilizará el Método del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) para medir la resistencia del suelo que conforma la subrasante de la ruta alterna, la cual ha sido sometida a cargas dinámicas de tránsito.

Este ensayo sirve para medir en el terreno, la resistencia de materiales de la subrasante.

El valor del CBR está correlacionado con el Penetrómetro Dinámico de Cono conocido con las siglas DCP:

$$\text{CBR} = 405.3 / \text{PR}^2 \text{ para conos de } 60^\circ.$$

$$\text{CBR} = 2.2 - 0.71 * \log(\text{DCP})^{0.0} \text{ para conos de } 30^\circ.$$

En donde:

PR = tasa de penetración en mm/golpe.

DCP = tasa de penetración en plg/golpe.

Clasificación de suelos

La clasificación de suelos es el indicador de las propiedades físicas – mecánicas que poseen los suelos. La clasificación que mejor describe y determina las propiedades de un suelo por usarse en la subrasante, es la norma de AASHTO M – 145. Este sistema clasifica los suelos en siete grupos y varios subgrupos. Los ensayos necesarios se reducen a análisis granulométrico (tamiz No.10, 40, 200 ASTM), determinación de los límites de Atterberg, y el cálculo del índice de grupo (IG).

Subbase

Es la capa de la estructura del pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad, las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimentos de manera que la capa de la subrasante la pueda soportar absorbiendo las

variaciones inherentes a dicho suelo que pueda afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y control de ascensión capilar de agua. Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa base.

Características de los materiales de la subbase

Los materiales de subbase deberán ser seleccionados y poseer mayor valor de soporte (CBR) que el material de la subrasante. Dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante, los materiales deberán ser suelos de tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

1. El valor de soporte (CBR) deberá determinarse según AASHTO T193 sobre una muestra saturada según AASHTO T – 180.
2. El tamaño de las piedras que contenga el material de la subbase, no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices No.40 y No.200 deben ser según AASHTO – T 11 y T – 27.
3. El índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO – T 90, y el límite plástico según AASHTO –T 89.
4. El equivalente de arena es determinado por el Método AASHTO T- 176.
5. El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, material orgánico, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

Las subbases deberán disponerse siempre que la subrasante sea plástica (IP>10) y para asegurar además su adecuada compactación.

Los materiales que conforman la capa de la subbase, deben tener un CBR no inferior de 30 % obtenido el 95% de la densidad seca máxima del Proctor **Modificado**. Para tránsitos bajos se puede aceptar que el valor de CBR sea 25 y para los tránsitos más elevados se exigirá que sea mínimo de 35.

La dimensión máxima de los elementos no excederá los 60 cm, donde se recomienda emplear material más delgado para evitar segregación.

Base

Es la capa del pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito a la subbase y a través de esta a la subrasante. Es la capa sobre la cual se coloca la banda de rodadura.

Base granular

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien, por una combinación de piedra o grava con arena y suelo en estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una buena base integrante de la estructura del pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión. Todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

Características de los materiales de la base

1. La granulometría deberá corresponder a lo determinado según AASHTO T - 27 y T – 11.

2. Valor de soporte (ABC) para piedra triturada y para grava (canto redondo), según AASHTO T – 193, la compactación según AASHTO T – 180 e hinchazón máximo según AASHTO T – 193.

3. El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.

4. La porción de agregado retenida en el tamiz No.4, no debe tener un porcentaje de desgaste por abrasión según AASHTO T – 96.

5. La porción que pasa por el tamiz No 40, debe tener un índice de plasticidad según se indica en AASHTO T – 90 y un límite líquido mayor al indicado en AASHTO T – 89, determinándose ambos sobre una muestra preparada en húmedo según AASHTO T – 25.

6. El porcentaje que pasa por el tamiz No.200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa por el tamiz No 40.

7. El equivalente de arena no debe ser menor a como se indica en AASHTO T – 176.

8. Cuando se necesita agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado para proporcionar características adecuadas de granulometría y cohesión, éstas deben ser libres de impurezas e inconsistencias en suelos arenosos, limos orgánicos, polvo de roca u otros materiales con alto porcentaje de partículas que pasen el tamiz No.10.

Carpeta asfáltica flexible

Se utilizará mezcla en caliente en el diseño del espesor de la carpeta asfáltica.

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, los cuales mezclados mediante proporciones controladas en caliente, dará

como resultado un material con propiedades y características definidas.

Los materiales conglomerados en mezcla asfáltica, deberán cumplir con las especificaciones indicadas en el Capítulo V del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

El método que se utilizará en el diseño de espesores en pavimento flexible, es el Método de AASHTO 1993, se fundamenta en el Módulo de Elasticidad del Concreto Asfáltico o Módulo Dinámico.

Superficie de rodamiento rígida

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basa su capacidad más en la losa que en la subrasante, dado que no usa capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura del pavimento.

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

a) Concreto hidráulico simple:

No contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.5 a 4.5 m.). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de carga (dovelas).

b) Concreto hidráulico reforzado:

Tiene espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.1 y 36.6 m). Lleva armadura distribuida en la losa a efectos de controlar y mantener cerradas las fisuras de construcción.

c) Concreto hidráulico reforzado continuo:

Tiene armadura continua longitudinal y no juntas transversales, excepto juntas de

construcción. La armadura transversal es opcional en este caso.

Características de los Materiales del pavimento rígido:

1. Cemento tipo Pórtland:

Los cementos hidráulicos deben ajustarse a las Normas AASHTO M - 85 para los cementos Pórtland y a las Normas AASHTO M – 240 para los cementos hidráulicos mezclados. Además, se debe indicar la clase de resistencia en MP según sea el caso, 21, 28, 35 y 42 MP, que corresponde a una resistencia mínima de 28 días. Cuando no se especifica el cemento a utilizar, estos deberán tener una clase de resistencia de 28 Mp.

2. Agregado fino:

Consiste en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables de acuerdo con AASHTO M 6 clase B.

3. Agregado grueso:

Consiste en grava o piedra triturada parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado de acuerdo con AASHTO - M80.

4. Agua:

El agua para mezcla y curado de concreto o lavado de agregados, debe ser preferiblemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto y al acero.

5. Aditivos:

El uso de aditivos para el concreto, tiene por objeto mantener y mejorar esencialmente la composición y rendimientos del concreto de la mezcla básica.

6. Cenizas volcánicas:

Se han utilizado para mezclas del sistema de pavimento de concreto de apertura rápida pero generalmente como aditivo, debe cumplir con lo especificado en AASHTO M – 295.

7. Aditivos químicos:

Son aquellos que sin cambiar las características naturales del concreto hidráulico para pavimentos, ayudan en los diferentes procesos de construcción siendo estos, incluso de aire según AASTH M - 159, reductores de agua según AASHTO M – 194 y aceleradores de fragua según AASHTO M – 194.

Una propiedad fundamentada en el diseño del espesor del pavimento rígido, es la resistencia media de la flexocompresión del concreto Módulo de Ruptura (MR).

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, es recomendable que su resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, se le conoce como la resistencia a flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificado a los 28 días.

El Módulo de Ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto, aplicando cargas en los tercios de su claro de apoyo. Este ensayo está normalizado por ASTM C - 78.

Los valores recomendados para el Módulo de Ruptura varían desde los 41 kg/cm² (583 psi) hasta los 50 kg/cm² (711pis) a 28 días, dependiendo del uso que tendrá.

Drenajes

La humedad es una característica muy especial de los pavimentos, ya que ésta reviste gran importancia sobre las propiedades de los materiales que forman la estructura de un pavimento sobre el comportamiento de los mismos.

El drenaje del agua en los pavimentos, debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volumen de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a la estructura del pavimento. El agua penetra dentro de la estructura del pavimento por muchos medios tales como: grietas, juntas, infiltraciones del pavimento o como

corriente subterránea de un acuífero interrumpido; elevando el nivel freático o como fuentes localizadas.

Efectos del agua sobre el pavimento

Los efectos del agua cuando está atrapada dentro de la estructura del pavimento son los siguientes:

- Reduce la resistencia de los materiales granulados.
- Reduce la resistencia de los suelos de la subrasante cuando ésta se satura y permanece en similares condiciones durante largos periodos.
- Succiona los suelos de apoyo de los pavimentos de concreto con las consiguientes fallas, grietas y el deterioro de hombros.
- Succiona los fondos de los agregados de las bases que están bajo los pavimentos flexibles, haciendo que las partículas del suelo se desplacen con los resultados de pérdida de soporte por la erosión provocada.

Soluciones a los problemas de humedad en el pavimento:

- Prevenir la penetración de agua dentro del pavimento.
- Prever el drenaje necesario para remover el exceso de agua rápidamente.
- Construir pavimentos fuertes para resistir los efectos combinados de carga y aguas.

En el diseño de pavimentos siempre debe tratarse de que tanto la subrasante, subbase y base, estén protegidos por la acción del agua por tanto, es necesario

interceptar el agua que corre superficialmente lo mejor posible, así como sellar la superficie del pavimento.

Para obtener un adecuado drenaje del pavimento, se debe considerar en el diseño, la previsión de tres tipos de sistemas de drenaje para el control de o la reducción de los problemas causados por el agua:

1. Drenaje superficial
2. Subdrenajes
3. Estructuras de drenaje

Un buen drenaje mantiene la capacidad soporte de la subrasante (mantiene el Módulo de Resiliencia cuando la humedad es estable), por lo que se obtiene un camino de mejor calidad y permite en determinado momento el uso de capas de soporte de menor espesor.

En los casos que se prevean problemas de humedad, deberán diseñarse estructuras de drenaje tales como: bases drenadas, drenajes colectores de agua (cunetas), filtros laterales de transición elaborados con materiales granulares o geotextiles (Subrasante).

Coeficiente de drenaje AASHTO

Los coeficientes de drenaje son valores menores, iguales o mayores a la unidad.

Esto depende de la capacidad de percolante de las capas drenaje; al tener capas de drenaje con valores mayores que la unidad, es factible la posibilidad de diseñar paquetes estructurales con espesores menores; en el caso que el drenaje no sea bueno, el coeficiente es menor que la unidad, lo que obligará a diseñar un paquete estructural con mayor espesor que permita resistir en igualdad de condiciones el tránsito para el que fue diseñado, un mayor espesor de paquete estructural no garantiza tener un buen drenaje.

Coeficiente de Drenaje para Diseño de Pavimentos Flexibles (mx)

La capacidad de drenaje del pavimento es expresado en la formula del número estructural por medio del coeficiente de drenaje (mx), que toma en cuenta las capas no ligadas.

Véase Tabla en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos Tabla No.6-2 Capítulo 6 Hoja 4, Guía para Diseños de Pavimentos AACHTO 1193.

Coeficiente de Drenaje para Diseño de Pavimentos Rígidos. (Cd.)

El diseño de pavimentos rígidos involucra los coeficientes de drenaje (Cd.), véase Tabla No.6-3 Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Tabla No.6-2 Capítulo 6 Hoja 4, Guía para Diseño de Pavimentos AACHTO 1193 con la finalidad, de ajustar la ecuación de diseño que considera la resistencia de la losa, las tensiones y las condiciones de soporte.

Origen del método de diseño de pavimentos AASHTO.

El origen del Método AASHTO de Diseño de Pavimentos 1993, fue el producto de tramos experimentales desarrollados en Ottawa, Illinois Estados Unidos de Norte América (1959).

Los objetivos primordiales del tramo experimental fueron obtener información para criterios de diseño, obteniendo métodos empíricos con base en la calidad de ruedo asociada con capacidad estructural (rigidez, espesor de capa).

Condiciones:

- Ottawa, Illinois (1959)
Suelos de subrasante muy uniforme (típicos de suelos de EUA).

Se construyeron 234 secciones de pavimento con combinación de paquetes estructurales con los siguientes espesores:

- Concreto asfáltico de 1" a 6"
- Base granular de 0" a 9"
- Subbase de 0 a 16".

Además, 200 secciones de pavimentos rígidos con combinaciones de paquete estructural con los siguientes espesores:

- Losa de 2.5" a 12.5". Solamente JPCO y JRCP.

Las secciones fueron cargadas con camiones que representaban el tráfico real: cargas de ejes equivalentes simples y cargas de ejes tandem además, usaron cargas livianas, medias y pesadas con una presión de inflado de 70 a 80 pis.

Como producto del tramo experimental de AASHTO, se desarrollaron expresiones para cuantificar el índice de serviciabilidad de un pavimento (PSI) con base al deterioro del pavimento. Es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el deslizamiento natural y normal de un vehículo, un pavimento en perfecto estado, se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, 5 (perfecto) y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final y según criterio del proyectista, con un valor de 0 (pésimas condiciones).

El PSI se correlacionó con mediciones objetivas hechas en pavimentos de su rugosidad, agrietamiento y baches, deformaciones plásticas superficiales.

Definiciones:

- Rugosidad

Se considera el grado de desviación de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana y perfecta, por lo tanto el parámetro usado para caracterizar la rugosidad de un pavimento en el tramo

experimental de la AASHTO, fue la variación de su pendiente:
 $SV = s^2$

Donde:

s^2 = pendiente en puntos medios cada 1.0 ft (12 in).

SV = variación de la pendiente.

- Agrietamiento

Área cubierta por grietas expresada en pies cuadrados (ft²) por cada 1000 ft².

- Baches

Área cubierta por baches expresada en pies cuadrados (ft²) por cada 1000 ft² de área.

- Roderas

Deformaciones superficiales, profundidad media de las roderas (RD). Se selecciona la mayor de entre RD1 y RD2 por sección transversal y se promedia.

Desarrollo de expresiones para el índice de serviciabilidad

Se desarrollaron modelos de regresión lineal múltiple, considerando el índice de serviciabilidad (PSI) cuantificado por un panel de expertos como variables respuesta y los parámetros de deterioro como variable independiente.

Para pavimentos flexibles:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \times \log(1 + SV) - 1.38 \times (RD)^2 - 0.01 \times (C+P) > 0.5$$

Para pavimentos rígidos:

$$PSI = 5.41 - 1.78 \times \log(1 + SV) - 0.09 \times (C+P) > 0.5$$

Donde:

PSI = índice de serviciabilidad.

SV = varianza de pendientes.

RD = profundidad promedio de rodera (in).

C = área agrietada (ft² / 1000 ft²).

P = área en baches. (ft² / 1000 ft²).

Actualmente para medir el deterioro de un pavimento, se utiliza el Índice Internacional de Rugosidad IRI (International Roughness Index) para el cual se utiliza un equipo sofisticado montado en un vehículo, el equipo al pasar sobre la superficie de una carretera, determina los altibajos de la superficie y estos se van sumando por lo que al final, se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro (m/k) o pulgada por milla (pl/milla).

Equipo empleado en medir las rugosidades:



Para correlacionar el índice de serviciabilidad e IRI, se utiliza la siguiente fórmula:

$$PSI = 5 \times e^{(-0.0041 \times IRI)}$$

En donde:

PSI = índice de serviciabilidad

IRI = índice Internacional de Rugosidad.

$e = 2.71828183$ (base de los logaritmos neperianos).

Empleando la fórmula con los valores anotados en los párrafos anteriores, el valor obtenido es en pulgadas por millas.

Los valores que se recomiendan dependen del tipo de pavimento a utilizar y son los siguientes:

Índice de serviciabilidad inicial:

$P_o = 4.5$ pavimentos rígidos.

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles.

Índice de serviciabilidad final:

$P_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes

$P_t = 2.0$ para caminos de tránsito menor.

Valores desarrollados por el Departamento de Transporte de Illinois, USA.

Diseño de pavimento flexible por el Método de la AASHTO (1993)

Concepto de número estructural

Este concepto indica que las capas granulares no tratadas, deben estar protegidas de presiones verticales excesivas que lleguen a producir deformaciones permanentes. Para evitar las deformaciones excesivas, los materiales son seleccionados para cada capa. Para cada uno de los materiales se deben conocer los módulos de resiliencia. Se pueden encontrar los números estructurales requeridos para proteger cada capa no tratada reemplazando el módulo de resiliencia de cada capa superior por el módulo de resiliencia de la

capa que esta inmediatamente abajo. Por tanto el número estructural (SN) requerido para proteger cada capa, define el espesor del pavimento esto según las propiedades de los materiales.

$$SN = \text{Sumatoria} (a_i \times m_i \times D_i)$$

En donde:

SN = número que representa en términos generales la calidad estructural de un pavimento flexible (resistencia a la deformación ante carga).

a_i = coeficiente estructural de capa, función de la resistencia y rigidez de un material. Se refiere a la relativa calidad estructural de un espesor unitario (1 in) del material i , se orienta a valorar la capacidad de preservar la resistencia estructural conforme el pavimento es cargado.

m_i = coeficiente de drenaje para la capa i , no aplicable para las capas asfálticas. Dependiendo de la cantidad de agua que pueda permanecer en cada capa: porcentaje de tiempo que el pavimento está saturado y calidad del sistema de drenaje.

D_i = son los espesores de capa en pulgadas para las superficie de rodadura, base y subbase.

Para:



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

Estudio de intensidad de tránsito

El dato básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento y explotación de una red vial, es la intensidad de circulación más conocida como tránsito promedio diario (TPD). Para conocer el tránsito promedio diario se cuenta o afora el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la vía.

Esta operación se realiza manualmente o por medio de aparatos automáticos.

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen, a su vez, diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distintas. Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada según AASHO es de 80 kN o 18 Kips y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga LEF (Load Equivalent Factor).

El proceso de convertir un tránsito mixto en un número de ESAL's de 80 kN, fue desarrollado por el Road Test de AASHO. Para este ensayo se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño que produjeron.

Consideraciones

- El tránsito sobre pavimentos es muy variable. Así, normalmente

se introducen factores por dispersión e incertidumbre.

- AASCHO ha definido 13 grupos de vehículos diferentes.
- Es necesario convertir todas las pasadas de diferentes vehículos en un número de pasadas de un tipo (pasadas de ejes equivalentes).

Factor de crecimiento de tránsito

La tasa anual de crecimiento vehicular, se utilizará en el periodo de diseño de la estructura del pavimento, lo que nos da el factor de crecimiento de tránsito. El porcentaje de la tasa anual de crecimiento vehicular, se puede cambiar utilizando diferentes porcentajes considerando el tipo de vehículo que puede aumentar o disminuir.

Factor = $\frac{((1 + \% \text{ crecimiento})^n - 1)}{\% \text{ crecimiento}}$.

n = Periodo del análisis

% crecimiento = tasa de crecimiento anual.

Factor = factor de crecimiento

Factor de distribución por dirección

Es el factor del total de flujo vehicular censado que se desplaza hacia un sentido o bien un porcentaje de vehículos que va hacia una u otra dirección.

Factor de distribución por carril

Se define como carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

Véase Tabla No. 3-33 "Factores de distribución de carril" Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 1993.

Variabilidad en función del tiempo

Existen dos variables que deben tomarse en cuenta estas son:

- El período de diseño.
- La vida útil del pavimento.

El período de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

La vida útil del pavimento es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad en varios períodos de vida útil que son: el de pavimento original y el de las rehabilitaciones.

Confiability (R)

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad que el diseño de la estructura de un pavimento puede alcanzar al final de su período de diseño.

Considera que el Método de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993 es

probabilístico, de manera que los parámetros de diseño tienen un nivel de dispersión asociada que influye en la calidad de cargas para alcanzar el nivel de servicio terminado.

Elementos con mayor nivel de dispersión:

- Módulo de rigidez de la subbase.
- Módulo de rigidez de la base.
- Módulo de rigidez de la capa asfáltica.
- Espesor de la subbase.
- Espesor de la base.
- Espesor de la carpeta asfáltica.
- Estimación de tránsito en términos de ejes equivalentes.

La definición del nivel de confianza depende en mucho de la credibilidad de la información de diseño.

Generalmente, para proyectos de mayor importancia estratégica se usan mayores niveles de confianza.

Serviciabilidad

La metodología del diseño de pavimentos permite asumir los valores de serviciabilidad inicial y final.

Pérdida de serviciabilidad:

Valor de índice de serviciabilidad ΔPSI :

Escoger el índice de serviciabilidad final P_t , es una selección del valor más bajo de deterioro de un pavimento al que pudiera ser admitido antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción. Se sugiere que para carreteras de primer orden (de mayor tránsito), el valor sea de 2.5 y para carreteras de menor importancia de 2.0. Para escoger el valor del índice de serviciabilidad inicial (P_o), es necesario

considerar los métodos constructivos ya que estos dependen de la calidad del pavimento en los ensayos de pavimentos de AASHTO, P_o se considera 4.5 para pavimentos de concreto. La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de serviciabilidad final (P_f) es $\Delta PSI = P_o - P_f$.

Propiedad de los materiales

Los materiales serán colocados por capas en el pavimento asfáltico. Será capa de material granular de buena calidad que facilite la transmisión de esfuerzos entre la capa de rodaje y el suelo.

La capa de base está sometida a sollicitaciones importantes por lo que los materiales que la constituyen deben ser de buena calidad.

Existen muchos criterios que condicionan la selección tales como:

- Su índice de capacidad cortante.
- Su estabilidad.
- La dureza de su esqueleto.
- La resistencia a la tracción de las capas ligadas o rígidas.

Desviación estándar en el desempeño (S_o)

En el tramo experimental de la AASHTO se notaron diferencias de dispersión en el desempeño de los pavimentos (PSI).

El nivel de confianza y la desviación estándar en desempeño determina un incremento en la capacidad estructural requerida (diseño para una mayor cantidad de ejes equivalentes EE).

Para el conjunto total de las desviaciones estándar (S_o), se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

- Para pavimentos flexibles 0.40 - 0.50.
- En construcción nueva 0.35 - 0.40.
- En sobre-capas 0.50.

Fuente: Manual Centroamericano de Caminos.

Módulo de resiliencia (rigidez) efectivo de la subrasante

El Módulo de rigidez efectivo de la subrasante, representativo (M_r) de toda la temporada (considerando variaciones estacionales) puede ser:

- Subrasantes secas: Son más resistentes a la deformación plástica.
- Subrasantes húmedas: Son menos resistentes a la deformación plástica.

La variación estacional del daño es ponderada para determinar el módulo de rigidez representativo.

El daño causado por una pasada de ejes equivalentes, en función del material de subrasante, se aproxima con:

$$U_f = 1.18E8 \times 10^{-8} (M_r)^{-2.23}$$

Lo ideal es conocer el valor promedio mensual del módulo de rigidez y realizar una ponderación de factores de daño. Con el factor de daño ponderado, a partir de la expresión de relación entre daño y módulo de resiliencia, es factible conocer el módulo de resiliencia representativo (efectivo).

Convenientemente se han reportado factores que pueden ser usados para estimar el módulo de resiliencia (M_r) con el CBR. El $M_r = B \times CBR$.

Este valor está desarrollado si el $CBR < 10\%$, en donde $B = 1500$, pero

este valor puede variar entre 750 y 3000 para un Mr en PSI, según grafica de Kentucky Correlación CBR – Mr Figura No. 4-3 Fuente: Van Til, C. J. B. F. McCollough, B. A. Vallegar, and R. G. Hicks. 1972. Evaluation of AASHTO Interim Guides for Design of Pavement Structures. NCHRP reporte.128.

Determinación del número estructural requerido

En los pavimentos de mezclas asfálticas, por medio de la fórmula de diseño, se obtiene el número estructural (SN) y en función del mismo se determinan los distintos espesores de las capas que conforman el paquete estructural. El diseño esta basado en la identificación del número estructural del pavimento flexible y la cantidad de ejes de carga transitando.

Las variables para determinar el número estructural de diseño requerido son las siguientes:

- La cantidad estimada de ejes equivalentes (ESAL's) por carril para el período de diseño.
- La confiabilidad (R).
- Las desviaciones estándar (So).
- El módulo de resiliencia efectivo (que tome en cuenta las variaciones a lo largo del año de la subrasante (Mr)).
- La pérdida de serviciabilidad $\Delta PSI = P_o - P_t$.

El siguiente paso para la determinación de los números estructurales requeridos para proteger cada capa del pavimento no tratada, consiste en remplazar el módulo de resiliencia de la capa superior por el módulo de resiliencia [de la capa que está inmediatamente abajo](#), este procedimiento se lleva acabo con la aplicación del ábaco de la figura No. 7-1 del Capituló 7 Página

6, del Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO, 1993)

Donde:

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

Para calcular los valores de los coeficientes estructurales de capa ax, se utilizarán las gráficas siguientes:

- Coeficiente estructural a1 para la superficie de la carpeta asfáltica vrs Módulo de Elasticidad Eac (psi), Capa asfáltica.
- Variación en el coeficiente estructural de la capa base a2 vrs Mr (Módulo – 1000 psi).
- Variación en el coeficiente estructural de la capa subbase a3 vrs Mr (módulo – 1000 psi).

Fuente: Guía para Diseño de Estructura de Pavimento AASHTO, 1993.

Diseño de pavimento rígido

Un pavimento de hormigón o pavimento rígido, consiste básicamente en losas de hormigón simples o reforzadas apoyadas directamente sobre la subrasante o la subbase.

Considerando que la rigidez del hormigón es mucho mayor que la del material de apoyo, la capacidad de carga está determinada fundamentalmente por la losa misma. Dicho de otra forma, la losa tiene un gran efecto repartidor de carga, y la presión de carga entre la losa y su fundación solo una pequeña fracción de la presión superficial. Este efecto se denomina usualmente como “acción de viga “de los pavimentos rígidos.

El diseño estructural de un pavimento de hormigón considera dos aspectos básicos:

- a) Diseño del espesor.
- b) Diseño de las juntas.

Métodos de diseño

Empíricos tales como:

- Métodos de las secciones normalizadas.
- Método AASHTO.
- Método Brokalw

Semi – Teóricos:

- Método PCA (Portland Cemento Association).

Teórico

Todos los métodos presentan limitaciones y a menudo diferencias en los espesores y en los parámetros de cálculo. Por lo tanto se deben de adaptar a las condiciones particulares.

Los métodos de diseño teórico suponen rigurosos cálculos de esfuerzo y deformaciones utilizando la teoría de elasticidad. Su principal dificultad es traducir estos cálculos a un comportamiento real del pavimento.

La utilización de secciones normativas para diferentes composiciones de tráfico y suelo, basándose en la experiencia, si bien puede parecer un método simple, ha producido diseños satisfactorios y es de amplia aplicación en el exterior.

Tipos de pavimentos

Existen varios tipos de pavimento de hormigón. En orden de menor a mayor costo inicial de construcción se presentan los siguientes:

- Hormigón simple: Sin elementos de traspaso de carga.

- Hormigón con refuerzo simple: Con elementos de traspaso de carga y juntas espaciadas.
- Hormigón armado: Refuerzo principal y de distribución.
- Hormigón pretensado o postensado: Para aplicaciones especiales como puentes.

El procedimiento de la Guía de Diseño AASHTO 1993, consiste en encontrar el espesor de losa requerido en función de una serie de parámetros de diseño, con el propósito de servir un nivel de confianza específico de que el índice de servicio (PSI), no caiga por debajo de un mínimo dada la aplicación de las cargas de diseño. El espaciamiento máximo de juntas en pavimentos JPCP, está entre 18 y 21 veces el espesor de losa. Por ejemplo:

- Losa de 20 cm de espesor: 3.60 a 4.20 m.
- Losa de 25 cm de espesor: 4.50 a 5.25 m.

Las juntas de los pavimentos de concreto JPCP, funcionan por trabazón del agregado (angularidad) o a través de dobelas (lo más común en nuestro medio). El tipo más común de pavimentos rígidos es el pavimento de concreto con juntas (JPCP). Por no tener refuerzo, las losas deben ser lo suficientemente cortas como para no generar esfuerzos térmicos que excedan la resistencia de la losa a la flexotracción.

Notas

(1) Las dobelas son colocadas en canastas de alambre de previo a la pavimentación. Luego de la cura del concreto hidráulico por algunas horas, las juntas son cortadas usando sierras con punta de diamante (aproximadamente

hasta un tercio del espesor de la losa).

(2) En pavimentos JRCP, el espaciamiento de juntas es mayor, usualmente entre 15 y 40 mts.. Las juntas en este tipo de pavimentos siempre tienen dobelas, y es permitido cierto nivel de agrietamiento (siempre que sea sellado para prevenir la entrada del agua).

(3) Selección del espesor de losa:

Basado en el monitoreo del detrimento o incremento de PSI contra tránsito en el tramo experimental de la AASHTO, se necesita calcular el espesor de losa requerido para soportar las cargas de tránsito por un período específico dada una reducción específica en PSI. El espesor de losa se puede determinar a partir de la ecuación de diseño de la AASHTO, o de los nomogramas alternativos.

Para pavimentos rígidos, la capacidad estructural total está dada por la losa de concreto hidráulico. Capas de apoyo con calidad superior a la sub-rasante, se consideran como un incremento en la capacidad de soporte de la sub-rasante (k), con una reducción marginal en el espesor de losa.

Factores de diseño estructural

Nivel de confianza (R).

Se basa en la clasificación del pavimento (importancia y volumen de tránsito) y la incertidumbre de los datos de entrada.

Desviación estándar

Es la estimación del índice de servicio terminal (S_o). En el tramo experimental de

la AASHTO se encontró que S_o para pavimentos rígidos es 0.35.

Desviación normal estándar Z_r

Esta variable define que para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje etc) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un periodo de diseño sigue una ley de distribución normal con una media y una desviación típica S_o según Tabla No. 7-13 de la Guía para Diseños de Pavimentos AASHTO 1993, Tabla No. 7-14 Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001 y Tabla No. 7-15 en Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto, Londoño, Cipriano, 2000.

El producto de $Z_r \times S_o$ efectivamente es un factor de seguridad que se aplica a la estimación del tránsito de una carretera. En la fórmula de diseño de AASHTO, se recomienda que el factor de seguridad esté en función del tránsito que circula sobre el carril de diseño.

Ejes equivalentes de diseño

Para el carril de diseño, de acuerdo con los procedimientos de la AASHTO, usando el factor camión y basados en factores de equivalencia de carga (LEF) apropiados, el período de diseño es normalmente entre 15 y 40 años.

Cambio en PSI

Es la diferencia entre el índice de servicio inicial y el índice de servicio terminal. El índice de servicio inicial en pavimentos de concreto hidráulico es 4.5. Los niveles de PSI terminal son similares al caso flexible; función de la importancia estratégica del pavimento.

La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de serviciabilidad final (P_t) es $\Delta PSI = P_o - P_t$. Para el proyecto presente en ΔPSI es de 1.7.

Propiedades de las capas de soporte

El módulo de reacción "K" de la superficie en que se apoya el pavimento de concreto o módulo efectivo de la subrasante, es el valor de la capacidad de soporte del suelo.

El Módulo de reacción en la base de apoyo de la losa (k), se puede determinar a partir de:

- a) Módulo de rigidez de la subrasante.
- b) Módulo de rigidez de la base (subbase).

El módulo de reacción en la base de apoyo de la losa, debe ser corregido por:

- Variación estacional de módulos de rigidez.
- Profundidad a la roca.
- Pérdida en la capacidad de soporte (asociada con fenómenos de deterioro como la pérdida de finos en capas granulares).

Propiedades del concreto hidráulico

- El Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c), se puede determinar conforme el procedimiento descrito en la ASTM C-469 o correlacionando con otras características del material como es la resistencia a la compresión según lo indicado en la Tabla No. 7-19 titulada "Correlación entre la Resistencia a la Compresión y el Módulo de Elasticidad E". Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993.
- Módulo de ruptura (MR_{up}). Resistencia a la flexo – tracción en vigas cargadas en dos tercios de luz. Es común usar un MR_{up} mínimo considerando que dicho módulo de ruptura sea, en la práctica, excedido en al menos el 90% del tiempo.

Coefficiente del drenaje (cd)

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

- a) La calidad de drenaje que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.
- b) Exposición de la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento esta expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación.

Estos porcentajes dependen de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. Véase Tabla No. 7-16 "Calidad de Drenaje" Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1993.

Combinado todas las variables que interviene para llegar a determinar el coeficiente de drenaje C_d se llega a los valores del contenido en la Tabla 7-17. Fuente: Manual Centroamericano para

diseño de Pavimentos, tabla 7-17, capítulo 7, hoja 58, guía para diseños de pavimentos, AACHTO 1993.

Factor de pérdida de soporte L

Este factor, es el valor que se le da a la pérdida de soporte que pueden llegar a tener las losas de un pavimento de concreto, por efecto de la erosión en la subbase por corrientes de agua o por los asentamientos diferenciales de la subrasante.

Este factor no aparece en forma directa en la fórmula de diseño para obtener el espesor de un pavimento de concreto; pero si está en forma indirecta a través de la reducción del módulo de reacción efectivo de la superficie (subrasante) en que se apoyan las losas. En la Tabla No. 7-20 del Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos denominada: "Valores del factor de pérdida de soporte L, por el tipo de subbase o base se dan valores de L, para distintos tipos de materiales" Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993.

1 Fuente: Manual Centroamericano de Caminos

Transferencia de carga

La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento.

El Método AASHTO considera la transferencia de cargas mediante el factor de transferencia de cargas J.

La efectividad de la transferencia de carga entre losas adyacentes depende de varios factores:

- Cantidad de Tráfico.
- Utilización de Pasajuntas.
- Soporte lateral de las losas.

Una manera de transferir la carga de una losa a otra, es mediante la trabazón de agregados que se genera en la grieta debajo del corte de la junta, sin embargo, esta forma de transferir carga solamente se recomienda para vías con tráfico ligero.

La utilización de pasajuntas es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas.

Los investigadores recomiendan evaluar dos criterios para determinar la conveniencia de utilizar pasajuntas.

Utilizar pasajuntas cuando:

- a) El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.
- b) El número de ejes equivalentes de diseño sea mayor de 5.0 millones de Esal's.

El coeficiente de transferencia de carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta.

Soporte Lateral: El confinamiento que produce el soporte lateral contribuye a reducir los esfuerzos máximos que se generan en el concreto por efecto de las cargas. Un pavimento de concreto puede considerarse lateralmente soportado cuando tenga algunas de las siguientes características en su sección:

- El ancho del carril es igual o mayor a 4 m.
- Confinamiento con guarniciones o banquetas.

Pasajuntas: Barra de acero redondo liso $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ la cual, no se debe de adherir al concreto permitiendo el libre movimiento de losas longitudinalmente, pero si debe transferir verticalmente parte de la carga aplicada en una losa a la adyacente. Se colocan perfectamente alineadas a la mitad del espesor de la losa.

El diámetro, longitud y separación de las pasajuntas, esta en función del espesor de las losas principalmente.

Algunas recomendaciones prácticas para la selección de la barra son las siguientes:

Barras pasajuntas			
Espesor de losa	Diámetro	Longitud	Separación
	mm	cm	cm
13 a 15	19	41	30
15 a 20	25	46	30
20 a 30	32	46	30
30 a 43	38	51	30
43 a 50	45	56	46

Fuente: 2.4 Método de Diseño AASHTO Pavimentos de Concreto Cemex.

El espaciamiento máximo de juntas en pavimentos JPC está entre 18 y 21 veces el espesor de la losa:

- Losa de 20 cm de espesor 3.6 a 4.20 mts.
- Losa de 25 cm de espesor 4.50 a 5.25 mts.

Aceras

En poblados y ciudades, se recomienda que al lado de los carriles exteriores, se construyan aceras o andenes para la circulación peatonal. Los datos de tránsito confirman que las aceras ofrecen un medio efectivo para reducir accidentes peatonales.

Las aceras pueden variar entre 1.0 y 2.0 m. de ancho.

Bordillos y cunetas

12

Los bordillos se usan extensamente en las carreteras urbanas y suburbanas, siendo su uso muy limitado, más bien nulo, en las carreteras rurales. Esto tiene que ver con la función que desempeñan dichos dispositivos como son el control del

drenaje, la delimitación del borde del pavimento, la determinación del borde de las aceras o de la zona de protección de los peatones o, simplemente, por razones de estética.

El ancho del bordillo se considera como un elemento de la sección transversal, fuera del ancho de los carriles podría decirse que más bien debe estar situado a unos 0.3 - 0.6 m del borde del carril en vías urbanas, y en el borde del hombro en carreteras rurales.

Combinados con una sección de cuneta, los bordillos pueden formar parte integral del sistema de drenaje superficial longitudinal de la carretera. El bordillo - cuneta se instala normalmente cuando la carretera discurre en un ambiente urbano y suburbano, para encauzar las aguas hacia los tragantes y tuberías de drenaje.

Los carriles de circulación

Las carreteras están provistas de uno, dos o más carriles de circulación por sentido y, el carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos. El ancho de la calzada o superficie de rodamiento, es la sumatoria de los carriles a la que también se hace referencia en la clasificación de las carreteras.

La escogencia del ancho de los carriles es una decisión que tiene incidencia determinante en la capacidad de las carreteras. Como parámetro de referencia durante el diseño, se debe tener a la vista la estructura del tránsito proyectado, que a su vez y en la medida de la importancia relativa del tránsito pesado dentro del mismo, un ancho de carril de 3.6 m se considera como el ideal para las condiciones físicas más exigentes de la vía y el tránsito, hasta un mínimo tolerable de 2.7 m en caminos rurales de poco tránsito.

El ancho de carril de 3.6 m es deseable para las carreteras de la red regional, de manera que una calzada de dos carriles con 7.2 m ofrecerá óptimas condiciones para la circulación vehicular.

Pendiente transversal de los carriles

La pendiente transversal de una carretera de primera clase con dos carriles en tangente, debe ser del 2.0 por ciento del centro de la sección hacia fuera. En áreas de intensa precipitación pluvial, la pendiente de los carriles centrales puede incrementarse a 2.5% con un medio por ciento incremental en los carriles contiguos hacia fuera, pero sin superar un 4.0%.

Para carreteras con superficie de calidad intermedia, la pendiente transversal desde la cresta de la sección puede variarse entre 1.5 y 3.0%, en tanto que las carreteras con superficie de rodamiento de baja calidad, el rango de pendiente transversal puede fijarse entre 2.0 y 4.0%.

Hombros o espaldones

Los hombros o espaldones que son las franjas de carretera ubicadas contiguas a los carriles de circulación y que, en conjunto con éstos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes, tienen su justificación en:

- a) La necesidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido.
- b) Dar estabilidad estructural a los carriles de circulación vehicular por medio del confinamiento.
- c) Permitir los movimientos peatonales en ciertas áreas donde la demanda lo justifique.
- d) Proporcionar el espacio lateral libre suficiente para la instalación de las señales verticales de tránsito.

Fuente:

Rendón Rodrigo. 2002. *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala. Proyecto USAID/SIECA N° 0596-0184.20

Alineamiento horizontal

El eje central de las vías consta de una serie de líneas rectas denominadas tangentes y curvas. Las curvas horizontales son empleadas en las vías de comunicación para cambiar de dirección a otra, uniendo los tramos rectos (Tangentes).

Estas curvas son arcos de circunferencia por lo tanto, se les denomina curvas circulares (simples) y curvas con arcos de enlace (compuestas).

La curvatura se expresa generalmente por su radio, también puede expresarse por el ángulo que subdivide un arco de longitud dada, proporcionando lugar al grado de curvatura, presentando una definición en término de cuerda y no de arco.

La proyección horizontal del eje descrito en los párrafos anteriores, constituye el alineamiento horizontal.

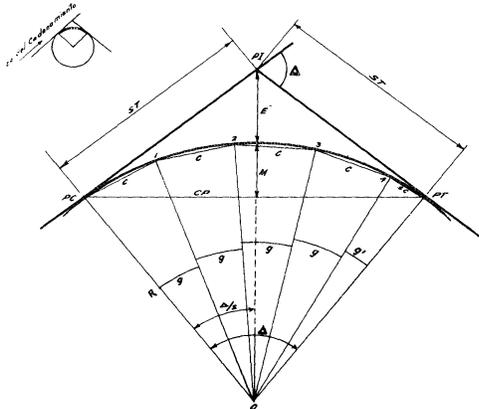
Curva simple o curva circular

Consta de un arco circular unido a dos tangentes. A continuación se describen los elementos que conforman la curva circular:

- Deflexión = Es el ángulo de desviación de la tangente.
- PI = Punto de intersección entre tangentes, punto medio de la curvatura.
- PC = Punto de curvatura, o punto de comienzo.
- PT = Punto de término o fin de la curva.

- R = Radio del círculo.
- ST = Subtangente.
- C = Cuerda.
- g = Grado de curvatura, es el ángulo bajo el cual se ve la curva unitaria desde el centro de la cuerda.
- SC = Sub-cuerda.
- g' = Sub-grado.
- CP = Cuerda principal, (PC – PT).
- LC = Longitud de la cuerda, (PC á PT).
- M = Ordenada.
- E = Externa.

Curva circular



Fuente: Miguel Montes de Oca. Topografía. 4 ed., Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A.:p.153.

Alineamiento vertical

El alineamiento vertical se representa por el perfil del eje de la vía dibujado en

planos según vistas verticales que también presentan el perfil del terreno.

Esta superposición de perfiles permite observar las excavaciones y los terraplenes en la línea de centro y buscar el balance entre ellos.

La representación del alineamiento vertical puede hacerse por la cota de rasante (superficie de rueda) o por la cota de subrasante (superficie de suelo terminada).

Geoméricamente hablando, el alineamiento vertical está formado por una serie de rectas enlazadas por medio de curvas verticales generalmente parabólicas, a las cuales las rectas son tangentes.

Curva vertical

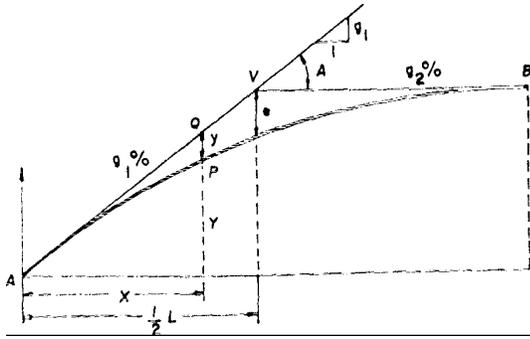
Estas curvas se emplean para cambiar de una pendiente a otra en la subrasante.

Son parábolas de eje vertical tanto para la suavidad que se obtiene en la transición como por la facilidad del cálculo.

Si bien es cierto que su uso en el alineamiento vertical goza de gran preferencia, debe mencionarse que solamente cuando la diferencia algebraica entre las tangentes que convergen es menor de 0.5%, las curvas verticales son innecesarias en carreteras.

Curva vertical simple

La siguiente figura presenta una curva vertical simétrica (AB) referida a un sistema de ejes ortogonales (X,Y) y a un origen A (PCV).



g_1 y g_2 = Pendientes de las tangentes AV y VB respectivamente, considerando positiva la pendiente que sube de izquierda a derecha y negativa la que desciende en ese sentido.

$G = g_2 - g_1$ = Es la diferencia algebraica de las pendientes.

L = Longitud total de la curva expresada por su proyección horizontal.

El error que resulta de este supuesto es despreciable en la práctica, pues la mayoría de las curvas son muy planas.

e = Ordenada al centro (de V llamado PIV, al centro de la curva).

L = Distancia horizontal del inicio al centro, es por lo tanto $L/2$ en las curvas simétricas.

Fuente: Miguel Dobles Umaña. Trazo y Diseño Geométrico de Vías. Editorial de la Universidad de Costa Rica: p 100.

Relación velocidad – Peralte - Radio de curvatura.

Curva máxima horizontal

El máximo grado de curvatura o el mínimo radio, son valores límites para una velocidad de diseño dada en presencia del máximo peralte dado y de un factor de rozamiento lateral. El uso de curvas cerradas para ciertas velocidades de diseño, deben de ir acompañadas de peraltes grandes y valores altos de rozamiento entre las llantas y la calzada,

para que dicha curva esté dentro del margen de seguridad.

$$R = \frac{V^2}{127.15 * (f' + i)}$$

R = Radio de la curva.

V = Velocidad (m).

f' = Coeficiente de rozamiento transversal.

i = Pendiente en su valor absoluto.

Se recomienda que el valor del peralte (i) no exceda a 0.10 (10%) pues valores superiores perjudicarían seriamente a los vehículos lentos que por razones de carga, de gradientes, o relación peso/potencia, no pueden alcanzar la velocidad de diseño de la curva y entonces tendería a deslizarse hacia el interior de la misma. Fuente: Miguel Dobles Umaña. Trazo y Diseño Geométrico de Vías. Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Factores máximos de fricción lateral

La AASHTO presenta factores de fricción laterales para tres tipos de carretera con variables entre 0.17 a 0.10 en función inversa de la velocidad para todo tipo de carretera rural y urbana, con velocidades comprendidas entre 30 y 110 km/h, entre 0.30 y 0.10 para vías urbanas de baja velocidad, de 30 a 70 Km/h, y entre 0,33 y 0,15 para tramos de giro en intersecciones a velocidades entre 20 a 70 Km/h.

Fuente: Raúl Leclair. Manual de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras de la Región. Proyecto USAID N° 596 – 0181.20. Febrero 2001.

Diseño del sistema de evacuación de las aguas pluviales de la ruta alterna

Para el análisis de los sistemas de evacuación de agua pluvial y la

determinación de las capacidades hidráulicas de los elementos que conforman el sistema, se considera conveniente utilizar el Método Racional y la Fórmula de Manning, empleando el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Cálculo de coeficientes de escorrentía (c):

Se utilizará el valor del coeficiente correspondiente al tipo de suelo o de la estructura involucrada con sus respectivas áreas, el cual se obtiene de la siguiente manera:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

A_i = Es el área en m² de la cuenca correspondiente al uso de suelo respectivo (zona verde vías, techos, etc).

C_i = Es el coeficiente de escorrentía estimado para cada área A_j y C es el coeficiente de escorrentía ponderado.

Coefficientes de escorrentía para ser usados en el método racional.	
Descripción	Coefficiente de escorrentía periodo de 10 años.
Asfalto	0.81
Concreto / techo	0.83
Zona verde jardines parques S = 2 – 7 %	0.25

Fuente: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas.

Cálculo del tiempo de concentración (T_c)

Para el cálculo de los tiempos de concentración de la zona en estudio, se

utilizó la formula del Corps of Engineers, frecuentemente usada para zonas urbanas. Esta se considera adecuada para este tipo de desarrollos debido a que toma en cuenta la pendiente del terreno *v* y el coeficiente de escorrentía.

Se utilizará la siguiente fórmula:

$$T_e = 1.18 * (1.1-c) * L^{0.5} / S^{0.333}$$

Donde:

L = Distancia en metros desde el punto de control hasta el punto más alejado de la cuenca considerada.

C = Coeficiente de escorrentía utilizado en el método racional.

S= Pendiente promedio del terreno.

En todos los tiempos de concentración calculados para el proyecto, se obtiene según los parámetros de longitud, pendiente y coeficiente de escorrentía de las áreas en que se dividió la zona en estudio. En caso de obtenerse tiempos menores a 10 minutos, se utilizará este valor para los cálculos, ya que es el tiempo mínimo recomendado en las normas del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AYA) para producir una intensidad de lluvia adecuada de diseño para el período de retorno estimado.

Periodo de retorno del aguacero de diseño

El periodo de retorno para el diseño de la tubería de la red de alcantarillado pluvial, no será menor de 5 años.

Cálculo de intensidad de lluvia.

La intensidad de lluvia para las cuencas del proyecto, será calculada con la fórmula derivada por el Dr. Wilhelm Gunther Varson, el Lic. Marvin Alfaro Sánchez y la Ing. Ileana Araúz Beita para

la Provincia de Cartago, el Programa de Morfo Climatología Aplicada y Dinámica Exógena (MADE) de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional.

En los anexos se muestra la tabla de intensidades de lluvia y el gráfico de intensidad – duración - frecuencia para la Provincia de Cartago.

Se utilizará la siguiente fórmula:

$$I = 156.89 - (28.46 * \ln(\text{dur})) + (42.2 - (8.07 * \ln(\text{dur}))) * \ln t_n$$

Donde:

I = Intensidad de la lluvia en mm/hora.

t_n = Período de retorno en años = frecuencia.

dur = Duración de la lluvia en horas = tiempo de concentración = tiempo de entrada a tragantes + tiempo del flujo promedio dentro de los colectores.

Cálculo de caudales

La fórmula del método racional para el cálculo de los caudales es la siguiente:

$$Q = \frac{C * A * i}{3600}$$

Donde:

Q = Caudal en l/s.

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad de lluvia mm/hr.

A = Área tributaria de la cuenca en m².

Se calculó el caudal de todas las secciones del área que influyen en la ruta alterna con el objetivo de definir los diámetros de las tuberías de concreto que conducirán el agua pluvial del proyecto.

Características hidráulicas

Cálculo del diámetro requerido:

El diámetro de la tubería a utilizar para la evacuación de agua, se hace a partir de la Ecuación de Caudal de Manning ($Q = AR 2.667 SO,5 / n$) donde:

Q = Es el caudal dado en m³/seg.

N = Es la constante que caracteriza el material del conducto.

36

A = Es la sección transversal hidráulica en m².

R = Es el radio hidráulico en metros.

S = Es la pendiente del fondo M ducto que a la vez es un término adimensional.

Con el propósito de asegurar un buen aprovechamiento del alcantarillado a colocar, la revisión teórica inicial se hace para la condición donde la relación entre el tirante circulando (nivel del agua en la alcantarilla) y el diámetro interno (relación y/D) a utilizar estará en el margen del 80%.

A partir del levantamiento topográfico realizado por la Ing. Gabriela Lacayo de la Federación de Municipalidades de Cartago, se define una serie de pendientes provocadas por la irregularidad de la ruta, permitiendo un análisis más detallado para la definición de diámetro de las tuberías. Se utilizará tubería de concreto cuya constante "n" para la ecuación de Manning es igual a 0,013.

La relación entre características geométricas de las tuberías de sección circular parcialmente llenas, permite determinar que para una razón y/ D = 0,8: el área hidráulica es: $A = 0,6736 D$, y el radio hidráulico correspondiente es: $R = 0,32 D$.

La expresión que es posible derivar a partir de Manning y términos conocidos respecto a las variables geométricas por determinar es:

$$Q(n) / (S)^{0.5} = A R^{0.667}$$

La cual ante los datos (material, pendiente, relación geométrica y/D), para este caso, se convierte en:

$$Q * (0,013) / (S)^{0.5} = (0,6736 D^2) (0,3042 D)^{0.667}$$

$$0,042696 * Q / (S)^{0.5} = D^{2,667}$$

Con los datos por caudal esperado, esa ecuación permite el cálculo del diámetro teórico requerido. Diámetro que se compara con el diámetro interno disponible de tuberías comerciales.

Aplicando la siguiente ecuación también adimensional, derivada a partir de la Ecuación de Manning, donde se toman los datos conocidos (Q, n, S) con el diámetro interno comercial que se propone, se deriva el término teórico adimensional que relaciona las variables hidráulicas:

$$Q*(n)/[(S)^{0.5} D^{0.6667}] = A*R^{0.667} / D^{2,6667}$$

Pozos de registro

Deberán construirse pozos de registro en todo inicio e intersección así como en los cambios de dirección, diámetros, materiales de tubería y pendientes. En tramos rectos la distancia entre pozos de registro no debe exceder los 120 m. El diámetro nominal mínimo será de 400 mm.

Tragantes

Se proyectarán tragantes de tal manera que la longitud total del caño entre tragantes no sea mayor a 120 m. En las esquinas se construirán dos tragantes para evitar inundaciones.

La profundidad mínima del fondo del tragante respecto de la rasante será de 90 cm.

La tubería que une los tragantes con los pozos de registro será de un diámetro nominal mínimo de 300 mm.

Costo comparativo de las dos propuestas de diseño del pavimento de la Ruta Alterna Sector "A"

El costo total de un proyecto se fundamenta de dos grandes rubros: costos directos y costos indirectos.

- Costos Directos: Se estiman como el costo directo de la suma del valor de los insumos necesarios para realizar una actividad. Los más importantes son la mano de obra, los materiales, el equipo y maquinaria a utilizar.
- Costos Indirectos: Son los que se deben solventar con la ejecución de un proyecto y no tiene un vínculo directo con la actividad que se desarrolla.

Ejemplos: Estudios preliminares del proyecto, estudio de suelos, diseño, gastos de dirección, supervisión de obra, gastos de oficina, gastos administrativos, intereses del capital invertido entre otros.

El diseño propone dos alternativas de pavimento: un pavimento con una estructura flexible y un pavimento rígido. Considerando que ambos diseños comparten costos similares en el rubro de gastos indirectos, este análisis comparativo no los considerará.

En el análisis se toma en cuenta el costo del mantenimiento de la ruta alterna hasta alcanzar su nivel de deterioro.

Fuente.

Alcance No. 8 de la Gaceta No. 55, Reglamento del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Acuerdo N° 2006-730.

Efecto del tiempo en el valor del dinero

Tasa de interés. El término de interés se utiliza para designar una renta que las instituciones financieras cargan por el uso del dinero, por lo tanto una tasa de interés es la tasa de las ganancias recibidas por hacer una inversión, se define generalmente sobre la base de un año y representa el porcentaje de ganancias obtenidas por el dinero comprometido en la inversión que se esté considerando.

El dinero genera utilidades en ciertas tasas de interés si se invierte durante un periodo de tiempo. Es importante reconocer que un dólar recibido en alguna fecha futura, no tiene tanto valor como uno que se tenga hoy en mano. Esta relación entre interés y tiempo es la que conduce y desarrolla el concepto de "efecto del tiempo en el valor del dinero".

Podría argumentarse que el dinero tiene también un valor en el tiempo debido a que el poder de compra de un dólar cambia a lo largo de este tiempo. La cantidad de bienes que puede comprar durante periodos de inflación con una suma específica de dinero, disminuye a medida que el monto de la adquisición se desplaza hacia el futuro.

Tipos de interés

Interés simple: Es el interés que se paga en el momento de devolverse el préstamo y son proporcionales al periodo de tiempo durante el cual se ha mantenido el préstamo o la suma principal.

$$I = P \cdot n \cdot i$$

Donde:

I = Interés.

P = Principal.

n = El periodo de interés.

i = Representa la tasa de interés.

Interés compuesto: Cuando se hace un préstamo por una longitud de tiempo que es igual a varios periodos de interés, los intereses se calculan al final de cada periodo, o bien si no se paga el interés causado al final de cada periodo y si se le cargan los intereses sobre el principal (principal más intereses), se dice que el interés es compuesto. Es decir, los intereses que se debían en el año inmediatamente anterior se vuelven parte de la cantidad total que se debe ese año. Sobre esta base, este cargo de intereses para el año incluye también intereses que se han generado en cargos previos.

Formula de interés (composición anual, pagos anuales)

$$F = P (1+i)^n$$

Donde:

F = Una suma futura, n periodos anuales a partir del momento presente, igual a la cantidad compuesta de un principal presente, P, o igual a la suma de los pagos compuestos A de una serie.

i = Tasa de interés anual.

n = Número de periodos anuales para el pago de intereses.

P = Suma principal en el momento presente.

A = Pago simple, en serie n pagos iguales hechos al final de cada periodo.

Fuente: Drive Park. *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas de Asfáltica en Calientes*. Estados Unidos. Asphalt Institute, Serie de Manual No. 22. (MS-22).

Viabilidad social y política del proyecto

Todo proyecto que se pretenda desarrollar en una comunidad, es fundamental conocer el grado de apoyo o rechazo de la población hacia el proyecto. En este caso particular, interesan los vecinos que habitan ambos costados de la ruta en estudio y por tratarse de un proyecto que demanda una gran inversión por parte de la comunidad, se consideró importante conocer el apoyo político que tendría el proyecto en el seno del Concejo Municipal por lo tanto, se procedió a encuestar a los vecinos de la ruta alterna sector "A" y a los Miembros del Concejo Municipal.

Análisis estadístico:

El análisis estadístico se lleva a cabo con base en observaciones correspondientes a ciertas características y realizadas en lo que se denomina unidades estadísticas elementales o unidades de estudio.

En este caso particular, la unidad estadística elemental o unidad de estudio, la conforman los jefes de familia de cada vivienda ya sea en pareja o bien un solo miembro que se desempeña como tal, que habitan las viviendas ubicadas en ambos costados de la ruta alterna sección "A".

Cada núcleo familiar que habita las viviendas bajo estudio, genera una característica producto de haber contestado las preguntas planteadas en el cuestionario y la observación que sería el sí o no de la aprobación de convertir la ruta alterna en ruta de travesía.

El concepto de población

Todo estudio tiene como referencia un conjunto de unidades de estudio o elementos que pueden ser personas, animales, empresas, organizaciones, objetos, etc. Con los estudios se pretenden conocer las características del conjunto y generalizar los resultados o conclusiones que se obtengan. A este

conjunto de unidades de estudio se le denomina: Población de Estudio.

La población puede ser finita o infinita. Una población finita tiene un número limitado de elementos, mientras que la infinita esta conformada por un número ilimitado.

Las familias residentes a los costados de la vía en estudio representan la población de la ruta sección "A".

El concepto de muestra

Una muestra es una parte de la población estudiada. Los resultados observados en esa muestra luego son generalizados a toda la población de la cual fue seleccionada.

El uso del muestreo es un procedimiento más rápido y barato por tratarse de un procedimiento inducido de una inferencia que se hace de la parte hacia el todo. Se corre el riesgo de que las partes seleccionadas, no sean representativas del todo y por lo tanto, la generalización no sea precisa sino que tenga cierto margen de error.

Un punto crucial, entonces, al realizar inferencias, es lograr que la muestra utilizada sea representativa de la población de la cual se ha tomado. En esto influyen dos factores básicos: el tamaño de la muestra y su forma de elección.

Los errores o fallas de elección de una muestra se conocen como sesgos. Para que una muestra sea representativa depende de los siguientes parámetros:

- Tamaño de la muestra.
- Forma de selección de la misma.

En general, cuanto más homogénea sea una población, menos es la muestra que se requiere para obtener conclusiones de un cierto grado de confianza.

La selección de una muestra

Pueden distinguirse tres formas de elección de una muestra:

1. Aleatoria o al azar. Dar a cada uno de los elementos de la población, la probabilidad conocida de ser incluido en la muestra. La muestra seleccionada al azar, puede ser representativa, subestimada, por lo tanto, la muestra al azar produce discrepancia entre los resultados arrojados por la muestra y el valor de la población, cuyas magnitudes y sentidos no se pueden precisar para una muestra; se trata de errores aleatorios o de errores de muestra, que tienen su origen exclusivamente en el hecho que se trabaja con una muestra y esta se seleccionó al azar.

Los errores aleatorios pueden ser descritos con un modelo de probabilidades y utilizados para evaluar la confianza que merece el resultado obtenido en una sola muestra.

2. Intencional: Utiliza el juicio de una persona con experiencia y conocimiento con respecto a la población que se estudie.

3. Por conveniencia: Escogiendo las unidades o elementos que están disponibles o que son más fáciles de conseguir. La selección intencional o de juicio, produce básicamente discrepancias o errores en un solo sentido, es decir, sesgos de selección.

Los sesgos son errores sistemáticos en un solo sentido, y pueden ser de selección o de medición.

Los sesgos de selección no pueden ser evaluados o medidos con un modelo, los errores de muestreo, por su naturaleza, sí. Cuando se toma una muestra intencional, no se puede saber el efecto del sesgo.

Fuente. Gómez Miguel. 1998. *Elementos de Estadística Descriptiva*. Costa Rica. Editorial UNED.

Descripción del procedimiento seguido

Estudio de intensidad del tránsito

El dato básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento y explotación de una red vial, es la determinación de la intensidad de circulación de la vía más conocida como tránsito promedio diario (TPD). Para conocer el tránsito promedio por hora, se cuenta o afora el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la vía.

La ruta alterna pretende dar el servicio a un porcentaje considerable de vehículos que transitan la Ruta Nacional No. 224 en los Sectores Paraíso - Cachí y Paraíso - Orosi que se enrumban hacia el Área Metropolitana, por lo tanto el aforo se practicó en los dos sectores seleccionados de la ruta nacional.

El aforo fue de tipo manual, ubicando un observador en cada punto estratégico de la vía en estudio, procediéndose al conteo y clasificación de los vehículos que transitaban en ambos sentidos en un determinado tiempo, empleando la siguiente clasificación de vehículos:

- Automóviles.
- Vehículos de transporte de pasajeros:

- Autobuses: Vehículo automotor para el transporte colectivo de personas con capacidad mayor de 44 personas. Consiste en un vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un trasero de rodado doble (1RD).

- Microbús: Vehículo automotor para el transporte colectivo de personas con capacidad comprendida entre 10 y 25

personas. Consiste en un vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un trasero de rodado doble (1RD).

- Vehículos ligeros: Compuestos de un eje delantero y uno eje trasero de rodado simple (camionetas “pick - up“ doble cabina).
- Vehículos de carga liviana: Vehículos automotores diseñados y utilizados para el transporte de carga, cuyo peso máximo autorizado es inferior a 8 toneladas. Consiste en un vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un trasero de rodado simple.
- Vehículos de carga pesada: Vehículos automotores diseñados y utilizados para el transporte de carga, cuyo peso autorizado de carga sea de 8 toneladas o mayor.
- C2: Camión. Consiste en un vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un eje trasero de rodado doble (1RD).
- C3: Camión. Consiste en un vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un eje trasero doble (tandem) de rodado doble (2RD).
- Vagonetas: Consiste en un vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un eje trasero doble de rodado doble (2RD).
- Cabezal T3: Compuesto con un eje delantero simple de rodado simple (RS) y un eje doble de tracción trasero de rodadura doble (2RD).

- Semirremolque S2: Compuesto de un eje doble de rodado doble (2RD).
- Container: Cabezal y remolque (T3S2).

Fuente: Ministerio de Obras Publicas y Transportes. Decreto No. 30263. Reglamento al artículo inciso B) de la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria sobre la Inversión Pública en la Red Vial Cantonal.

Ubicación del observador

En el Sector Paraíso - Orosi de la Ruta Nacional No. 224, se ubicó el observador frente a la cede regional de la Universidad de Costa Rica, Sede del Atlántico y en el Sector Paraíso - Cachí, se instaló frente a la delegación policial, ambos puntos ubicados en el Distrito Central de Paraíso.

Se trabajó un periodo de tres horas continuas a partir de las 5:12 a.m. anotando los vehículos que transitaban en ambas direcciones frente a los puntos de control asignados. Por lo tanto la metodología utilizada es de carácter manual. Un aspecto importante en este procedimiento fue definir la hora pico de los sectores en estudio de la ruta nacional, lo cual nos permite utilizar el factor de expansión de 10, para el cálculo de TPD de cada sector, según lo recomendado por la División de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Publicas y Transportes.

Una vez definida la hora pico de cada sector, se procedió a sumar la cantidad de vehículos aforados según su tipo (automóviles del Sector Paraíso - Orosi con los automóviles del Sector Paraíso - Cachí y así sucesivamente con los diferentes tipos de vehículos), con la finalidad de determinar la intensidad de circulación de la ruta nacional N° 224, y los posibles usuarios de la ruta alterna en estudio.

El presente informe no cuenta con un estudio de origen y destino de los usuarios de la ruta nacional mencionada,

por lo tanto no se dispone de información suficiente para suponer que el 100% de los vehículos aforados será usuario de la ruta alterna.

Tomando como punto de referencia la clasificación de los vehículos aforados y el conocimiento del comportamiento vehicular que se posee de la zona, se asumirán los siguientes porcentajes de los posibles usuarios de la ruta alterna de los vehículos aforados:

- De los automóviles aforados se estimará un 70 % de los vehículos que utilizaran la ruta alterna.
- De los vehículos de transporte de pasajeros aforados, se estimará un 50 % de que utilizaran la ruta alterna.
- De los Vehículos de carga liviana se estimará un 50 % de los que utilizara la ruta alterna.

De los vehículos de carga pesada se estima lo siguiente:

- Vehículo tipo C2 aforado: Se estimará un 70 % de los que utilizaran la ruta alterna.
- Vehículo tipo C3 aforado: Se estimará un 100 % de los que utilizaran la ruta alterna.
- Vagoneta de tres ejes: Se estimará un 95 % de los que utilizaran la ruta alterna.
Vehículos tipo T3S2 aforados: Se estimará un 100 % de los que utilizaran la ruta alterna.

Factores asumidos: La tasa de crecimiento de tránsito permitió asumir un valor de 5.45% para todo tipo de vehículo, valor sugerido por el Ing. Juan Carlos Saborío Zeledón, Ex Director del Departamento de Diseño Geométrico del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

El procedimiento seguido para el cálculo de los ejes equivalentes de 18 Kips en carga de ejes simples (ESAL' por

carril de trancito), se explica ampliamente en el Manual Centroamericano para Diseño, Capítulo 3, Análisis de Tránsito de Pavimento, artículo 3.3 Determinación y Cálculo de Ejes Equivalentes de Diseño.

Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips a carga de ejes simples

Los factores camión asumidos para el diseño estructural del pavimento, son valores recomendados en el Oficio No. DVOP - 5170 – 07 de fecha 10 de setiembre de 2007 emitido por el Despacho del Viceministro de Obras Públicas y Transportes Dr. Pedro Castro Fernández y dirigido al Ing. Mario Campos de la Sub - Área de Geología y Materiales de esa entidad. Se asumieron los valores máximos para el cálculo de los ejes equivalentes que a continuación se exponen:

Tabla de factores de equivalentes de carga	
Descripción del vehículo	Factor equivalente de carga.
Autobuses	2.29
Microbuses	0.07
Automóviles	0.02
Camiones Pick-Up doble cabina y similares	0.02
C2	0.07
C3	1.28
Vagonetas: vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un eje trasero doble (tandem) de rodado doble (2RD)	1.28
Cabezal y remolque T3 - S2	2.38

Fuente: Oficio No. DVOP - 5170 – 07 de fecha 10 de setiembre de 2007 emitido por el Despacho del Viceministro de Obras Públicas y Transportes Dr. Pedro Castro Fernández y dirigido al Ing. Mario Campos de la Sub - Área de Geología y Materiales de esa entidad.1

Pavimento flexible

Método de Diseño AASHTO 1993, fue utilizado para el diseño del pavimento flexible, alternativa 1, el cual permite asumir con criterio una serie de valores. Véase Tabla No. 10, Factores propuestos para el Diseño del Pavimento Flexible, Ruta Alterna Sector "A".

Pavimento rígido

El Método de Diseño AASHTO 1993 para Pavimentos Rígidos, permite asumir los siguientes valores: el espesor de la losa, el índice de serviciabilidad final (Pt), se propone el periodo de diseño del proyecto, el factor de dirección y el factor de carril.

Véase Tabla No. 13, Factores propuestos para el Diseño del Pavimento Rígido, Ruta Alterna Sector "A".

Para el cálculo de los ejes equivalentes "ESAL's de diseño", se utilizaron los valores máximos recomendados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes en el Oficio No. DVOP – 5170 – 07 de fecha 10 de setiembre de 2007.

Subrasante

Los ensayos realizados en la subrasante se practicaron durante el mes de marzo de 2008, época de verano.

Se procedió a perforar el pavimento de la Ruta Alterna Sector "A" en tres puntos fijados al azar, con el objeto de determinar el espesor de la estructura del pavimento existente. Se extrajeron muestras del suelo y se determinó la capacidad de soporte de la subrasante utilizando el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP), procedimiento según ASTM D 6951-03.

Los ensayos realizados con el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP), permitieron estimar la capacidad de soporte de California (CBR California

Bearing Ratio) por métodos indirectos y correlaciones entre ellos. La operación del DCP consiste en hacer penetrar un cono dentro del suelo haciendo que una carga concentrada de 8 kg que funciona como martillo, se deje caer repetidamente (cinco caídas) de una altura de 575 mm y se registra la penetración obtenida en cada caída en mm/golpe, denominado cada valor como tasa de penetración dinámica = PR (Penetración Rate).

Véase Tabla No. 6, Titulada "Registros de datos de DPC, Mazo de 8 Kg.". Datos obtenidos en el ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP), ensayo realizado en la subrasante del Sector "A", y la estimación de CBR, mediante la formula $CBR = 292/DCP^{1.12}$.

Ubicaciones de los ensayos y muestreos realizados en la subrasante de la ruta alterna sector "A"

El primer ensayo realizado con DCP y muestreo del suelo de la subrasante, se ubica a 102.11 m oeste de La Librería Súper Paco. El segundo y tercer ensayo se ubicaron a 366.57 mts. y 551.99 mts. al oeste de la Librería Súper Paco.

Véase ubicación en plano implícito en el anexo No. 5.

Los valores estimados de los módulos de residencia (Mr) de la subrasante, no han sido corregidos por humedad ni por cambio de temperatura.

Clasificación del suelo

Las tres muestras del suelo extraídas de la subrasante se clasificaron empleando la Metodología AASHTO, utilizada por la Asociación Americana de Agencias de Caminos Públicos de los Estados Unidos.

Los parámetros utilizados en la clasificación del suelo son: el límite líquido, el índice plástico, la granulometría (tamices No. 10, 40, y 200 ASTM), y los

índices que de ahí se generan como por ejemplo, el índice de grupo (IG). La granulometría del suelo se hizo vía húmeda.

La muestra No. 1 y No. 2, describen un suelo de color rojizo con pequeños fragmentos negros. La muestra No. 3 está conformada por un suelo de color café grisáceo de mediana claridad con poca presencia de partículas arenosas.

Estructura del pavimento existente

La superficie de rodamiento está constituida por un tratamiento superficial de 2 cm de espesor, el cual descansa sobre una estructura granular o cascote de aproximadamente 25 cm. El cascote está conformado por un material denominado Charrara y posee una granulometría que la conforman piedra tipo boda de tamaños muy variables, desde 8" de diámetro hasta arena fina con altos contenidos de arcilla, por lo tanto es un material plástico de color café oscuro. No existe la diferencia entre subbase y base. En los últimos 235 m de la Ruta Alternativa del Sector "A", la subbase está constituida por material granular fino de aproximadamente 40 cm de espesor.

Materiales utilizados en el diseño del pavimento

La subbase en un pavimento deberá disponerse siempre que la subrasante sea plástica ($IP > 10$).

La capacidad de soporte (CBR) del material sin tratar de la subbase, no deberá ser inferior al 30 %, obtenido al 95 % de la densidad seca máxima de Proctor Modificado.

La capacidad de soporte (CBR) del material granular sin tratar de la base, no deberá ser inferior al 80 %, obtenido al 95 % de la densidad seca máxima de Proctor Modificado.

Metodología del Diseño para Pavimentos Flexibles AASHTO 1993

Número estructural

Una vez definidos los valores de R, So, ESAL's, ΔPS , y conociendo los coeficientes estructurales del concreto asfáltico a_1 , de la capa base a_2 y el coeficiente estructural de la subbase a_3 , se procede a introducir los valores en el monograma denominado: "Diseño de Número Estructural", arrojando los resultados de los números estructurales de las capas del pavimento. La descripción detallada del procedimiento a seguir, se encuentra en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, Capítulo 7, Diseño de Espesores, Artículo 7.1.1. Métodos de AASHTO, Guía para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993.

Procedimiento de cálculo utilizado: Usando la Figura 11 - 25 de Hung Yang (Figura 3.1 de la AASHTO)							
Paso	Entrada de datos en el Monograma del diseño estructural.					Resultado	Cálculo de espesores
	R (%)	S ()	ESA L's	ΔPS	Mr		
1	()	()	(*)	(*)	Mr base (**)	SN1	$h_1 = SN_1/a_1$
2	()	()	(*)	(*)	Mr subb ase (**)	SN2	$SN_2 = a_1 * h_1 + a_2 * m^2 * h_2$ $h_2 = (SN_2 - a_1 * h_1) / (a_2 * m^2)$
3	()	()	(*)	(*)	Mr subr asan te (**)	SN3	$SN_3 = a_1 * h_1 + a_2 * h_2 + a_3 * h_3$ $h_3 = (SN_3 - a_1 * h_1 - a_2 * m^2 * h_2) / (a_3 * m^3)$

(*) Se mantienen constantes.

(**) Asume con condición drenada. Luego el coeficiente estructural (ai) se modifica con el coeficiente de drenaje (mi).

Pavimento asfáltico, número estructural:

CARPETA		D1
BASE		D2
SUBBASE		D3
SUBRASANTE		

$$SN = a1 * D1 + a2 * m2 * D2 + a3 * m3 * D3$$

Metodología de diseño para pavimentos rígidos

La metodología empleada en el diseño de pavimentos rígido es la descrita en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, Artículo 7.2, "Pavimentos Rígidos" cuya fuente es la Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993.

El Módulo de Reacción (MK) de la subrasante, es el índice de la capacidad de soporte del suelo, el cual depende de la combinación de los siguientes índices:

- Módulo de resiliencia de la subrasante.
- Módulo de resiliencia de la subbase y el módulo de elasticidad de la misma.

Se utilizará una subbase granular sin tratar. Una vez obtenido el módulo de reacción compuesto, se procederá a corregir el valor por pérdida potencial de la capacidad de soporte (Ls) de la subbase, para lo cual se utilizará el ábaco descrito en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Figura No. 7-32, "Nomograma para corregir el módulo

efectivo por pérdida potencial de soporte de la subbase".

No se corrigió el módulo de reacción compuesto de la subrasante por posible ubicación sobre un manto rocoso a una profundidad menor de 3 m.

Para facilitar la solución de la ecuación anotada en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, se utilizó el nomograma presentado en la Figura No. 7-28 denominado: "Nomograma AASHTO, Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1993, por ende se utilizaron los nomogramas citados para la solución de la misma.

Optimización del diseño del pavimento tanto flexible como rígido

Para lograr la optimización de los diseños de los pavimentos, se contó con la colaboración del Ing. Mario Campos de la Sub-Área de Geotecnia y Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

- Pavimento flexible

Para lograr el fin deseado se utilizó un programa de cómputo modificado por el Ing. Campos, desarrollado en una hoja electrónica de Microsoft Office Excel 2003, el cual resuelve la fórmula de diseño para pavimentos flexibles en forma precisa .

- Pavimento rígido.

La optimización del pavimento rígido se logró mediante la utilización de un programa de cómputo diseñado por la Empresa CEMEX CONCRETOS, el cual resuelve la fórmula planteada por AASHTO, 1993. Se logró este objetivo con la colaboración del Ing. Mario Campos.

Descripción geométrica de la ruta alterna existe

Características de la ruta actual

El levantamiento topográfico de la ruta alterna se realizó en un 100%, trabajo realizado con la cooperación de la Ingeniera Topógrafa Gabriela Lacayo, Funcionaria de la Federación de Municipalidades de Cartago y consistió en levantar los elementos existentes en la ruta alterna a saber: el derecho de vía, el ancho de aceras, los postes del tendido eléctrico, las alcantarillas del sistema de evacuación pluvial y las curvas de nivel de la ruta. Lo anterior con el objetivo de mejorar el diseño geométrico de la vía alterna y diseñar el sistema de evacuación pluvial.

Descripción de la geometría de las curvas horizontales

El Sector "B" de la Ruta Alterna (segunda etapa del proyecto), presenta tramos relativamente rectos que permiten el trazado del eje de la vía con tangentes y unidas entre sí por medio de curva horizontal de radios comprendidos entre 100 y 1000 m, permitiendo un desplazamiento suave y seguro por la vía. El derecho de vía de este sector está conformado por un ancho de 14 m y entroncado al Sector "A" de la Ruta Alterna por medio de una curva horizontal, cuyo radio de gira en intersecciones es de 15 m.

El Sector "A" de la Ruta Alterna (primer etapa del proyecto), está conformada por dos tramos relativamente rectos unidos entre por medio de una curva horizontal cuyo radio de giro en la intersección es de 15 m. El trazo de las tangentes de la línea de centro de la vía son unidas por medio de curvas horizontales cuyos radios oscilan entre 100 y 5000 m.

El derecho de vía de este sector es de aproximadamente de 13.3 m.

Descripción de la geometría de las curvas verticales

Las condiciones actuales de la ruta alterna presentan un punto de máxima pendiente vertical del 16%, ubicado en la intersección de la Calle del Barrio La Laguna - INVU - Cementerio, en el encadenamiento 0+ 848.10.

Diseño del sistema de evacuación de las aguas pluviales de la Ruta Alterna Sector "A"

Para el análisis de los sistemas de evacuación de las aguas pluviales y el dimensionamiento de las capacidades hidráulicas de los elementos que conforman el sistema, se considera conveniente utilizar el método racional y la Fórmula de Manning, empleando el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Para determinar el área de influencia que actúa sobre la ruta alterna, se realizó una inspección minuciosa de la zona con el fin de determinar las alcantarillas existentes que descargan sus aguas en el área de estudio. El sector oeste de la ruta alterna es parte de una pequeña cuenca que escurre las aguas de la Urbanización Colinas del Sur y la Urbanización 16 de Abril, las mismas son canalizadas a través de una alcantarilla de concreto que viaja paralela a la ruta alterna (Véase levantamiento topográfico de la ruta), aproximadamente 212 ml con un diámetro de 1200 mm.

El área de influencia que descarga sus aguas pluviales en la ruta de estudio, se subdividió en 22 tramos.

Cada tramo de área a su vez, se subdividió conforme a la tipificación del uso del suelo respectivo en: zona verde, vías, techo, aceras con el fin de aplicar los valores estimados del coeficiente de escorrentía para cada área y así poder calcular el caudal que contribuye cada sub-tramo.

En el tramo de la vía en estudio, ubicado al costado oeste de la misma, existen dos colectores de aguas pluviales conformados por tubería de concreto, uno de ellos de 1200 m m (Véase cabezal D`, plano de tuberías pluviales) de radio interno y la otra de 750 m m de radio nominal (Véase pozo de registro J, plano de tubería pluvial), los cuales serán utilizados para desfogar las aguas pluviales de este sector.

Un factor limitante al sistema de evacuación de aguas pluviales es la profundidad de los tragantes y pozos de registro existentes, ya que definen las profundidades de los nuevos colectores por diseñar. La profundidad máxima del colector existente es de 1.35 m.

Cálculo de coeficientes de escorrentía (C)

Se utilizó el valor del coeficiente de escorrentía correspondiente al tipo de suelo o de la estructura involucrada.

Cálculo del tiempo de concentración (Tc)

Con la información obtenida en el levantamiento topográfico de la vía en estudio, se logró dividir la ruta en segmentos bien definidos determinándose la pendiente "S" de cada segmento y calculándose el Tc para cada segmento.

En los casos donde se obtuvieron tiempos de concentración menores a 10 minutos, se utilizó este valor para los cálculos del caudal, ya que es el tiempo mínimo recomendado en las normas del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AYA) para producir una intensidad de lluvia adecuada de diseño para el período de retorno estimado.

Cálculo de intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia para las cuencas del proyecto fue calculada para la Provincia de Cartago. En los anexos se muestra la tabla de intensidades de lluvia y el gráfico de intensidad – duración y frecuencia para la Provincia de Cartago.

Cálculo de caudales

Se calculó el caudal de todas las secciones del área presentes en la Ruta Alterna Sector "A", considerando parte del Sector "B", esto con el objetivo de definir los diámetros de las tuberías de concreto que conducirán el agua pluvial del proyecto.

Cálculo del diámetro requerido

El diámetro de la tubería a utilizar para la evacuación de las aguas pluviales, se calcula a partir de la Ecuación de Caudal de Manning ($Q = AR \cdot 2.667 \cdot S^{0.5}/n$) donde Q es el caudal, dado en m³/seg; n es la constante que caracteriza el material del conducto; A es la sección transversal hidráulica en m²; R es el radio hidráulico en m; y S es la pendiente del fondo del ducto que a la vez es un término adimensional.

El cálculo del caudal se realizó por secciones bien definidas las cuales permiten calcular el diámetro de la tubería necesaria para cada sector:

$$0,042696 * Q / (S)^{0.5} = D^{2,667}$$

Costo comparativo de las dos propuestas del diseño de los pavimentos de la ruta alterna sector "A"

Una vez diseñadas las dos alternativas del pavimento de la Ruta Alterna Sector "A", se procedió a desglosar cada estructura de pavimento propuesto en las actividades que lo conforman.

Posteriormente se contactó al Ing. Mario Brenes, Jefe del Área de Licitaciones del Ministerio de Obras Públicas y Transportes quien proporcionó los costos unitarios de cada rubro, permitido calcular el costo real de cada alternativa de pavimento propuesto.

El proyecto se presentará a las autoridades municipales quienes serán los responsables de aprobar la propuesta y buscar el financiamiento para su ejecución. La obra incluye expropiaciones y la construcción de la misma. Se consideró un lapso de tiempo prudente para que la municipalidad gestione el financiamiento del proyecto e inicie las expropiaciones. Se estima un periodo de 6 años para alcanzar tales fines, y se proyecta iniciar en el año 2015.

Se consideró la pérdida del valor del dinero en el transcurso del tiempo estimándose un interés compuesto del 15 %.

Mantenimiento

La alternativa del pavimento flexible en el área de mantenimiento incluye para el año 2025 un recarpeteo, planeándose colocar una carpeta asfáltica de 8 cm de espesor sobre la existente, en la alternativa del pavimento rígido se proyecta para el año 2025 el cambio de los sellos de asfalto AC- 30 que protegen las juntas longitudinales de contracción y juntas transversales de construcción

El valor de cada alternativa se obtendrá sumando el costo de cada actividad que conforma la estructura del pavimento proyectado al año 2015 más su rubro de mantenimiento proyectado al año 2025.

Se comparan las dos alternativas de diseño considerando como punto fundamental el costo de los mismos.

Viabilidad social y política del proyecto

En todo proyecto que se pretenda desarrollar en una comunidad, es fundamental conocer el grado de apoyo o rechazo de la población que se vera afectada por el proyecto, este caso particular, interesan los vecinos que habitan ambos costados de la ruta en estudio y por tratarse de un proyecto que demanda una gran inversión por parte de la comunidad, se consideró importante conocer el apoyo político que tendría el proyecto en el seno del Concejo Municipal.

Para lograr el objetivos se aplicaron dos encuestas estructuradas de la siguiente manera: la primera parte de la encuesta informa al encuestado sobre el comportamiento vehicular de la ruta alterna, las condiciones actuales del pavimento de la vía, y las características de la reconstrucción de la misma, la segunda parte del cuestionario trata de determinar el posible apoyo que el proyecto tendría en los escenarios indicados con anterioridad.

Encuesta dirigida a los regidores municipales

El Concejo Municipal está integrado por 7 Regidores Propietarios y 7 Regidores Suplentes. Por lo tanto, el total de la población en estudio es de 14 elementos. La encuesta se aplicó en la Sala de Sesiones del Concejo Municipal.

Encuesta dirigida a los jefes de familia que habitan ambos costados de la Ruta Alterna Sector "A"

La encuesta fue dirigida a los jefes de familia (puede estar constituida por un solo jefe de hogar o ambos). La población objetivo la conformaron un total de 68 familias. La encuesta se aplicó visitando casa por casa.

Resultados

CUADRO 1				
Aforo de vehículos Ruta Nacional No. 224, Sector Paraíso - Orosi				
DISTRITO: Paraíso				
CANTÓN: Paraíso				
PROVINCIA: Cartago				
Ubicación del observador: Frente a las instalaciones de la Universidad de Costa Rica Recinto Paraíso.				
Fecha:	03/03/2008	A 03/03/2008	B 03/03/2008	C 03/03/2008
Hora:	De 5:12 a.m. a 9:14 a.m.	5:12 a.m. a 6:12 a.m.	6:13 a.m. a 8:13 a.m.	8:14 a.m. a 9:14 a.m.
	TIPO DE VEHÍCULO	CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
	Vehículos sencillos			
	Autobuses	13	11	9
	Microbuses	7	39	0
	Vehículos ligeros			
	Automóviles	77	123	65
	Camionetas doble cabina y pick-up	29	14	15
	Vehículos de carga liviana	7	8	3
	Vehículos automotores con un eje delantero rodado simple (1rs) y uno tercero rodado simple.			
	C2	8	5	14
	C3	2	0	5
	Vagonetas	25	7	6
	Vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1rs) y un eje trasero doble (tandem) de rodado doble (2rd).			
	Cabezal y remolque t3s2	2	0	0
	TOTAL VEHICULOS	170	207	117

Resultado obtenido del aforo vehicular practicado en la Ruta Nacional No. 224 Sector Paraíso – Orosi en forma manual y puntual, ubicando el observador frente a las instalaciones de la Universidad de Costa Rica Recinto Paraíso , día despejado. Se inició a la 5:12 a.m. hasta las 9: 14 a.m.. Aforo realizado por el Estudiante José Francisco Madrigal Morales.

CUADRO 2
Aforo de vehículos Ruta Nacional No. 224, Sector Paraíso - Cachí

DISTRITO: Paraíso				
CANTÓN: Paraíso				
PROVINCIA: Cartago				
Ubicación del observador: Frente a las instalaciones de la Universidad de Costa Rica Recinto Paraíso.				
		A	B	C
Fecha:	07/03/2008	03/03/2008	03/03/2008	03/03/2008
Hora:	De 5:12 a.m. a 9:14 a.m.	5:12 a.m. a 6:12 a.m.	6:13 a.m. a 8:13 a.m.	8:14 a.m. a 9:14 a.m.
TIPO DE VEHÍCULO		CANTIDAD	CANTIDAD	CANTIDAD
Vehículos sencillos.				
Autobuses		18	8	9
Microbuses		8	37	26
Vehículos Ligeros				
Automóviles		126	118	76
Camionetas doble cabina y pick-up		32	22	20
Vehículos de carga liviana				
Vehículos automotores con un eje delantero rodado simple (1RS) y uno tercero rodado simple.				
C2		11	9	17
C3		5	0	5
C4		0	1	4
Vagonetas				
Vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un eje trasero doble (tandem) de rodado doble (2RD).				
Cabezal y remolque T3S2		3	4	1
TOTAL VEHICULOS		222	212	177

Resultado obtenido del aforo vehicular practicado en la Ruta Nacional No. 224 Sector Paraíso – Cachí en forma manual y puntual, ubicando el observador frente a las instalaciones de la Delegación Policía (contiguo al Cuerpo de Bomberos), día despejado. Se inició a las 5:32 a.m. hasta las 9:19 a.m.. Aforo realizado por el Ing. Michael Madrigal Morales.

CUADRO 3
Combinación vehicular de la hora pico de la Ruta Nacional No. 224
Sectores Paraíso – Orosi y Paraíso - Cachi

DESCRIPCIÓN	OROSI	CACHI	SUMATORIA
Vehículos pasajeros			
Autobuses	13	18	31
Microbuses	7	8	15
Vehículos Ligeros			
Automóviles	77	126	203
Camionetas pick-up doble, cabina y similares	29	32	61
Vehículos de carga liviana	7	17	24
Vehículos automotores con un eje delantero rodado simple (1RS) y uno tercero rodado simple.			
C2	8	11	19
C3	2	5	7
Vagonetas	25	2	27
Vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un eje trasero doble (tandem) de rodado doble (2RD).			
Cabezal y remolque T3S2	2	3	5
TOTALES	170	222	392
Factor:	10		
Tránsito por hora TPD:	3920		
Condiciones del clima:	Mañana despejada.		

El cuadro muestra la suma algebraica de los vehículos aforados en la hora pico de cada sector de la Ruta Nacional No. 224, con el objetivo de obtener la proyección de los posibles usuarios de la ruta alterna en análisis.

CUADRO 4
Proyección del usuario de la ruta alterna y cálculo del tránsito promedio por día (tpd).
Combinación de las dos rutas de vehículos (hora pico)

RUTA: Alterna
DISTRITO: Paraíso
CANTÓN: Paraíso
Provincia: Cartago

Tipo de vehículo	Cantidad	Estimación porcentual del usuario	Proyección del usuario	Porcentaje
Vehículos de pasajeros				
Autobuses	31	50%	15,5	7%
Microbuses	15	50%	7,5	3%
Vehículos Ligeros				
Automóviles	203	50%	101,5	46%
Camionetas pick-up, doble cabina y similares	61	50%	30,5	14%
Vínculos de carga liviana				
Vehículos automotores con un eje delantero rodado simple (1RS) y uno tercero de rodado simple.	24	60%	14,4	7%
C2	19	70%	13,3	6%
C3	7	100%	7	3%
Vagonetas				
Vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un eje trasero doble (tandem) de rodado doble (2RD).	27	98%	26,46	12%
Cabezal y remolque T3S2	5	100%	5	2%
TOTALES	392		221,16	100%
Total prom. Vehículos /hr			221,16	
Factor de expansión	10			
TPD	2.211,60			

El cuadro presenta la proyección del tránsito promedio por hora de la ruta alterna en estudio, el porcentaje estimado del usuario de la vía y el porcentaje que representa cada uno.

CUADRO 5
Hoja trabajo ht-01, cálculo del equivalente de 18 kips en carga de ejes simples de la ruta
alterna en estudio

COMBINACIÓN DE LAS DOS RUTAS

DISTRITO: Paraíso
CANTÓN: Paraíso
PROVINCIA: Cartago

RUTA L : Ruta alterna que une
las Rutas Nacionales No. 224
y No. 10.

Tipo de vehículo	Cantidad	Tasa de crecimiento	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño	ESAL'S Factor	ESAL'S de Diseño
Vehículos de pasajeros						
Autobuses	155	5,45%	34,68	1.962.021,0	2,29	4.493.028,09
Microbuses	75	5,45%	34,68	949.365,0	0,70	664.555,50
Vehículos Ligeros						
Automóviles	1015	5,45%	34,68	16.702.494,9	0,02	334.049,90
Camionetas pick-up , doble cabina y similares	305	5,45%	34,68	3.860.751,0	0,02	77.215,02
Vínculos de carga liviana	144	5,45%	34,68	1.822.780,80	0,70	1.275.946,56
Vehículos automotores ligeros con un eje delantero rodado simple (1RS) y uno trasero rodado simple.						
C2	133	5,45%	34,68	1.683.540,60	0,70	1.178.478,42
C3	70	5,45%	34,68	886.074,00	1,28	1.134.174,72
Vagonetas	264,6	5,45%	34,68	3.349.359,72	0,63	2.110.096,62
Vehículo automotor con un eje delantero de rodado simple (1RS) y un eje trasero doble (tandem) de rodado doble (2RD).						
Cabezal y remolque T3S2	50	5,45%	34,68	632.910,00	2,38	1.506.325,80
TOTAL TPD	2211.6					12.773.870,63
Factor de dirección	1					
Factor de carril	0,5					
ESAL'S para carril de tránsito:	6.386.935,32					ESAL'S de diseño.

El cuadro muestra el cálculo de los ejes equivalentes de la ruta alterna, valor que será utilizado en el diseño de la estructura del pavimento.

CUADRO 6
Registros de datos de dpc, mazo de 8 k

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Penetración (mm/golpe)	23.8	15	35
Contenido de humedad.	30.48 %	25 %	28.86 %
CBR %	8 %	14 %	5 %

Datos obtenidos en el ensayo de Penetrómetro Dinámico del Cono (DCP), ensayo realizado en la subrasante del Sector "A" y la estimación de CBR mediante la fórmula $CBR = 292/DCP^{1.12}$.

CUADRO 7
Porcentaje pasando la malla 200

Tamiz (apertura en mm)	% Pasando Muestra 1	% Pasando Muestra 2	% Pasando Muestra 3
200 (0.074mm)	86.90 %	83.41 %	36 %

El cuadro presenta los porcentajes pasando por la malla número 200 (0.075 mm ASTM) de las muestras de suelo obtenidas en la subrasante.

CUADRO 8
Limites de Atterberg

Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Límite Líquido	71	77	70
Límite Plástico	45	47	38
Índice Plástico	26	30	32

El cuadro presenta los límites de Atterberg de las muestras de suelo obtenidas en la subrasante. El procedimiento utilizado se describe en la Norma ASTM ASTM – D 4318.

CUADRO 9
Clasificación del suelo Método AASHTO

Descripción del suelo	Porcentaje pasando la malla 200 (0.074mm)	Límite líquido LL	Límite Plástico IP	Índice de grupo	Tipo de suelo
Muestra 1: Lo conforma un suelo de color rojizo con pequeños fragmentos de color negro.	86.90 %	71	26	22	A-7 -5
Muestra 2: Lo conforma un suelo de color rojizo con pequeños fragmentos de color negro y gris.	83.41 %	77	30	23	A- 7-5
La muestra 3: Lo conforma un suelo de color gris de mediana claridad con poca presencia de partículas arenosas.	36 %	70	32	3	A-7-5

El cuadro muestra las características del suelo que permiten la clasificación del mismo utilizando la Normativa AASHTO de clasificación de suelos. Se usa principalmente en la construcción de explanación de caminos y carreteras. Este sistema clasifica los suelos en siete grupos y varios subgrupos, los ensayos necesarios se reducen a análisis granulométrico, determinación de los límites de Atterberg y cálculo del índice de grupo (IG).

CUADRO 10
Factores propuestos para el diseño del pavimento flexible, Ruta Alternativa Sector "A"

Descripción	Valores estimados
Índice de serviciabilidad final (Pt) pavimento nuevo	2.5
Periodo de diseño	20 años
Factor de carril	1
Factor por dirección por carril	0.50
Factor de crecimiento vehicular	5.45 %
Confiabilidad R (%) se recomienda un valor de:	0.85
Desviación estándar So	0.35
ESAL's aplicados W18 (millones)	6.38
Δ PSI	1.7
Modulo de resiliencia de la subrasante (CBR 5%)	7 500 psi
Modulo de resiliencia de la subbase (CBR 30 %)	15 000 psi
Modulo de resiliencia de la subbase (CBR 80 %)	28 000 psi
Modulo elástico de la carpeta asfáltica	420 000 psi
Coeficiente de drenaje	0.90

El cuadro muestra las variables a considerar en el diseño de pavimentos flexibles (Método de AASHTO, 1993).

CUADRO 11
Cálculo de los espesores de los elementos que conforman la estructura de pavimento flexible, Método AASTHO,1993 Ruta Alternativa Sector "A"

Paso	Entrada de datos en el nomograma del diseño estructural					Resultados	Cálculo de espesores
	R (%)	So	ESAL's millones	Δ PS	Mr		
1	85	0.35	6.38 millones	1.7	Mr base 30 000 psi	SN1 = 3.08	h1 = 18 cm Carpeta asfáltica
2	85	0.35	6.38 millones	1.7	Mr subbase 15 000 psi	SN2 = 0.662	h2 = 20 cm base granular
3	85	0.35	6.38 millones	(*)	Mr subrasante 7500 psi	SN3 = 0.616	h3 = 25 cm subbase granular

El cuadro muestra el diseño del pavimento flexible utilizando la herramienta del Nomograma para la resolución de la ecuación Método AASTHO,1993.

CUADRO 12
Diseño del pavimento flexible de la Ruta Alternativa Sector "A", utilizando un programa computarizado como medio de resolución de la fórmula de diseño

Resultados	Cálculo de espesores
SN1 = 2.65	h1 = 16 cm Carpeta asfáltica
SN2 = 0.94	h2 = 20 cm Base granular
SN3 = 0.75	h3 = 20 cm Subbase granular

El cuadro muestra los espesores de los elementos que conforman el pavimento flexible. Los valores se obtuvieron utilizando el Método AASHTO 1993, mediante la resolución de la fórmula con la aplicación de un programa computarizado sustentado en el Programa de Microsoft Excel modificado por el Ing. Mario Campos, Jefe de Pavimentos, Departamento de Geotecnia y Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

CUADRO 13
Factores propuestos para el diseño del pavimento rígido, Ruta Alternativa Sector "A"

Descripción	Valores estimados
Índice de serviciabilidad final (Pt)	2.2
Periodo de diseño	20 años
Factor de carril	1
Factor por dirección	0.50
Factor de crecimiento	5.45 %
Espesor estimado de la subbase	300 mm
Módulo elástico de la subbase (Esb)	140 Mpa
Coefficiente de transmisión de juntas (j)	2.8
Resistencia media del concreto a flexo - tracción	4.5 Mpa o 640.1 PSI
Módulo de elasticidad del concreto (Ec) f'c 300 kg/cm ²	28 000.0 Mpa o 352 675 PSI.
Pérdida de soporte (Ls)	1
Valor de soporte de California CBR	5%
Módulo de reacción de la subrasante	53 Mpa/m
Módulo de resiliencia de la subbase	107 Mpa/ m
Módulo de reacción compuesto de la subrasante	402.3 PCI
Coefficiente de drenaje	0.90
Pérdida de serviciabilidad (PSI)	1.70
Confianza R (%) se recomienda	85 %

Para el diseño de espesores en pavimentos rígidos, se utilizó el Método de AASHTO, 1993. El cuadro muestra las variables que el Método de Diseño para Pavimentos Rígidos AASHTO, 1993, permite estimar.

CUADRO 14		
Cálculo de los espesores que conforman el pavimento rígido		
Método AASHTO 1993		
Entrada de datos al nomograma		
Valores estimados		Espesor de la losa
Módulo efectivo de la subrasante	40 (Mpa/ m)	250 mm
Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	30 000.0 (Mpa)	
Resistencia media del concreto a flexo - tracción	4.5 Mpa.	
Coefficiente de transmisión de juntas (j)	2.8	
Coefficiente de drenaje	0.90	
Pérdida de serviciabilidad ΔPSI	2.0	
Confiabilidad R (%) se recomienda un valor de:	85 %	
Desviación estándar So	0.35	
ESAL 's aplicados W18 (millones)	6.38	

El cuadro muestra los espesores de la estructura del diseño del pavimento rígido Sector "A" de la ruta alterna. La fórmula del diseño que propone el Método de Pavimentos Rígidos AASHTO 1993, fue resuelta mediante la aplicación del "Nomograma de Diseño de Número Estructural,". Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras del Pavimento, AASHTO, 1993.

CUADRO 15	
Diseño del pavimento rígido de la Ruta Alterna Sector "A" utilizando el Programa de	
Cómputo elaborado por CEMEX CONCRETOS	
DESCRIPCIÓN	ESPESOR
Espeor de losa	21 cm
Subbase	30 cm

El cuadro muestra los espesores de los elementos que conforman el pavimento rígido. Los valores se obtuvieron aplicando la Metodología AASHTO 1993, con la utilización de un programa de cómputo elaborado por CEMEX CONCRETOS.

CUADRO 16 Transferencia de cargas (pasajuntas)			
Espaciamiento máximo de juntas transversales 5 m			
Espesor de losa 21 cm		Pasajuntas y barras de amarre	
	Diámetro mm	Longitud mm	Separación mm
18 a 21.6	31.8	45.72	30.48

El cuadro muestra el espaciamiento entre juntas transversales y el diámetro de las barras de amarre, longitud y separación de las mismas, que se aplicarán en la transferencia de carga de las juntas longitudinales como transversales. Fuente "Diseño de Pavimentos de Concreto, Método AASHTO, 1993", CEMEX CONCRETOS.

CUADRO 17 Modelo de losa	
Descripción.	Longitud.
Separación máxima de juntas transversales	5 metros
Rango de separación de juntas longitudinales	3.0 a 4.5 metros

El cuadro muestra la separación de juntas transversales y longitudinales de la losa de acuerdo con los espesores encontrados y siguiendo el criterio AASHTO, CEMEX CONCRETOS.

CUADRO 18
Áreas tributarias, tipificación del uso del suelo y caudales pluviales que influyen sobre la vía
alternativa Sector "A"

DISEÑO PLUVIAL	ÁREA TRIBUTARIA.			Zona verde m ²	Q caudal m ³ / s	S pendiente %
	Descripción TRAMO	Techo m ²	Acera m ²			
Tramo 7	3.650,62	447,20	821,36		0,13	1,50
Tramos:11,12,12a	1.840,18	1.550,28	2.076,43	8.596,40	0,22	2,40
Tramos:12b,13,13a	7.753,00	1.041,22	1.141,43		0,29	2,00
Tramo a - b (7a)	1.300,20	159,27	292,55		0,06	1,31
Tramo b - c	1.712,80	209,82	385,28		0,08	7,76
Tramo c - d	2.400,00	294,00	540,00		0,11	3,00
Tramos: 14,14a,14b,15	1.498,60	2.293,32	1.166,80		0,35	2,00
Tramos: 16,16a,16a"	4.049,20	515,74	790,66		0,18	9,33
Tramos:17a,17a"	3.095,00	355,46	591,71		0,13	1,50
Tramo 17	1.495,00	235,46	311,71			3,14
Tramo 18a	1.600,00	200,00	280,00		0,07	5,00
Tramo h - j	1.681,60	264,83	350,61		0,07	1,50
Tramo 1 - k'		294,00	540,00	2.400,00	0,04	3,20
Tramo k - l		230,30	423,00	1.880,00	0,03	3,40
Tramo 2 - n'	1.625,40	296,64	292,57		0,07	2,23
Tramo 2 - ll'	2.400,00	294,00	540,00		0,08	1,00
Tramo ll - m	933,00	114,29	209,90		0,04	1,50
Tramo b	1.600,00	200,00	280,00		0,07	2,50
Tramo c	1.710,06	222,35	289,85		0,07	1,00
Tramo d	1.588,20	243,50	284,00		0,06	2,80
Tramo e	2.509,60	326,49	908,86		0,13	3,00
SUMATORIA	44.442,46	9.788,17	12.516,7	12.876,4	2,28	
ÁREA TOTAL (m²)	79.623,75	m ²				

El cuadro muestra los segmentos de áreas o tramos en que se subdividió el área total de influencia sobre la ruta alternativa del Sector "A", con el objetivo de determinar los caudales y pendientes del sistema de evacuación de aguas pluviales.

CUADRO 19
Diseño y ubicación de la tubería del sistema de evacuación de aguas pluviales de la Ruta Alternativa Sector "A"

Descripción		Longitud	Q	S	Diámetro
Tramo	m		m ³ /s	%	mm
tubo a' - a	13,5		0,22	1,5	500 mm
pzr a			0,355		
tubo b' - b	13,4		0,29	1,5	500 mm
tubo a - b	95,36		0,355	1,31	500 mm
pzr b			0,705		
tubo b - c	92,15		0,705	7,76	500 mm
pzr c			0,785		
tubo c - d	119,34		0,785	3	600 mm
pzr d			0,895		
tubo d - d'	5,5		0,895	1,5	700 mm
tubo e'' - e'	20,6		0,35	2	500 mm
pzr e			0,35		
tubo e - f	71		0,35	9,33	500 mm
tubo f' - f	10,5		0,175	1,5	400 mm
tubo g - f	3		0,133	1,5	400 mm
pzr f			0,658		
tubo f - h	88,12		0,658	3,14	500 mm
tubo h' - h	16,5		0,07	1,5	300 mm
tubo i - h	3,5		0,07	1,5	300 mm
pzr h			0,798		
tubo h - j	85,03		0,798	1,5	700 mm
tubo j- j'	3,5		0,07	105	300 mm
pzr j			0,868		
tubo j - j''	3,5		0,07	1,5	300 mm
tubo k' - k	4,5		0,04	1,5	300 mm
pzor - k			0,04		
tubo k - l	89,26		0,04	3,4	400 mm
tubo l' - l	3		0,07	1,5	300 mm
pzor - l			0,07		
tubo l - m	15,22		0,07	2,23	300 mm
tubo n' - n	5,5		0,07	7	300 mm
pzor - n			0,14		
tubo n - o	30		0,14	2	400 mm
pzor - ll			0,078		
tubo m - ll	38,65		0,078	2,23	400 mm
pzor - m			0,118		
Tramos b			0,07	2,5	
Tramos c			0,07	1	
Tramos d			0,06	2,8	
SUMATORIA		830,63 m			

El cuadro anterior muestra la longitud y diámetro de las tuberías de concreto calculadas del sistema de evacuación de aguas pluviales.

DISEÑO DEL PAVIMENTO DE LA RUTA ALTERNATIVA SECTOR "A" QUE ENLAZA LAS RUTAS NACIONALES 224 y 10 EN EL DISTRITO CENTRAL DEL CANTÓN DE PARAÍSO

CUADRO 20		
Diámetros y cantidad de tubo de concreto de la Ruta Alternativa Sector "A"		
Descripción de diámetros	Longitud m	Cantidad de tubos
Diámetros		
300 mm	55,22	38
400 mm	171,41	148
500 mm	394,13	340
600 mm	119,34	109
700 mm	90,53	86

El cuadro muestra la cantidad y diámetro de los tubos de concreto que se recomienda utilizar en el Proyecto Ruta Alternativa Sector "A". Tubo de concreto ASTM – C 14 clase dos sin refuerzo, que cumpla con la Norma MEIC 18003 y 18006, (tubo – 2 Ministerio de Economía Industria y Comercio).

CUADRO 21		
Características geométricas de la ruta alternativa existente		
Descripción	Sección "A"	Sección "B"
Derecho de vía (promedio) metros	13.30	14.00
Ancho de la calzada (promedio) metros	6.74	7.58
Radio (m) de las curvas horizontales en los giros de intersecciones.....	15 1.93	1.96
Ancho de acero (promedio) metros		
Longitud de la ruta metros	850	626.11
Pendiente máxima	16 %	3.19 %
Bombeo	3.5	3.1 %

El cuadro muestra las características geométricas de la vía alternativa existente, información obtenida durante el levantamiento topográfico de la ruta alternativa.

CUADRO 22		
Radios de giro en intercepciones, curvas horizontales		
Ubicación	Radio	
Encadenamiento 0+ 478.07	15,00 m	
Encadenamiento 0+ 848.10	15.00 m	

El cuadro muestra las características de las curvas horizontales existentes en los giros de las intercepciones, información obtenida durante el levantamiento topográfico de la ruta alterna.

CUADRO 23		
Propuesta del dimensionamiento de los elementos que conforma el derecho de vía de la ruta alterna		
Descripción del elemento	Materiales	Dimensiones
Acera	Concreto	1.80 m
Cordón y caño	Concreto.	0.65 m
Hombros	Concreto o asfalto.	0.90 m
Carril de circulación	Concreto o asfalto	3.65 m

El cuadro muestra la propuesta de los elementos que conformaran el derecho de vía de la ruta alterna y sus respectivas dimensiones a saber: acera, bordes, cunetas, ancho de hombros y carril de circulación.

CUADRO 24	
Diseño geométrico de la Ruta Alterna Sector "A"	
Descripción	Diseño
Bombeo	4 %
Velocidad de diseño	40 km./ h
Curva horizontal ubicada en el encadenamiento 0+ 478.07	30 m de radio
Curva horizontal ubicada en el encadenamiento 0+ 848.10	30 m de radio
El derecho de vía del sector de la ruta alterna sector "A" se ampliará a	14 metros
Curva vertical ubicada en el encadenamiento 0+ 848.10	9 %

El cuadro muestra los elementos relevantes del diseño geométrico de la Ruta Alterna Sector "A".

DISEÑO DEL PAVIMENTO DE LA RUTA ALTERNA SECTOR "A" QUE ENLAZA LAS RUTAS NACIONALES 224 y 10 EN EL DISTRITO CENTRAL DEL CANTÓN DE PARAÍSO

CUADRO 25
Resultados de la encuesta aplicada a los Regidores del Concejo Municipal del Cantón de Paraíso
Proyecto Ruta Alternativa Sector "A"

Descripción	Número de Regidores Propietarios	Número de Regidores Suplentes	Encuestados	% de apoyo
¿Apoyaría usted desde el Seno del Concejo Municipal el Proyecto Ruta Alternativa Sector "A" como ruta de travesía, con un diseño del pavimento apto para las exigencias del tránsito pesado?	7	7	14	SI100%
				NO 0%
			Apoyo al Proyecto Ruta Alternativa	100%

El cuadro muestra los resultados de la encuesta aplicada a los regidores propietarios y suplentes que conforman el Concejo Municipal de Paraíso, con el objetivo de conocer el apoyo político con que contaría el proyecto en mención.

CUADRO 26
Resultados de la encuesta aplicada a los jefes de familia que habitan las viviendas
ubicadas a ambos costados de la Ruta Alternativa Sector "A"

Descripción	Número de familias	Encuestadas	% Familias encuestadas	% de apoyo
¿Estaría usted de acuerdo con la ejecución del Proyecto Ruta Alternativa Sector "A" como ruta de travesía?	68	44	64.70%	SI 77%
				NO23%
			Apoyo al Proyecto Ruta Alternativa	77%

El cuadro muestra los resultados de la encuesta aplicada a los jefes de familia que habitan las viviendas ubicadas a ambos costados de la Ruta Alternativa Sector "A".

CUADRO 27
Costo del proyecto de la Ruta Alternativa Sector "A", alternativa pavimento flexible

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unitario	Costo/total
Levantamiento topográfico	1.471,00	ml	Q600,00	Q882.600,00
Trazo	11.760,00	m ²	Q600,00	Q7.056.000,00
Expropiación de franjas de terreno	550	m ²	¢ 160 000 .00	¢ 88 000 000.00
Movimiento de tierra y botado	7.901,12	m ³	Q7.400,00	Q58 468 302,8
Excavación para la colocación de tubería	512,00	m ³	Q1.300,00	Q 665 600,00
Colocación de tubería	800,00	ml	Q52.867,10	Q 42 293 680,00
Colocación y compactación de la subbase	1 837,92	m ³	Q17.000,00	Q31 244 640,00
Colocación y compactaron de base	1 703,52	m ³	Q22.800,00	Q38 840 256,00
Chorrea de pozos de registro	12	unid	Q408.700,00	Q4.904.400,00
Chorrea de tragantes	18	unid	Q345.900,00	Q6.226.200,00
Cabezales	2	unid	Q408.700,0	Q817.400,00
Chorrea del cordón y caño	1.841,00	ml	¢18,360,00	Q33.800.760,00
Emulsión Asfáltica	6400,00	litros	¢ 500,00	¢ 3 200 000,00
Colocación de carpeta asfáltica	969,00	m ³	Q16.800,00	Q 50 641 920,00
Señalamiento vial	12	und	¢ 80 000.00	¢ 960 000.00
Chorrea de la acera 10 cm de espesor	1657.0	m ²	Q 12 000.00	Q19.884.000,00
Costo total del proyecto			Q387 882 159.00, representando	\$ 718 300.00
Costo por kilómetro			Q456 331 952.00 / K m	
Costo por kilómetro			\$1 006 023.0/ k m	

El cuadro muestra el costo de la reconstrucción total de la Ruta Alternativa Sector "A", alternativa con carpeta asfáltica.

DISEÑO DEL PAVIMENTO DE LA RUTA ALTERNATIVA SECTOR "A" QUE ENLAZA LAS RUTAS NACIONALES 224 y 10 EN EL DISTRITO CENTRAL DEL CANTÓN DE PARAÍSO

Ubicación: Se inicia frente a la Librería Super Paco (Costado este del Liceo de Paraíso) desplazándose 468 m al oeste y 413.5 m al norte hasta el cruce con la calle del INVU y la calle que va hacia el cementerio. Longitud del tramo 881.54 m.

CUADRO 28 Resumen del costo actual del proyecto “carpeta asfáltica” y fechas estimadas de inicio	
Costo actual del proyecto año 2008	₺387 882 159,00
Recarpeteo, 8 cm de espesor valor presente año 2008	₺28 600 000.00
Interés estimado del dinero	15%
Estimación inicio del proyecto	2015
Recarpeteo, 8 cm de espesor valor proyectado al año	2025

El cuadro muestra el costo del proyecto a la fecha (año 2008), fecha estimada de inicio y el costo actual del recarpeteo del pavimento que se pretende realizar dentro de un periodo de 10 años a partir del inicio del mismo.

CUADRO 29 Proyección del costo total del proyecto de la alternativa pavimento flexible al año 2015, fecha probable de construcción de la obra	
Al año 2015, inicio del mismo.	₺ 897 195 003.00 (\$ 1 993 767.00)
Proyección del costo de recarpeteo al año 2025, año en que se colocará.	₺ 267 627 957.00 (\$ 594 729.00)
Costo total del proyecto al año 2015, fecha de inicio del mismo. Se consideró el costo proyectado del recarpeteo.	₺ 1 164 822 960.00 (\$ 2 588 495 .00)

El cuadro muestra el costo total del proyecto estimado a la fecha de inicio, año 2015, incluyendo el costo proyectado del recarpeteo para ejecutarse en el año 2025.

CUADRO 30
Costo del proyecto de la Ruta Alternativa Sector "A", alternativa del pavimento rígido
(losa de concreto hidráulico)

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unitario	Costo/total
Levantamiento topográfico	1.471,00	ml,	Ø600,00	Ø882.600,00
Trazo	11.760,00	m ²	Ø600,00	Ø7 059 000,00
Expropiación de franjas de terreno	550	m ²	¢ 160 000 .00	¢ 88 000 000.00
Movimiento de tierra y botado.	7 190,00	m ³	Ø7.400,00	Ø 53 206 000.0
Excavación para la colocación de tubería.	512,00	m ³	Ø7.300,00	Ø 665 600,00
Colocación de tubería	800,00	ml	Ø52.867,10	Ø 42 293 680,00
Colocación y compactación de la subbase	2 656.08	m ³	Ø17.000,00	Ø 45 153 360.00
Chorrea de pozos de registro	12	unid	Ø408.700,00	Ø4.904.400,00
Chorrea de tragantes	18	unid	Ø345.900,00	Ø6.226.200,00
Cabezales	2	unid	Ø408.700,00	Ø817.400,00
Chorrea del cordón y caño	1.841,00	ml	¢18,360,00	Ø33.800.760,00
Chorrea de la losa de concreto	1.679,33	m ³	Ø125 371,55	Ø 211 547 810.00
Tapa juntas, Asfalto, A - 30	430	litros	¢ 500.00	215 000.00
Chorrea de la acera 10 cm de espesor	1.657,00	m ²	Ø12.000,00	Ø19.884.000,00
Coloración de señales verticales	12	unid	Ø79.700,00	Ø956.400,00
Costo total del proyecto			Ø 515 609 210,00, representa \$ 954 832.00	
Costo por kilómetro			Ø 606 599 071.00 / Km	
Costo por kilómetro			\$ 1 169 182.00 / km	

El cuadro muestra el costo de la reconstrucción total de la Ruta Alternativa Sector "A", alternativa con losa de concreto. Ubicación: Se inicia frente a la Librería Super Paco (Costado este del Liceo de Paraíso) desplazándose 468 m al oeste y 413.5 m al norte hasta el cruce con la calle del INVU y la calle que va hacia el cementerio.

DISEÑO DEL PAVIMENTO DE LA RUTA ALTERNATIVA SECTOR "A" QUE ENLAZA LAS RUTAS NACIONALES 224 y 10 EN EL DISTRITO CENTRAL DEL CANTÓN DE PARAÍSO

CUADRO 31 Costo del proyecto losa de concreto hidráulico	
Costo actual del proyecto, año 2008	₺ 515 609 210,00
Costo del cambio de los sellos de las juntas de las losas de concreto con Asfalto AC-30 al año 2008	₺ 215 000,00
Interés estimado del dinero	15%
Se estima iniciar el proyecto en el año	Año 2015
Fecha estimada del cambio de sellador con Asfalto AC-30	Año 2025

El cuadro muestra el costo del proyecto a la fecha (año 2008), fecha estimada de inicio del proyecto, año 2015, costo actual de mantenimiento, el cual consiste en la sustitución del sellador de las juntas transversales y longitudinales dentro de un periodo estimado de 10 años a partir de su inicio.

CUADRO 32 Proyección del costo total del proyecto de la alternativa pavimento rígido al año 2015	
Proyección del costo del proyecto al año 2015, inicio del mismo	₺ 1 192 635 434.00 (\$ 2 650 3001.0)
Proyección del costo económico del cambio del sellador de las juntas transversales y longitudinales con Asfalto AC-30, año 2025	₺ 2 011 888,00 (\$ 4 471.0)
Costo total del proyecto al año 2015, fecha estimada de inicio de la obra, incluye el costo del cambio de sello	₺ 1 194 647 323,00 (\$ 2 654 772.00)

El cuadro muestra el costo total de la propuesta proyectada a la fecha de inicio, año 2015, incluyendo el valor del cambio de sellador de las juntas transversales como longitudinales con Asfalto AC-30, año 2008, para realizarlo en el año 2002.

Análisis de los resultados

El dato básico para realizar cualquier tipo de diseño estructural ya sea edificaciones o pavimentos, es el cálculo en las cargas a las que los elementos van a estar sometidos. En el caso del diseño de los pavimentos, es fundamental determinar el tránsito promedio por hora al que va a estar sometida la estructura del pavimento que se pretende diseñar.

Aforo de la Ruta Nacional No. 224 en los Sectores: Paraíso - Orosi, Paraíso - Cachí

Un punto fundamental durante el proceso de aforo vehicular, es la estimación de la hora pico de cada sector en estudio, esto con el objeto de poder determinar la hora pico de la Ruta Nacional No. 224 y a la vez, proyectar los posibles usuarios de la ruta alterna.

El aforo del Sector Paraíso – Orosi, se inició a las 5:12 a.m. y se concluyó a las 9:14 a.m. del 03 de mayo de 2008 con tiempo despejado, por un periodo de 3 horas consecutivas, contabilizándose en el primer tercio del aforo un total de 170 vehículos, de los cuales el 24.7% representan vehículos pesados, entendiéndose como vehículos pesados: vagonetas de dos y tres ejes, cabezales, remolques, autobuses y vehículos tipo C3.

En el segundo tercio se contaron 207 vehículos de los cuales el 5.31% del total, representan los vehículos objetivo y en el último tercio se aforaron 117 vehículos que representan el 12 % del total de los vehículos pesados.

Considerando que la finalidad es encausar los vehículos pesados por la ruta alterna y con base en los resultados obtenidos se concluye que en el periodo comprendido de las 5:12 a.m. a las 6:12 a.m., transitan la mayor cantidad de vehículos pesados. Esto representa un 24.7% del total de este periodo, por lo tanto el primer periodo del aforo se considera como el periodo de mayor intensidad de circulación vehicular o hora pico de la Ruta Nacional No. 224 del Sector Paraíso - Orosi.

El aforo del Sector Paraíso – Cachí se realizó durante 3 horas el 7 de mayo de 2008. Dicha actividad se efectuó entre las 5:12 a.m. y las 9:19 a.m.. Los resultados evidenciaron que la mayor intensidad de circulación se dio en el primer tercio de aforo, es decir, entre las 5:12 a.m. y las 6:12 a.m.. En este periodo se contabilizaron 222 vehículos, de los cuales el 56.76% correspondió a automóviles y el 12.62% a vehículos pesados ver Cuadro No. 2.

Estimación de los usuarios de la ruta alterna

Una vez determinado el periodo de mayor circulación vehicular de cada tramo de la ruta nacional en estudio, se procedió a sumar los vehículos aforados del Sector Paraíso - Orosi con los vehículos aforados en el Sector Paraíso - Cachí, según el tipo de vehículo, por ejemplo: automóviles del sector Paraíso - Orosi con los automóviles del sector Paraíso - Cachí, autobuses con autobuses y así sucesivamente, con el objetivo de estimar la cantidad de vehículos que circulan en el periodo de mayor tránsito de la Ruta Nacional No. 224. Esto permitió multiplicar los valores obtenidos por el factor de expansión de 10, lográndose obtener el

tránsito promedio diario (TPD) de la Ruta Nacional No. 224, estimándose, TPD de 3920, y posibles usuarios de la ruta alterna en estudio. Véase Cuadro No. 3.

Por lo general, este valor de expansión se utiliza cuando en una vía determinada se ha definido el periodo de mayor intensidad de circulación vehicular u hora pico. Este valor de expansión ha sido recomendado por el Departamento de Planificación del Ministerio de Obras Publicas y Transportes.

Evidentemente la cantidad total de los vehículos estimados en la hora pico como posibles usuarios de la ruta alterna, no la utilizarán en un 100 %, por lo tanto se hace necesario una estimación de los posibles usuarios de la ruta alterna. El presente proyecto no cuenta con un estudio de origen y destino de los dos sectores de la ruta nacional en estudio, por ende la proyección de los usuarios de la ruta alterna se hace bajo los siguientes argumentos:

- La clasificación de los distintos tipos de vehículos aforados, permitió determinar los posibles destinos de los mismos. Paraíso se ubica en una zona rural, donde existen áreas de cultivos, zonas de extracción de materiales y distritos que ofrecen mano de obra destinada a la Gran Área Metropolitana.
- La Ruta Nacional No. 224 comunica Paraíso, Cachí, Tucurrique, Orosi, y se conecta con la Ruta Nacional No. 10, arteria de la Gran Área Metropolitana.
- Se poseen amplios conocimientos de la zona relacionados con el comportamiento de los vehículos y de los estados de las vías, conocimiento obtenido durante dos años como funcionario de la Unidad Técnica Vial de la Municipalidad de Paraíso y como habitante del Distrito Central durante más de 20 años.

El Cuadro No. 4 muestra la estimación de los posibles usuarios de la ruta alterna y la clasificación de los mismos según el tipo de vehículo. La proyección está sustentada en los argumentos anotados en los párrafos anteriores: se consideró que el 50% de los vehículos de pasajeros aforados, utilizarán esta alternativa, el resto transitará por el centro de la Ciudad de

Paraíso, recogiendo y descargando pasajeros. El desplazamiento de los vehículos de carga ligera y liviana podrían dirigirse hacia el Área Metropolitana o bien hacia las zonas de Cachí, Orosi, Turrialba, Paraíso etc.. Se consideró que los vehículos ligeros utilizarán la ruta alterna en un 50 %, y los vehículos de carga liviana podrían utilizar la ruta en un 60 % de lo estimado. Por ultimo se obtuvo que de un 70% a un 100% de los vehículos estimados entre ellos vehículos tipo C2, C3, vagonetas de tres ejes, cabezales y remolques T352, utilizaran esta ruta alterna. Por lo tanto el tránsito promedio por hora combinado con los dos sectores de la ruta nacional en estudio, se reduce en un 56.4%. Esto proyecta un tránsito promedio diario de la ruta alterna de 2211.6 de vehículos.

Es importante recalcar en esta etapa del proyecto, que se asumió un valor de 5.45% de la tasa de crecimiento para todo tipo de vehiculo, valor recomendado por el Ing. Juan Carlos Saborío, Ex - Jefe del Departamento de Diseño Geométrico del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Este valor de 5.45% es producto de una serie de aforos practicados a nivel nacional por el Ministerio de Obras Publicas y Transportes, División de Planificación Vial y puesto en practica por la institución.

El cuadro No. 5 muestra las tasas y factores asumidos para la determinación del cálculo del equivalente de 18 Kips en cargas de ejes simples (ESAL's por carril de tránsito). El factor de distribución por carril asumió un valor de 1, debido a que la ruta alterna la conforman dos carriles y cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño.

El factor de distribución por dirección asumió un valor de 0.5 debido a que los vehículos se contabilizaron en ambos sentidos (50 % en sentido y otro 50 % en el sentido contrario).

Los factores camión para el diseño estructural del pavimento son valores recomendados en el Oficio No. DVOP – 5170 – 07 de fecha 10 de setiembre de 2007 emitido por el Despacho del Viceministro de Obras Públicas y Transportes y dirigido al Ing. Mario Campos de la Sub - Área de Geología y Materiales de esa institución. Se asumieron los valores máximos para el cálculo de los ejes equivalentes. El valor ESAL's por carril de tránsito calculado es de 6.386.935,32.

Características de la subrasante

Se realizaron tres ensayos con el Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP), utilizando el mazo de 8 kilos (Véase Tabla No. 6) sobre la subrasante del Sector "A" de la ruta alterna con una longitud de 840 m, con el objetivo de determinar la capacidad de soporte de la misma.

Lo anterior arroja valores que varían entre 15, 23.8 y 35 mm/golpe. Esto a su vez permitió observar una variación significativa entre ellos, y mostrando un alto contenido de humedad del suelo. La separación entre cada ensayo efectuada fue menor a 200 m.

A través de métodos indirectos que correlacionan los valores obtenidos con el DCP, se estima el valor de soporte California (CBR) variando entre 14%, 8% y 5 %. Cabe notar que estos valores representan puntos bien definidos sobre el posible eje de la vía, lo cual nos permite observar una variación significativa de la capacidad de soporte de esta. Por lo tanto como criterio de diseño del pavimento de Ruta Alterna del Sector "A", se tomará el valor menor de CBR estimado en un 5%, el cual cubre el 100 % del sector de la ruta por diseñar.

Clasificación del suelo que conforma la subrasante, Sector "A"

Se realizaron tres muestreos del suelo en los puntos donde se practicaron los ensayos de DCP, con el objetivo de realizar las pruebas de identificación que permita clasificar y exhibir la capacidad de soporte de la subrasante. Los datos obtenidos en los ensayos se muestran en los cuadros No. 7, No. 8 y No. 9. Estas tablas muestran las características del suelo y la clasificación de este de acuerdo con la Metodología AASHTO.

Entre las características similares que presentan las muestras analizadas, están los valores del límite líquido (LL) entre 70, 71 y 77 e índice plástico (IP) comprendidos entre 26, 30 y 38. Estos valores superan los rangos mínimos utilizados en la carta de clasificación de suelo según el Método AASHTO, indicando suelos de alto grado de plasticidad. Las muestras número

uno y número dos indican suelos sumamente finos que pasan más del 83.41% el tamiz No. 200, descritos como un suelo de color rojizo con pequeños fragmentos de color negro.

La muestra número tres la conforma un suelo de color gris de mediana claridad con poca presencia de partículas arenosas que se puede considerar como un suelo fino de alta plasticidad.

Dadas las características del suelo que conforma la subrasante, se clasifica como suelo tipo A-7-5, suelo arcilloso - limos de alta plasticidad.

Para efectos de diseño y dadas las características similares de las muestras del suelo obtenidas en la subrasante del Sector "A" de la ruta alterna, se consideró la subrasante como una unidad de diseño ya que es un tramo de carretera cuyas características se pueden considerar uniformes.

Alternativa 1, diseño del pavimento flexible

El Método de Diseño AASHTO, 1993, permite estimar con criterio una serie de variables de la fórmula de diseño entre las cuales se resaltan las siguientes:

- Variable en función del tiempo: Se estimó un periodo de diseño de 20 años.
- Drenaje: Se asumió un coeficiente de drenaje de 0.9 considerando una calidad regular de drenaje.
- Pérdida de serviciabilidad (Δ PSI): Valor estimado de 2.0 para pavimentos flexibles y 1.7 para pavimentos rígidos (valores recomendados en el Método AASHTO, 1993).

El Módulo de Resiliencia (M_r) de la subrasante se estimó a partir de la capacidad de soporte del suelo (CBR). Correlacionando el valor del CBR a través de una fórmula empírica, se obtuvo el valor del Módulo de Resiliencia (M_r) de la subrasante de 7500 psi.

Cabe indicar que el valor del M_r no ha sufrido correcciones por humedad, por lo tanto, no se ha realizado un estudio de la variación del Módulo

de Resiliencia (Mr) con respecto a la variación de la humedad durante el año en curso.

Los valores del módulo de resiliencia de la subbase (Mr 15000 pis), base (28000 pis) y el módulo elástico de la carpeta asfáltica (420000 pis), son valores mínimos recomendados por MOPT. Lo expuesto en los párrafos anteriores se describe en el Cuadro No. 10.

El Cuadro No. 11 muestra los espesores de la estructura que conforma el pavimento flexible, producto de la resolución de la fórmula de diseño (Método AASHTO, 1993), mediante la aplicación del Nomograma AASHTO "Diseño de Número Estructural", obteniéndose un espesor de carpeta asfáltica de 18 cm, base granular de 20 cm y 25 cm de subbase, con una estructura total de 63 cm..

Optimización del diseño del pavimento

La solución de la fórmula del Método de Diseño AASHTO, 1993, con la ayuda del Nomograma citado en los párrafos anteriores, ofrece cierto grado de imprecisión cuando el usuario trace las líneas que unen las variables que intervienen en el cálculo de los números estructurales del diseño del pavimento, además los ábacos que conforman el nomograma están dibujados en escalas logarítmicas dado su comportamiento de ir comprimiendo su escala, la lectura en esta se dificulta en cierto grado, por lo tanto su precisión disminuye.

Otro alternativa para resolver la formula de diseño y disminuir en gran medida el grado de incertidumbre que produce al usuario del Nomograma "Diseño de Número Estructural", es la utilización de herramientas de programación de cómputo, en este caso particular se utilizó un programa diseñado en Microsoft Excel, y modificado por el Ing. Mario Campos del Departamento de Geotecnia y Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Véase Cuadro No. 12.

El espesor de la carpeta asfáltica obtenido a través de la resolución de la ecuación por método computarizado es de 16 cm y de 18 cm a través del monograma citado. Si se comparan estos espesores se observa una diferencia de 2 cm de espesor representando 64.5 toneladas más de asfalto.

Otro punto importante está en la diferencia entre los espesores de la subbase, al compararse estos valores obtenidos en la solución de la ecuación, el nomograma nos aporta 5 cm más sobre el espesor de la subbase calculada a través del método computarizado, estos 5 cm de espesor representan 370.5 m³ de subbase granular, si se cuantifican, esta diferencia en colones sería significativa para un presupuesto final.

Alternativa 2, diseño del pavimento rígido

Una variable fundamental en el diseño del pavimento rígido es la combinación entre el Módulo de Resiliencia (Mr) de la subrasante y el espesor estimado de la subbase granular sin tratar. En este caso particular se estimó un espesor de subbase granular sin tratar de 30 cm, y un módulo de elástico de la subrasante de 140 Mpa.

Mediante la aplicación del Nomograma para determinar el módulo compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita, el Manual Centroamericano para Diseño del Pavimento arrojó un valor del módulo de reacción compuesto (K) de 402.3 PCI.

Véase Cuadro No. 13.

No se corrigió el módulo de reacción compuesto de la subrasante por posible ubicación sobre un manto rocoso a una profundidad menor de tres metros. En este caso no lo amerita, dada las características geológicas regionales y locales de la Zona de Paraíso, la geología regional y local corresponde a rocas permanentes al Grupo Volcánico Central, más específicamente a lo que ha sido denominado, por algunos autores, como Formación Reventado según Krushensky, R. 1972. Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. Geología Survey Bulletin 1358. United State Government Printing Office, Washington, se refiere a la fm Reventado incluye: Miembro Paraíso, manto de ceniza roja y miembros superiores. El miembro manta de ceniza rojiza (área de estudio), corresponde a una capa delgada de ceniza volcánica de 15 m de espesor, completamente meteorizada, color café naranja oscura.

El espesor de la losa del pavimento rígido se obtuvo mediante la resolución de la formula de

diseño, utilizando el Método del Nomograma de Diseño AASHTO” elaborado para tal fin, (Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras del Pavimento, AASHTO) es de 250 mm. La segunda alternativa para resolver la ecuación es mediante la aplicación de métodos computadorizados. En este caso se utilizó un programa de cómputo elaborado por “CEMEX CONCRETOS” que arrojó un valor de 210 mm, una diferencia entre ambos métodos de 40 mm,

Al comparar las dos metodologías de resolución de la ecuación del Método AASHTO, 1993, evidentemente el método computadorizado toma ventaja por su precisión al resolver la ecuación de diseño AASHTO 1993. Véase Cuadro No. 14 que muestra los espesores de la estructura del pavimento rígido Sector “A” de la ruta alterna. La ecuación fue resuelta mediante la aplicación del Nomograma de Diseño, (Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras del Pavimento, AASHTO y Cuadro No. 15 denominado, “Diseño del pavimento rígido de la ruta alterna Sector “A”, utilizando el Programa de Cómputo elaborado por CEMEX CONCRETOS.

El cuadro muestra los espesores de los elementos que conforman el pavimento rígido, valores obtenidos mediante la aplicación de un sistema de métodos numéricos, elaborado por CEMEX CONCRETOS.

Modelo de losa

La losa estará conformada por juntas transversales de construcción separadas entre sí por 5 m, juntas longitudinales de construcción separadas por 4.5 m y unidas por pasajuntas, y barras de amarre con diámetros de 3.20 cm por 46 cm de longitud, separadas 30.5 cm cada una, lo anterior para una losa de espesor de 21 cm. Véase Cuadros No. 16 y No. 17.

Diseño pluvial

Las aguas pluviales son una de las causas primordiales del deterioro prematuro del pavimento de una vía, la subrasante del sector en estudio presenta un suelo de alta plasticidad por lo que es de primordial importancia encausar adecuadamente las aguas pluviales.

El área de influencia o área tributaria que descarga sus aguas pluviales sobre la vía en estudio se ha estimado en 79 623.75 m², permitiendo definir y tipificar el uso del suelo con el fin de poder asignar los coeficientes de escorrentías correspondientes.

Los 79 623.75 m² del área total de influencia se sub-dividieron en sectores o áreas según la tipificación del uso del suelo: techo 44 442.46 m², aceras 9 788.17 m², asfalto o concreto 12 516.7 m² y zona verde 12 876.42 m²., con los valores anotados en los párrafos anteriores y el levantamiento topográfico de la ruta alterna en estudio permitió calcular las pendientes y definir la escorrentía del agua pluvial, facilitando el cálculo del caudal por sectores y determinándose los diámetros de la tubería de concreto por utilizar para la evacuación de las aguas pluviales.

El Cuadro No. 18, “Áreas tributarias, tipificación del uso del suelo y caudales pluviales que influyen sobre la Vía Alterna Sector “A”, muestra los tramos o sub-áreas en que se dividió el sector en mención.

El costado norte de la vía ubicado frente al Liceo de Paraíso y contiguo a la Librería Don Paco, es una zona conformada por una serie de tramos de 85 m de longitud, que forman los frentes de las cuadras o manzanas que desembocan frente a la vía en estudio. Las aguas pluviales que recolectan estos frentes son descargadas a ambos costados de cada cuadra o manzana donde las pendientes de cada costado aumentan considerablemente a valores superiores del 6% que facilitan la evacuación de las aguas pluviales, por lo que no se hace necesario la colación de tubería de concreto para evacuar las aguas pluviales que recogen en cada tramo analizado. La infraestructura existente en cada frente de cuadra, consiste en cunetas de concreto de 34 cm, las cuales se han desempeñado eficientemente en la evacuación de las aguas pluviales de cada sector, según lo expresado por los vecinos del lugar y lo observado en el sitio. Por lo tanto se construirá únicamente el cordón y el caño diseñado para tal fin.

Otro punto importante de resaltar es el área ubicada en el costado oeste de la ruta alterna Sector “A”, comprendido entre el cruce Barrio La Laguna y desplazándose hacia el norte hasta el cruce del INVU – Cementerio, abarcando una longitud de 351 m lineales.

Las aguas pluviales encausadas aguas arriba y conducidas a este sector por condiciones topográficas favorables, serán descargadas en los colectores existentes. Este colector fue construido en el año 2006, para evacuar las aguas pluviales de la Urbanización Colinas del Sur. El diseño de este fue plateado de tal forma que contemplara los puntos expuestos en los párrafos anteriores, consiste en un tubo de concreto con un diámetro de 1200 mm.

El segundo colector existente (tubería de concreto), esta ubicado al costado este de la sección de la vía en estudio, recogerá las aguas pluviales provenientes del INVU y de un pequeño sector de la vía, el diámetro existente es de 750 mm.

Diseño geométrico

Análisis de la vía existente.

El sector "A" de la ruta alterna presenta un promedio de derecho de la vía de 13.3 m, una calzada de 6.74 m, con espaldones u hombros en lastre, una acera de 1.9 m de ancho, esta acera cubre aproximadamente el 70% del perímetro de la vía, y cuenta con dos curvas horizontales de radio 15 m en los puntos de giro en las intercepciones. La pendiente máxima de la ruta alterna del sector "A" es de un 16% ubicada en la intersección entre Barrio La Laguna – INVU - calle cementerio o bien en el encadenamiento 0 +848.1.

El sistema pluvial existente es muy deficiente

Relación Velocidad – Peralte - Radio

Consideraciones:

- Se asume una velocidad de diseño de 40 kilómetros por hora, velocidad recomendada en zona urbana.
- Para tramos de giro en intersecciones (curvas horizontales) en los cuales la velocidad permitida se encuentra entre los rangos de 20 a 70 kilómetros por

hora, se asumirá un peralte máximo lateral de un 9% con un coeficiente de fricción lateral de 0,33.

Por lo tanto, el radio mínimo de las curvas horizontales en los giros de intersecciones serán de 30 m y la curva vertical de 16% existente en el encadenamiento 0+ 848.10 se rediseña a un 9%.

A continuación se expone la propuesta de los elementos que conformarán el derecho de vía de la ruta alterna:

Derecho de vía	14 m
Acera	1.8 m
Bordes y cuneta	0.65 m
Ancho hombros	0.90 m
Carril de circulación en un sentido	3.65 m

Véase Cuadro No. 21, el cual muestra las características geométricas de la vía alterna existentes, información obtenida durante el levantamiento topográfico de la ruta en mención; el Cuadro No. 22 muestra las características de las curvas horizontales en giro de intersecciones, información obtenida durante el levantamiento topográfico de la ruta alterna; el Cuadro No. 23 que muestra la propuesta de los elementos que conformaran el derecho de vía de la ruta alterna a saber: la aceras, los bordes y cunetas, los ancho de hombros, el carril de circulación y el Cuadro No. 24 que expone el rediseño geométrico de la vía alterna sector "A".

Para cumplir con los objetivos señalados en el Cuadro No. 24, la Municipalidad de Paraíso deberá iniciar un proceso de expropiación de franjas de terreno paralelas a la vía en estudio, deberá expropiar aproximadamente 550 m², lo cual permitirá la ampliación del derecho de vía, alcanzando los 14 m especificados en el Cuadro No. 24 y permitirá la ampliación de los radios de giro en intersecciones de las curvas horizontales pasando de los 15 m existentes a los 30 m de radio de giro propuesto. Ver planos del diseño geométrico de la vía alterna

Viabilidad social y política del proyecto

Encuesta dirigida a los vecinos de la ruta alterna sector "A"

La población objetivo está constituida por 68 familias, el método de muestreo utilizado para realizar la encuesta el método por conveniencia.

No se logró encuestar al 100 % de las familias propuestas por las siguientes razones:

1. Viviendas en las cuales no se encontraban los jefes de familia (no se encuestaron).
2. Jefes de familia que no participaron.
3. Viviendas en las cuales no se encontraban sus moradores.

El método de muestreo por conveniencia fue utilizado por tratarse de una población homogénea, de clase media y que el proyecto los afecta de igual manera, además por tratarse de una población pequeña.

El Cuadro No. 26 muestra los resultados de la encuesta aplicada a los jefes de familia, que se ubican a ambos lados de la Ruta Alterna Sector "A". Encuestándose 44 familias (64.70%) de las 68 contabilizadas. A esta población se le preguntó: ¿Estaría usted de acuerdo con que la vía en mención se convierta en una ruta de travesía?

Obteniéndose una apoyo del 77 % de los encuestados.

Encuesta dirigida al Consejo Municipal

La población objetivo está constituida por 7 Regidores Propietarios y 7 Regidores Suplentes, encuestándose el 100% de población, se les preguntó: ¿Apoyaría usted desde el Concejo Municipal, que la ruta Alterna en mención se convirtiera en una ruta de travesía, siempre y cuando se diseñe el pavimento para las exigencias del tránsito pesado?. El 100% de los encuestados manifestaron su apoyo rotundo (véase Cuadro No. 25).

Análisis comparativo de las dos propuestas de diseño del pavimento desde el punto de vista económico

El proyecto se presentará a las autoridades municipales, quienes serán los responsables de aprobar la propuesta y buscar el financiamiento para su ejecución, la cual incluye expropiaciones y la construcción de la ruta.

El presente informe técnico plantea el inicio del proyecto para el año 2015, con el objetivo de que la Municipalidad de Paraíso disponga del tiempo necesario para la búsqueda del financiamiento.

La alternativa del pavimento flexible representa una inversión total de ¢1 164 822 960.00 para el año del inicio del proyecto. Cabe recordar que este monto de inversión incluye ¢202 365 185.00 que representa el recarpeteo o colocación de una carpeta asfáltica de 8 cm de espesor sobre el pavimento flexible proyectado para el año 2025.

(Véase Cuadros No. 28 y No. 29).

La alternativa del pavimento rígido (losa de concreto hidráulico) representa una inversión de ¢1 194 647 323.00 para el año 2015, fecha del inicio de proyecto. Este monto incluye el mantenimiento de las juntas transversales y longitudinales del pavimento. También se pretende cambiar los sellos de las juntas mencionadas en el año 2025, por un valor de ¢2 011 888.00 proyectado al año 2025.

(Véase Cuadros No. 30 y No. 31).

Al compararse económicamente las dos alternativas proyectadas al año 2015, se observa una diferencia significativa entre estas. El costo del pavimento rígido supera por ¢29 824 363.00 (al costo de la alternativa del pavimento flexible). Esta diferencia es muy significativa para las arcas municipales por lo que se recomienda la alternativa de la carpeta asfáltica.

Conclusiones

- El Proyecto Ruta Alternativa Sector "A", enlaza las Rutas Nacionales No. 224 y No. 10 respectivamente.
- El aforo practicado en la Ruta Nacional No. 224, específicamente en los Sectores Paraíso - Orosi y Paraíso - Cachí, arrojó un tránsito promedio diario (TPD) combinado de 3920, ubicándose la hora pico entre las 5:12 a.m. a las 6:12 a.m..
- Se proyectó que el 56.4% del tránsito promedio diario de la Ruta Nacional No. 224, serán los posibles usuarios de la ruta alternativa en estudio, representando un TPD de 2211,6.
- Para el cálculo de los ejes de equivalencia de 18 kips (ESAL's - por carril de tránsito) se consideraron los factores camión recomendados en el Oficio No. DVOP 5170-07 de fecha 10 de setiembre de 2007 remitido por parte del Despacho del Viceministro de Obras Públicas y Transportes Dr. Pedro L. Castro Fernández, Ph. D. y dirigido al Ing. Mario Campos, Funcionario de la Sub-Área de Geología y Materiales de esa institución. Se asumieron los máximos para el cálculo de los ejes equivalentes. El valor ESAL's por carril de tránsito calculado es de 6.386.935,32.
- Con base a los resultados obtenidos en el ensayo del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) sobre el posible eje de la subrasante, se estimó el valor del CBR de la misma. Considerándose el menor valor del CBR de la subrasante como factor de diseño de la ruta alternativa, valor estimado en un 5%.
- Los ensayos de identificación del suelo de la subrasante, arrojaron valores de Límite líquido (LL) entre 70 a 77 e Índice Plástico (IP) entre 38 a 45, valores superiores a los rangos mínimos empleados en la carta de clasificación del suelo según Método AASHTO. Según el análisis granulométrico, el porcentaje que pasa el tamiz nº 200 es mayor del 35 %, reflejando un suelo de alto contenido arcilloso y por ende, un suelo con características muy plásticas que permiten clasificarlo como suelo tipo A-7-5.
- Para efectos de diseño y dadas las características del suelo, se considerará la subrasante como una unidad de diseño ya que es un tramo de carretera cuyas características se pueden considerar uniformes.
- El Módulo de Resiliencia (Mr) de la subrasante no fue corregido por humedad, representa el valor del mes de marzo de 2008.
- Se recomienda resolver la fórmula matemática del diseño del pavimento que propone el Método AASHTO 1993, a través de métodos computarizados que brindan un resultado más preciso y lográndose la optimización del pavimento que posteriormente se traduce en eficiencia y economía.
- Propuesta de la alternativa 1, "Diseño del pavimento flexible, Método AASHTO, 1993 (Resulta la fórmula por medio de un sistema computarizado).

Diseño flexible:

- ✓ Carpeta asfáltica.....16 cm de espesor
 - ✓ Base granular.....20 cm de espesor
 - ✓ Subbase granular20 cm de espesor
- Propuesta de la alternativa 2, “Diseño del pavimento rígido (losa de concreto hidráulico f’C = 300 kg/cm²), Método AASHTO, 1993 (Resulta la fórmula por medio de un sistema computarizado).

Pavimento RIGIDO

- ✓ Losa de concreto sin reforzar 21 cm de espesor
 - ✓ Subbase granular 30 cm de espesor
- El diseño del sistema de evacuación de las aguas pluviales abarco un 100% de la ruta alterna, las aguas pluviales encausadas de los sectores: cementerio, costado sur del INVU y sector oeste del Barrio San Antonio, descargarán sus aguas en los colectores existentes y estos a su vez, evacuarán sobre el canal abierto ubicado en el costado sur de la vía.
 - Dadas las características urbanas de ubicación de la ruta alterna, la velocidad de diseño recomendada es de 40 kilómetros por hora.
 - El radio mínimo de las curvas horizontales en los giros de intersecciones serán de 30 m y la curva vertical de un 16% existente en el encadenamiento 0+ 848.10 se rediseña a un 9%.
 - Diseño geométrico de la ruta alterna, propuesta de los elementos que conformaran el derecho de vía:

Derecho de vía.....14.0 m

Acera1.80 m

Bordes y cuneta.....0.65 m

Ancho hombros.....0.90 m

Carril de circulación en un sentido.. 3.65 m

- La Municipalidad de Paraíso debe iniciar un proceso de expropiación de franjas de terreno paralelas a la vía en estudio. Se recomienda expropiar 550 m² a lo largo de la vía, lo cual permitirá una ampliación del derecho de vía a 14 m y además el aumento de los radios de giro en las curvas horizontales ubicados en los tramos de giro de las intercepciones.
- El 77% de los jefes de familia encuestados que habitan a ambos costados de la Ruta Alterna Sector “A”, dan su apoyo para convertir la ruta alterna en ruta de travesía.
- La encuesta aplicada a los Regidores Propietarios y Suplentes que conforman el Concejo Municipal de Paraíso en cuanto al apoyo que tendría el proyecto desde el Seno de este Ente Colegiado fue del 100%.
- El ente responsable de aprobar el proyecto y buscar el financiamiento para su ejecución, sería la Municipalidad de Paraíso, proyectándose el año 2015 como fecha de inicio del proyecto.
- Se estima que la alternativa del pavimento flexible necesitará un recarpeteo para el año 2025, se proyecta colocar una carpeta asfáltica de 8 cm de espesor sobre la existente.
- Para la alternativa del pavimento rígido se proyecta cambiar las protecciones de las juntas longitudinales de contracción y juntas transversales de construcción, colocando un nuevo sello en las juntas utilizando asfalto AC-30, trabajo proyectado para el año 2025.
- Los costos estimados de las alternativas de diseño del proyecto, están

proyectados al año 2015, posible año de reconstrucción de la Ruta Alternativa Sector "A":

Costo de la alternativa 1, del pavimento flexible ¢ 1 164 822 960.00 (\$ 2 588 495.00)

Costo de la Alternativa 2, del pavimento rígido (losa de concreto hidráulico) ¢ 1 194 647 323.00 (\$ 2 654 772).

- Al compararse económicamente las dos alternativas, se observa una diferencia significativa entre ellas, el costo del pavimento rígido supera por ¢29 824 363.00 (\$ 66 277.0) al costo de la alternativa del pavimento flexible. Esta diferencia es muy significativa para las arcas municipales por lo que se recomienda la alternativa de la carpeta asfáltica.

Apéndices

Apéndice 1

Registro de datos del PCD, Mazo de 8 kg.

Fuente: Datos de campo obtenidos por el Técnico de GTZ Miguel Arroyo y el Estudiante José Francisco Madrigal Morales.

Apéndice 2

Encuesta de opinión dirigida a los distintos miembros de los partidos políticos que conforman el Concejo Municipal (Regidores Propietarios y Suplentes) del Cantón de Paraíso.

Encuesta dirigida a los vecinos que habitan la periferia de la Ruta Alternativa Sector "A".

Fuente: Encuestas elaboradas y aplicadas por el Estudiante José Francisco Madrigal Morales.

Apéndice 3

1. Hoja que muestra la optimización del diseño del pavimento flexible, Método AASHTO, 1993, en la cual se utilizó un método computarizado para resolver la ecuación de diseño.

Fuente: Programa modificado por el Ing. Mario Campos, Funcionario del MOPT.

2. Hoja que muestra la optimización del diseño del pavimento rígido (losa de concreto hidráulico), Método AASHTO, 1993, en la cual se utilizó un método computarizado para resolver la ecuación de diseño

Fuente: Método computarizado para resolver la ecuación de diseño CEMEX CONCRETOS.

Apéndice 4

Tabla que muestra la memoria de cálculo de las curvas verticales.

Fuente: Estudiante José Francisco Madrigal Morales.

Apéndice 5

Planos constructivos del diseño geométrico de la ruta alternativa en estudio en los que se muestra:

- 1) Diseño de las curvas horizontales y verticales así como la ampliación del derecho de vía de la ruta alternativa.
- 2) Diseño del sistema de alcantarillado pluvial y un corte típico del diseño del pavimento.

Fuente: Estudiante José Francisco Madrigal Morales.

Apéndice 6

Informes de los ensayos de la determinación de los límites de consistencia, específicamente límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice plástico (IP), de las muestras de suelo de la subrasante, ruta alternativa sector "A"

Fuente: CIVCO y laboratorio Castro & de la Torre

ANEXOS

Anexo 1

Esquema del Penetrómetro Dinámico de Cono (CDP).

Fuente: Miguel Arroyo, Técnico de GTZ.

Anexo 2

Especificaciones de tubería de concreto.

Fuente: Ficha técnica de Productos de Concreto (PC) Empresa Holcim (Costa Rica) S.A.

Anexo 3

1. Grafico: Intensidad-Duración-Frecuencia para la provincia de Cartago.

Fuente: Dr. Wilhelm Varson, Lic. Marvin Alfaro Sánchez y la Ing. Iliana Ararúz Beita. Universidad Nacional. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

2. Tabla 15.11

Coefficiente de esorrentía para ser usado en el método racional.

Fuente: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la Ciudad de Austin, Texas

Anexo 4

1. Nomograma AASHTO, 1993. Diseño de pavimentos rígidos, (losa de concreto hidráulica).

2. Nomograma AASHTO, 1993. Diseño de número estructural.

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos AASHTO, 1993

Anexo 5

Oficio No. DVOP 5170-07 de fecha 10 de setiembre de 2007 emitido por parte del Despacho del Viceministro de Obras Públicas y Transportes Dr. Pedro L. Castro Fernández, Ph. D. y dirigido al Ing. Mario Campos, Funcionario de la Sub-Área de Geología y Materiales de esa institución, referente a los factores camión para el diseño estructural del pavimento.

Referencias Bibliográficas

Libros

Umaña Miguel. 1991. *Trazo y Diseño Geométrico de Vías*. Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, CCC/BUCE – 246.

Drive Park. *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas de Asfáltica en Calientes*. Estados Unidos. Asphalt Institute, Serie de Manual No. 22. (MS-22).

Dujisin Dusan. 1996. *Diseño de Pavimentos de Hormigón*. Chile. Instituto Chileno del Cemento y Hormigón, publicación Especial No. 17.

Gómez Miguel. 1998. *Elementos de Estadística Descriptiva*. Costa Rica. Editorial UNED.

Márquez José. 2006. *Mecánica de Suelos y Estudios Geológicos en Obras de Ingeniería*. Costa Rica.

Rendón Rodrigo. 2002. *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala. Proyecto USAID/SIECA N° 0596-0184.20.

Murgueitio Ruiz Ingenieros LTD. 1997. *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías de Bajo Volumen de Tránsito*. Colombia. Ministerio de Tránsito, Instituto Nacional de Vías. Oficina de Investigación y Desarrollo.

Tuesen H.G., Fabrycky W.J, G.J. Thuesen. 1986. *Ingeniería Económica*. México. Editorial Prentice-Hall Hispanoamérica S.A..

Informes técnicos

Ramírez Ramón. 2006. *Estudio del comportamiento del cauce de la quebrada sin nombre al sur del Proyecto Urbanístico La Jungla Paraíso*. Costa Rica. DEHC.S. C - 557211-99.

Rosales Elías. 2007. *Diseño de alcantarilla del paso de carretera y primer tramo siguiente para conducir la Quebrada Púcares, Llanos de Santa Lucía Paraíso*. Costa Rica.

Van Patten Randall. 2004. *Estudio Hidrológico, ubicación de pozo para la extracción de agua y definición de radio mínimo de retiro Paraíso*. Costa Rica. DEHC.S. .GP-1220-04.

Notas

Apuntes de Clase:

Madrigal Michael. 2006. Curso de Pavimento, Ingeniería Civil, temas: Análisis Estructural del Pavimento, Diseño de Pavimentos Rígidos. Costa Rica. Universidad Latina.

Madrigal José. 2005. Curso Carreteras II, Ingeniería en Construcción. Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cemex Concretos. Nota: Método de Diseño AASHTO para diseño de pavimentos rígidos, Capítulo 24.

ICCYC. 2006. Consideraciones de diseño y construcciones de pavimentos para calles, caminos y carreteras. Área de Infraestructura Vial. Costa Rica.

Reglamentos

Reglamento de Circulación para carreteras con base al peso de dimensiones de los vehículos de carga No. 31363-MOPT.

Alcance No. 8 de la Gaceta No. 55, Reglamento del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Acuerdo N° 2006-730.