



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



programa de infraestructura
del transporte

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe No. LM-PI-GM-01-2014

Asesoría técnica para realización de estudios preliminares y diseño de pavimentos para 10 km de vías en Bijagua, Upala.

Preparado por:

Unidad de Gestión Municipal



Municipalidad de Upala

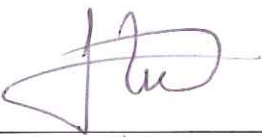
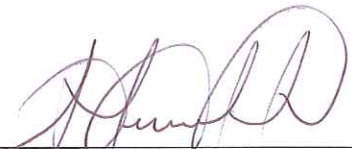
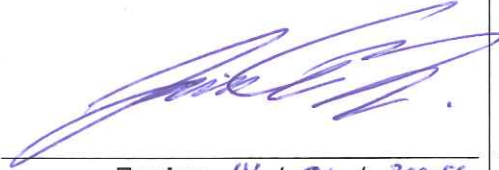

16 ENE 2014
[Signature]
Asistente de Alcaldía

[Signature]
16-1-2014
[Signature]
16-1-2014

San José, Costa Rica
Enero, 2014

Documento generado con base en el Art. 6, inciso j) de la Ley 8114 según la reforma aprobada en la Ley 8603. Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT
Preparado por: Unidad de Gestión Municipal del PITRA-LanammeUCR
alonso.ulate@ucr.ac.cr



1. Informe LM-PI-GM-01-2014		2. Copia No. 2
3. Título y subtítulo: ASESORÍA TÉCNICA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS PRELIMINARES Y DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA 10 KM DE VÍAS EN BIJAGUA, UPALA.		4. Fecha del Informe Enero, 2014
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <p>La Municipalidad de Upala solicitó la asesoría técnica para la realización de estudios preliminares y diseño de las estructuras de pavimento para 10km de las vías de los cuadrantes de Bijagua, Upala. La Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR respondió a esta solicitud y realizó actividades de recolección de datos como: inventario de vías, conteos vehiculares, sondeos a cielo abierto, ensayos de CBR en sitio y muestreo de materiales granulares y suelos existentes para realizar ensayos de laboratorio. A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio se procedió a establecer una clasificación funcional de las vías (primarias, secundarias y terciarias), diseñar las estructuras de pavimentos, proponer secciones transversales típicas y estructuras de drenaje pluvial. Se diseñaron dos opciones generales de pavimento: flexible y semirrígido con cuatro estructuras en cada caso dependiendo de la clasificación o jerarquía de las vías. Adicionalmente, se inspeccionaron los puentes de la zona y se estableció un diagnóstico general de su condición funcional y estructural.</p>		
10. Palabras clave Asesoría técnica, estudios preliminares, diseño de pavimentos, Bijagua, Upala	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 46
13. Preparado por: Ing. Alonso Ulate Castillo Ingeniero Civil, UGM  Fecha: 14 / 01 / 2014		
14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR  Fecha: / /		
15. Aprobado por: Ing. Jaime Allen Monge, M.Sc Coordinador Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 14 / 01 / 2014		
15. Aprobado por: Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc Director del LanammeUCR  Fecha: 15 / 01 / 2014		



Índice

1.	Introducción.....	6
2.	Ubicación.....	7
3.	Alcance.....	8
4.	Limitaciones.....	9
5.	Metodología.....	10
6.	Información de campo.....	12
6.1	Inventario de vías.....	12
6.2	Conteos vehiculares.....	15
6.3	Sondeos a cielo abierto y muestreo.....	16
6.4	Inspección de puentes.....	18
7.	Análisis de datos y resultados.....	20
7.1	Tránsito y cargas vehiculares.....	20
7.2	Clasificación funcional de vías.....	21
7.3	Materiales existentes.....	23
7.4	Sondeos a cielo abierto y CBR en sitio.....	26
8.	Solución propuesta.....	27
8.1	Diseño de pavimentos.....	27
8.2	Intervención recomendada.....	34
8.3	Secciones transversales.....	38
8.4	Drenajes.....	40
8.5	Condición de los puentes.....	42
9.	Conclusiones.....	43
10.	Recomendaciones.....	44
11.	Referencias bibliográficas.....	45
12.	Anexos.....	46

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	7
Figura 2. Esquema metodológico.	11
Figura 3. Calles analizadas durante la ejecución del diagnóstico de Bijagua.	13
Figura 4. Ubicación de los conteos vehiculares.	15
Figura 5. Instalación de contadores de tipo neumático y radar utilizados en Bijagua.	16
Figura 6. Ubicación de sondeos a cielo abierto.	17
Figura 7. Proceso de excavación de los sondeos a cielo abierto.	17
Figura 8. Ubicación de puentes y vado evaluados en Bijagua.	19
Figura 9. Puentes y vado evaluados en Bijagua.	19
Figura 10. Jerarquía asignada a cada vía.	22
Figura 11. Estructuras de pavimento flexible (Opción 1).	32
Figura 12. Estructuras de pavimento semirrígido (Opción 2).	32
Figura 13. Sección transversal ST-1.	38
Figura 14. Sección transversal ST-2.	39
Figura 15. Sección transversal ST-3.	39
Figura 16. Sección transversal ST-4.	39
Figura 17. Mapa de secciones transversales.	40
Figura 18. Detalle de cuneta revestida.	41
Figura 19. Detalle de cordón y caño.	41

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios de evaluación visual para la superficie de ruedo.	14
Tabla 2. Resumen de las muestras de grava y suelo.....	18
Tabla 3. Tránsito y clasificación vehicular estimada por medio de los conteos.	21
Tabla 4. Cargas vehiculares estimadas a partir de los conteos vehiculares.	21
Tabla 5. Rangos de ESAL diseño para clasificación funcional de las vías.	22
Tabla 6. Resultados de los ensayos realizados a los suelos.	23
Tabla 7. Evaluación de materiales granulares existentes como subbase granular.....	24
Tabla 8. Evaluación de materiales granulares existentes como base granular.....	25
Tabla 9. Tipos de material existente, espesores y CBR en sitio para cada sondeo.....	26
Tabla 10. Variables de diseño para AASHTO 93.	27
Tabla 11. Especificaciones generales de los materiales utilizados en el diseño.....	28
Tabla 12. Estructuras de pavimento flexible (Opción 1).....	30
Tabla 13. Estructuras de pavimento semirrígido (Opción 2).	31
Tabla 14. Evaluación de desempeño para las estructuras de pavimento flexible.....	33
Tabla 15. Evaluación de desempeño para las estructuras de pavimento semirrígido.	33
Tabla 16. Intervención recomendada para la construcción de pavimento flexible.	34
Tabla 17. Intervención recomendada para la construcción de pavimento flexible (continuación).	35
Tabla 18. Intervención recomendada para la construcción de pavimento semirrígido.....	36
Tabla 19. Intervención recomendada para la construcción de pavimento semirrígido (continuación).	37
Tabla 20. Resumen de hallazgos del proceso de inspección de los puentes y vado.....	42

1. Introducción

En el mes de setiembre del año 2012 la Municipalidad de Upala y la Universidad de Costa Rica, a través del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), formalizaron un Convenio Marco de Cooperación con el propósito de fortalecer los procesos de gestión vial municipal, mediante la ejecución de actividades de asesoría técnica, transferencia de tecnología y capacitación.

En el marco de este convenio la Municipalidad de Upala solicitó la asesoría técnica del LanammeUCR para realizar los estudios preliminares y el diseño del asfaltado de aproximadamente 10 km de calles en los cuadrantes de Bijagua, Upala.

La Unidad de Gestión Municipal del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR realizó los trabajos de asesoría solicitados por la municipalidad, cuyos resultados se presentan en este informe.

Los resultados de esta asesoría servirán de insumo a la Unidad Técnica de Gestión Vial (UTGV) de la Municipalidad de Upala para realizar la definición técnica y financiera del proyecto de asfaltado de las calles de Bijagua.

2. Ubicación

El estudio se ubicó en el distrito de Bijagua, Cantón de Upala, provincia de Alajuela y comprendió aproximadamente 10 km de calles ubicadas en los cuadrantes de la localidad. La Figura 1 muestra la ubicación de este sector.

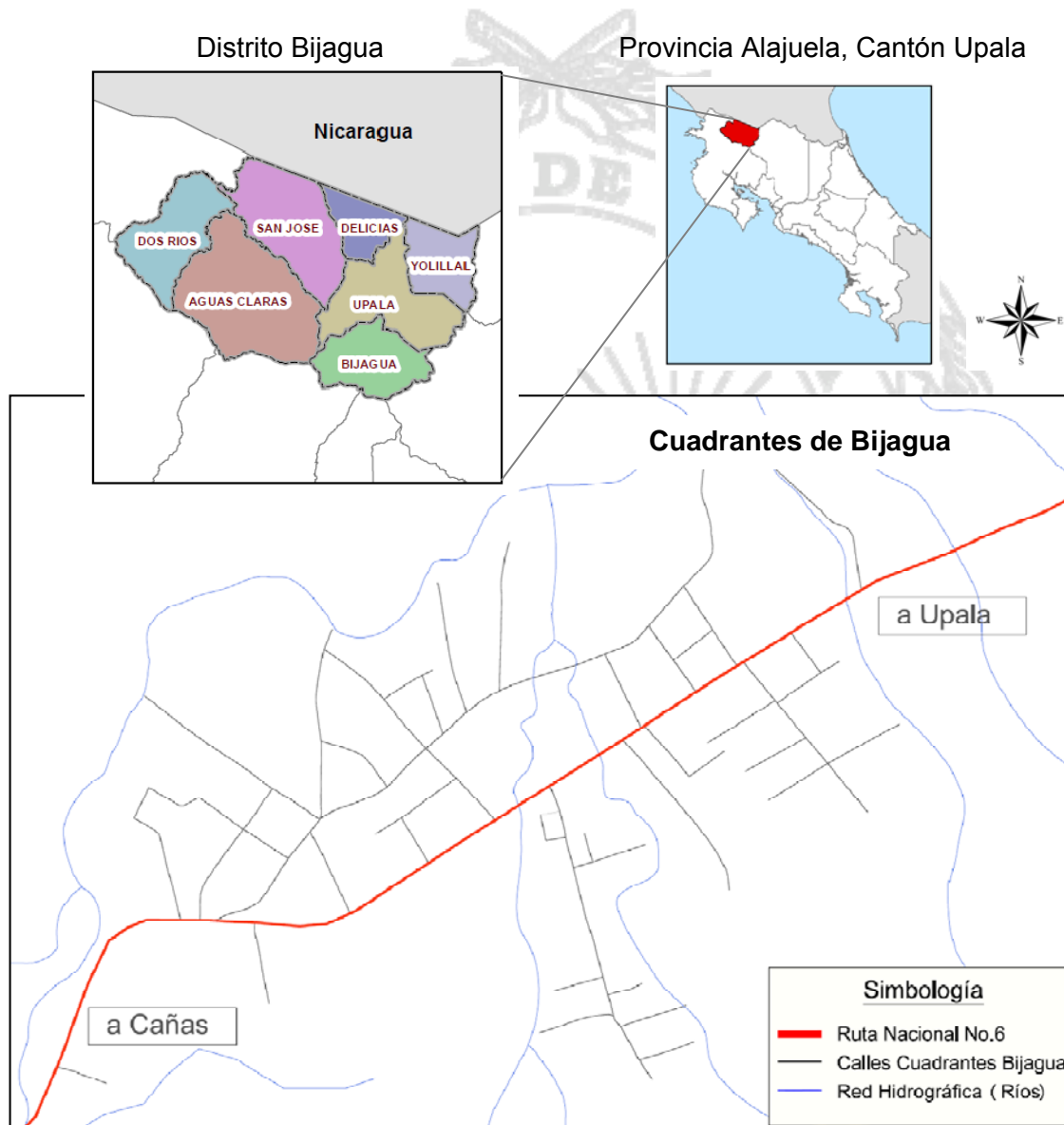


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

3. Alcance

- El estudio corresponde a aproximadamente 10 km de calles de los cuadrantes de la localidad de Bijagua de Upala, las cuales fueron seleccionadas por la UTGV de la Municipalidad de Upala.
- La ubicación, cantidad y tipo de pruebas de campo, muestreo de materiales y los ensayos de laboratorio realizados fueron definidos por la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR.
- Las pruebas de campo y ensayos de laboratorio se realizaron siguiendo las normas y procedimientos ASTM o AASHTO aplicables a cada caso como se indica en cada uno de los informes adjuntos.
- Las soluciones propuestas son aplicables exclusivamente para la zona de estudio indicada en la ubicación de este informe, ya que se ajustan a los resultados del análisis realizado para los cuadrantes de Bijagua específicamente.
- Las soluciones propuestas son diseños preliminares que constituyen una recomendación acerca de las condiciones mínimas que se deben seguir a la hora de generar el diseño de la solución final y posterior proceso constructivo, ya que un diseño final deberá incluir planos constructivos y especificaciones técnicas detalladas.
- Las soluciones propuestas se ajustan a las solicitudes de tránsito, cargas vehiculares y características de los materiales encontrados en el sitio o que sea necesario incorporar, de acuerdo a los resultados de los ensayos de campo y laboratorio según se indique.
- Se asume que luego de planteado el diseño final, la fase constructiva se ejecutará de manera continua y sin interrupciones, cumpliendo con las especificaciones indicadas para los materiales y procesos constructivos así como la aplicación de buenas prácticas de ingeniería para que se cumplan los supuestos realizados en la etapa de diseño.

4. Limitaciones

- Los ensayos de campo y laboratorio efectuados para las muestras de suelos y materiales granulares del sitio, se ajustan a los requerimientos mínimos de estudios preliminares para este tipo de vías, clasificadas como vecinales
- El inventario de vías, ensayos de campo y el muestreo de materiales para analizar en el laboratorio se realizaron entre mayo y julio de 2013, lo cual excluye las condiciones inducidas por la época lluviosa de la zona.
- El diseño preliminar de las estructuras de pavimento se realizó por medio de la metodología de diseño AASHTO 93, la cual no fue concebida bajo las condiciones ambientales, de tránsito y características de los materiales particulares de Costa Rica.
- El diseño preliminar de secciones transversales se realizó bajo la información recolectada por medio del inventario de vías donde se midieron anchos de calzada y superficie de ruedo existentes en sitio, sin embargo deberá ser confirmado por parte de la UTGV de la Municipalidad de Upala con el departamento de ordenamiento territorial y catastro correspondiente.
- La propuesta de mejoramiento de los drenajes pluviales por medio de cunetas revestidas y pasos de alcantarilla, se realizó en base a la condición funcional de estas estructuras identificada durante el inventario de vías, sin embargo deberán realizarse un estudio hidrológico que confirme su capacidad hidráulica.

5. Metodología

El estudio se llevó a cabo siguiendo una secuencia lógica de tres etapas: (a) recolección de información de campo, seguida de (b) procesamiento de datos de campo, ensayos de laboratorio y análisis de resultados, para finalizar con (c) elaboración de la solución propuesta, lo cual se observa en la Figura 2.

La recolección de información de campo fue realizada por personal profesional y técnico del LanammeUCR, quien efectuó visitas a la zona entre mayo y julio de 2013. El trabajo de campo comprendió la realización de un inventario detallado de las vías, para conocer sus características y condición actual. También se realizó conteos vehiculares automáticos para medir el tránsito vehicular y estimar las cargas inducidas por el tránsito en las estructuras de pavimento. Además, se realizaron sondeos a cielo abierto para medir espesores, caracterizar los materiales de las estructuras de pavimento, muestras de los materiales existentes para su análisis en el laboratorio y mediciones de la capacidad de soporte CBR en sitio del suelo.

El procesamiento de información se llevó a cabo luego de terminadas las actividades de la etapa anterior. Esta etapa se basó en la categorización y las características funcionales y estructurales de las vías. Los ensayos de laboratorio realizados a los materiales muestreados se realizaron siguiendo las normas y procedimientos correspondientes para cada caso. Seguidamente, se analizó la información obtenida tanto en el campo como en el laboratorio en busca de la solución más adecuada desde el punto de vista técnico y de acuerdo a los recursos disponibles en la zona.

La solución propuesta corresponde con las condiciones mínimas que se deben respetar durante la etapa de diseño final y posterior proceso constructivo para garantizar la funcionalidad y durabilidad de la infraestructura. Los productos finales incluyen el diseño preliminar de las estructuras de pavimento, secciones transversales típicas y una propuesta de mejoramiento para las estructuras de drenaje pluvial (cunetas y cordón y caño). Se establece especificaciones técnicas aplicables a los materiales y procesos constructivos para ser tomados como términos de referencia y criterios mínimos tanto para el diseño final como la etapa de construcción siguiente.

Finalmente, la información recabada durante el proceso de evaluación y los productos finales obtenidos se incluyen en una base de datos SIG (sistema de información geográfica) de manera que la información sea de fácil acceso y consulta.

La Figura 2 muestra el esquema que resume la metodología aplicada al estudio realizado en la zona de Bijagua de Upala.



Figura 2. Esquema metodológico.

6. Información de campo

La recolección de información de campo se realizó entre mayo y junio del 2013. Este proceso fue ejecutado por personal profesional y técnico de la Unidad de Gestión Municipal del LanammeUCR con la colaboración de personal de la UTGV de la Municipalidad de Upala y apoyo de vecinos de la Asociación de Desarrollo de Bijagua.

La zona de estudio fue dividida en los sectores norte y sector sur limitados por la Ruta Nacional No.6. Se le asignó un código consecutivo alfa numérico a cada calle en ambos sectores, lo cual fue definido por la UTGV de la Municipalidad de Upala. En total, se analizaron 37 caminos para un total de 9,95 km.

Las actividades realizadas para la recolección de información de campo fueron las siguientes: verificación del inventarios de vías previamente realizado por la UTGV de Upala, conteos vehiculares, sondeos a cielo abierto e inspección de puentes, las cuales se describen con mayor detalle a continuación.

6.1 Inventario de vías

El inventario de vías previamente realizado por la UTGV de la Municipalidad de Upala fue verificado y actualizado durante el proceso de recolección de información de campo por parte del personal del LanammeUCR en compañía de funcionarios de la UTGV de la Municipalidad de Upala y vecinos de la Asociación de Desarrollo de Bijagua.

Se recorrieron las vías para reunir la siguiente información en cada una de las calles de los cuadrantes de Bijagua que se muestran en la figura 3:

- a) Longitud, ancho de calzada y derecho de vía.
- b) Tipo y condición generalizada de la superficie de ruedo.
- c) Inventario de pasos de alcantarilla y sus dimensiones (longitud, diámetro y condición generalizada).
- d) Ubicación con GPS.
- e) Archivo fotográfico.

El inventario de las vías se realizó en la dirección de recorrido indicada en el mapa que se muestra en la figura 3 y en el mapa del Anexo 1. Además, la identificación del tipo de superficie de ruedo existente se muestra en el mapa del Anexo 2.

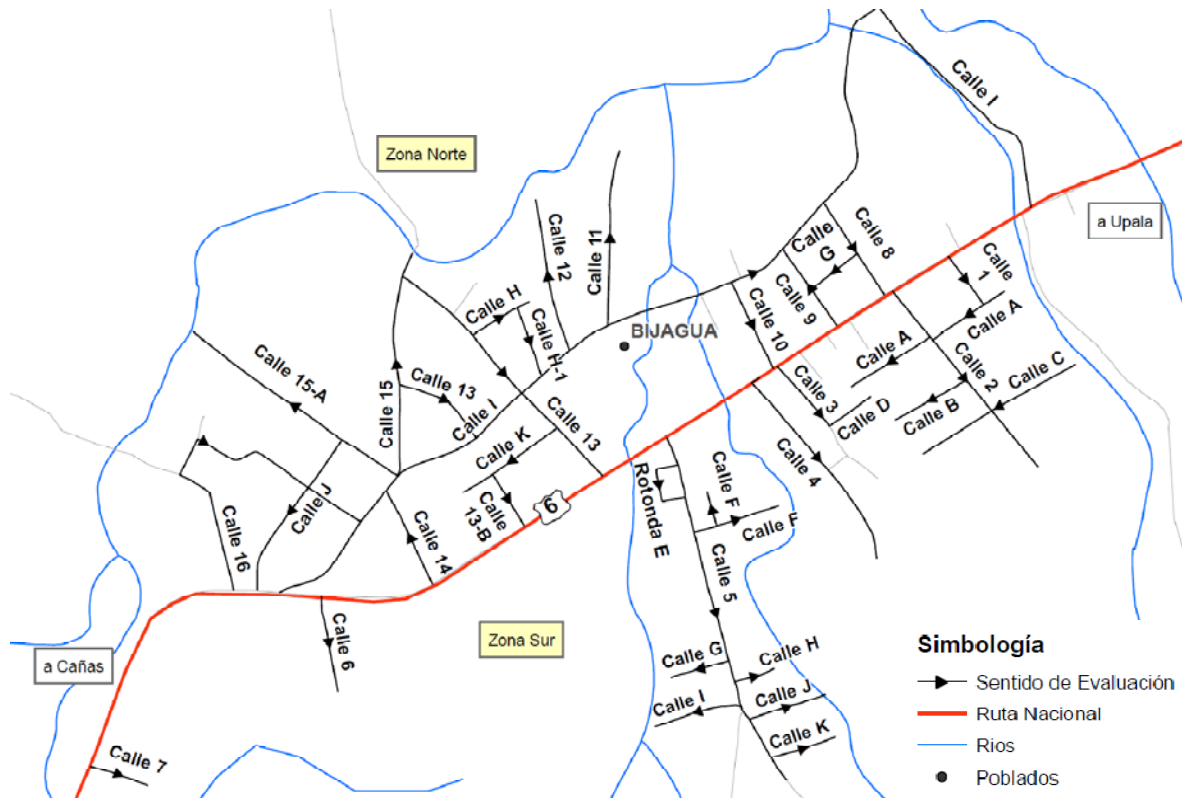


Figura 3. Calles analizadas durante la ejecución del diagnóstico de Bijagua.

La condición generalizada de la superficie de ruedo fue establecida por medio de los criterios de evaluación visual indicados en la tabla 1.

Los formularios de inventario donde se muestra toda la información de campo recolectada y el archivo fotográfico de cada calle de acuerdo a la codificación antes mencionada se encuentran en el Anexo 13 (disco con información digital).

Tabla 1. Criterios de evaluación visual para la superficie de ruedo.

Tipo de superficie de ruedo	Bueno	Regular	Malo	Pésima
Carpeta Asfáltica (CA) o Tratamiento superficial Bituminoso (TSB)	Superficie de ruedo sin grietas, huecos ni deformaciones.	Daño de la superficie de ruedo en menos del 30% del área con deterioros leves y regulares como grietas, huecos, deformaciones, desnudamiento y erosión de bordes.	Daño de la superficie de ruedo en más del 30% del área con deterioros regulares y severos como grietas, piel de lagarto huecos, deformaciones, desnudamiento y erosión de bordes.	Daño generalizado de la superficie de ruedo en más del 50% del área con deterioros severos como grietas, piel de lagarto, huecos, deformaciones, desnudamiento y erosión de bordes.
Granular (Grava)	Material seleccionado, sin sobre-tamaños. Agregado triturado. No presenta huecos, ni deformaciones, buena conformación y compactación (4-6% bombeo)	Material sin seleccionar (grava de río o cantera con sobre-tamaños). Se observa material suelto en algunas zonas, leves deformaciones y corrugaciones.	Material no seleccionado con mucho sobre-tamaño. Material suelto sin compactación. Se observan deterioros como deformaciones, corrugaciones y huecos en más de 30% del área.	Superficie de ruedo de grava con sobre tamaño, severamente deteriorada y suelta, con muchas deformaciones, corrugaciones y huecos en más del 50% del área.

6.2 Conteos vehiculares

El tránsito vehicular se midió por medio de conteos automáticos tanto en vías asfaltadas como de grava. A partir de visitas previas y observando la dinámica vehicular en sitio se eligió la ubicación donde se consideró que se podrían obtener las mediciones más representativas en cuanto a volúmenes y distribución vehicular. La ubicación de los conteos vehiculares se puede observar en la figura 4 y el mapa correspondiente se encuentra en el Anexo 3.

Se realizó un total de 11 conteos vehiculares durante periodos de al menos 24 horas continuas. Se realizaron seis conteos con equipo neumático (de mangueras) para los puntos ubicados en vías con superficie de ruedo asfáltica y cinco conteos con equipo tipo radar para los conteos ubicados en las vías de superficie granular. La figura 5 muestra ambos tipos de conteos y la forma en la que se colocaron en sitio.

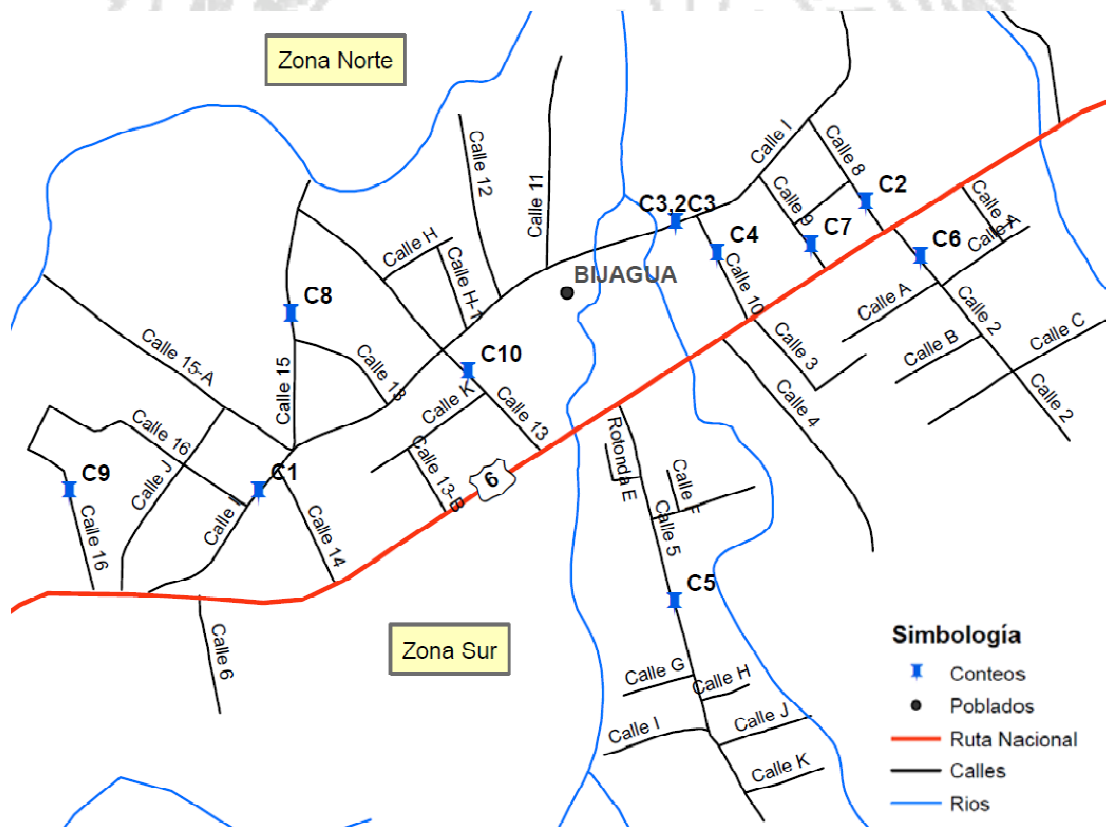


Figura 4. Ubicación de los conteos vehiculares.



Figura 5. Instalación de contadores de tipo neumático y radar utilizados en Bijagua.

6.3 Sondeos a cielo abierto y muestreo

Se realizaron calcatas o sondeos a cielo abierto en varios puntos de la red vial de Bijagua para inspeccionar las estructuras de pavimentos existentes en la zona. Los sondeos fueron excavados de 1 m de ancho por 1 m de longitud y profundidad variable dependiendo de las condiciones del sitio hasta llegar al nivel de suelo. Se midieron los espesores de las capas de pavimento existentes, se caracterizaron los materiales existentes, se tomaron muestras para analizar en el laboratorio y se midió la capacidad de soporte del suelo (CBR en sitio) por medio del anillo de carga manual. Lo anterior se puede observar en la Figura 6.

Los sondeos se ubicaron en sitios variados de acuerdo con la condición y tipo de superficie de ruedo observada durante el inventario de las vías, esto para obtener información representativa para analizar en el laboratorio y posteriormente utilizar como datos de entrada en los diseños y formulación de la solución propuesta. La ubicación de los 13 sondeos realizados se muestra en la figura 6 y en el mapa del Anexo 4. El proceso de excavación de los sondeos se documentó por medio de formularios donde se detalla la información recolectada, los cuales se muestran en el Anexo 5.

Se recolectaron muestras de los materiales granulares existentes (grava) y suelo en los sondeos realizados para ser caracterizadas en el laboratorio y evaluar sus propiedades físicas como materiales para estructura de pavimento. La Tabla 2 resume las muestras de material realizadas en cada sondeo a cielo abierto.

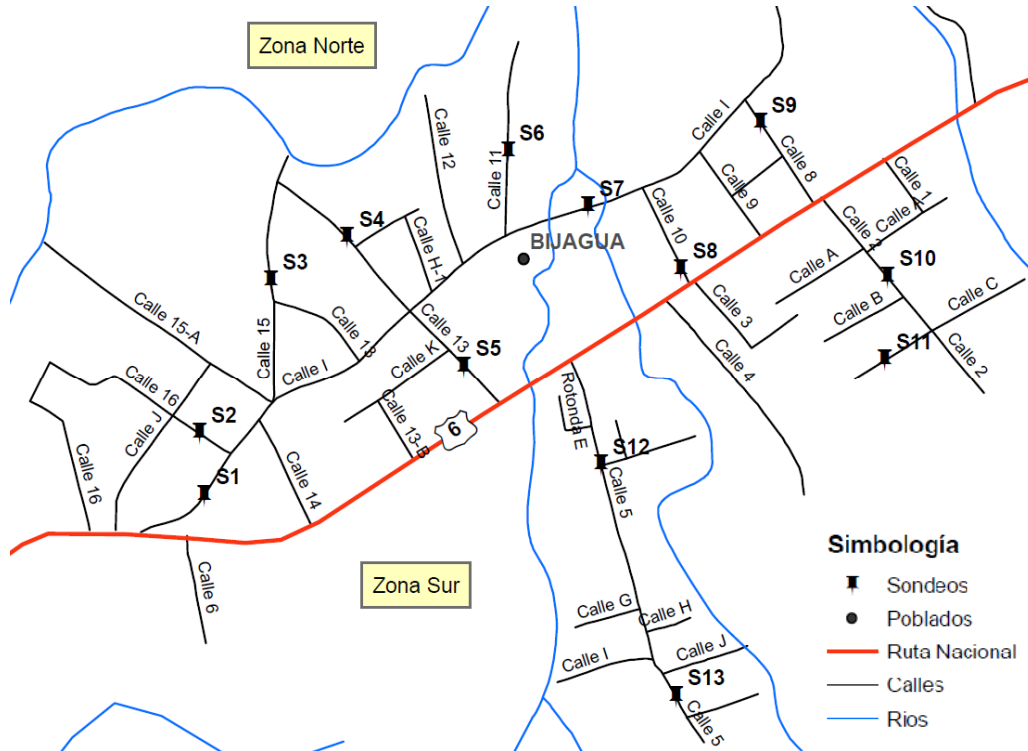


Figura 6. Ubicación de sondes a cielo abierto.



Figura 7. Proceso de excavación de los sondes a cielo abierto.

Tabla 2. Resumen de las muestras de grava y suelo.

Sondeo	Muestreo
1	Grava de superficie de ruedo
2	Suelo (subrasante), Grava de superficie de ruedo
3	Suelo (subrasante)
5	Suelo (subrasante)
6	Suelo (subrasante)
7	Grava de superficie de ruedo, Suelo (subrasante)
8	Suelo (subrasante)
10	Suelo (subrasante)
12	Grava de superficie de ruedo, Suelo (subrasante)
13	Grava de superficie de ruedo

6.4 Inspección de puentes

Los puentes son los encargados de dar continuidad a la red en los puntos donde ésta se cruza con los cuerpos naturales de agua como ríos, quebradas, humedales y otros, por lo tanto son estructuras de suma importancia en la red vial, cuya condición debe ser monitoreada para evitar su falla, la cual puede producir interrupciones en el tránsito vehicular normal y más importante constituye un riesgo para los usuarios.

En vista de lo anterior y de la importancia de los puentes en los cuadrantes de Bijagua, se realizó una evaluación de la condición de tres puentes y un vado por medio de la metodología oficial de la Dirección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). La figura 8 muestra el mapa de ubicación de las estructuras evaluadas que también se encuentra en el mapa del Anexo 6. La figura 9 muestra una foto de cada unas de estas estructuras. Los formularios de inspección e inventario elaborados se encuentra en el Anexo 7.

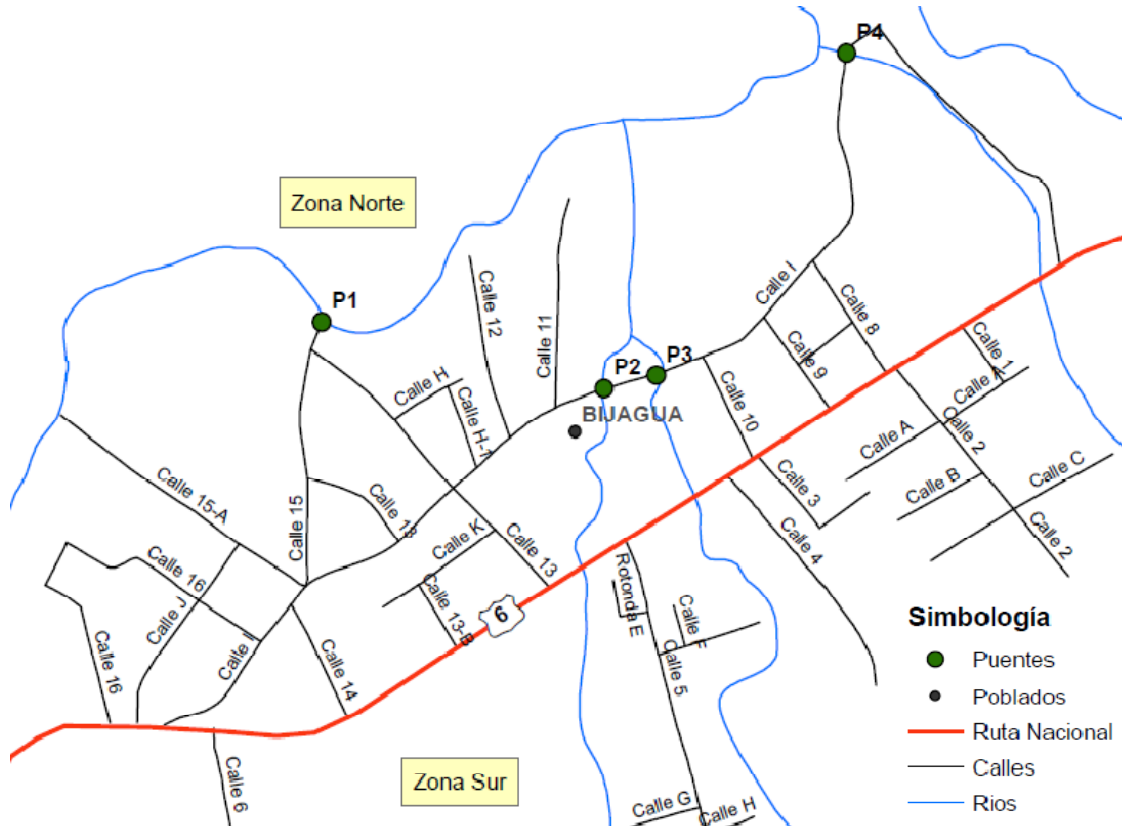


Figura 8. Ubicación de puentes y vado evaluados en Bijagua.

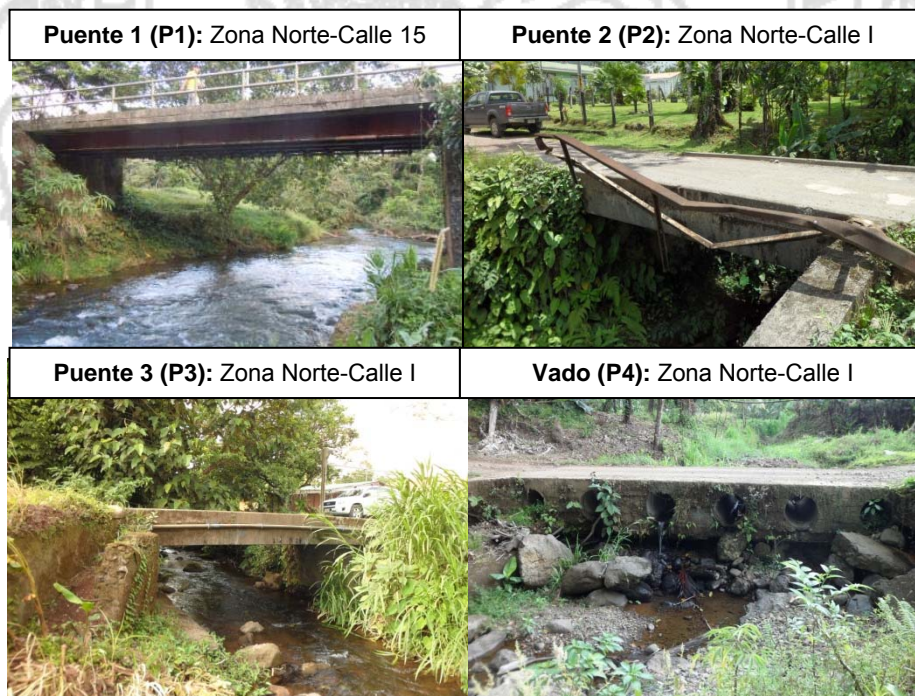


Figura 9. Puentes y vado evaluados en Bijagua.

7. Análisis de datos y resultados

La información reunida durante el trabajo de campo se procesó en la oficina y se realizaron ensayos en el laboratorio a los materiales muestreados para analizar las condiciones de tránsito, geometría de las vías (longitud y anchos), las estructuras de pavimentos y materiales existentes en el sitio. A partir de esta información se elaboraron los diseños preliminares de las estructuras de pavimentos y secciones transversales típicas.

A continuación se resumen los resultados obtenidos a partir de la información de campo recabada y del procesamiento indicado.

7.1 Tránsito y cargas vehiculares

Los conteos vehiculares automáticos se realizaron en las ubicaciones antes indicadas durante períodos de al menos 24 horas continuas. Para obtener los parámetros de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) se utilizó factores de expansión diaria correspondientes a la estación de conteo ubicada en Río Chiquito, Upala, lo cuales se indican en el Anuario de Información de Tránsito 2013 de la Dirección de Planificación Sectorial del MOPT. Los TPDA y la clasificación vehicular del tránsito obtenida por medio de los conteos automáticos en cada sitio se muestran en la tabla 3.

Luego, se procedió a calcular las cargas vehiculares a las cuales son sometidas las estructuras de pavimento: ESAL de diseño proyectado a 10, 15 y 20 años, cuyo resultado se observa en la tabla 4.

Los factores camión utilizados corresponden a los indicados en el Oficio DVOP-5170-07 de setiembre de 2007 emitido por el Despacho del Viceministro del MOPT.

Tabla 3. Tránsito y clasificación vehicular estimada por medio de los conteos.

Conteo	TPDa (2013)	Clasificación Vehicular (%)				
		Liviano	Pick-Up	Bus, C2	C3	T3-S2
1	443	96.5	0	4.20	0.25	0.45
2	269	97.75	0	1.5	0.75	0
3	286	96.75	0	2.5	0.75	0
3.2*	454	94	0	5.5	0.25	0.25
4	317	90.5	0	8	1	0.5
5	929	0	98.5	1	0	0.5
6	77	0	100	0	0	0
7	148	91.9	0	7.4	0.7	0
8	61	0	85	0	15	0
9	59	0	100	0	0	0
10	209	0	97	0	3	0

Tabla 4. Cargas vehiculares estimadas a partir de los conteos vehiculares.

Conteo	ESAL diseño		
	10 años	15 años	20 años
1	110 745	184 699	274 675
2	29 326	48 909	72 735
3	45 118	75 247	111 903
3.2*	142 200	237 159	352 690
4	148 218	247 196	367 618
5	96 015	160 132	238 140
6	2 331	3 888	5 782
7	61 848	103 149	153 399
8	31 933	53 258	79 202
9	1 779	2 967	4 413
10	26 534	44 254	65 812

* Conteo adicional realizado en la misma ubicación que conteo 3.

7.2 Clasificación funcional de vías

El tránsito vehicular fue analizado en cada una de las vías de los cuadrantes de Bijagua por medio de la información de tránsito, clasificación y cargas vehiculares estimadas, lo cual permitió establecer una clasificación funcional para cada vía de manera jerárquica en: vías primarias, secundarias y terciarias dentro de la zona de estudio. Lo anterior fue consultado con la UTGV de la Municipalidad de Upala y confirmado por medio de observaciones en sitio.

El período de diseño escogido para las condiciones de las vías de los cuadrantes de Bijagua, considerando las recomendaciones de la guía AASHTO 93 fue de 15 años. De esta manera, se utilizaron los valores estimados de ESAL diseño a 15 años para establecer rangos de estos valores a los cuales se les asignara una categoría de clasificación funcional como se observa en la tabla 5. La figura 10 y el mapa del Anexo 8 muestran como se clasificaron las vías en cada una de las categorías definidas.

Tabla 5. Rangos de ESAL diseño para clasificación funcional de las vías.

Clasificación funcional o (jerarquía) de vías	ESAL diseño (15 años)
Primarias	55 000- 250 000
Secundarias	4 000- 55 000
Terciarias	<4 000



Figura 10. Jerarquía asignada a cada vía.

7.3 Materiales existentes

Los materiales existentes en las estructuras de pavimento (grava y suelo) de los cuales se tomaron muestras, fueron analizados en el laboratorio por medio de varios ensayos para evaluar sus características físicas como materiales para las estructuras de pavimento a diseñar. Los ensayos realizados a las muestras fueron: Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Proctor Estándar (suelos), Proctor Modificado (grava) y CBR de laboratorio. Los resultados se observan en los informes de laboratorio I-423-13, I-438-13 y I-457-13 que se encuentran en el Anexo 9.

A partir de la información obtenida en los ensayos de laboratorio se procedió a clasificar los suelos según la metodología del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO cuyos resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de los ensayos realizados a los suelos.

Sondeo	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de plasticidad	Clasificación del suelo		
				SUCS	AASHTO	Descripción (SUCS)
2	64	58	6	MH	A-5 (4)	Limo de alta plasticidad color café oscuro y amarillento
3	64	42	22	MH	A-7-5(11)	Limo de alta plasticidad color café oscuro y café claro rojizo en forma de grumos
4	-	-	-	-	-	Suelo similar a S2
5	62	51	11	GM	A-7-5(3)	Grava Limosa color café rojizo y amarillento en forma de grumos
6	58	48	10	MH	A-5(9)	Limo de alta plasticidad color café claro y amarillento en forma de grumos
7	50	42	8	SM	A-7-5(1)	Arena Limosa color rojizo y amarillento en forma de grumos
8	71	61	10	MH	A-5(6)	Limo de alta plasticidad color negruzco (orgánico) y rastro de suelo limoso color café oscuro.
9	-	-	-	-	-	Suelo similar a S5
10	61	54	7	MH	A-5(5)	Limo de alta plasticidad color café oscuro y amarillento en forma de grumos
11	-	-	-	-	-	Suelo similar a S10
12	61	45	16	SM	A-7-5(3)	Arena Limosa color café oscuro y amarillo con contenido de material orgánico.
13	44	41	3	SM	A-2(-2)	Arena Limosa cohesivo color amarillento

Los materiales granulares muestreados en los sondeos 1, 2, 7, 12 y 13 se evaluaron con respecto a los requerimientos de base y subbase granular indicados en el CR-2010. La tabla 7 y 8 muestran los resultados en cuanto a la granulometría de los materiales existentes, donde se indica en rojo los valores que no cumplen con las especificaciones.

Los resultados de Límites de Atterberg realizados a las muestras de materiales granulares existentes presentaron valores de Límites Líquidos entre 25.9 y 35.2, así como Índices de Plasticidad de 4.8 a 12.6. Lo anterior indica que a pesar de no cumplir estrictamente la especificación pues se tienen algunos materiales con Límite Líquido mayor a 35 y con Índices de Plasticidad mayores 10, el comportamiento general se mantiene cerca del rango de plasticidad requerido y podrían ser conservados en sitio como relleno granular o plataforma para la nueva estructura de pavimento.

Tabla 7. Evaluación de materiales granulares existentes como subbase granular.

Abertura de malla	% por peso pasando						Cumplimiento de especificación
	Subbase A	Subbase B	S1	S2 y S7	S12	S13	
63mm	100	-	100	87,5	97,5	92,0	
50mm	97-100	100	99,1	82,5	89,9	89,0	
37,5mm	-	97-100	96,4	76,3	85,6	82,1	
25mm	65-79 (6)	-	89,5	65,4	74,8	71,7	-Se puede observar que el material del S1 presenta una granulometría más fina de lo requerido por lo que no cumple como Subbase Graduación A o B.
19mm	-	-	80,0	60,2	70,1	66,5	
12,5mm	45-59(7)	-	71,0	52,8	61	58	-El material de los sondeos S1, S7, S12 y S13 presenta una granulometría con partículas de sobre tamaño, por lo que no cumplen como Subbase Graduación A o B.
9,5mm	-	-	62,9	48,2	55,5	52,6	
4,75mm	28-42(6)	40-60(8)	51,9	40,4	47	44,0	
0,425m m	9-17(4)	-	32,1	18,5	20,2	22,3	
0,075m m	4-8(3)	4-12(4)	25,0	7,3	8,89	10,1	

Tabla 8. Evaluación de materiales granulares existentes como base granular.

Abertura de malla	% por peso pasando							Cumplimiento de especificación
	Base C	Base D	Base E	S1	S2 y S7	S12	S13	
63mm	-	-	-	100	87,5	97,5	92,0	-El material del sondeo S1 no cumple con las especificaciones para base granular ya que tiene partículas más finas de lo requerido. -Los materiales granulares de los sondeos S2, S7, S12 y S13 no cumplen con las especificaciones de base granular, ya que presentan partículas de sobre tamaño
50mm	100	-	-	99,1	82,5	89,9	89,0	
37,5mm	-	-	-	96,4	76,3	85,6	82,1	
25mm	80-100 (6)	100	-	89,5	65,4	74,8	71,7	
19mm	64-94 (6)	86-100 (6)	100	80,0	60,2	70,1	66,5	
12,5mm	-	-	-	71,0	52,8	61	58	
9,5mm	-	51-82 (6)	62-90 (6)	62,9	48,2	55,5	52,6	
4,75mm	40-69 (6)	36-64 (6)	46-74 (7)	51,9	40,4	47	44,0	
0,425mm	31-54 (4)	12-26 (4)	12-26 (4)	32,1	18,5	20,2	22,3	
0,075mm	4-7 (3)	4-7 (3)	4-7 (3)	25,0	7,3	8,89	10,1	

Los resultados de los ensayos de Proctor Modificado y CBR realizados, indicaron que se podrían obtener valores de CBR cercanos a 20 al compactar los materiales al 95% de su densidad máxima y humedad óptima, lo cual indica que no se cumple con la especificación de CBR=30 y CBR=80 para subbase y base granular respectivamente.

Los materiales evaluados no cumplen con las especificaciones de base o subbase granular, sin embargo se considera que tienen buenas características para ser conservados en el sitio como relleno o plataforma de apoyo para la nueva estructura de pavimento, como se indica más adelante en el diseño.

7.4 Sondeos a cielo abierto y CBR en sitio

La información reunida durante el proceso de excavación de los sondeos a cielo abierto en cuanto a materiales existentes y espesores de la capas de pavimento encontrados, así como los valores de CBR en sitio estimados a partir de las mediciones realizadas con el anillo de carga manual se muestran en la tabla 6. La medición de CBR en sitio no fue posible realizar en el sondeo 1 debido a que la excavación no alcanzó el suelo por la presencia de un relleno granular de más de 50cm de profundidad.

Tabla 9. Tipos de material existente, espesores y CBR en sitio para cada sondeo.

Sondeo	TSB (cm)	Superficie de ruedo granular (cm)		Relleno de arena y grava gruesa (cm)	Total estructura de pavimento existente (cm)	CBR en sitio (%)
		Grava roja (tipo Chopo)	Grava gris			
1	-	10	-	40	>50	-
2	-	-	-	55	55	4.52
3	-	-	-	40	40	2.69
4	-	-	-	55	55	2.54
5	-	20	-	30	50	13.53
6	-	-	-	30	30	2.89
7	2.5	-	-	50	52.5	12.62
8	2.5	-	-	50	52.5	3.04
9	2.5	-	-	41	43.5	13.12
10	-	-	-	18	18	2.97
11	-	-	-	10	10	2.85
12	-	-	14	58	72	12.93
13	-	-	20	-	20	11.94

8. Solución propuesta

Luego de la recolección y análisis de datos se procedió a plantear la solución propuesta por medio de la formulación de diseños para las estructuras de pavimento, secciones transversales típicas y estructuras de drenaje para las vías de los cuadrantes de Bijagua, Upala. Además, se estableció la condición de los puentes y se plantean recomendaciones para su rehabilitación.

8.1 Diseño de pavimentos

El diseño de pavimentos para las vías de los cuadrantes de Bijagua, se elaboró utilizando la Metodología AASHTO 93, a partir del tránsito y cargas vehiculares indicadas en la tabla 5 y los valores de capacidad de soporte del suelo CBR en sitio indicados en la tabla 9. La tabla 10 muestra los datos de entrada utilizados en el diseño de pavimentos bajo la metodología AASHTO 93.

Tabla 10. Variables de diseño para AASHTO 93.

Dato, parámetro de entrada o cálculo inicial		Primarias	Secundarias	Terciarias
Ejes equivalentes	W_{18}	250 000	55 000	4000
Confiabilidad	R	80%	80%	80%
Índice de servicio inicial	p_0	4,2	4,2	4,2
Índice de servicio al final	p_t	2,5	2,5	2,5
Desviación normal estándar	Z_R	-0,841	-0,841	-0,841
Desviación estándar general	S_0	0,50	0,50	0,50
Mr de la subrasante (psi)	M_r	7200	4200	4200
Mr de la base granular (psi)	E_{BS}	28 000	28 000	28 000
Mr de la base estabilizada BE-25 (psi)	E_{BE}	625 000	625 000	625 000
Mr de la Subbase granular (Psi)	E_{SB}	14 500	14 500	14 500
Diferencia de índices de servicio	ΔPSI	1,7	1,7	1,7

Las características y especificaciones generales de los materiales considerados en el diseño como componentes de las estructuras de pavimentos corresponden a lo especificado en el Manual CR-2010 y se resumen en la tabla 11.

Tabla 11. Especificaciones generales de los materiales utilizados en el diseño.

Código	Definición	Especificaciones básicas
CA	Carpeta de mezcla asfáltica en caliente	<ul style="list-style-type: none"> Mezcla Asfáltica en Caliente Diseño Marshall (AASHTO T245) Estabilidad=8 kN min Flujo (0.25mm)=8-14 Porcentaje de vacíos de aire VA= 3-5% Compactación, número de golpes=75 Vacíos en agregado mineral VMA (Tabla 402-2 CR-2010) Resistencia a la compresión =2100 kPa min Resistencia a la tensión diametral retenida=75% min Relación polvo-asfalto=0.6-1.3
TSB3	Tratamiento Superficial Bituminoso	<ul style="list-style-type: none"> Tratamiento Superficial Bituminoso Triple, construido de acuerdo a las especificaciones indicadas en el CR-2010.
BG	Base granular	<ul style="list-style-type: none"> Base granular graduación D CBR 80 min Compactación 95% de PM (AASHTO T180) Límite Líquido 35 max Índice de plasticidad 4-9
BE-25	Base estabilizada con cemento (BE-25)	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia mínima a la compresión inconfiada a los 7días de 25kg/cm² Resistencia promedio a la compresión inconfiada a los 7días de 30kg/cm² Tiempo de curado 7 días Compactación 95% de PM (AASHTO T180)
SBG	Subbase granular	<ul style="list-style-type: none"> Subbase granular graduación B CBR 30 min Compactación 95% de PM (AASHTO T180) Límite Líquido 35 max Índice de plasticidad 4-10
RE	Relleno existente de material granular (grava)	<ul style="list-style-type: none"> Material granular con características indicadas en el apartado 7.3
SR	Suelo (subrasante)	<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo con lo indicado en el apartado 7.3

Se proponen dos opciones generales de estructuras de pavimentos: (1) pavimento flexible (capas de material granular) y (2) pavimento semirrígido (cuenta con base estabilizada con cemento). Para cada una de estas opciones se diseñaron diferentes estructuras de pavimento dependiendo de la jerarquía de vías, de acuerdo con lo indicado en la tabla 5 y figura 10.

Los diseños de pavimento flexible y rígido se realizaron considerando la presencia de una capa de relleno de grava existente en el sitio (RE) con un espesor variable entre 40 y 50 cm, en una condición de regular a mala, para las vías primarias y secundarias. Se consideró la conservación de un espesor entre 20 y 30 cm del total existente para la colocación de la estructura de pavimento nueva, como se observa en las tablas 12 y 13. Por otro lado, en las vías terciarias no se considera la existencia de material granular existente por lo que la estructura de pavimento se coloca sobre el suelo de subrasante.

Los resultados del diseño de pavimento flexible (Opción 1) se muestran en la tabla 12. Estas estructuras de pavimento fueron asignadas a cada una de las vías de los cuadrantes de Bijagua de acuerdo con la jerarquía de vías como se muestra en la figura 11 y los mapas del Anexo 10. En el caso de las estructuras de pavimento EP-3, que fueron asignadas a las vías terciarias, se aportan dos alternativas que cumplen con los requerimientos estructurales.

De manera similar a lo anterior, los resultados del diseño de pavimento semirrígido (Opción 2) se muestran en la tabla 13 y las estructuras de pavimento se asignaron de acuerdo a su clasificación funcional como se muestra en la figura 12 y en los mapas del Anexo 10.

Las estructuras de pavimento flexible, fueron revisadas por desempeño ante agrietamiento por fatiga en la carpeta asfáltica y deformación permanente en la subrasante. Las estructuras de pavimento semirrígido fueron revisadas ante agrietamiento por fatiga en la base estabilizada, así como deformación permanente en la subrasante. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 14 y 15 para las vías primarias y secundarias. No se realizó la revisión anterior para las vías terciarias dado que son calles de acceso habitacional y por lo tanto tránsito liviano, a excepción de la Calle 12 de la Zona Norte, en la cual se ubica un plantel de camiones de carga y maquinaria pesada.

La definición final acerca del tipo de estructura de pavimento a utilizar, de acuerdo a lo diseñado y recomendado en este informe, deberá ser formulada por la UTGV de la Municipalidad de Upala de acuerdo a su criterio técnico y recursos disponibles.

Tabla 12. Estructuras de pavimento flexible (Opción 1).

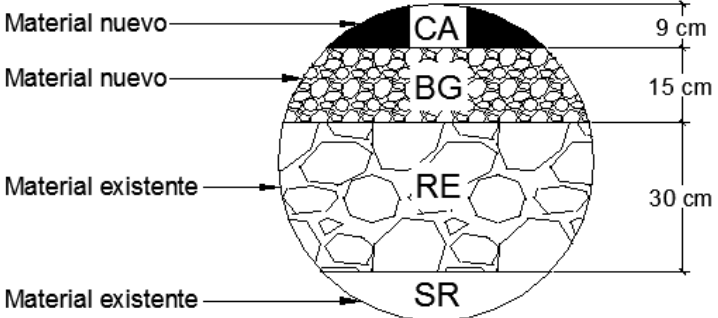
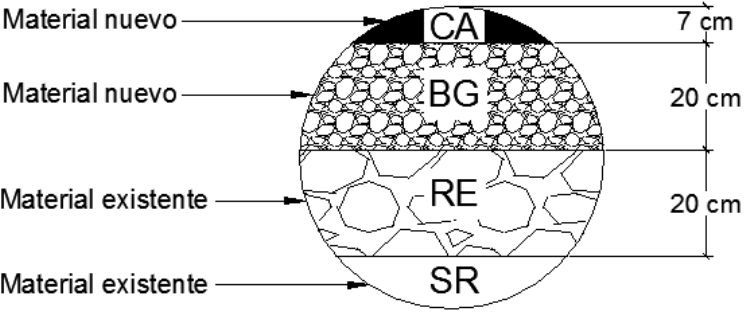
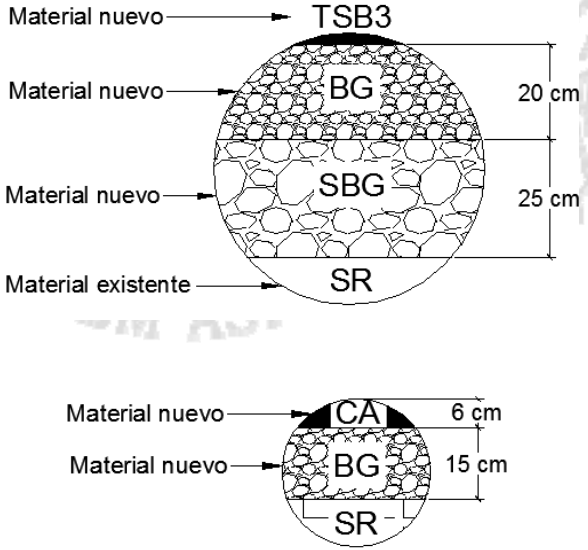
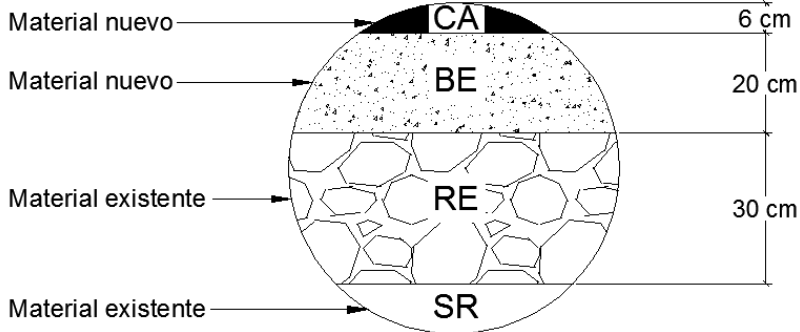
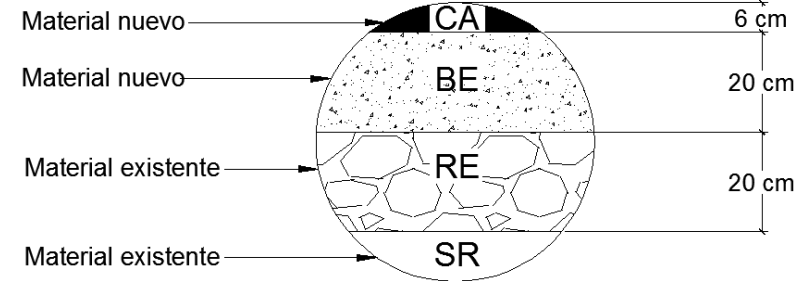
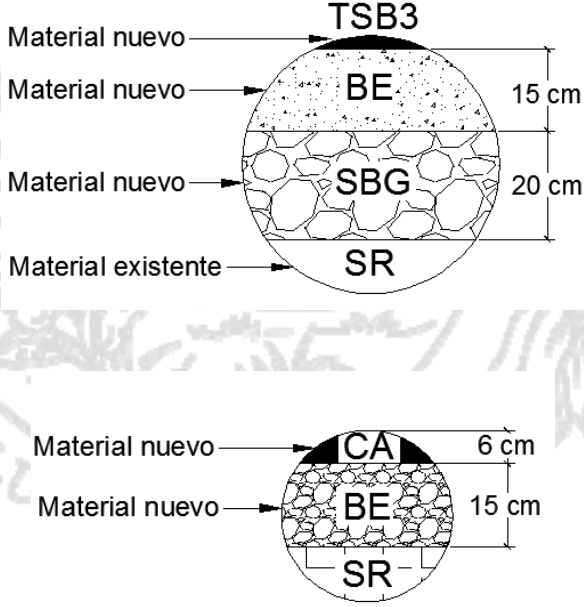
Código	Espesores de capas
<p>EP-1 Vías Primarias</p>	
<p>EP-2 Vías Secundarias</p>	
<p>EP-3 Vías terciarias</p>	

Tabla 13. Estructuras de pavimento semirrígido (Opción 2).

Código	Espesores de capas
<p>EP-4 Vías Primarias</p>	
<p>EP-5 Vías Secundarias</p>	
<p>EP-7 Vías Terciaria</p>	

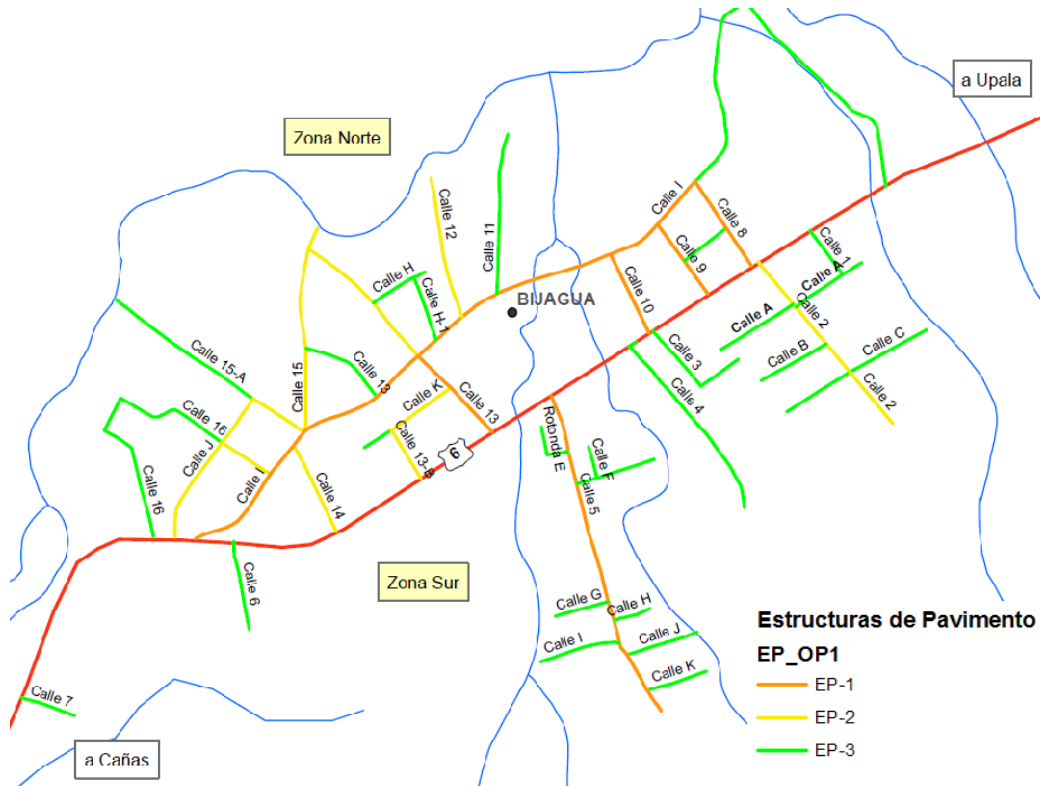


Figura 11. Estructuras de pavimento flexible (Opción 1).

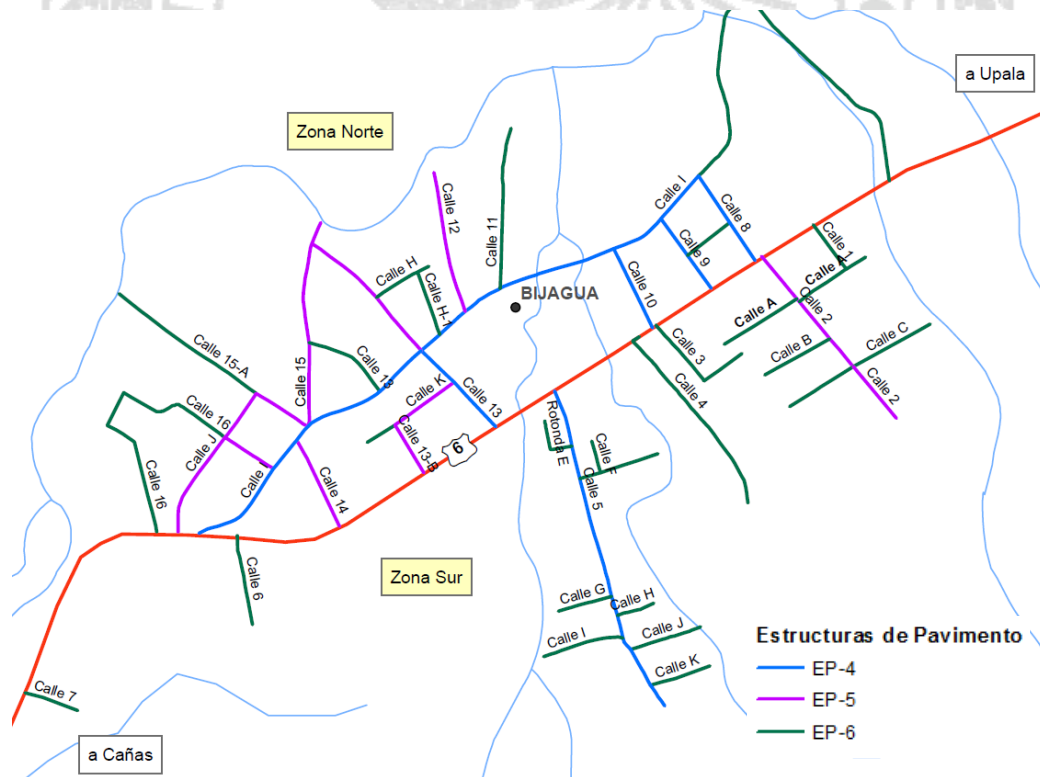


Figura 12. Estructuras de pavimento semirrígido (Opción 2).

Tabla 14. Evaluación de desempeño para las estructuras de pavimento flexible.

Agrietamiento por fatiga en la carpeta asfáltica (CA)			
Estructura de pavimentos	Modelo		Cumplimiento
	LanammeUCR	MOPT	
EP-1	726 538	481 926	Si cumple
EP-2	360 698	219 402	Si cumple
Deformación permanente en la Subrasante (SR)			
Estructura de pavimentos	Modelo		Cumplimiento
	MOPT		
EP-1	355 056		Si cumple
EP-2	106 576		Si cumple

Tabla 15. Evaluación de desempeño para las estructuras de pavimento semirrígido.

Agrietamiento por fatiga en la base estabilizada (BE-25)			
Estructura de pavimentos	Modelo		Cumplimiento
	NCHRP	PCA	
EP-4	2 750 000	1 100 000	Si cumple
EP-5	644 000	175 000	Si cumple
Deformación permanente en la Subrasante (SR)			
Estructura de pavimentos	Modelo		Cumplimiento
	MOPT		
EP-4	24 000 000		Si cumple
EP-5	4 240 000		Si cumple

8.2 Intervención recomendada

La recomendación en cuanto al proceso de intervención de las vías para la construcción cada una de las opciones de estructuras de pavimento propuestas se muestra en las tablas 16 y 17.

Tabla 16. Intervención recomendada para la construcción de pavimento flexible.

Código	Intervención recomendada
EP-1	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar la superficie de ruedo asfáltica existente (TSB o carpeta asfáltica existente). • Retirar 20 cm de los 50 cm de espesor promedio de material granular existente (RE) y verificar que se mantenga un espesor de al menos 30 cm, para utilizarlo como nivel de subrasante. • Eliminar partículas de sobre tamaño, conformar de acuerdo a bombeo de 2.5% indicado en la sección transversal correspondiente y compactar el material de relleno existente (RE) al 95% de PM para obtener un CBR de 20 mínimo. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de base granular (BG) de 15 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Colocar, extender, conformar y compactar una carpeta de mezcla asfáltica en caliente (CA) de 9 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. Verificar conformación de bombeo de 2.5% de acuerdo a sección transversal.
EP-2	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar 20 cm de los 40 cm de espesor promedio de material granular existente (RE) y verificar que se mantenga un espesor de al menos 20 cm, para utilizarlo como nivel de subrasante. • Eliminar partículas de sobre tamaño, conformar de acuerdo a bombeo de 2.5% indicado en la sección transversal correspondiente y compactar el material de relleno existente (RE) al 95% de PM para obtener un CBR de 20 mínimo. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de base granular (BG) de 20 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Colocar, extender, conformar y compactar una carpeta de mezcla asfáltica en caliente (CA) de 7 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. Verificar conformación de bombeo de 2.5% de acuerdo a sección transversal.

Tabla 17. Intervención recomendada para la construcción de pavimento flexible (continuación).

Código	Intervención recomendada
<p>EP-3 (Opción 1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Escarificar al menos 10 cm de la superficie de ruedo existente, eliminar partículas de sobre tamaño, conformar de acuerdo a bombeo de 2.5% indicado en la sección transversal correspondiente y compactar al 90% de PS. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de subbase granular (SBG) de 25 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de base granular (BG) de 20 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Construir un tratamiento superficial triple (TSB3) como superficie de ruedo, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. Verificar conformación de bombeo de 2.5% de acuerdo a sección transversal.
<p>EP-3 (Opción 2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Escarificar al menos 10 cm de la superficie de ruedo existente, eliminar partículas de sobre tamaño, conformar de acuerdo a bombeo de 2.5% indicado en la sección transversal correspondiente y compactar al 90% de PS. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de base granular (BG) de 15 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Colocar, extender, conformar y compactar una carpeta de mezcla asfáltica en caliente (CA) de 6 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. Verificar conformación de bombeo de 2.5% de acuerdo a sección transversal.

Tabla 18. Intervención recomendada para la construcción de pavimento semirrígido.

Código	Intervención recomendada
EP-4	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar la superficie de ruedo asfáltica existente (TSB o carpeta asfáltica existente). • Retirar 20 cm de los 50 cm de espesor promedio de material granular existente (RE) y verificar que se mantenga un espesor de al menos 30 cm, para utilizarlo como nivel de subrasante. • Eliminar partículas de sobre tamaño, conformar de acuerdo a bombeo de 2.5% indicado en la sección transversal correspondiente y compactar el material de relleno existente (RE) al 95% de PM para obtener un CBR de 20 mínimo. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de base estabilizada con cemento (BE-25) de 20 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Colocar, extender, conformar y compactar una carpeta de mezcla asfáltica en caliente (CA) de 6 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. Verificar conformación de bombeo de 2.5% de acuerdo a sección transversal.
EP-5	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar 20 cm de los 40 cm de espesor promedio de material granular existente (RE) y verificar que se mantenga un espesor de al menos 20 cm, para utilizarlo como nivel de subrasante. • Eliminar partículas de sobre tamaño, conformar de acuerdo a bombeo de 2.5% indicado en la sección transversal correspondiente y compactar el material de relleno existente (RE) al 95% de PM para obtener un CBR de 20 mínimo. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de base estabilizada con cemento (BE-25) de 20 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Colocar, extender, conformar y compactar una carpeta de mezcla asfáltica en caliente (CA) de 6 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. Verificar conformación de bombeo de 2.5% de acuerdo a sección transversal.

Tabla 19. Intervención recomendada para la construcción de pavimento semirrígido (continuación).

Código	Intervención recomendada
<p>EP-7 (Opción 1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Escarificar al menos 10 cm de la superficie de ruedo existente, eliminar partículas de sobre tamaño, conformar de acuerdo a bombeo de 2.5% indicado en la sección transversal correspondiente y compactar al 90% de PS. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de subbase granular (SBG) de 20 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de base granular (BG) de 15 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Construir un tratamiento superficial triple (TSB3) como superficie de ruedo, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. Verificar conformación de bombeo de 2.5% de acuerdo a sección transversal.
<p>EP-7 (Opción 2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Escarificar al menos 10 cm de la superficie de ruedo existente, eliminar partículas de sobre tamaño, conformar de acuerdo a bombeo de 2.5% indicado en la sección transversal correspondiente y compactar al 90% de PS. • Colocar, extender, conformar y compactar una capa de base granular (BG) de 15 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. • Colocar, extender, conformar y compactar una carpeta de mezcla asfáltica en caliente (CA) de 6 cm de espesor compactado, que cumpla con las especificaciones indicadas en la tabla 11. Verificar conformación de bombeo de 2.5% de acuerdo a sección transversal.

8.3 Secciones transversales

Las secciones transversales que se proponen en este estudio, son pre-diseños que se elaboraron para las vías de los cuadrantes de Bijagua considerando la importancia de realizar un mejoramiento sustancial en la condición actual de las vías, favorecer el drenaje de las aguas pluviales y la inclusión de facilidades peatonales (aceras).

Se tomaron en cuenta aspectos como las características del tránsito vehicular local, requerimientos funcionales del sitio y la información reunida durante el inventario de vías acerca de anchos de derecho de vía y superficie de ruedo existentes. Previo a intervenir la zona, se deberá realizar un proceso de diseño final por medio de planos constructivos que incluyan los diseños finales de planta, perfiles y secciones transversales cada 10 o 20 metros.

Se presentan cuatro secciones transversales típicas, que van desde la más amplia hasta la de ancho más reducido de acuerdo al derecho de vía disponible. Las figuras 13, 14, 15 y 16 muestran las secciones transversales que se presentan con mayor detalle en el Anexo 11. Las secciones transversales típicas fueron asignadas a cada una de las vías de acuerdo a lo indicado en el mapa de la figura 16 y Anexo 12.

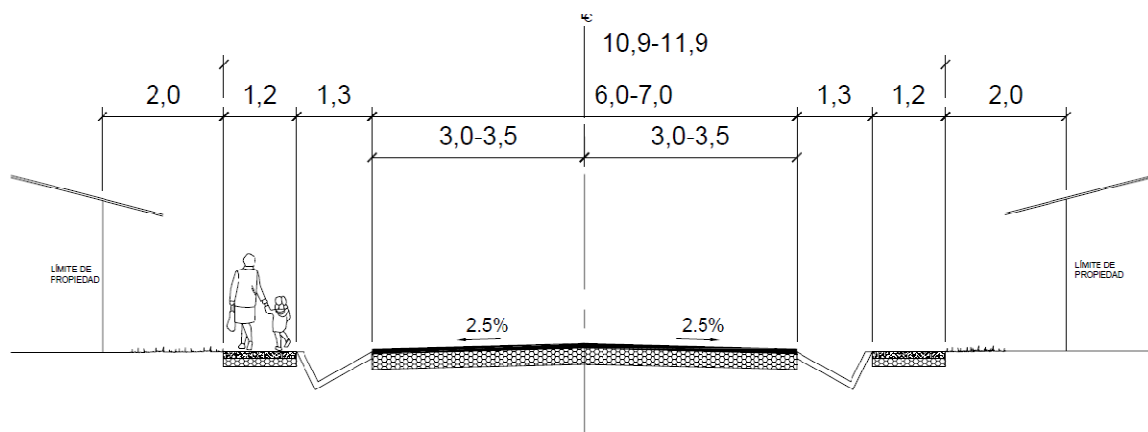


Figura 13. Sección transversal ST-1

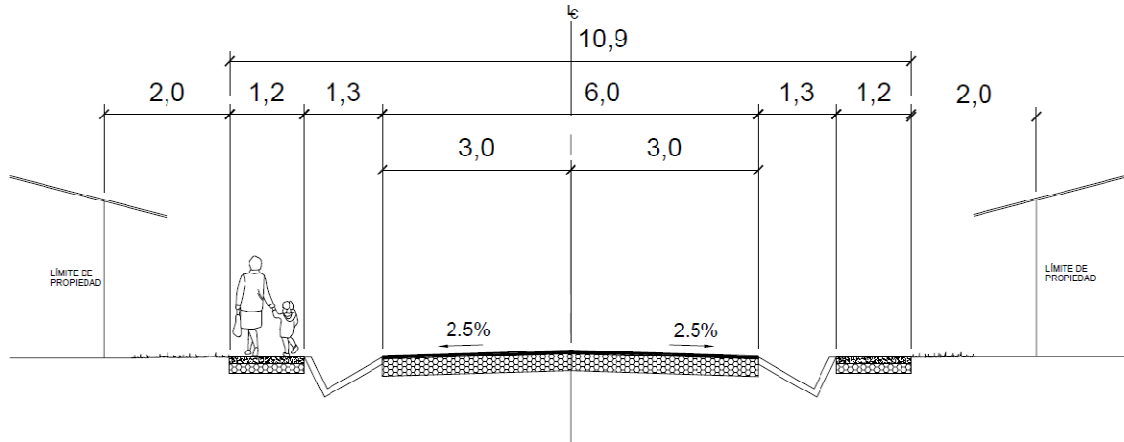


Figura 14. Sección transversal ST-2

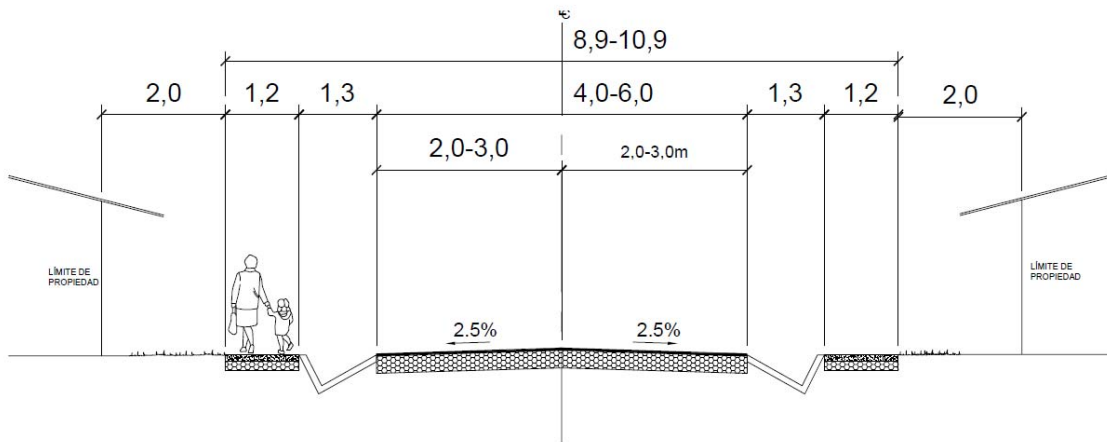


Figura 15. Sección transversal ST-3

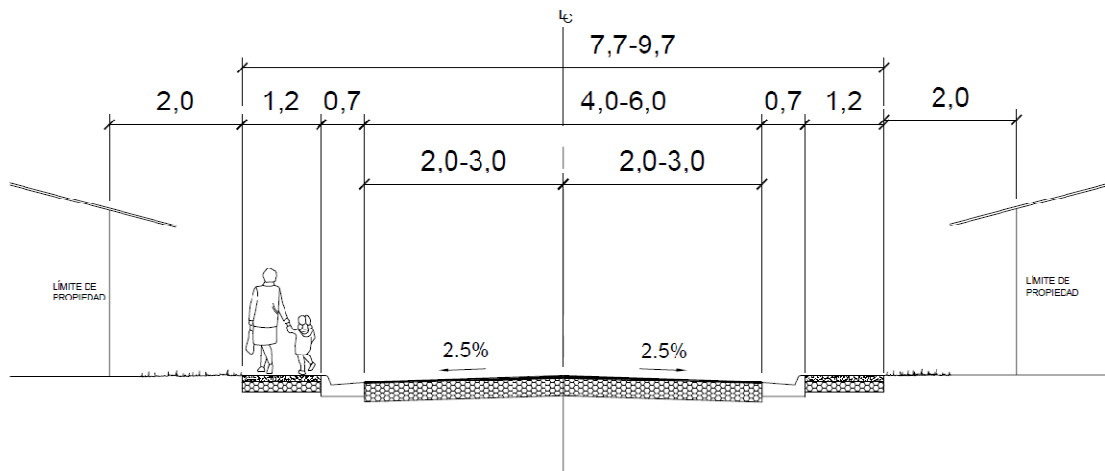


Figura 16. Sección transversal ST-4

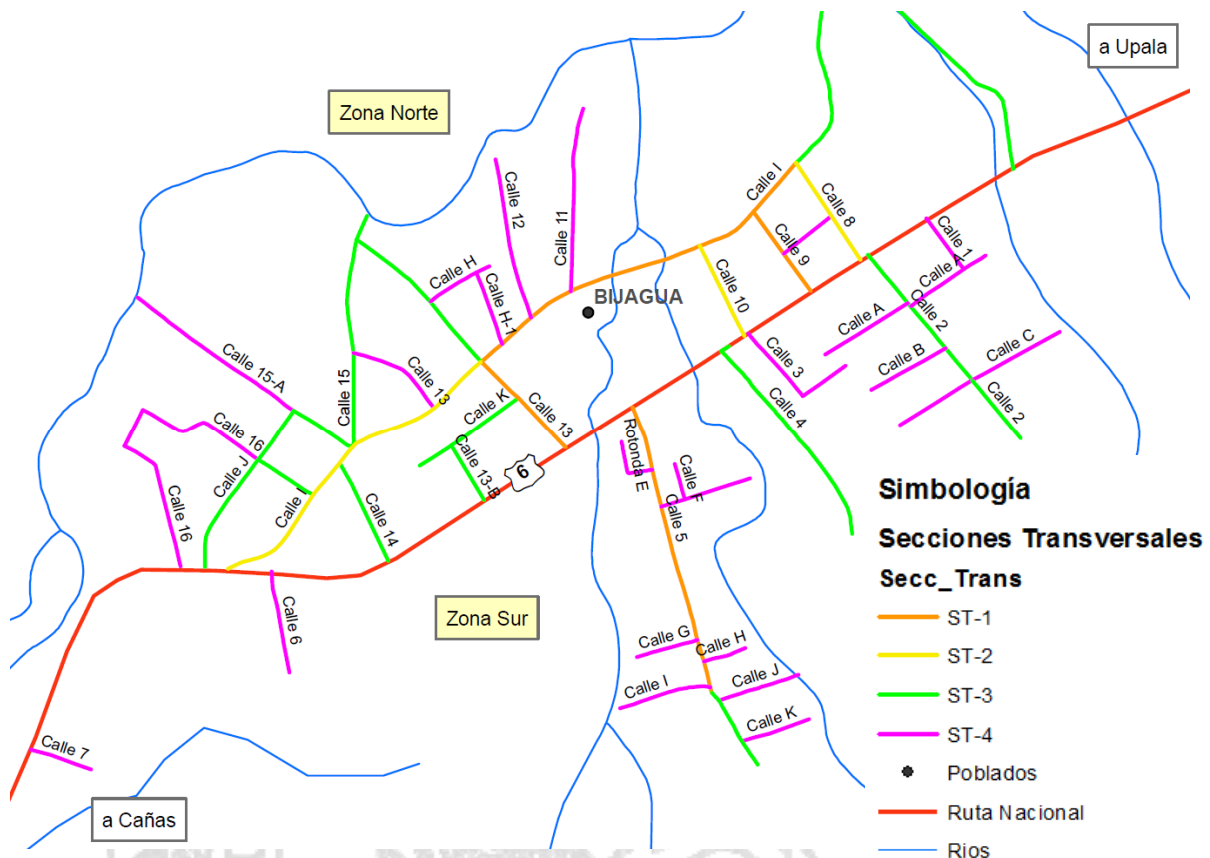


Figura 17. Mapa de secciones transversales.

8.4 Drenajes

Las estructuras de drenaje recomendadas para conducir la evacuación de las aguas pluviales en las vías de los cuadrantes de Bijagua son cunetas revestidas por las secciones transversales ST-1, ST-2 y ST-3, mientras que se recomienda el cordón y caño para las sección transversal ST-4. Ambas estructuras de drenaje deberían construirse en concreto hidráulico Clase A de resistencia $f'c=210$ kg/cm², de acuerdo a los detalles indicados en las figuras 18 y 19.

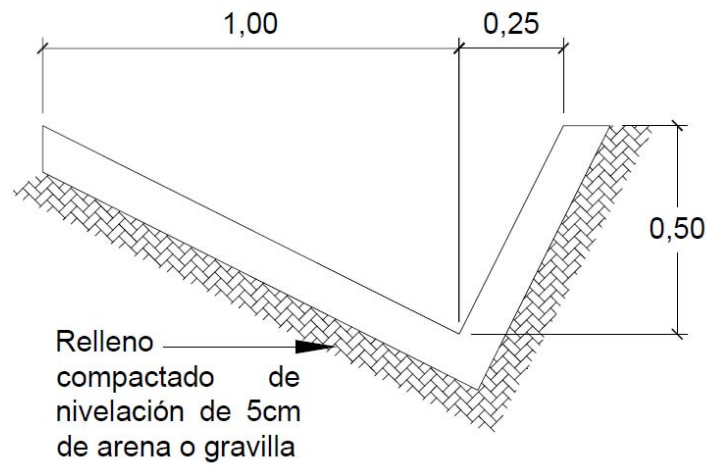


Figura 18. Detalle de cuneta revestida.

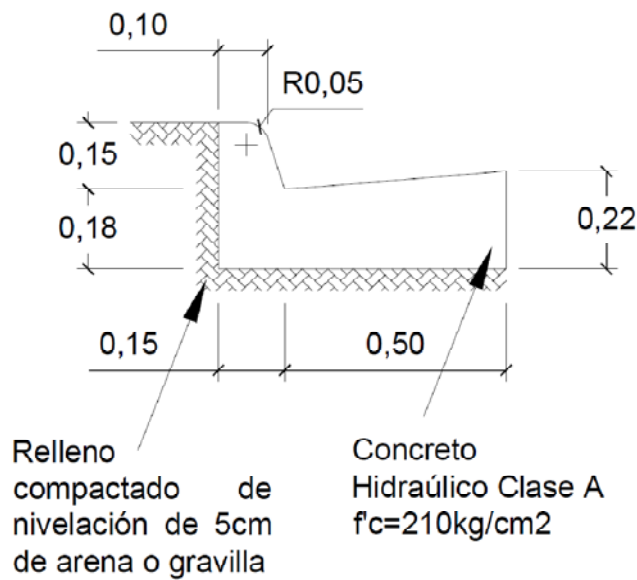


Figura 19. Detalle de cordón y caño.

8.5 Condición de los puentes

Se inspeccionaron tres puentes y un vado utilizando la metodología oficial de inventario e inspección de puentes de la Dirección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). La tabla 20 resume los principales hallazgos de este proceso y los formularios elaborados se pueden encontrar en el Anexo 7.

Tabla 20. Resumen de hallazgos del proceso de inspección de los puentes y vado.

Estructura	Hallazgos
Puente 1 (P1)	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación de baranda metálica y ausencia de aceras. • Leves grietas en losa. • Leve eflorescencia en losa. • Descascaramiento de pintura, grave oxidación y leve corrosión en vigas metálicas. • Socavación en bastión 2. • Junta abierta y deformada.
Puente 2 (P2)	<ul style="list-style-type: none"> • No tiene aceras ni barandas. • Grietas leves en vigas principales. • Grietas y descascaramiento concreto en bastiones. • Socavación en ambos bastiones. • Falta de señalamiento.
Puente 3 (P3)	<ul style="list-style-type: none"> • Filtración de agua en juntas. • Baranda metálica destruida y ausencia de aceras. • Leves grietas en vigas. • Leves grietas en bastiones. • Socavación en bastión 2. • Falta de señalamiento.
Vado (P4)	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de sedimentos. • Socavación generalizada. • Falta de postes indicadores de altura del agua. • Separación de juntas de tubos de concreto. • Falta de señalamiento

9. Conclusiones

- El inventario de las vías indicó que se tienen vías de superficie de ruedo granular en condición generalizada entre regular y mala, con anchos de derecho de vía desde 7 m hasta 16.4 m y anchos de superficie de ruedo desde 3 m hasta 10 m.
- El tránsito vehicular medido por medio de los conteos indicó que se tienen TPDa entre 929 y 59 vehículos por día, así como cargas vehiculares entre 2967 a 247 196 ESAL de diseño a 15 años.
- Los sondeos a cielo abierto indicaron que las estructuras de pavimento existentes están compuestas por capas de grava sin seleccionar en espesores variables entre 10 y 58 cm. El CBR del suelo de subrasante medido en sitio presentó valores entre 2.54 y 13.53.
- Los ensayos de laboratorio realizados a los materiales granulares existentes en las vías de los cuadrantes de Bijagua, Upala indicaron que estos agregados no cumplen con las especificaciones de bases o subbases del CR-2010, sin embargo se pueden conservar como capa de relleno granular de acuerdo a lo indicado en los diseños de pavimentos.
- Se diseñaron cuatro estructuras de pavimento para cada una de las dos opciones generales: flexible y semirrígido, las cuales cumplen con las cargas vehiculares proyectadas a 15 años y las verificaciones por desempeño ante fatiga y deformación permanente.
- Las estructuras de drenaje recomendadas corresponden a diseños preliminares especificados en el Manual de Diseños Estándar DE-2010 que deberán ser revisados a la hora de definir su utilización en las vías para garantizar el drenaje eficiente del agua pluvial.
- Los puentes inspeccionados en la zona de cuadrantes de Bijagua, Upala, presentan algunos problemas estructurales y muy mala condición funcional, ya que carecen de elementos de seguridad vial y facilidades peatonales, sobre todo los puentes 2 y 3.

10. Recomendaciones.

- Se recomienda verificar el derecho de vía de acuerdo al registro de catastro municipal para ajustar el ancho de las secciones transversales a construir según el espacio disponible, siempre y cuando se generen secciones transversales de ancho uniforme que respeten los anchos mínimos recomendados, incluyan drenajes y facilidades peatonales.
- Se recomienda priorizar la intervención de las vías según la jerarquía indicada y construir en primera instancia las estructuras de drenaje (cunetas, cordón de caño y alcantarillas), previo a realizar trabajos de mejoramiento de la estructura de pavimentos.
- Se recomienda incluir en el proceso de mejoramiento vial de la zona, la construcción de facilidades peatonales como aceras y rampas de acceso.
- Se recomienda incluir el señalamiento vertical y horizontal dentro del alcance del proyecto de mejoramiento vial de la zona.
- Se recomienda elaborar planos constructivos, previo a intervenir las vías de manera que se detalle claramente el alcance y especificaciones de las obras a realizar.
- Se recomienda priorizar la intervención de los puentes 2 y 3 ya que se encuentran cerca de la escuela y forman parte de la Calle I, que es una vía primaria según la clasificación realizada. Se recomienda corregir los deterioros indicados en los formularios de inspección y ampliar estas estructuras a dos carriles vehiculares con pasos peatonales para mejorar las condiciones de servicio y seguridad en la Calle I.

11. Referencias bibliográficas

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guide for the Design of Pavement Structures* [Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento]. (7ta Ed), Washington, D.C., EEUU: Autor.

Asphalt Institute. (1999). *MS-1 Thickness Design-Highways & Streets* [MS-1 Diseño de espesores-Autopistas y Carreteras]. (1999). (9a Ed) Kentucky, EEUU: Autor.

ASTM Standard D4694. (2006). *Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device*. ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/D4694-09, www.astm.org.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica. *Diseños Estándar DE-2010*.

Garber, N; Hoel, L. (2005). *Ingeniería de Tránsito y de Carreteras*. México: Thomson

Instituto Meteorológico Nacional. (n.d.). *Atlas Climatológico Interactivo*. Costa Rica: Autor.
Descargado de: http://www.imn.ac.cr/mapa_clima/interactivo/index.html

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2013). Anuario de información de tránsito 2012. Descargado de:
<http://www.mopt.go.cr/planificacion/carreteras/AnuarioTr%C3%A1nsito2012.pdf>

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010*.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2007). Oficio DVOP-5170-07. Lineamientos diseño de pavimento por Ing. Pedro Castro PhD.

Ulloa, Á; Badilla, G; Allen, J; Sibaja, D(2007). Encuesta de Carga. Unidad de Investigación. Proyecto #PI-01-PIIVI-2007. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica: LanammeUCR.

Yang H. Huang. (2004). *Pavement Analysis and Design* [Análisis y Diseño de Pavimentos]. (2da Ed), New, Jersey, EEUU: Prentice Hall.

12. Anexos

Anexo	Contenido
1	Mapa de Inventario de Vías
2	Mapa de Tipo de Superficie de Ruedo Existente
3	Mapa de Conteos Vehiculares
4	Mapa de Sondeos a Cielo Abierto
5	Formularios de Sondeos a Cielo Abierto
6	Mapa de Ubicación de Puentes
7	Formularios de Inspección de Puentes
8	Mapa de Jerarquía de Vías
9	Informes de Laboratorio
10	Mapa de Estructuras de Pavimento
11	Secciones Transversales
12	Mapa de Secciones Transversales
13	Información Digital