



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



programa de infraestructura
del transporte

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: INF-PITRA-002-2015

Informe

Análisis Ruta Nacional N°2, para la troncal en el tramo Hacienda Vieja, Curridabat - Cruce La Lima, Cartago

Preparado por:

**Programa de Ingeniería de Transporte
PITRA**

San José, Costa Rica
Septiembre, 2015

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 47 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.
Preparado por: Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA-LanammeUCR diana.jimenez@ucr.ac.cr



1. Informe INF-PITRA-002-2015		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Análisis Ruta Nacional N°2, para la troncal en el tramo Hacienda Vieja, Curridabat - Cruce La Lima, Cartago.		4. Fecha del Informe Septiembre, 2015
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 Es parte integral del presente informe el disco compacto adjunto que contiene la versión digital de este informe, el expediente de la Concesión San José-Cartago, así como lo que respecta a la topografía, cartografía y georreferenciación.		
9. Resumen Se presentan los resultados correspondientes de los siguientes estudios realizados a la troncal del proyecto: <ul style="list-style-type: none"> • Expediente del proyecto de Concesión de San José-Cartago. • Análisis preliminar de capacidad en la troncal. • Diseño preliminar de pavimentos de la troncal. • Montaje de diseños preliminares de la concesión sobre fotos aéreas del corredor. • Análisis de los diseños conceptuales de los Intercambios Taras y La Lima sobre los diseños preliminares de la concesión. • Topografía, cartografía y georreferenciación. • Evaluación preliminar de puentes y otras estructuras de drenaje. • Análisis general de las condiciones geotécnicas. • Análisis general de las condiciones de seguridad vial. Para cada uno de los anteriores apartados de presentan análisis, resultados y recomendaciones técnicas.		
10. Palabras clave: Ruta Nacional N°2, Hacienda Vieja, Autopista Florencio del Castillo, Taras, Lima, Cartago.	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas: 142
13. Preparado por:		
Ing. Henry Hernández Vega, MSc. Unidad de Seguridad Vial y Transporte  Fecha: 23 /septiembre / 2015	Ing. Ronald Naranjo Ureña. Unidad de Gestión de la Red Vial Nacional  Fecha: 23 /septiembre / 2015	Ing. Fabricio Leiva Villacorta, PHD, MBA. Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 23 /septiembre / 2015
Ing. Alexander Cerdas Hernández. Unidad de Gestión Municipal  Fecha: 23 /septiembre / 2015	Ing. Esteban Villalobos Vega. Unidad de Puentes  Fecha: 23 /septiembre / 2015	Ing. William Vargas Monge, PHD. Asesor Geotécnico  Fecha: 23 /septiembre / 2015
Ing. Javier Zamora Rojas, MSc. Unidad de Seguridad Vial y Transporte  Fecha: 23 /septiembre / 2015		

14. Revisado por:

Ing. Ana Luisa Elizondo Salas.
Unidad de Capacitación y Transferencia
Tecnológica



Fecha: 23 /septiembre / 2015

Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal LanammeUCR



Fecha: 23 /septiembre / 2015

15. Aprobado por:

Ing. Guillermo Loría Salazar, MSc, PhD
Coordinador General PITRA



Fecha: 23 /septiembre / 2015

TABLA DE CONTENIDO

1. CAPÍTULO. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.1. POTESTADES.....	14
1.2. OBJETIVO GENERAL	14
1.3. ANTECEDENTES	14
1.4. DESCRIPCIÓN Y CONDICIONES ACTUALES DEL TRAMO A EVALUAR	15
1.5. IMPORTANCIA DEL PRESENTE INFORME.....	17
1.6. METODOLOGÍA GENERAL	18
1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES	18
1.8. INFORMACIÓN EN FORMATO DIGITAL	18
2. CAPÍTULO. ANÁLISIS DE CAPACIDAD EN LA TRONCAL.....	19
2.1. INTRODUCCIÓN.....	19
2.2. OBJETIVO	19
2.3. CONCEPTOS GENERALES	19
2.4. METODOLOGÍA	22
2.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	23
2.6. ESCENARIOS CONSIDERADOS	26
2.7. ANÁLISIS REALIZADO	26
2.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
2.9. REFERENCIAS	33
3. CAPÍTULO. DISEÑO PRELIMINAR DE PAVIMENTOS EN LA TRONCAL	34
3.1. INTRODUCCIÓN.....	34
3.2. OBJETIVO.....	34
3.3. CONCEPTOS GENERALES	35
3.4. METODOLOGÍA	36
3.5. ALCANCE Y LIMITACIONES	36
3.6. ESCENARIOS CONSIDERADOS	37
3.7. ANÁLISIS REALIZADO.....	37
3.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
3.9. REFERENCIAS	45
3.10. ANEXOS.....	45
4. CAPÍTULO. TOPOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA Y GEORREFERENCIACIÓN.....	50

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 4 de 142
----------------------------	--	-----------------

4.1.	INTRODUCCIÓN.....	50
4.2.	OBJETIVO.....	50
4.3.	CONCEPTOS GENERALES.....	50
4.4.	METODOLOGÍA.....	51
4.5.	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	51
4.6.	ANÁLISIS REALIZADO.....	52
4.7.	GEORREFERENCIACIÓN DE PLANOS PRELIMINARES DE LA CONCESIÓN.....	54
4.8.	MAPA DE ZONAS HOMOGÉNEAS DE VALOR.....	56
4.9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
4.10.	REFERENCIAS.....	58
5.	CAPÍTULO. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE.....	59
5.1.	INTRODUCCIÓN.....	59
5.2.	OBJETIVOS.....	59
5.3.	CONCEPTOS GENERALES.....	59
5.4.	METODOLOGÍA.....	60
5.5.	ALCANCE Y LIMITACIONES.....	60
5.6.	ANÁLISIS REALIZADO.....	60
5.7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
5.8.	REFERENCIAS.....	112
6.	CAPÍTULO. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS.....	113
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	113
6.2.	OBJETIVO.....	113
6.3.	CONCEPTOS GENERALES.....	113
6.4.	METODOLOGÍA.....	113
6.5.	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	114
6.6.	CONDICIONES GENERALES PARA EL DESARROLLO DE UNA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.....	114
6.7.	ANÁLISIS REALIZADO.....	121
6.8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
6.9.	REFERENCIAS.....	127
7.	CAPÍTULO. ANÁLISIS GENERAL DE LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD VIAL.....	128
7.1.	INTRODUCCIÓN.....	128
7.2.	OBJETIVO.....	129
7.3.	CONCEPTOS GENERALES.....	129
7.4.	METODOLOGÍA.....	129

7.5.	ALCANCES Y LIMITACIONES	129
7.6.	ANÁLISIS REALIZADO.....	130
7.7.	PUNTOS CRÍTICOS: ALTA EXPOSICIÓN AL RIESGO	136
7.8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
7.9.	REFERENCIAS	142



TABLA DE CUADROS

CUADRO 1.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	15
CUADRO 2.1. DESCRIPCIÓN DE NIVELES DE SERVICIO.....	20
CUADRO 2.2. LÍMITES DE TPD Y NIVEL DE SERVICIO SEGÚN	22
TIPO DE TERRENO Y CANTIDAD DE CARRILES	22
CUADRO 2.3. TPD OBTENIDOS LANAMMEUCR EN LA FLORENCIO DEL CASTILLO (2015)	27
CUADRO 2.4. NIVELES DE SERVICIO, TERRENO PLANO, DOS CARRILES, PEAJE TRES RÍOS.....	29
CUADRO 2.6. NIVEL DE SERVICIO TERRENO MONTAÑOSO 2 CARRILES	30
CUADRO 2.7 NIVEL DE SERVICIO TERRENO MONTAÑOSO 3 CARRILES	31
CUADRO 2.8. NIVELES DE SERVICIO, SECTOR TARAS – LA LIMA	31
CUADRO 3.1. CARACTERÍSTICAS DE PAVIMENTOS EXISTENTES	37
CUADRO 3.2. ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE LOS PAVIMENTOS EXISTENTES.....	38
CUADRO 3.3. ESTIMACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO.....	40
CUADRO 3.4. PROPIEDADES DE MATERIALES	40
CUADRO 3.5. DISEÑO PAVIMENTO NUEVO FLEXIBLE (SEMIRÍGIDO).....	41
CUADRO 3.6. DISEÑO DE SOBRECAPA ASFÁLTICA	42
CUADRO 3.7. DISEÑO DE SOBRECAPA RÍGIDA.....	43
CUADRO 4.1. INSUMOS TOPOGRÁFICOS Y CARTOGRÁFICOS.....	57
CUADRO 5.1. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE PASO A DESNIVEL LA GALERA.....	61
CUADRO 5.2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PASO A DESNIVEL WALMART.....	65
CUADRO 5.3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA ALCANTARILLA RÍO CHAGÜITE....	66
CUADRO 5.4. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE PEATONAL VILLAS DE AYARCO.....	68
CUADRO 5.5. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE PEATONAL SAN DIEGO.	69
CUADRO 5.6. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PASO A DESNIVEL RN NO. 409.....	70
CUADRO 5.7. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA ALCANTARILLA QUEBRADA SIN NOMBRE.....	74
CUADRO 5.8. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE PEATONAL TERRAMALL. ..	76
CUADRO 5.9. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PASO A DESNIVEL TERRAMALL.	77
CUADRO 5.10. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO TIRIBÍ.....	81

CUADRO 5.11. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE INFERIOR A TRES RÍOS.	85
CUADRO 5.12. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PASO PEATONAL LA ISLA.	87
CUADRO 5.13. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CHIQUITO.	88
CUADRO 5.14. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PASO A DESNIVEL LA CARPINTERA.	92
CUADRO 5.15. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PASO A DESNIVEL RN NO. 251.	96
CUADRO 5.16. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO FIERRO II.	100
CUADRO 5.17. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE SOBRE EL RÍO FIERRO I.	103
CUADRO 5.18. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA ALCANTARILLA AFLUENTE DE LA QUEBRADA QUIRAZÚ.	107
CUADRO 5.20. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL PUENTE PEATONAL LA LIMA.	110
CUADRO 6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DE UNA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	119
CUADRO 6.2. RELACIÓN ENTRE LAS ETAPAS DE UNA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO DE UN PROYECTO DE INGENIERÍA.....	120
CUADRO 6.3. MÉTODOS DE ENSAYO IN SITU Y APLICACIÓN GENERAL.....	120
CUADRO 6.4. PAUTAS PARA LA SELECCIÓN DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO SEGÚN EL TIPO DE OBRA.	121
ENTRE LOS ENSAYOS ADICIONALES, SE REALIZARON LOS LISTADOS EN EL.....	123

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. UBICACIÓN Y PERFIL DEL TERRENO DEL PROYECTO.	16
FIGURA 2.1. CURVA S PARA APROXIMAR VALORES DE TPD DE LA SERIE HISTÓRICA	26
FIGURA 2.2. HISTÓRICO DEL TRÁNSITO DIARIO, SECTOR PEAJE TRES RÍOS.....	27
FIGURA 2.3. PROYECCIONES DE TRÁNSITO UTILIZADAS, PEAJE TRES RÍOS	29
FIGURA 2.4. PROYECCIONES DE TRÁNSITO UTILIZADAS, PEAJE TRES RÍOS	32
FIGURA 3.1. DEFLEXIONES SENTIDO HACIENDA VIEJA - LA LIMA	46
FIGURA 3.2. DEFLEXIONES SENTIDO LA LIMA - HACIENDA VIEJA	46
FIGURA 3.3. MÓDULO RESILIENTE (HACIENDA VIEJA - LA LIMA), PSI.....	47

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 8 de 142
----------------------------	--	-----------------

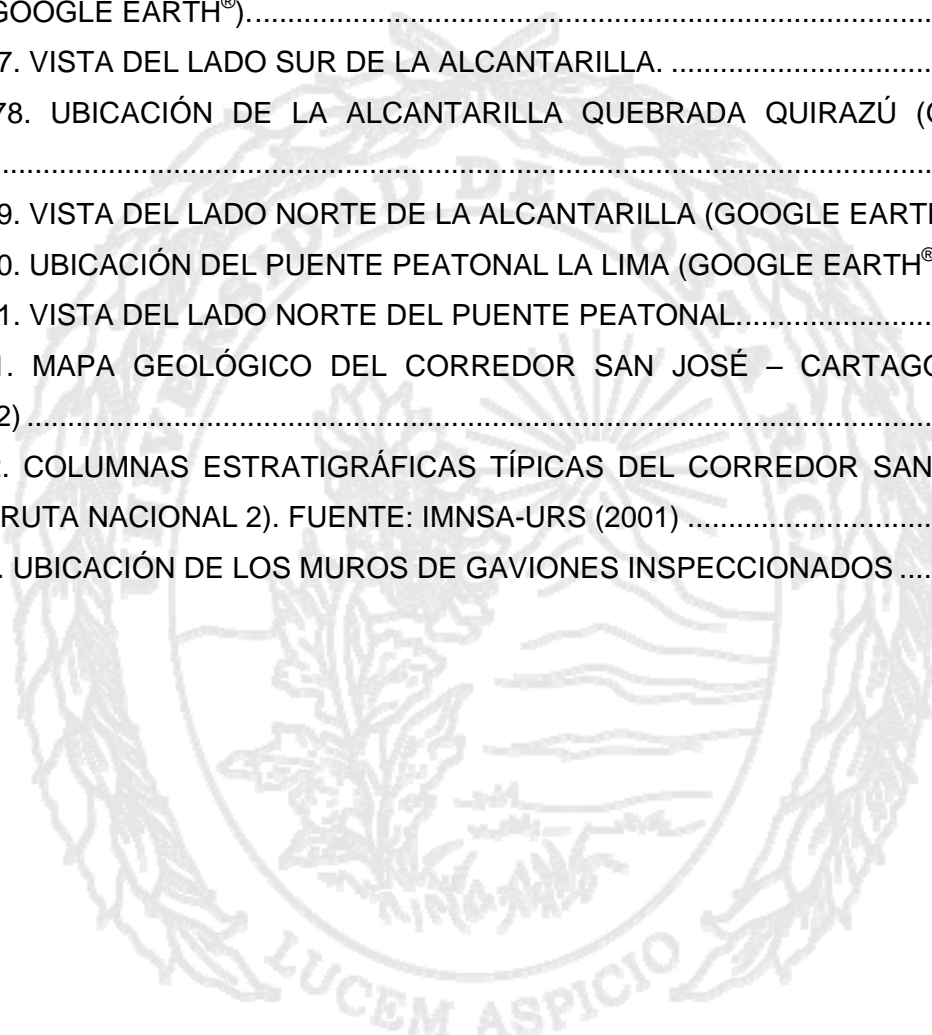
FIGURA 3.4. MÓDULO RESILIENTE (LA LIMA - HACIENDA VIEJA), PSI.....	47
FIGURA 5.1. CURVAS DE NIVEL A LO LARGO DEL CORREDOR SAN JOSÉ - CARTAGO	52
FIGURA 5.2. CURVAS EN LA ZONA CONOCIDA COMO LA "VUELTA DEL FIERRO", EN OCHOMOGO.....	53
FIGURA 5.3. MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO,	54
FIGURA 5.4. EJEMPLO DE GEORREFERENCIACIÓN DE PLANOS DE DISEÑO PRELIMINAR.....	55
FIGURA 5.5. PERFIL DEL TERRENO EN EL SENTIDO SAN JOSÉ – CARTAGO	55
FIGURA 5.6. EJEMPLO DE SOBREPOSICIÓN DEL DERECHO DE VÍA SOBRE EL	56
FIGURA 6.1. UBICACIÓN DEL PUENTE PASO A DESNIVEL LA GALERA (GOOGLE EARTH®).....	61
FIGURA 6.2. VISTA LATERAL DEL LADO ESTE.....	62
FIGURA 6.3. VISTA A LO LARGO DE LA LÍNEA CENTRO DESDE EL LADO NORTE.....	62
FIGURA 6.4. VISTA INFERIOR DESDE EL LADO NORTE.	63
FIGURA 6.5. SE OBSERVARON ALGUNAS GRIETAS TRANSVERSALES EN LA SUPERFICIE INFERIOR.....	63
FIGURA 6.6. AUSENCIA DE ALGUNAS SECCIONES DE LA BARRERA.....	64
FIGURA 6.7. AGRIETAMIENTO GENERALIZADO EN AMBAS DIRECCIONES DE LA	64
FIGURA 6.8. UBICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL WALMART (GOOGLE EARTH®).....	65
FIGURA 6.9. VISTA LATERAL DEL LADO ESTE.....	66
FIGURA 6.10. UBICACIÓN DE LA ALCANTARILLA RÍO CHAGÜITE (GOOGLE EARTH®). 67	
FIGURA 6.11. VISTA GENERAL DEL LADO SUR DE LA ALCANTARILLA.	67
FIGURA 6.12. UBICACIÓN DEL PUENTE PEATONAL VILLAS DE AYARCO (GOOGLE EARTH®).....	68
FIGURA 6.13. UBICACIÓN DEL PUENTE PEATONAL SAN DIEGO (GOOGLE EARTH®)..	69
FIGURA 6.14. VISTA LATERAL ESTE DEL PUENTE PEATONAL.....	70
FIGURA 6.15. UBICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL RN NO. 409 (GOOGLE EARTH®).....	71
FIGURA 6.16. VISTA LATERAL DEL LADO SUR.	71
FIGURA 6.17. VISTA SUPERIOR DEL PASO A DESNIVEL DESDE EL LADO SUROESTE.	72

FIGURA 6.18. VISTA LATERAL DEL LADO SUR EN DONDE SE PUEDE OBSERVAR AL PASO DEL CAMIÓN MOSTRADO LA LIMITADA DISTANCIA LIBRE INFERIOR DEL PASO A DESNIVEL.....	72
FIGURA 6.19. EVIDENCIA DE LA LIMITADA DISTANCIA LIBRE INFERIOR DEL PASO A DESNIVEL SON LOS DAÑOS POR DESPRENDIMIENTO DEL CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE LOS ACCESOS INFERIORES.	73
FIGURA 6.20. EL PASO A DESNIVEL POSEÍA JUNTAS CON EVIDENCIA.....	73
FIGURA 6.21. LA LOSA DE CONCRETO DE RODAMIENTO DE LA ALCANTARILLA DE CUADRO EVIDENCIABA AGRIETAMIENTO GENERALIZADO Y PRINCIPALMENTE LONGITUDINAL.....	74
FIGURA 6.22. UBICACIÓN DE LA ALCANTARILLA QUEBRADA SIN NOMBRE (GOOGLE EARTH®).....	75
FIGURA 6.23. VISTA DEL LADO SUR DE LA ALCANTARILLA	75
FIGURA 6.24. UBICACIÓN DEL PUENTE PEATONAL TERRAMALL (GOOGLE EARTH®).....	76
FIGURA 6.25. VISTA DEL LADO OESTE DEL PUENTE PEATONAL.....	77
FIGURA 6.26. UBICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL TERRAMALL (GOOGLE EARTH®)...	78
FIGURA 6.27. VISTA DE LADO SUR DEL PASO A DESNIVEL.	78
FIGURA 6.28. VISTA DEL ACCESO INFERIOR SUR DEL PASO A DESNIVEL.....	79
FIGURA 6.29. VISTA INFERIOR DESDE EL LADO ESTE.....	79
FIGURA 6.30. EVIDENCIA DE AGRIETAMIENTO GENERALIZADO EN AMBAS DIRECCIONES.....	80
FIGURA 6.31. EVIDENCIA DE DE LAMINACIÓN POR CORROSIÓN DEL ACERO.....	80
FIGURA 6.32. AGRIETAMIENTO DIAGONAL CON EVIDENCIA DE EFLORESCENCIA EN	81
FIGURA 6.33. UBICACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO TIRIBÍ (GOOGLE EARTH®).	82
FIGURA 6.34. VISTA LATERAL NORTE DEL PUENTE UBICADO AGUAS ABAJO.....	82
FIGURA 6.35. VISTA A LÍNEA CENTRO DESDE EL EXTREMO OESTE	83
FIGURA 6.36. VISTA LATERAL SUR DEL PUENTE UBICADO AGUAS ARRIBA.	83
FIGURA 6.37. AGRIETAMIENTO GENERALIZADO DE LA SUPERFICIE SUPERIOR DE LA LOSA DE CONCRETO CON MAYOR INCIDENCIA EN LA DIRECCIÓN TRANSVERSAL Y EN LAS ZONAS DE MOMENTO NEGATIVO SOBRE LAS PILAS.....	84
FIGURA 6.38. FALTANTE DEL 100% DE LA BARRERA DE CONTENCIÓN VEHICULAR. 84	

FIGURA 6.39. EVIDENCIA DE AGRIETAMIENTO DE CORTANTE EN LA ZONAS CERCANAS A LAS PILAS.	85
FIGURA 6.40. UBICACIÓN DEL PUENTE INFERIOR A TRES RÍOS (GOOGLE EARTH®).	86
FIGURA 6.41. VISTA LATERAL DEL LADO OESTE DEL PASO A DESNIVEL.....	86
FIGURA 6.42. UBICACIÓN DEL PASO PEATONAL LA ISLA (GOOGLE EARTH®).	87
FIGURA 6.43. VISTA LATERAL DEL LADO ESTE DEL PUENTE PEATONAL.....	88
FIGURA 6.44. UBICACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO CHIQUITO (GOOGLE EARTH®).	89
FIGURA 6.45. VISTA A LÍNEA CENTRO DESDE EL EXTREMO OESTE DEL PUENTE	89
FIGURA 6.46. VISTA LATERAL SUR DEL PUENTE UBICADO AGUAS ARRIBA.	90
FIGURA 6.47. VISTA INFERIOR DESDE EL LADO OESTE DEL PUENTE UBICADO AGUAS ARRIBA.....	90
FIGURA 6.48. AGRIETAMIENTO GENERALIZADO EN AMBAS DIRECCIONES DE LA SUPERFICIE SUPERIOR DE LA LOSA DE CONCRETO.....	91
FIGURA 6.49. AUSENCIA DE LAS BARRERAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR, DAÑOS EN EL PARAPETO DE CONCRETO POR COLISIÓN Y DETERIORO DE LA ZONA DE LA JUNTA DE EXPANSIÓN.	91
FIGURA 6.50. EVIDENCIA DE INICIOS DE SOCAVACIÓN EN LA PROTECCIÓN DEL TALUD AL FRENTE DEL BASTIÓN OESTE DEL PUENTE AGUAS ARRIBA.....	92
FIGURA 6.51. UBICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL LA CARPINTERA (GOOGLE EARTH®).....	93
FIGURA 6.52. VISTA SUPERIOR DESDE EL LADO OESTE.	93
FIGURA 6.53. VISTA DEL ACCESO INFERIOR SUR.....	94
FIGURA 6.54. VISTA DE LA ESTRUCTURA TIPO ALCANTARILLA DE CUADRO DESDE EL ACCESO SUR.....	94
FIGURA 6.55. EL PASO A DESNIVEL POSEÍA JUNTAS CON EVIDENCIA DE EFLORESCENCIA GENERALIZADA.....	95
FIGURA 6.56. LA ESTRUCTURA TIPO ALCANTARILLA DE CUADRO EVIDENCIABA AGRIETAMIENTO EN EL SENTIDO VERTICAL CON ESPESORES DE HASTA 0,50MM..	95
FIGURA 6.57. UBICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL RN NO. 251 (GOOGLE EARTH®).....	96
FIGURA 6.58. VISTA SUPERIOR DESDE EL LADO OESTE.	97
FIGURA 6.59. VISTA DEL ACCESO INFERIOR SUR.....	97

FIGURA 6.60. VISTA DE LA ESTRUCTURA TIPO ALCANTARILLA DE CUADRO DESDE EL ACCESO SUR.....	98
FIGURA 6.61. EVIDENCIA DE LA LIMITADA DISTANCIA LIBRE INFERIOR DEL PASO A DESNIVEL SON LOS DAÑOS POR DESPRENDIMIENTO DEL CONCRETO EN LA PARTE SUPERIOR DE LOS ACCESOS INFERIORES.	98
FIGURA 6.62. EL PASO A DESNIVEL POSEÍA JUNTAS CON EVIDENCIA DE	99
FIGURA 6.63. LA ESTRUCTURA TIPO ALCANTARILLA DE CUADRO EVIDENCIABA AGRIETAMIENTO	99
FIGURA 6.64. UBICACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO FIERRO II (GOOGLE EARTH®).	100
FIGURA 6.65. EVIDENCIA DE PROBLEMAS DE SOCAVACIÓN EN EL PUENTE: (A) EN EL AÑOS 2013 SE IDENTIFICÓ SOCAVACIÓN SEVERA AL PUNTO DE QUE LA FUNDACIÓN DE LAS PILAS HABÍA PERDIDO EL 50% DE SU SOPORTE; (B) EN EL AÑO 2014 SE COLOCÓ COMO MEDIDA TEMPORAL UNA CAPA DE SOPORTE PERO SIN LLEVAR A CABO MEDIDAS DE CARÁCTER PERMANENTE CON DISEÑO DE POR MEDIO PARA REMEDIAR EL PROBLEMA DE FORMA INTEGRAL.	101
FIGURA 6.66. EL TALUD DE PROTECCIÓN DEL TALUD AL FRENTE DEL BASTIÓN ESTE AÚN SE ENCONTRABA SOCAVADO TAL Y COMO SE HABÍA IDENTIFICADO EN EL 2013.....	102
FIGURA 6.67. LOS ELEMENTOS DE CONCRETO DE LA SUBESTRUCTURA, LAS PILAS EN ESTE CASO, MOSTRABAN EVIDENCIA DE DAÑOS POR IMPACTO DE OBJETOS DE GRAN TAMAÑO.....	102
FIGURA 6.68. DETERIORO AVANZADO DE LA BARRERA DE CONTENCIÓN VEHICULAR. NO HAY EVIDENCIA DE CUMPLIR CON LOS REQUISITOS PARA LA VELOCIDAD Y CANTIDAD DE VEHÍCULOS PESADOS QUE TRANSITAN POR LA RUTA.	103
FIGURA 6.69. UBICACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO FIERRO I (GOOGLE EARTH®).	104
FIGURA 6.70. VISTA A LÍNEA CENTRO DESDE EL ACCESO ESTE.	104
FIGURA 6.71. VISTA LATERAL GENERAL DESDE EL ACCESO OESTE.	105
FIGURA 6.72. VISTA INFERIOR DESDE EL ACCESO OESTE.	105
FIGURA 6.73. EVIDENCIA DE AGRIETAMIENTO Y EFLORESCENCIA EN LA SUPERFICIE INFERIOR DE LA SUPERESTRUCTURA.	106

FIGURA 6.74. LOS ELEMENTOS DE CONCRETO DE LA SUBESTRUCTURA, LAS VIGAS DE AMARRE DE LAS PILAS EN ESTE CASO, MOSTRABAN EVIDENCIA DE DAÑOS POR IMPACTO DE OBJETOS DE GRAN TAMAÑO ARRASTRADOS POR LA CORRIENTE... 106	106
FIGURA 6.75. LOS ELEMENTOS DE CONCRETO DE LA SUBESTRUCTURA, LAS PILAS EN ESTE CASO, MOSTRABAN EVIDENCIA DE DAÑOS POR IMPACTO DE OBJETOS DE GRAN TAMAÑO ARRASTRADOS POR LA CORRIENTE. 107	107
FIGURA 6.76. UBICACIÓN DE LA ALCANTARILLA AFLUENTE DE LA QUEBRADA QUIRAZÚ (GOOGLE EARTH®)..... 108	108
FIGURA 6.77. VISTA DEL LADO SUR DE LA ALCANTARILLA. 108	108
FIGURA 6.78. UBICACIÓN DE LA ALCANTARILLA QUEBRADA QUIRAZÚ (GOOGLE EARTH®)..... 109	109
FIGURA 6.79. VISTA DEL LADO NORTE DE LA ALCANTARILLA (GOOGLE EARTH®)... 110	110
FIGURA 6.80. UBICACIÓN DEL PUENTE PEATONAL LA LIMA (GOOGLE EARTH®)..... 111	111
FIGURA 6.81. VISTA DEL LADO NORTE DEL PUENTE PEATONAL..... 111	111
FIGURA 7.1. MAPA GEOLÓGICO DEL CORREDOR SAN JOSÉ – CARTAGO (RUTA NACIONAL 2) 122	122
FIGURA 7.2. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS TÍPICAS DEL CORREDOR SAN JOSÉ – CARTAGO (RUTA NACIONAL 2). FUENTE: IMNSA-URS (2001) 123	123
FIGURA 7.3. UBICACIÓN DE LOS MUROS DE GAVIONES INSPECCIONADOS 125	125



1. CAPÍTULO. JUSTIFICACIÓN

1.1. POTESTADES

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales es una dependencia de la Universidad de Costa Rica, especializada en la Ingeniería Civil. La Ley N°8114, *Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria*, y su reforma mediante la Ley N° 8603, en su Artículo 6, encomienda al LanammeUCR funciones en materia de asesoría técnica, según el inciso g, *Asesoramiento técnico al jerarca superior de la Dirección de Vialidad del MOPT, así como al ministro y viceministro del sector*, para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública en la reconstrucción y conservación de la red vial costarricense.

Se elabora el presente informe de Asesoría y Colaboración Técnica, en virtud de la expresa solicitud del jerarca superior del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, en reunión del día 11 de febrero del 2015, en presencia de diputados de la provincia de Cartago, representantes del Instituto Tecnológico y de la Comisión de la Zona Económico Especial de Cartago.

1.2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del presente informe es brindar apoyo y aportar elementos técnicos para la toma de decisiones por parte de la Administración, en aras de establecer una intervención integral y sostenible, que permita solucionar la conectividad y vialidad del corredor que comunica San José con Cartago, a través de la Ruta Nacional N° 2.

1.3. ANTECEDENTES

En relación con el corredor San José-Cartago, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, MOPT, básicamente a través del Consejo Nacional de Concesiones, varios estudios y propuestas, en pro de proveer una solución a la problemática vial que presenta dicho corredor. Dicha información representa elementos de análisis que se consideran de una u otra forma, para el desarrollo del presente informe, y en resumen son los siguientes:

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 14 de 142
----------------------------	--	------------------

- **Proyecto: Corredor Vial San José – Zapote – Cartago.** Diseño Preliminar y Estudio de Factibilidad Técnica, Económica, Financiera y Ambiental para la Concesión de Obra con Servicio Público. Elaborado por URS Corporation. Jun 2001.
- **Proyecto: Desarrollo Vial del Valle Central a Puerto Limón.** Proyecto de Iniciativa Privada de Concesión de Obra Pública. Presentado por Consorcio Autopistas del Caribe. Oct 2008
- **Proyecto: San José-Cartago.** Estudios Preliminares para el Desarrollo de un Túnel Vial. Elaborado por el ICE. Nov 2009.
- **Proyecto: Corredor Vial; Circunvalación Norte – Florencio del Castillo.** Elaboración del pliego de Condiciones y Evaluación Socio-Económica a nivel de prefactibilidad para el Diseño y Construcción, elaborado por Cal y Mayor & Asociados. Mar 2012.

1.4. DESCRIPCIÓN Y CONDICIONES ACTUALES DEL TRAMO A EVALUAR

El tramo a evaluar se encuentra localizado sobre la Ruta Nacional 2, entre Hacienda Vieja de Curridabat de San José y La Lima de Cartago. En el Cuadro 1.1 se muestran las coordenadas de inicio y fin del tramo de la Ruta 2 que conforma el proyecto.

Cuadro 1.1. Localización del proyecto

Coordenada	Hacienda Vieja de Curridabat	La Lima de Cartago
Latitud	9°54'40.48"N	9°52'10.53"N
Longitud	84° 2'10.12"O	83°56'41.20"O

El proyecto posee una extensión de aproximadamente 15 km, se encuentra entre 1210 msnm hasta 1574 msnm, con un promedio de 1384 msnm. Para los primeros 7,5 km, se tiene una pendiente de aproximadamente +2.5 %, entre 7,5 km y 10,5 km, se presentan grandes pendientes, la mayoría mayores al +8% aproximadamente, y después del 10,5 km,

una pendiente de aproximadamente -7%. En la siguiente figura se muestra la ruta del proyecto y el perfil de elevaciones.

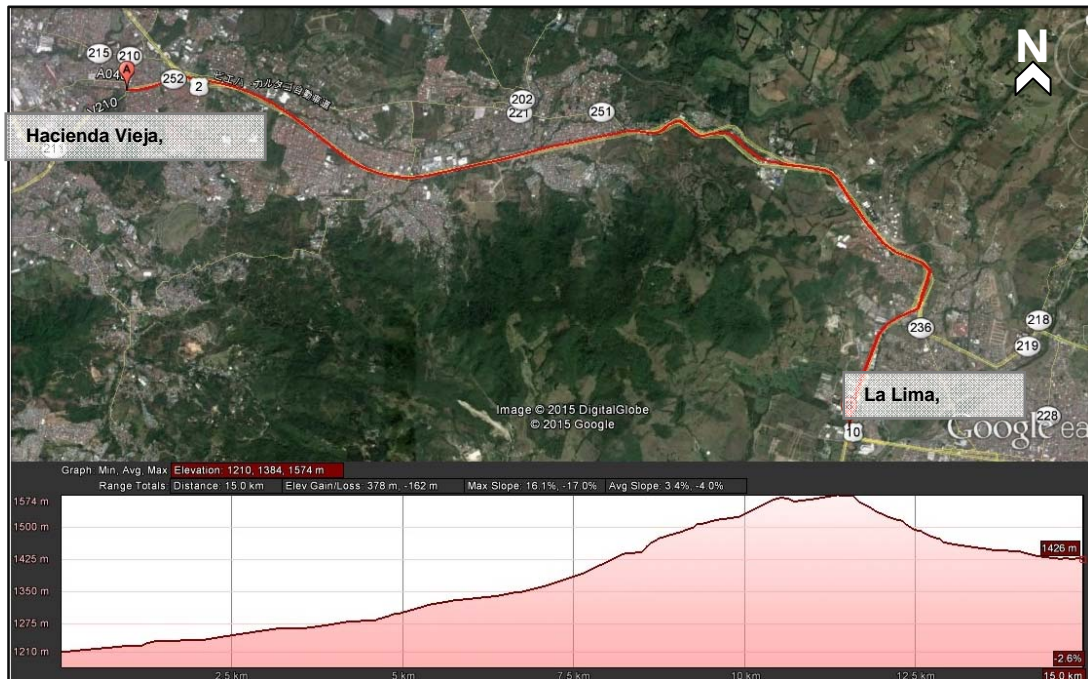


Figura 1.1. Ubicación y perfil del terreno del proyecto.

Fuente: Google Earth, 2015

La Ruta Nacional N° 2 (San José - Paso Canoas) es una de las rutas primarias que existen en Costa Rica, conocida como Autopista Florencio del Castillo para el tramo San José-Cartago e Interamericana Sur para el tramo Cartago-Paso Canoas. Una red vial primaria es importante para un país, ya que por ella transita un gran porcentaje de parte de las importaciones y exportaciones del país, además es la ruta más importante que conecta San José con Cartago, siendo que muchos de los cartagineses trabajan en el área metropolitana.

Actualmente el primer tramo cuenta con 4 carriles, 2 por sentido, para un tránsito promedio diario (TPD) de más de 60000 vehículos. Actualmente el tráfico durante las horas pico es considerable, principalmente cerca de las intersecciones, por lo que hay una afectación económica significativa al no poder movilizar personas, materiales y productos de forma efectiva. Para este caso se tiene como posibles causas lo siguiente:

nforme INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 16 de 142
---------------------------	--	------------------

- Carencia de conectividad.
- Conectividad existente ineficiente.
- Bajo nivel de servicio de las rutas circundantes a la autopista.
- Intercambios con baja capacidad vehicular agotada en la autopista

Las anteriores causas generan los siguientes efectos:

- Conflictos viales.
- Alta congestión vehicular.
- Altos costos de operación.
- Altos tiempos de viaje.
- Contaminación ambiental y sónica.
- Desplazamiento de la población al casco urbano, ante la falta de fuentes de trabajo.
- Disminución de atención médica y en educación.
- Baja comercialización agropecuaria, industrial, turística, etc.
- Pérdida de competitividad de la zona.
- Efecto “ciudad dormitorio”.

1.5. IMPORTANCIA DEL PRESENTE INFORME

La finalidad del mejoramiento del tramo Hacienda Vieja-La Lima, consiste en lograr una adecuada conectividad vial entre San José y Cartago, de forma eficiente y segura, a través de obras y acciones que permitan mejoras en los tiempos de viaje, el nivel de servicio y los costos de operación, así como la seguridad vial del usuario.

Para procurar un proyecto óptimo del tramo, es necesario realizar estudios preliminares que proporcionen elementos para realizar un estudio de factibilidad y diseño a nivel de anteproyecto, de manera tal que le permita a la Administración una adecuada toma de decisiones con el fin de garantizar inversiones eficientes y eficaces.

Es así como, este informe se enfoca en estudios preliminares (capacidad vial, evaluación de la estructura del pavimento, derecho de vía, análisis de geotecnia y seguridad vial, entre otros), sobre la troncal del tramo Hacienda Vieja-La Lima, como insumos para la generación,

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 17 de 142
----------------------------	--	------------------

por parte de la Administración, del estudio de factibilidad técnica-económica-financiera, del corredor San José-Cartago, que permita definir la solución óptima.

1.6. METODOLOGÍA GENERAL

La labor efectuada, se orientó en recopilar todos los antecedentes relacionados con la concesión de obra pública de la ruta como primera intención de proyecto. Luego, se realizó una evaluación del estado de las estructuras del pavimento, puentes, alcantarillas, pasos peatonales, condiciones de tránsito, geotécnica y seguridad vial.

Con la anterior evaluación se realizaron análisis para determinar de forma preliminar la capacidad vial, la estructura del pavimento requerida para un periodo determinado, así como recomendaciones en cuanto a geotecnia, seguridad vial e intervención de las estructuras viales existentes.

1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES

Los análisis se realizan desde una perspectiva técnica, no se consideran temas administrativos, legales o financieros. Se enfoca básicamente en la troncal del tramo Hacienda Vieja (Curridabat)-La Lima (Cartago).

Quedan fuera del alcance del estudio el diseño geométrico, no obstante se realiza un análisis conceptual para algunos intercambios, entre los diseños propuestos en la concesión y los propuestos por la Dirección General de Ingeniería de Tránsito, del MOPT.

1.8. INFORMACIÓN EN FORMATO DIGITAL

Es parte integral del presente informe el disco compacto adjunto que contiene todo el expediente del proyecto de la Concesión San José-Cartago, suministrado por el Consejo Nacional de Concesiones, del MOPT. De igual forma, se incorpora toda la información topográfica, cartográfica y georreferenciada, recopilada, analizada y preparada por el Lanamme.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 18 de 142
----------------------------	--	------------------

2. CAPÍTULO. ANÁLISIS DE CAPACIDAD EN LA TRONCAL

2.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo resume los resultados correspondientes a una estimación inicial de los niveles de servicio y diferentes proyecciones de tránsito futuro de la troncal de tramo Hacienda Vieja–La Lima de acuerdo con los criterios establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual) de los Estados Unidos.

Para la realización del estudio se recopilaron datos de tráfico, utilizando contadores neumáticos, en tres puntos de la carretera. Además, se utilizaron a partir de las estimaciones del Anteproyecto Conceptual para el Diseño y Construcción del Proyecto Corredor Vial: Circunvalación Norte - Florencio del Castillo (Cal y Mayor y Asociados, 2012), y el informe Diseño preliminar y Estudio de Factibilidad técnica, Económica, Financiera y Ambiental para la concesión de Obra con Servicio Público del Corredor Vial San José–Zapote–Cartago, de LCR Logística (2001). Adicionalmente, se revisaron las recomendaciones relacionadas con la cantidad de carriles para el tramo Hacienda Vieja–Zapote, de los estudios previamente contratados por la Administración.

2.2. OBJETIVO

Estimar los niveles de servicio para la condición actual y diferentes proyecciones de tránsito futuro, para diferentes cantidades de carriles, de acuerdo con los criterios establecidos en el Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual) de los Estados Unidos.

2.3. CONCEPTOS GENERALES

Esta sección define, a un nivel introductorio y básico, algunos conceptos que pueden servir como referencia al lector no familiarizado con la ingeniería de transporte y que le facilitará la lectura del informe.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 19 de 142
----------------------------	--	------------------

- **Análisis de capacidad:** capacidad y nivel de servicio de un tramo que dependen de las características geométricas de la vía y de la composición del tránsito.
- **Capacidad:** máximo número de vehículos que pueden transitar por una vía en una unidad de tiempo.
- **Crecimiento normal del tránsito (CNT):** es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007)
- **Demanda:** corresponde al volumen de tránsito horario que pasa por una facilidad. Cuando la demanda es mayor que la capacidad, se generan colas. Las colas representan la demanda no satisfecha.
- **Flujo de servicio:** es el flujo direccional horario máximo que puede sostener una vía sin violar los criterios para un determinado nivel de servicio durante el peor periodo de 15 minutos durante el periodo de mayor densidad del tránsito (periodo pico) (SIECA, 2011; TRB, 2010).
- **Nivel de servicio:** Es una estratificación cuantitativa de las medidas de desempeño que definen la calidad del servicio brindado (TRB, 2010). Describe las condiciones de la vía bajo diferentes condiciones de razones de flujo vehicular con la capacidad de la carretera. Los diseños de las autopistas "deben limitarse al nivel de servicio C" (SIECA, 2011, pág. 32). El siguiente cuadro muestra los diferentes niveles de servicio

Cuadro 2.1. Descripción de niveles de servicio

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación (90 km/h o más). La demora de los conductores no es mayor del 35% del total de tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 490 veh/hr.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito (80 km/h). La demora de los conductores no es mayor al 50% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 780 veh/hr.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad (70 km/h). La demora de los conductores alcanza el 65% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,190 veh/hr.
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La velocidad se mantiene alrededor de 60 km/h. La demora de los conductores es cercana al 80% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,830 veh/hr.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos. La velocidad cae hasta 40 km/hr. La demora de los conductores es mayor al 80% del total del tiempo de viaje.
F	Flujo forzado, condiciones de "pare y siga", congestión de tránsito.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial (SIECA, 2011, pág. 60).

- **Oferta:** es el equivalente a la capacidad del segmento de la vía analizado. Estas condiciones funcionales dependen de ciertas características geométricas de la vía y de la composición del tránsito. Para el caso del análisis de tramos de autopista no se considera el efecto de condiciones "aguas abajo" del segmento analizado.
- **Segmento:** tramo de la vía entre dos puntos. En los segmentos se asume que la geometría y el tráfico se mantienen constantes (TRB, 2010).
- **Tránsito desarrollado (TD):** incremento en el volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera.
- **Tránsito Generado (TG):** consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del tránsito público, que no se realizarían si no se construye la nueva carretera, se le asignan tasa de incremento entre 5% y 20% del tránsito actual, con un periodo de generación de uno o dos años después de que la carretera ha sido abierta. Se compone de tres categorías:
 - *Tránsito inducido*, nuevos viajes no realizados previamente por ningún modo de transporte;
 - *Tránsito convertido*, nuevos viajes que previamente se realizaban en taxi, autobús, tren, avión, barco, y que se realizarían ahora en automóvil;
 - *Tránsito trasladado*, consistente en viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la carretera y no al cambio en el uso del suelo.
- **Tránsito Promedio Diario (TPD):** Corresponde al número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante un periodo de tiempo menor a un año dividido entre el número de días en ese periodo de tiempo (Hernández, 2013).
- **Variaciones en la demanda:** El tráfico de un día en un segmento no refleja la cantidad de tráfico en otro día, o el tráfico que hubiese si algún cuello de botella fuese eliminado. La demanda varía por día de la semana, mes del año, por hora del día (TRB, 2010).

2.4. METODOLOGÍA

Para simplificar los cálculos se realizaron análisis de capacidad para tres diferentes secciones del tramo analizado:

- Sección Hacienda Vieja – peaje de Tres Ríos,
- Sección peaje de Tres Ríos – cruce a Taras, en la dirección ascendente y
- Sección cruce Taras – cruce La Lima

Para cada sección se determinaron los niveles de tráfico donde se presentaban cambios en los niveles de servicio (LOS por sus siglas en inglés) para las diferentes configuraciones de la vía, es decir, para dos, tres y cuatro carriles por sentido. Estos volúmenes de tráfico se definieron como los límites de un específico nivel de servicio, que permitieron generar rangos de volúmenes de tráfico para cada nivel de servicio.

Cuadro 2.2. Límites de TPD y nivel de servicio según tipo de terreno y cantidad de carriles

Nivel Servicio	Terreno Plano			Terreno Montañoso		
	Cantidad de Carriles					
	2	3	4	2	3	4
A	27 957	41 935	55 914	22 581	34 409	45 699
B	45 699	68 817	91 935	37 097	55 914	74 731
C	62 903	94 624	128 495	51 613	77 419	103 226
D	76 882	115 591	153 763	62 366	94 086	125 269
E	86 559	131 183	174 731	70 968	106 989	142 473

Adicionalmente, se realizaron proyecciones del tráfico vehicular futuro, y se compararon estas estimaciones con los rangos previamente generados, para asignarle al volumen futuro el rango de nivel de servicio en el cual la vía operaría bajo las condiciones proyectadas.



*LOS: Niveles de Servicio (siglas en inglés)

A la hora de calcular los niveles de servicio, además de analizar cada tramo con una tasa de crecimiento de 2% y 3%, se realiza un análisis adicional de una “tasa combinada” la cual corresponde a la utilizada para la proyección histórica (4,8%) para los próximos 10 años, y para años posteriores se utiliza una tasa del 2%.

Fuentes de información

- PITRA-LanammeUCR: Conteos vehiculares utilizando contadores neumáticos realizados en setiembre 2014 y en marzo 2015.
- Datos históricos suministrados por la Dirección de Planificación Sectorial MOPT 2013.
- Diseño preliminar y Estudio de Factibilidad técnica, Económica, Financiera y Ambiental para la concesión de Obra con Servicio Público del Corredor Vial San José – Zapote – Cartago, de LCR Logística (2001).
- Anteproyecto Conceptual para el Diseño y Construcción del Proyecto Corredor Vial: Circunvalación Norte – Florencio del Castillo, Cal y Mayor y Asociados, Marzo 2012.

Nivel de servicio mínimo

Para la elaboración de las conclusiones se determinó un nivel de servicio mínimo C. El cual se encuentra establecido en la literatura, a nivel nacional y centroamericano, como un nivel de servicio mínimo para autopistas y arterias urbanas principales (SIECA, 2011; L.C.R. Logística, 2007).

2.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

La información con la que se contó para elaborar este reporte es limitada. Los principales aspectos relacionados con los alcances y limitaciones de este estudio son los siguientes:

- Este análisis inicial pretende conceptualizar la cantidad de carriles requerida para diferentes tramos del proyecto. La información aquí mostrada debe de utilizarse como un insumo inicial, siendo necesarios estudios más extensos y concretos.
- Los cálculos de capacidad fueron realizados en el *Highway Capacity Software* (HCS) versión 2010 el cual está basado en el *Highway Capacity Manual 2010* (TRB, 2010).

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 23 de 142
----------------------------	--	------------------

- Este es un estudio, a nivel funcional, de los segmentos de la ruta donde fue suministrada información de tránsito. Se requiere estudiar con mayor detalle el efecto de las condiciones de funcionamiento de la red vial a futuro en el área de influencia del corredor.
- Proyecciones iniciales basadas en estudios anteriores y conteos de TPD suministrados por el MOPT, LCR Logística y PITRA LanammeUCR. Se analizaron las siguientes secciones:
 - Hacienda Vieja – Peaje de Tres Ríos
 - Peaje de Tres Ríos – Cruce a Taras (zonas de ascenso Ochomogo)
 - Cruce a Taras – La Lima
- Las tasas de crecimiento utilizadas en esta valoración son para definir una configuración inicial del proyecto para el año 2015, no se pueden considerar como las tasas de crecimiento definitivas del proyecto.
- Los datos de conteos utilizados únicamente reflejan los vehículos que actualmente pasan por la vía y no reflejan la demanda real existente, dado que no considera la demanda no satisfecha, i.e., los vehículos que se encuentran en cola antes de los puntos considerados como cuello de botella. Tampoco considera el efecto de tránsito inducido por el mejoramiento del corredor.
- El análisis no incluye el efecto del proyecto de transporte masivo de pasajeros modalidad tren, ni de proyectos de transporte masivo, modalidad autobús, en el sector este del Área Metropolitana.
- No se incluyó en el análisis el efecto de los paraderos de autobús en el corredor, ni el efecto de rampas u otras ubicaciones donde existe tráfico que entra y sale de la vía.
- Tampoco se incluye dentro del análisis el tránsito generado (TG), ni el tránsito desarrollado (TD).
- Las proyecciones de tránsito mostradas en este análisis, con excepción de la de L.C.R. Logística (2010), no consideró el efecto de futuras restricciones en la capacidad de la vía. Las proyecciones de tránsito se realizaron utilizando la

proyección logística y las proyecciones exponenciales se estimaron utilizando la siguiente ecuación:

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

donde:

F= valor futuro

P= valor presente

i= tasa de crecimiento

n= número de años a partir del año base

Se supuso un factor de hora pico de 0,95.

- Los análisis se realizaron asumiendo que las condiciones del tráfico no se encuentran afectadas por congestión en las cercanías de los tramos analizados.
- Dado que en el tramo no existe una estación de conteo permanente, no es posible estimar el grado de variabilidad relacionado con la información de datos de tránsito, los cuales presentan duraciones de conteo bastante limitadas, recopilada por el MOPT. Tampoco existen factores de ajuste actualizados que permitan obtener valores de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). Los datos aquí mostrados, a partir de los conteos del MOPT, corresponden a estimaciones de tránsito promedio diario (TPD).
- Dada la falta de información en el país, no se ajustaron los datos para condiciones climáticas adversas. Por ejemplo, lluvias intensas.
- Para el tramo Hacienda Vieja - Zapote, dada la complejidad de realizar proyecciones de tránsito para tramos nuevos de carretera en redes urbanas, únicamente se revisaron las recomendaciones relacionadas con el número de carriles y proyecciones de tránsito en la documentación relacionada con el proyecto.
- La capacidad de la ruta se determina por medio de la curva de logística (curva S) de crecimiento vehicular. En la figura 2.1 se presenta la realizada para el sector del peaje de Tres Ríos basada en los datos históricos (rojo) y proyección logística (azul), asumiendo para la proyección una restricción de capacidad de tres carriles por sentido.

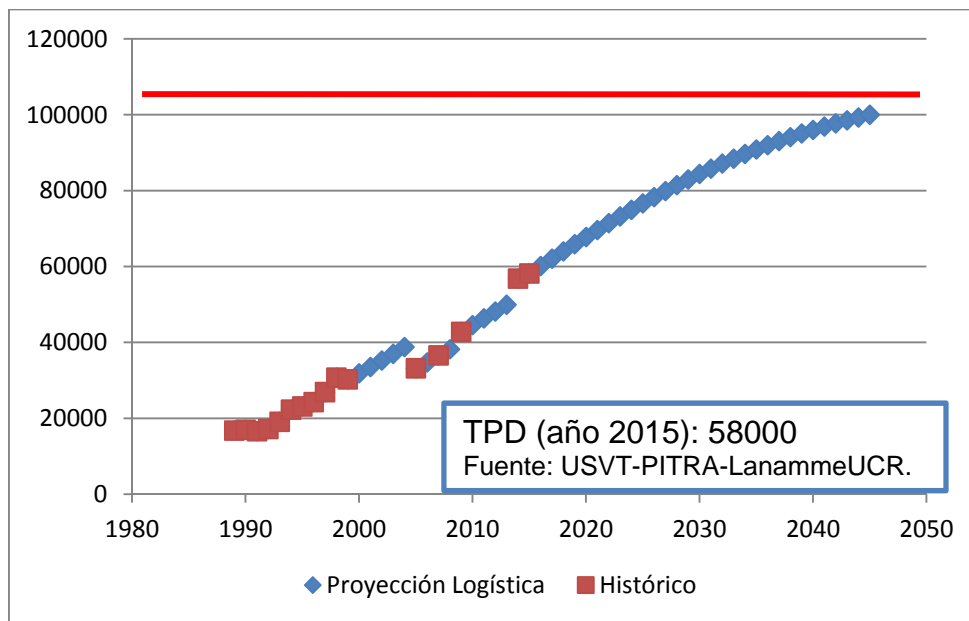


Figura 2.1. Curva S para aproximar valores de TPD de la serie histórica

2.6. ESCENARIOS CONSIDERADOS

Se analizaron diferentes escenarios para los distintos trayectos y tramos en estudio, los cuales surgen a partir de los datos recopilados de diferentes conteos de las fuentes de información utilizadas.

- El primer escenario planteado para cada uno de los diferentes trayectos, es utilizando los datos históricos con tasa de crecimiento de 4,8%, 2%, 3% y combinada.
- Se realizan proyecciones de tránsito para el escenario planteado por LCR logística utilizando los volúmenes suministrados en sus conteos.
- Los volúmenes de tránsito proporcionados por LanammeUCR, también se emplean para el análisis en conjunto con los datos históricos suministrados por el MOPT.

2.7. ANÁLISIS REALIZADO

A continuación se presenta en modo resumen los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios estudiados.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 26 de 142
----------------------------	--	------------------

Cuadro 2.3. TPD Obtenidos LanammeUCR en la Florencio del Castillo (2015)

Ubicación	TPD
Sector Walmart, Curridabat	65767
Peaje Tres Ríos, La Unión	58142
Cruce San Rafael de Tres Ríos, La Unión	63610*

*61375 si se considera el fin de semana

Sector peaje de Tres Ríos, La Unión

Los datos históricos que se utilizaron para realizar las proyecciones son los registrados por el MOPT hasta el año 2013, para el año 2014 y 2015 son datos de los conteos realizados por el LanammeUCR. Al realizar un análisis de regresión exponencial, el crecimiento en la ruta corresponde a una tasa de crecimiento anual de 4,8%. Esta tasa de crecimiento se observó tanto para los datos históricos del MOPT. Esta tasa también se presenta al incorporar los datos recopilados del LanammeUCR a los datos históricos del MOPT.

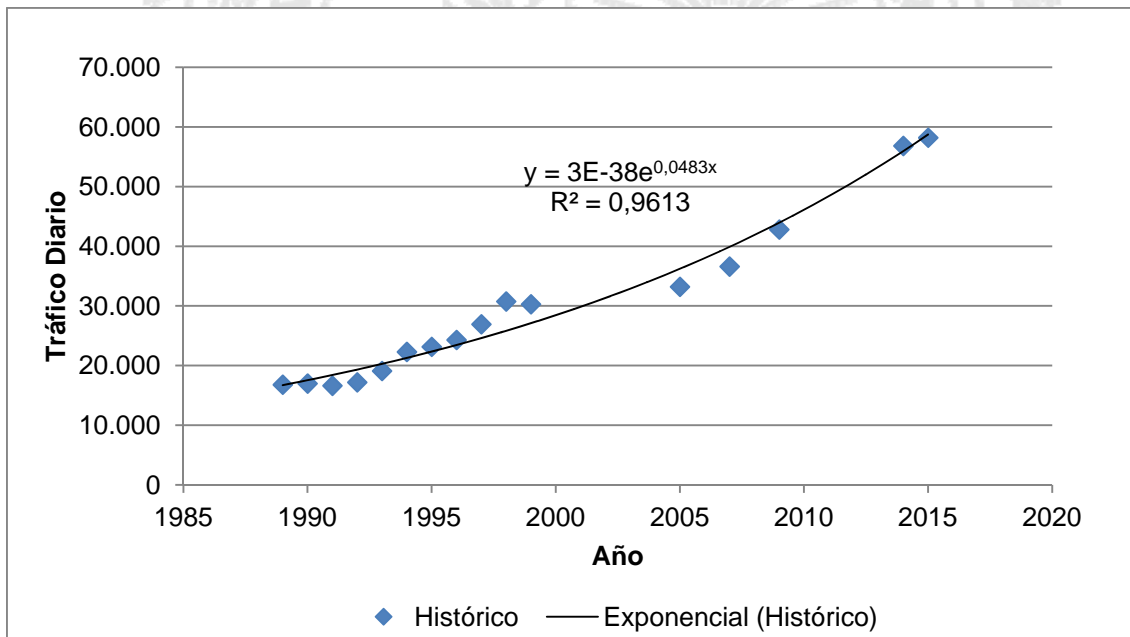


Figura 2.2. Histórico del tránsito diario, sector Peaje Tres Ríos

Al proyectar los datos de tránsito utilizando esta tasa se observó que con la tasa de crecimiento empleada, los volúmenes de tráfico en el largo plazo se vuelven insostenibles. Por ejemplo, si la tasa de crecimiento se mantuviera a lo largo del tiempo, el volumen vehicular llegaría a más de 200 mil vehículos en este corredor en el año 2040.

Razón por la cual se plantea un escenario diferente, combinando la proyección con tasa de crecimiento de 4,8% hasta el año 2025 y para años posteriores se utilizó una tasa del 2%. En este informe a esta tasa se le llama proyección combinada (o tasa actual con reducción a 10 años), debido a que combina dos tasas de crecimiento. Es recomendable el seguimiento la evolución del tráfico en el corredor en el futuro.

En la figura 3, se exponen los escenarios utilizados en el análisis de este tramo:

- LCR 2001: Proyección de tráfico realizada por LCR Logística en su informe del 2001.
- Logística 3 carriles: Proyección Logística que toma en cuenta la restricción de la capacidad asumiendo una vía de tres carriles por sentido.
- Tasa actual con reducción a 10 años: tasa de crecimiento de 4,8% hasta el año 2025 y para años posteriores se utilizó una tasa del 2%.
- Crec. 3%: Tasa de crecimiento exponencial del 3%.
- Crec. 2%: Tasa de crecimiento exponencial del 2%.
- Logística 4 carriles: Proyección Logística que toma en cuenta la restricción de la capacidad asumiendo una vía de cuatro carriles por sentido.

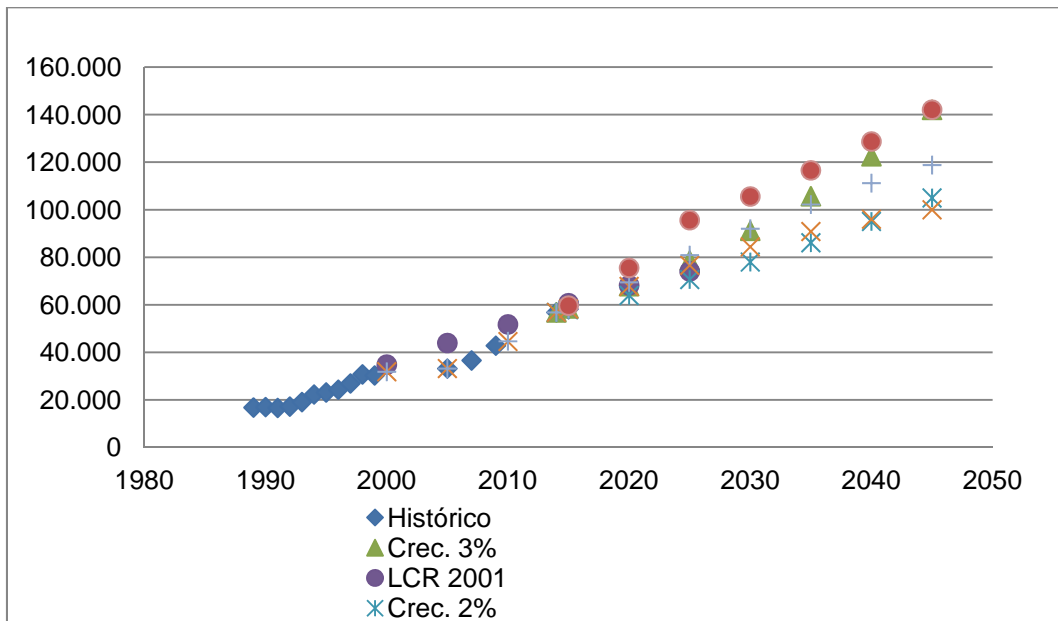


Figura 2.3. Proyecciones de tránsito utilizadas, Peaje Tres Ríos

A través del tiempo se puede observar como el rango de posibles valores aumenta reflejando el aumento en la incertidumbre en cuanto a las proyecciones futuras. Para el análisis se utilizaron las tasas de crecimiento anual de 2% y 3%, así como la tasa de crecimiento actual con una reducción a 10 años (tasa combinada), debido a que al considerar estas proyecciones, el análisis se encuentra dentro de un rango que incluye a la mayoría de los escenarios proyectados. Los niveles de servicio obtenidos para las proyecciones de los datos históricos son los siguientes:

Cuadro 2.4. Niveles de servicio, terreno plano, dos carriles, Peaje Tres Ríos

Año	Tasa Combinada	2%	3%
2014	D	D	D
2015	D	D	D
2020	F	E	E
2025	F	F	F
2030	F	F	F
2035	F	F	F
2040	F	F	F
2045	F	F	F

Cuadro 2.5. Niveles de servicio, terreno plano, tres carriles, Peaje Tres Ríos

Año	Tasa Combinada	2%	3%
2014	C	C	C
2015	C	C	C
2020	C	C	C
2025	E	C	D
2030	E	D	D
2035	F	D	E
2040	F	E	F
2045	F	E	F

Sector de ascenso de Ochoмого

Para este sector los datos que se utilizaron para realizar las proyecciones, son fuente de conteos realizados por el LanammeUCR a finales del 2014 y en marzo del 2015.

El escenario actual del tramo los niveles de servicio que se presentan, son críticos, la demanda del sitio supera significativamente la capacidad que posee la carretera de dos carriles.

Cuadro 2.6. Nivel de Servicio Terreno Montañoso 2 Carriles

Año	Tasa Combinada	2%	3%
2014	E	E	E
2015	F	F	F
2020	F	F	F
2025	F	F	F
2030	F	F	F
2035	F	F	F
2040	F	F	F
2045	F	F	F

Para aumentar los niveles de servicio según los volúmenes obtenidos a partir de una tasa de crecimiento de 4,7% se plantea la construcción de un tercer carril, solución que según los resultados del análisis presenta mejoras durante los próximos diez años.

Cuadro 2.7 Nivel de Servicio Terreno Montañoso 3 Carriles

Año	Tasa Combinada	2%	3%
2014	C	C	C
2015	C	C	C
2020	D	D	D
2025	F	D	E
2030	F	E	F
2035	F	E	F
2040	F	F	F
2045	F	F	F

Cruce Taras – La Lima

En este tramo se emplearon los conteos históricos, para calcular el tráfico promedio diario y poder analizar el nivel de servicio que presenta la carretera con dos carriles y además estimar también los que tendría al añadir un carril más por sentido.

Debido a que el volumen de tránsito no es crítico en este tramo de carretera, únicamente se utilizó la tasa combinada para el análisis.

Cuadro 2.8. Niveles de Servicio, sector Taras – la Lima

Año	TPD	2 carriles	3 carriles
2014	42934	C	B
2015	45008	C	B
2020	47182	C	B
2025	59731	D	C
2030	75619	F	C
2035	83489	F	D
2040	92179	F	D
2045	101773	F	E

Sección Hacienda Vieja - Zapote

De acuerdo con las proyecciones y el análisis de capacidad realizado por LCR Logística en el 2001 se recomienda tres carriles por sentido. Por otro lado, el informe de Cal y Mayor (2012) recomienda dos carriles para el año 2012; sin embargo, indica que si la troncal se va

a ampliar a tres carriles por sentido, se debe de ampliar también la sección Zapote – Curridabat a tres carriles.

La Figura 2.4 presenta un resumen de las proyecciones de tránsito para esta sección de acuerdo a los dos estudios mencionados en el párrafo anterior.

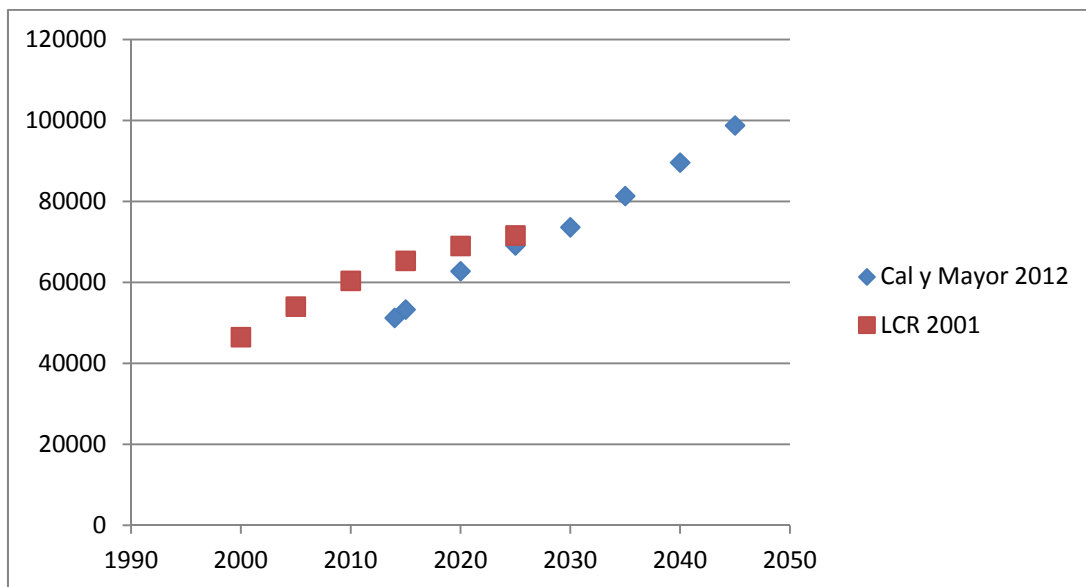


Figura 2.4. Proyecciones de tránsito utilizadas, Peaje Tres Ríos

2.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente análisis determina que es necesaria la ampliación para contar con al menos tres carriles por sentido en las secciones Hacienda Vieja - Cruce Taras. Una ampliación a tres carriles por sentido en el tramo Cruce de Taras - La Lima garantizaría un adecuado nivel de servicio en el corredor.

De acuerdo con la documentación existente es recomendable la construcción de tres carriles de la sección Hacienda Vieja - Zapote.

Se recomienda que la administración realice un estudio funcional relacionado con los intercambios e intersecciones existentes y futuras. También es fundamental que se incluya a todos los usuarios de la vía incluyendo ciclistas, peatones y transporte público.

Es recomendable además, que la administración realice análisis adicionales a este proyecto, incluyendo el tramo Cruce La Lima - Río Purires, El Guarco, en la Ruta Nacional N° 2, dado la futura construcción del nuevo Hospital de Cartago y desarrollo adicional esperado en la zona.

2.9. REFERENCIAS

- Cal y Mayor y Asociados (Marzo, 2012) Anteproyecto Conceptual para el Diseño y Construcción del Proyecto Corredor Vial: Circunvalación Norte – Florencio del Castillo.
- Cal y Mayor, Cárdenas (2007) Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. Octava Edición. Alfaomega, México.
- Hernández (2013) Mapa de Tráfico Promedio Diario 2013. Red Vial Nacional. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad de Costa Rica.
- LCR Logística (2001) Diseño preliminar y Estudio de Factibilidad Técnica, Económica, Financiera y Ambiental para la concesión de Obra con Servicio Público del Corredor Vial San José – Zapote – Cartago.
- LCR Logística (2007) Estudio de Oferta y Demanda de Transportes de la GAM. Informe Final. Tomo II Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana: Componente Movilidad y Transporte
- MOPT (2013) Anuario del Tránsito. Dirección Planificación Sectorial. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, MOPT. Recuperado de: <http://svinternet.mopt.go.cr/centrodeinformacion/Digitalizados/AnuarioTr%C3%A1nsito2013.pdf>
- SIECA (2011) Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial
- TRB (2010) Highway Capacity Manual. Transportation Research Record

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 33 de 142
----------------------------	--	------------------

3. CAPÍTULO. DISEÑO PRELIMINAR DE PAVIMENTOS EN LA TRONCAL

3.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo resume los resultados correspondientes al diseño preliminar de la estructura del pavimento a partir de la una estimación inicial de los niveles de servicio y diferentes proyecciones de tránsito futuro de la troncal del tramo Hacienda Vieja - La Lima.

Se presentan varias posibilidades que contemplan pavimento rígido y flexible, determinándose además, que para algunos sectores se requiere reconstrucción.

3.2. OBJETIVO

Diseñar la estructura del pavimento requerido de acuerdo con el análisis de capacidad realizado en el capítulo anterior, de acuerdo con los criterios de diseño establecidos por la metodología empírica de la Guía para el diseño de pavimento, AASHTO 93.

Objetivos específicos

- Proyectar las cargas vehiculares para el periodo de diseño de 30 años a la cual va a estar sometida la estructura.
- Estimar la condición y la vida remanente de la estructura de pavimento actual.
- Obtener propiedades de los materiales de la estructura actual a partir de los datos de deflectometría aportados por la Evaluación de la Red Vial Nacional 2014.
- Generar los tramos homogéneos según las deflexiones y módulos resilientes de la subrasante.
- Utilizar la metodología empírica de diseño AASHTO 93 para diseñar diferentes estructuras de pavimento flexible (semirígido), rígido.

3.3. CONCEPTOS GENERALES

- **Base:** material granular de alta calidad, para lo cual sus características se definen de forma similar a la subbase. Se utiliza para: absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente los esfuerzos a la sub-base y la subrasante. Puede contemplar la incorporación de aditivos como cemento, cal y otros, con el fin de mejorar sus características.
- **Capa de superficie de ruedo (losa, adoquines o carpeta asfáltica):** su función es proporcionar una superficie tersa y segura al rodamiento de los vehículos. Debe tener suficiente resistencia tanto al desgaste como a la fractura para soportar las cargas. Debe ser antiderrapante y no deformable permanente.
- **Pavimento:** estructura constituida por un conjunto de capas superpuestas, de diferentes materiales, adecuadamente compactados, que se construyen sobre la subrasante de la vía con el objeto de soportar las cargas del tránsito durante un período de varios años, brindando una superficie de rodamiento uniforme, cómoda y segura.
- **Pavimento flexible:** Pavimento cuya superficie de ruedo está constituida principalmente por mezcla asfáltica. En estos pavimentos la totalidad de la estructura interviene en la distribución de cargas. Dicha distribución depende de la trabazón entre agregados, la fricción entre partículas y cohesión (estabilidad).
- **Pavimento rígido:** Pavimento cuya superficie de ruedo está constituida principalmente por concreto hidráulico (hormigón). En estos pavimentos las cargas son absorbidas por la losa de hormigón, las capas inferiores deben servir de apoyo
- **Subrasante:** suele ser el material natural (o de préstamo), ubicado a lo largo del alineamiento horizontal del pavimento, que tiene como función soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación el pavimento. Entre mejor calidad tenga la subrasante, el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad.
- **Subbase:** material granular de una calidad superior al de la subrasante, que se especifica en términos de granulometría, condiciones de plasticidad y resistencia. Tiene por objeto: servir de capa de drenaje al pavimento, controlar o eliminar en lo posible cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener

el material de la subrasante, controlar la ascensión capilar del agua provenientes de las capas friáticas cercanas protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en época lluviosa.

3.4. METODOLOGÍA

En primera instancia se realiza un diseño preliminar del pavimento considerando la demanda de tráfico a los 30 años de diseño; a partir de la condición actual de la carretera ya que posee aproximadamente 50 años de funcionamiento (se desconoce el diseño original de la vía).

Luego se estudia la diferencia del nivel de servicio actual y futura para el periodo de diseño para proponer diferentes estructuras de pavimento que satisfagan las demandas de tráfico proyectadas para 30 años con un nivel de servicio apropiado, que en este caso deber ser por lo menos Nivel C.

3.5. ALCANCE Y LIMITACIONES

Alcance

- Con base en información de distribución vehicular, historial vehicular, estructura existente y evaluaciones no destructivas se pretende realizar diseños preliminares de estructura de pavimentos.
- Se elaborará una propuesta de diseño con diferentes alternativas de estructuras basadas en tipos de materiales y tipos de pavimentos en un periodo de diseño de 30 años.

Limitaciones

- No se cuenta con las propiedades de los materiales que se utilizarían para rehabilitar el pavimento o para realizar los nuevos carriles, por lo que para el diseño preliminar se deberán utilizar propiedades típicas para dichos materiales.
- Al realizar los diseños a partir de una norma empírica (AASHTO 93), existe la desventaja que para la metodología de diseño de este tipo solamente se pueden

informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 36 de 142
----------------------------	--	------------------

aplicar condiciones específicas definidas para el ambiente, materiales y tráfico. Si estas condiciones varían, el diseño no posee validez y se le deben realizar ajustes que contemplen las nuevas variaciones en sus parámetros.

- Los datos de deflectometría de impacto fueron obtenidos en la campaña de evaluación de la red vial nacional del año 2014 y aplican para análisis a nivel de red.
- Aunque existen datos de factor camión para la ruta, estos fueron generados en el año 2008.

3.6. ESCENARIOS CONSIDERADOS

Para este diseño se considera intervención del pavimento existente y la construcción de estructuras de pavimento nueva para ampliación de calzada.

3.7. ANÁLISIS REALIZADO

Se evaluarán las condiciones del pavimento existente, para establecer con la proyección de demanda, la intervención requerida (diseños preliminares); además se determinará el pavimento nuevo requerido para las ampliaciones de calzada.

Estructuras de pavimento existentes

El siguiente cuadro muestra las diferentes estructuras existentes a lo largo del proyecto que define 4 tramos dentro del proyecto. Esta información fue obtenida del documento “Diseño preliminar y estudio de factibilidad técnica, económica, financiera y ambiental para la concesión de obra con servicio público del corredor vial San José-Zapote-Cartago” de Junio del 2001.

Cuadro 3.1. Características de pavimentos existentes

Sentido	Tramo	Pavimento Existente	Distancia Km	Carpeta/Losa cm	Base Estabilizada cm	Subbase/Relleno cm
SJ-Cartago	Curridabat-Tres Ríos	Flexible	7,5	10,5	15,2	17,0
	Tres Ríos-Alto	Rígido	3,5	20,6	---	49,8

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 37 de 142
----------------------------	--	------------------

	Alto-Taras	Flexible	2	14,2	---	36,8
	Taras-Lima	Flexible	2	14,2	---	36,8
Cartago-SJ	Lima-Taras	Flexible	2	14,2	---	36,8
	Taras-Alto	Rígido	2	19,8	---	48,3
	Alto-Tres Ríos	Flexible	3,5	20,1	---	24,9
	Tres Ríos - Curridabat	Flexible	7,5	10,5	15.2	17,0

Para la estimación de la capacidad de soporte de las diferentes estructuras de pavimento se utilizó resultados de deflectometría de impacto de la campaña de Evaluación de la Red Vial Nacional del 2014. El Cuadro 3.2 muestra resultados promedio de deflexión medidos bajo el plato de carga para cada tramo. Se observan valores desde 18,7 mm-2 hasta 44,6 mm-2 lo cual califica como deflexiones bajas basado en las notas de calidad Q utilizadas y presentadas por el LanammeUCR en los informes de evaluación de la condición de la red vial nacional. Para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante y el número estructural (SN) efectivo del pavimento existente se utilizó la metodología establecida en la guía de diseño AASHTO 93. Se observa una relativa uniformidad en la capacidad de la subrasante con módulos que van desde 7 ksi hasta 11 ksi con un promedio de 8,2 ksi. El valor de SN efectivo es una indicación de la capacidad estructural remanente del pavimento. Se observa que para el tramo de pavimento flexible Curridabat-Tres Ríos existe una mayor capacidad remanente que coincide con las bajas deflexiones medidas. Por el contrario, se observa que los tramos de pavimento flexible en la zona de la Lima-Taras, presenta la menor capacidad remanente.

Cuadro 3.2. Estimación de capacidad de los pavimentos existentes

Sentido	Tramo	Pavimento Existente	Deflexión Media, (1/100 mm)	Mr Subrasante, ksi	SN _{efectivo}
SJ-Cartago	Curridabat-Tres Ríos	Flexible	24,8	8,42	4,21
	Tres ríos-Alto	Rígido	18,7	10,00	4,22

	Alto-Taras	Flexible	44,6	7,05	3,48
	Taras-Lima	Flexible	41,3	7,05	3,22
Cartago-SJ	Lima-Taras	Flexible	41,3	7,05	3,22
	Taras-Alto	Rígido	24,2	10,88	4,08
	Alto-Tres Ríos	Flexible	38,5	7,13	3,40
	Tres Ríos - Curridabat	Flexible	19,2	8,36	4,76

El detalle de la deflectometría se muestra en el anexo de este capítulo.

Demanda de cargas de diseño

Para la estimación de la cantidad de repeticiones de cargas para el diseño se utilizó la metodología AASHTO 93 que se basa en Ejes equivalentes (ESALs) de 18 mil libras. Se utilizó un caso A que comprende el tramo que va desde Curridabat hasta la Intersección de Taras de Cartago que incluye la distribución vehicular de la estación de conteo número 10 complementada con conteos vehiculares realizado por el LanammeUCR en los años 2014 y 2015.

El caso B comprende el tramo de Taras a la Lima con una distribución y conteos de la Estación Número 165. La principal diferencia se presenta en el tránsito promedio diario obtenido para cada estación. El caso A presenta un TPD de 59700 y el B presenta un TPD de 47200 que unido a la distribución vehicular resulta en aproximadamente la mitad de los ejes equivalentes de diseño del caso B con respecto al A (Cuadro3.3).

Para el cálculo de los ESALs del carril de diseño se considero un factor direccional del 50%, un factor carril de diseño del 70% (3 carriles por sentido) para 30 años de vida útil con un crecimiento aproximado del 3% hasta el año 10 (basado en crecimiento histórico) y de 2% en el resto del período. El factor camión por tipo de vehículo se obtuvo de los cálculos realizados por LanammeUCR para la carretera Florencio del Castillo en el año 2008 (Ulloa, Á., Allen, J., Badilla, G., & Sibaja, D. (2008). Determinación de factores camión en pavimentos de Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 10(19), 28-37.).

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 39 de 142
----------------------------	--	------------------

Cuadro 3.3. Estimación de cargas de diseño

Tipo Vehículo	Distribución Vehicular A	Distribución Vehicular B	Factor Camión LanammeUCR
Pick up	15,93	16,31	0,015
C2	9,07	6,64	0,827
C2 +	0	0	0,031
Bus C2	3,85	2,8	1,437
C3	1,78	1,23	3,202
T3-S2	3,67	1,98	3,021
Carros livianos	65,7	71,04	0
TPD Año 0	59700	47200	
ESALs Carril de diseño, Millones	109	56.5	

Diseño de pavimento para las ampliaciones de calzada

Para el diseño preliminar de las ampliaciones se consideró propiedades típicas de materiales que se muestran en el Cuadro 3.4. En el caso específico del concreto hidráulico se consideró un módulo de ruptura de 650 psi y para la base estabilizada se contempla una base tipo BE35. La metodología de diseño empleada fue AASHTO 93 para un nivel de confianza del 90% con un cambio en el índice de servicio (Δ psi) de 2,25. Se contempló el diseño de una estructura flexible-compuesta y una estructura de pavimento rígida.

Cuadro 3.4. Propiedades de materiales

Material	Módulo Psi	Coefficiente estructural
Base estabilizada	400 000	0,28
SubBase Granular	20 000	0,10
Subrasante	7 000	---
Losa Concreto	5 000 000	---

La estructura de pavimento flexible-compuesta está conformada de una carpeta asfáltica, una base estabilizada con cemento y una subbase granular. Para el caso A que comprende

el tramo desde Curridabat hasta el cruce de Taras se determinó que la capacidad de soporte debería ser $SN_{requerido} = 6,70$. Para el caso B se determinó un $SN_{requerido} = 6,16$. El Cuadro 3.5 muestra los espesores estimados para cumplir con la capacidad requerida. En ambos casos, se recomienda colocar 30 cm de subbase granular y 25 cm de base estabilizada. El espesor de capa asfáltica para el caso A sería de 16 cm y para el caso B de 13 cm.

Cuadro 3.5. Diseño pavimento nuevo flexible (semirígido)

Capa	Espesor cm	
	Caso A	Caso B
Carpeta Asfáltica	16	13
Base estabilizada	25	
SubBase Granular	30	

Para la opción con pavimento rígido se recomienda la colocación de una base estabilizada con cemento BE35 de espesor de 25 cm. El espesor de la losa se estimó de 31 cm para el caso A y de 29 cm para el caso B. En ambos casos se recomienda la construcción del espaldón de concreto con acero de amarre. Se recomienda por lo tanto barras de amarre en varilla #4 @ 60cm de 60 cm de longitud para las barras de amarre de juntas longitudinales.

En el caso de no utilizar espaldones de concreto el espesor de la losa se deberá incrementar a 36 cm y 33 cm para los casos A y B respectivamente. En las juntas transversales se colocarán dovelas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero redondo liso de 1 ½ pulgada de diámetro, de 52 cm de longitud, deberán ir espaciadas a cada 30 cm.

En cuanto al aprovechamiento de las estructuras existentes se estimó mediante el uso de la metodología AASHTO 93 el espesor de sobrecapa asfáltica necesaria para cumplir con la capacidad requerida para la condición específica de cada tramo.

El Cuadro 3.6 muestra los espesores estimados para los diferentes tramos analizados. Basados en la capacidad remanente y la factibilidad constructiva se recomienda colocar una

sobre capa asfáltica en los tramos en 4 de los tramos analizados y en los restantes se recomienda la reconstrucción con los materiales y espesores obtenidos para pavimentos nuevos.

Cuadro 3.6. Diseño de sobrecapa asfáltica

Sentido	Tramo	Pavimento	SN _{efectivo}	SN _{requerido}	Sobrecapa cm	Recomendación Cm
SJ- Cartago	Curridabat- Tres Ríos	Flexible	4,1	6,3	12,1	12
	Tres ríos- Alto	Rígido	4,22	5,98	10,2	10
	Alto-Taras	Flexible	3,48	6,70	18,6	Recons. A
	Taras-Lima	Flexible	3,22	6,16	17,0	Recons. B
Cartago- SJ	Lima-Taras	Flexible	3,22	6,16	17,0	Recons. B
	Taras-Alto	Rígido	4,08	5,83	10,1	10
	Alto-Tres Ríos	Flexible	3,4	6,61	18,5	Recons. A
	Tres Ríos - Curridabat	Flexible	4,76	6,3	8,9	10

Se realizó el análisis de sobrecapas rígidas colocadas sobre las losas existentes. Para esto se consideró una sobrecapa no adherida diseñada con la metodología AASHTO 93. Se determinó que el espesor de sobrecapa no adherida deberá ser de 28 cm con una capa intermedia de mezcla asfáltica de 3,0 cm de espesor que trabajará como capa separadora y retardadora de reflejo de grietas. Para el tramo entre Curridabat y Tres Ríos se contempla la colocación de solamente la losa de 28 cm de espesor (Cuadro 3.7). Con respecto al resto de los tramos se recomienda reconstrucción con la respectiva estructura según sea el caso.

Cuadro 3.7. Diseño de sobrecapa rígida

Sentido	Tramo	Pavimento	D_{efectivo}	D_{requerido}	Sobrecapa cm	Recomendación Cm
SJ- Cartago	Curridabat- Tres Ríos	Flexible	---	---	---	28
	Tres ríos- Alto	Rígido	13,3	31	27,3	28
	Alto-Taras	Flexible	---	---	---	Recons. A
	Taras-Lima	Flexible	---	---	---	Recons. B
Cartago- SJ	Lima-Taras	Flexible	---	---	---	Recons. B
	Taras-Alto	Rígido	12,8	31	27,7	28
	Alto-Tres Ríos	Flexible	---	---	---	Recons. A
	Tres Ríos - Curridabat	Flexible	---	---	---	28

Mantenimiento y calidad de ruedo

Con el objetivo de proveer de mantenimiento y una buena condición de rodaje de las estructuras se recomienda para los pavimentos flexibles la sustitución de 5 cm de mezcla asfáltica cada 5 años. En el caso de pavimento rígido se recomienda limpiar y re-sellar las juntas longitudinales y transversales cada 5 años. El mantenimiento rutinario de la calzada, los drenajes, de la señalización horizontal y estructuras del entorno de la vía deben ser estrictamente programadas para asegurar el buen desempeño de las estructuras de pavimento.

3.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar los siguientes muestreos y estudios para una eventual fase de anteproyecto y proyecto:

Mezcla asfáltica en caliente

- Obtener el Módulo Dinámico de la mezcla mediante el ensayo de Compresión Directa en la cámara triaxial. (AASHTO T274)
- Si no se cumple el punto anterior, como mínimo el Módulo Resiliente de acuerdo al ensayo de Tensión Diametral Indirecta. (ASTM D4123)
- Mapeo de los agregados a utilizar para la confección de la mezcla asfáltica, mediante curvas granulométricas para determinar el tamaño máximo y tamaño nominal del agregado en estudio.
- Aportar un modelo de fatiga para predecir el desempeño de la mezcla en su vida útil, mediante el ensayo de flexotracción. (AASHTO T321)

Concreto

- Aportar el Módulo de Reacción de la Subrasante mediante el ensayo de placa para obtener las capacidad soportante del suelo. (ASTM D1195 y D1196)
- Determinar el Módulo de Ruptura para el concreto con el ensayo de aplicación de carga en los tercios de una viga de concreto. (ASTM C78)
- Mapeo de los agregados a utilizar para la confección de la mezcla de concreto, mediante curvas granulométricas para determinar el tamaño máximo y tamaño nominal del agregado en estudio.

Bases y subbases granulares

- Determinar el Módulo Resiliente de la base o subbase mediante el ensayo de Carga Triaxial Repetida en la cámara triaxial. (AASHTO T307) y mostrar el modelo de cálculo de las constantes e invariante de esfuerzos considerado.
- Presentar los parámetros de Límite Líquido, Índice de Plasticidad, Densidad del material, Coeficiente de empuje de reposo, ángulo de fricción, la cohesión, la razón de Poisson y el Módulo de falla correspondientes a cada uno de los materiales.
- Mapeo de los agregados a utilizar para la base o subbase, mediante curvas granulométricas para determinar el tamaño máximo y tamaño nominal del agregado en estudio.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 44 de 142
----------------------------	--	------------------

Suelos

- Estudio deflectométrico con puntos espaciados al menos cada 50m (Viga Benkelman o Deflectómetro de Impacto).
- Perforaciones de suelo cada 200 m. aproximados, de profundidad no inferior a 2 m y muestreo de suelos de subrasante para caracterización.
- Descripción estratigráfica de los materiales que conforman las paredes de las perforaciones y toma de muestras perturbadas y no perturbadas del suelo.
- Calcular el Módulo Resiliente del suelo, mediante el retrocálculo de módulos para determinar si el suelo cumple con las propiedades mínimas para soportar la estructura del pavimento.
- A partir de las muestras de suelo obtenidas realizar los ensayos de carga triaxial repetida para obtener el Módulo Resiliente del suelo en laboratorio (AASHTO T307) y presentar el modelo de cálculo utilizado.
- Presentar los parámetros de Límite Líquido, Índice de Plasticidad, Densidad del material, coeficiente de empuje de reposo, ángulo de fricción, la cohesión, la razón de Poisson y el Módulo de falla correspondientes al suelo.

3.9. REFERENCIAS

- Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte AASHTO. (1993). Guía para el diseño de estructuras de pavimento, Washington D.C. EUA.
- Ulloa, Á., Allen, J., Badilla, G., & Sibaja, D. (2008). Determinación de factores camión en pavimentos de Costa Rica.

3.10. ANEXOS

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 45 de 142
----------------------------	--	------------------

Deflectometría de impacto

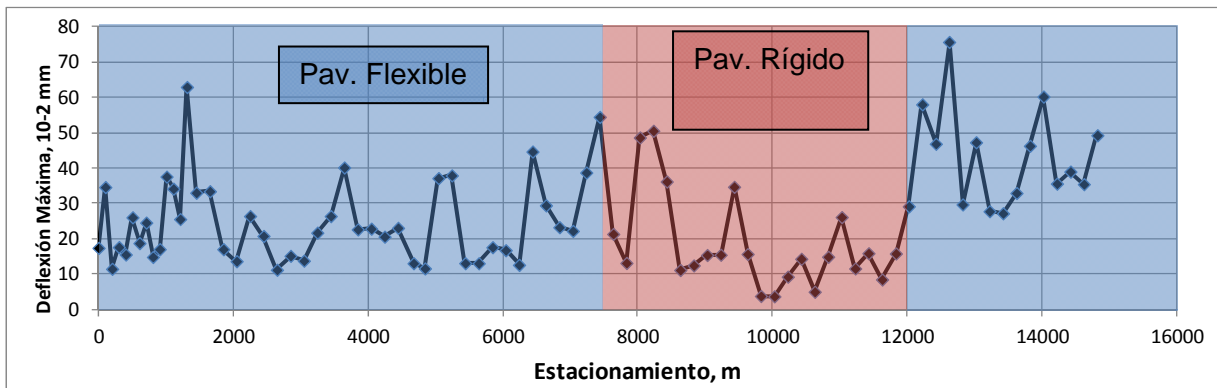


Figura 3.1. Deflexiones sentido Hacienda Vieja - La Lima

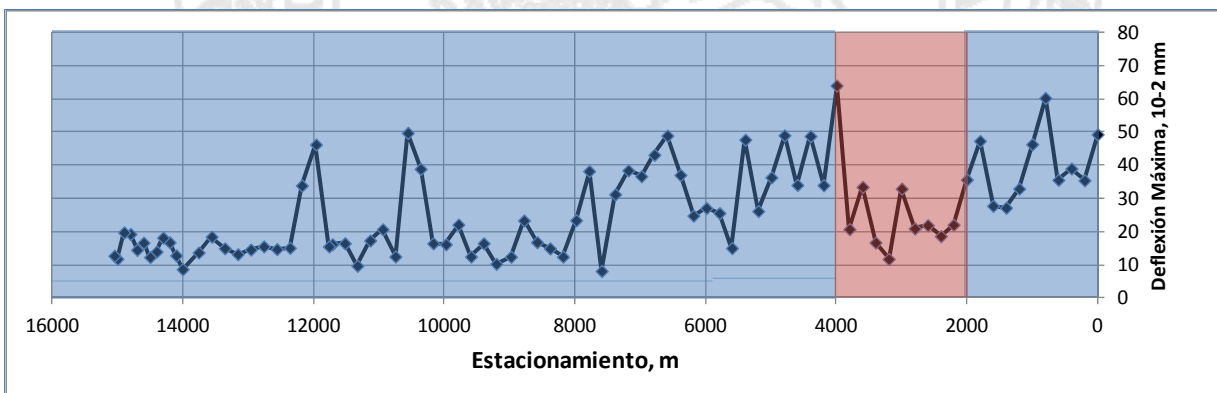


Figura 3.2. Deflexiones sentido La Lima - Hacienda Vieja

Estimación de módulo resiliente de la subrasante

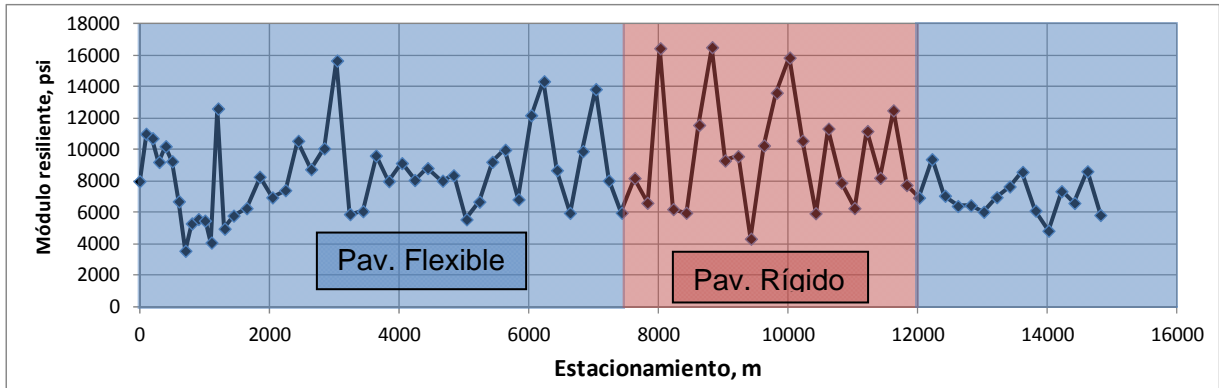


Figura 3.3. Módulo resiliente (Hacienda Vieja - La Lima), psi

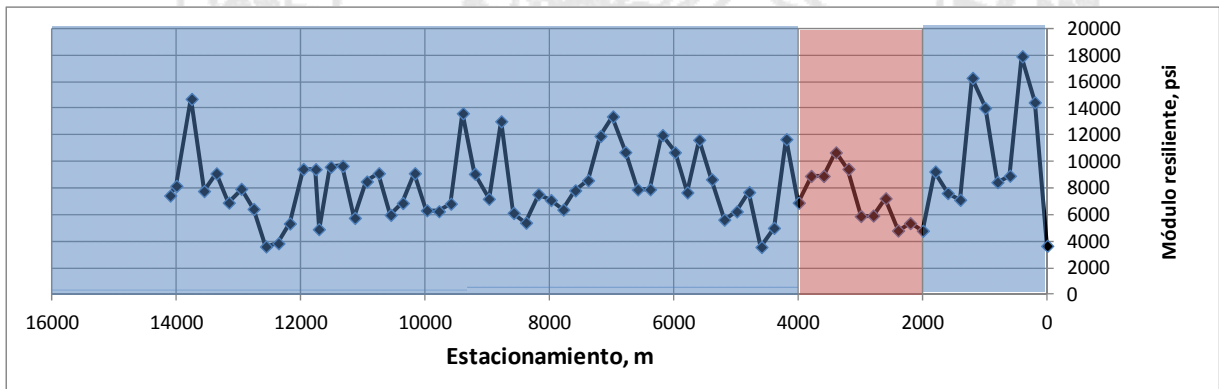


Figura 3.4. Módulo resiliente (La Lima - Hacienda Vieja), psi

Diseño de Pavimento semirígido Nuevo, Caso A

Material	MR (psi)	ai	mi
Carpeta	X	0.44	1
Base	600000	0.28	1
Sub-base	15000	0.1	1
Sub-rasante	7000	X	1
Sobre capa	X	0.44	1

Datos de diseño	
EEq.	1.08E+08
Pt	2.25
R (%)	90
So	0.45
tipo (N,U,R)	N
TPD dis.	20886
año diseño	30

Parámetros desempeño	
PSI min.	2.25
IRI max.	4.50

Periodo análisis ef / costo	30
-----------------------------	----

	W18	SN	Pt	MR (psi)	R (%)	Zr	So	log (W18)	Zr*So	2.32logMR	log(W18)	SN	diferencia
total	1.08E+08	6.688	2.25	7000	90	1.282	0.45	8.034	-0.577	8.921	8.034	6.69	-1.69E-05
s/ subbase	1.08E+08	5.389	2.25	15000	90	1.282	0.45	8.034	-0.577	9.689	8.081	5.39	-4.70E-02
s/ base	1.08E+08	1.386	2.25	600000	90	1.282	0.45	8.034	-0.577	13.405	8.081	1.39	-4.70E-02
Revisión	1.11E+08	6.709	2.25	7000	90	1.282	0.45		-0.577	8.921	8.045	6.709	

	W18	W18 reman.
Diseño	1.08E+08	1.08E+08

EEQ	SN
1.11E+08	6.709

	ai	mi	Espesores		
			Diseño	Usuario	mínimos
Carpeta	0.44	1	16.0	16	5.0
Base	0.28	1	25.0	25	15.0
Sub-base	0.1	1	30.0	30	X

Diseño de Pavimento rígido Nuevo, Caso A

Material	k base (pci)	Ec (psi)	Sc (psi)	Cd	J
Losa	1000	5.00E+06	650	1	2.8
Sobrecapa					2.8

Material	MR (psi)	k (pci)	Espesor	Mr comp.
Base	600000	1000	25	X
Sub-base	15000	X	X	X
Sub-rasante	7500	X	X	X

Espaldón (A/H)	H
Espaldón sobrecapa (A/H)	H

Datos de diseño	
EEq.	1.08E+08
Pt	2.25
R (%)	90
So	0.35
tipo (N,U,R)	N
TPD	20886
año diseño	30

Parámetros desempeño	
PSI min.	2.25
IRI max.	4.50

Periodo análisis ef / costo	25
-----------------------------	----

W18	D losa (in)	Pt	k (pci)	Sc	Cd	J	Ec	R (%)	Zr	So	Zr*So	log (W18)	log (W18)	D (in)	diferencia	D residual	D total
1.08E+08	12.140	2.25	1000	650	1.000	2.800	5.00E+06	90	1.281551566	0.35	0.449	8.035	8.035	12.140	6.17E-06	X	12.14
1.08E+08	12.140	2.25	1000	650	1.000	2.800	5.00E+06	90	1.281551566	0.35	0.449	8.035	8.035	12.140	X	X	12.14

	W18	W18 riman.
Diseño	1.08E+08	X

EEQ	D losa (in)
1.08E+08	12.1

	Espesores (cm)		
	diseño	usuario	mínimos
Losa	30.8	31	15.0
Base	25.0	X	15.0

4. CAPÍTULO. TOPOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA Y GEORREFERENCIACIÓN.

4.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo consiste en la recopilación de ortofotos a lo largo de toda la ruta sobre la cual se defina la línea de centro existente, georeferenciación de los diseños preliminares del proyecto de concesión, se obtienen las curvas de nivel, secciones transversales y mosaico del valor del suelo dentro del derecho de vía, así como el mosaico catastral, todo en formato digital, adjunto a este informe en un CD.

Además, se realiza un montaje de los diseños conceptuales para los intercambios de Taras y La Lima, sobre los diseños preliminares, para ver su aplicabilidad.

4.2. OBJETIVO

Es este capítulo por la diversidad de la información que se aporte se tienen varios objetivos:

- Establecer el derecho de vía existente, para definir de manera preliminar una estimación de las expropiaciones y recuperación de terrenos requeridos según el proyecto preliminar considerado en la concesión.
- Establecer una estimación preliminar del costo que representa las expropiaciones y recuperación de terrenos requeridos, por medio del montaje del diseño preliminar de la concesión sobre el mapa de zonas homogéneas del valor del terreno a lo largo del tramo.
- Obtener un modelo de elevación del terreno, los perfiles longitudinales y las secciones transversales, para el derecho de vía y la calzada.
- Georreferenciar los planos originales de la concesión.

4.3. CONCEPTOS GENERALES

- **Derecho de vía:** Faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 50 de 142
----------------------------	--	------------------

futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva.

- **Curvas de nivel:** Son líneas que se utilizan para representar gráfica y cuantitativamente prominencias, depresiones y ondulaciones de la superficie de un terreno, en un plano. Es una línea irregular cerrada que une puntos con igual elevación.
- **Georreferenciación:** Es una técnica que permite establecer el posicionamiento espacial de un punto dado, en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenada y datum específico. Este proceso es utilizado frecuentemente en los Sistemas de Información Geográfica.

4.4. METODOLOGÍA

El análisis se basa en la compilación y combinación de datos topográficos y cartográficos por medio del Sistemas de Información Geográfica y programas de diseño asistido por computadora, CAD.

4.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

Este análisis toma como referencia los diseños preliminares propuestos para la concesión y las obras existentes en el tramo Hacienda Vieja-La Lima.

El derecho de vía se asume con una distancia 50 metros (25 m a cada lado), como un valor constante a partir de la línea de centro y a lo largo de todo el tramo. Se traza la línea de centro de la carretera por medio de ortofotos, no se realiza levantamiento de campo.

Se utiliza el servicio WFS, interfaz que permite interactuar con los mapas disponibles en la web del Instituto Geográfico Nacional (IGN), para extraer las curvas de nivel, no se realiza levantamiento en campo.

Se cuenta con un mosaico de expropiaciones, suministrado por el MOPT, que contempla solo el tramo Intercambio Las Garantías-Hacienda Vieja, para lo cual consideraron una propuesta de trazado a nivel del terreno, no se cuenta con el resto del tramo de Hacienda Vieja–La Lima.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 51 de 142
----------------------------	--	------------------

4.6. ANÁLISIS REALIZADO

El siguiente apartado se presentan, producto del análisis realizado, insumos topográficos y cartográficos, con el propósito de que la que la Administración cuente con una base espacial de datos, que le permitan realizar un diseño preliminar y así evaluar los diversos escenarios que considere en aras de obtener la solución óptima.

Curvas de Nivel

Se utilizó el servicio WFS del Instituto Geográfico Nacional (IGN), para extraer curvas de nivel cada 2 metros del corredor que va desde Plaza Gonzalez Víquez hasta el Cementerio de Cartago. Este intervalo de curvas de nivel, permitió conocer con mayor detalle la topografía de la zona, lo cual ayudó a generar otros productos de gran calidad como un modelo de elevación del terreno, perfiles longitudinales y secciones transversales.

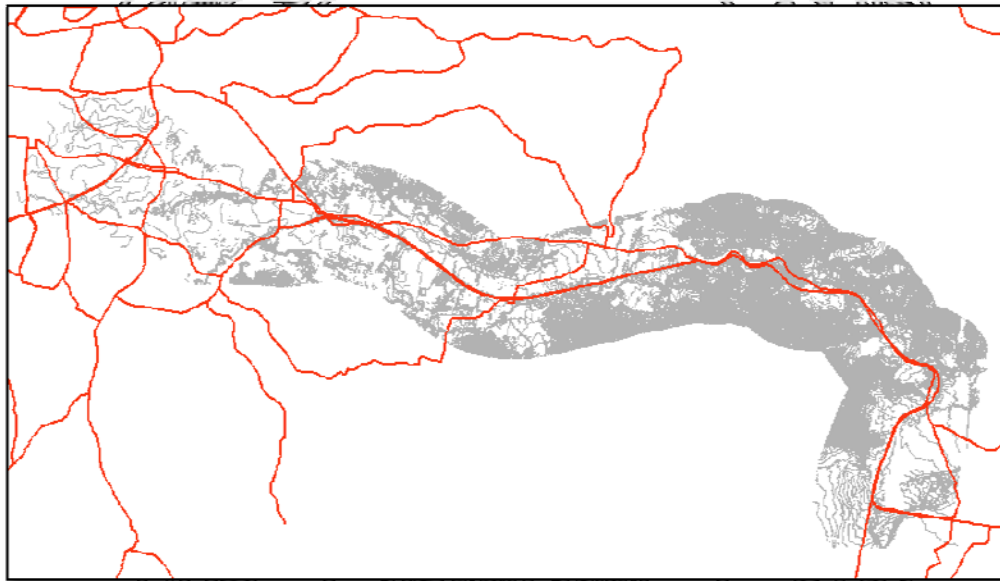


Figura 4.1. Curvas de Nivel a lo largo del Corredor San José - Cartago

Línea de Centro

Se digitalizó la línea de centro de las vías existentes con base en las Ortofotos del IGN a escala 1:1000; este procedimiento se llevo a cabo en los siguientes tramos:

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 52 de 142
----------------------------	--	------------------

- Línea de centro del tramo Plaza Gonzalez Víquez a la Rotonda de las Garantías Sociales.
- Tramo en el sentido San José - Cartago, del entronque de la RN252 con la RN210 (Hacienda Vieja de Curridabat) al Cementerio de Cartago.
- Tramo en el sentido Cartago - San José, del Cementerio de Cartago al entronque de la RN252 con la RN210 (Hacienda Vieja de Curridabat).
- Para el tramo entre la Rotonda de la Garantías Sociales al entronque de la RN210 con la RN252 (Hacienda Vieja de Curridabat), se utilizó como referencia un trazado archivado en el CNC.

La digitalización de las líneas de centro anteriormente citadas, permitió definir otros productos, como por ejemplo las zonas de influencia (buffer) y crear los alineamientos horizontales, con los cuales también se construyeron los perfiles del terreno.

Con base en el alineamiento horizontal, es posible obtener información de los radios mínimos requeridos y comparar con las especificaciones técnicas vigentes en el país, para el diseño geométrico de carreteras. Los peraltes y la velocidad de diseño son otros dos parámetros que deben analizarse y definirse para las etapas de diseño final, si se quiere proyectar y aumentar el nivel de servicio de la carretera, principalmente en los intercambios y en la zona conocida como la "Vuelta del Fierro" en Ochomogo.



Figura 4.2. Curvas en la zona conocida como la "Vuelta del Fierro", en Ochomogo.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 53 de 142
----------------------------	--	------------------

Zona de Influencia (Buffer)

Con base en la línea de centro digitalizada, se creó una zona de influencia o buffer con una distancia de 25 metros lineales de ancho, en ambos lados. Esto con el objetivo de determinar un derecho de vía que con el trazado de sus líneas, permite identificar los terrenos requeridos para los procesos de expropiación.

Modelo de Elevación del Terreno

Con base en las curvas de nivel, se realizó un modelo de elevación del terreno, con el cual se puede analizar la topografía del área de estudio, dado que se evidencian las pendientes del terreno y las áreas de captación de microcuencas a lo largo del proyecto, entre otros.

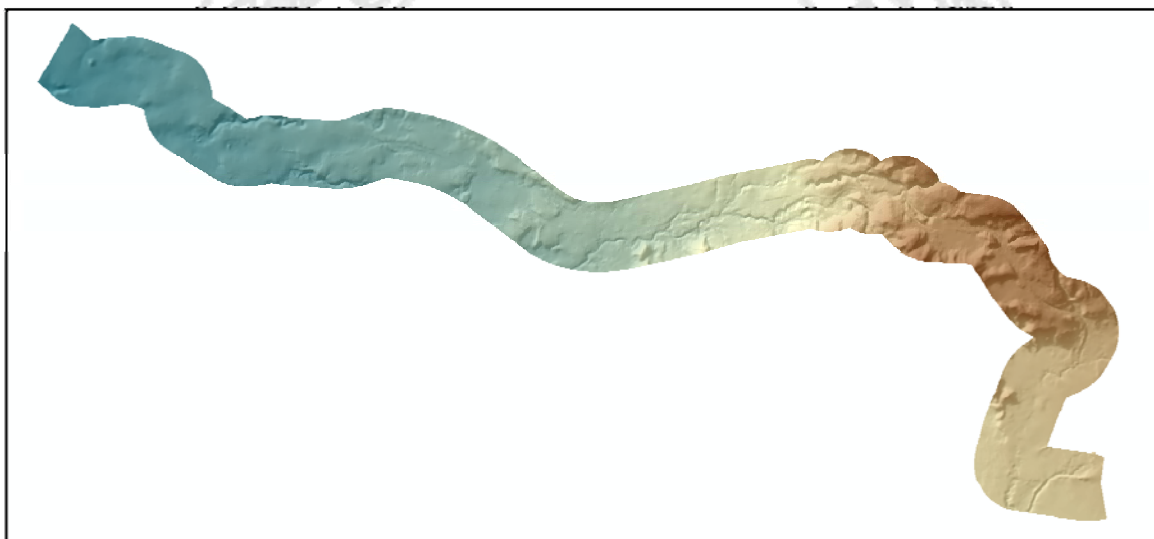


Figura 4.3. Modelo de Elevación del Terreno, generado a partir de curvas de nivel cada 2 metros.

4.7. GEORREFERENCIACIÓN DE PLANOS PRELIMINARES DE LA CONCESIÓN

Se georreferenciaron los planos del diseño preliminar de la concesión, que la Administración contrató en el año 2001 a la Empresa URS Corporation. Aunque se utilizaron puntos conocidos y coincidentes entre los planos y las ortofotos, es importante mencionar que este montaje debe

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 54 de 142
----------------------------	--	------------------

utilizarse únicamente como de referencia, debido a que en algunos tramos fue imposible determinar puntos coincidentes.

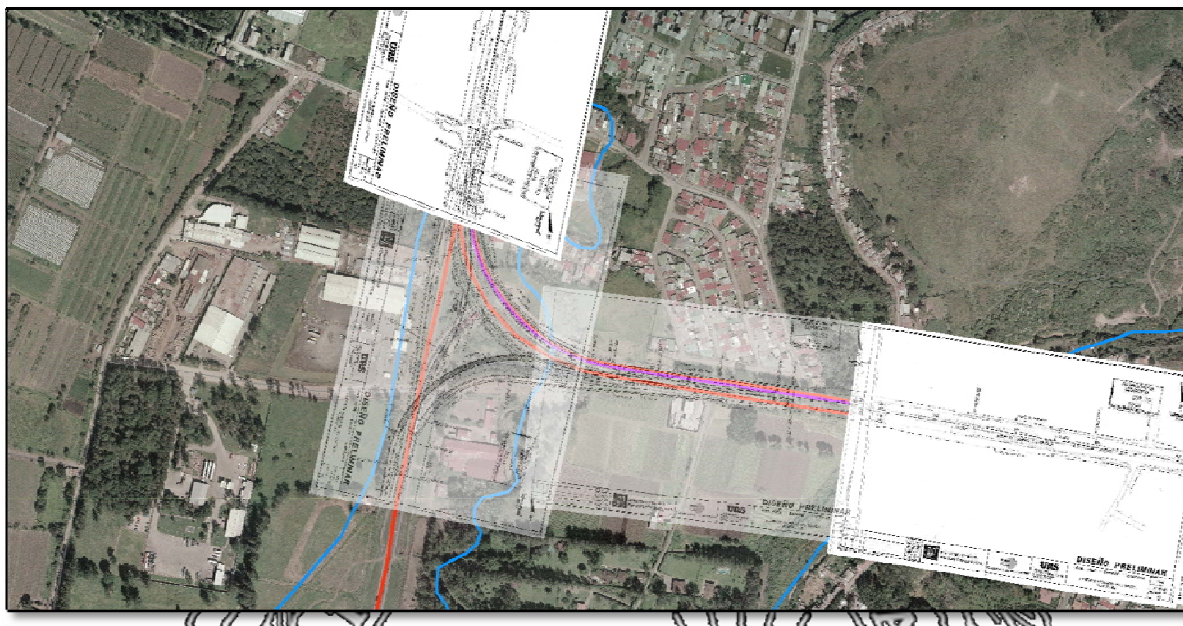


Figura 4.4. Ejemplo de georreferenciación de planos de diseño preliminar.

De la misma forma, también se ubicó el diseño preliminar anteriormente citado, en formato vectorial (.dwg), sin embargo la exactitud de la ubicación presenta imprecisión, debido a que el dibujo original no presentaba coordenadas de proyección local.

Corredor Vial

Con base en las curvas de nivel se creó una superficie utilizando programas CAD, donde se dibujaron los perfiles longitudinales del terreno del proyecto y secciones transversales que abarca el derecho de vía. Con base en los perfiles del terreno se puede obtener información acerca de las pendientes máximas y longitudes críticas de pendiente, y así de esta forma comparar con las especificaciones del diseño geométrico que requiera el proyecto.

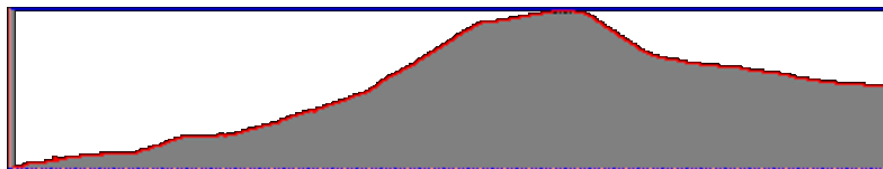


Figura 4.5. Perfil del terreno en el sentido San José – Cartago (exageración en escala vertical 10x).

La importancia de contar con esta información espacial, es analizar diferentes escenarios en etapa de diseño preliminar que logren determinar la viabilidad óptima (económica y técnica) del Corredor San Jose – Cartago. Además, con este tipo de datos digitales, los análisis y posibles modificaciones en marcha, pueden ser reproducidos nuevamente de acuerdo con los cambios que vaya requiriendo el diseño final.

4.8. MAPA DE ZONAS HOMOGÉNEAS DE VALOR

Se utilizó el servicio WFS del Ministerio de Hacienda para sobreponer una capa de valores de metro cuadrado del terreno a lo largo del corredor del proyecto. Sobre esta capa se superpuso una zona de influencia (“buffer”), de 50 m, con el objetivo, determinar el costo de las propiedades que pudieran requerirse, para el derecho de vía y las líneas de expropiación asumidos

Ligado a esta capa, se puede consultar una base de datos del Ministerio de Hacienda, que muestra los valores por metro cuadrado de las zonas que se encuentran dentro de la línea de expropiaciones, según el mapa de colores (ver Figura 4.5), como una primicia del posible costo de las expropiaciones requeridas.

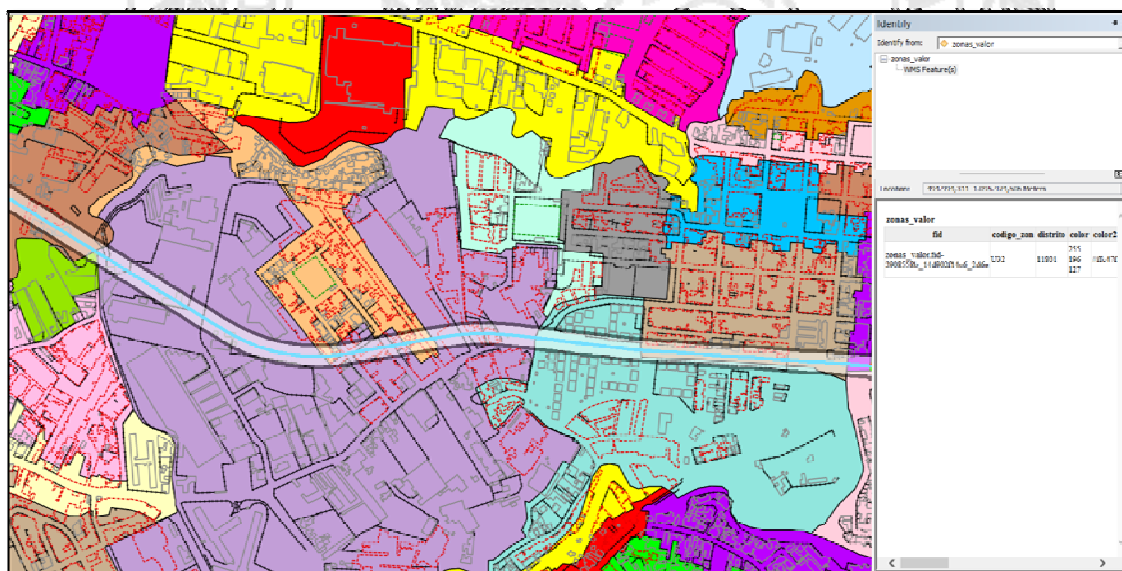


Figura 4.6. Ejemplo de sobreposición del derecho de vía sobre el Mapa de Valores Homogéneos (Ministerio de Hacienda).

4.9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión la información aportada es la siguiente:

Cuadro 4.1. Insumos Topográficos y Cartográficos.

Nombre	Descripción	Formato	Fuente
1. Curvas de Nivel	Curvas de Nivel a intervalo de 2 metros en elevación.	Vectorial	Instituto Geográfico Nacional - Programa de Regularización Catastro - Registro
2. Línea de Centro	Digitalización de la línea de centro de las vías existente, utilizando como referencia las Ortofotos escala 1:1000 del IGN.	Vectorial	LanammeUCR
3. Buffer	Zona de influencia o <i>buffer</i> a 25 metros a cada lado de la línea de centro.	Vectorial	LanammeUCR
4. MET	Modelo de Elevación del Terreno generado a partir de las curvas de nivel.	Raster	LanammeUCR
5. Georreferenciación de planos de diseño preliminar.	Montaje de los planos de diseño preliminar de URS Corporation.	Raster	CNC
6. Diseño Preliminar CAD	Montaje del diseño preliminar de URS Corporation en formato Cad.	Vectorial	CNC
7. WMS ZVH	Servicio de consulta WMS del Mapa de Valores Homogéneos del Ministerio de Hacienda.	WMS	Ministerio de Hacienda
8. Corredor Vial	Dibujo CAD con los siguientes elementos: Superficie, alineamientos horizontales, perfiles del terreno existente, secciones transversales.	Vectorial	LanammeUCR

Para evitar conflictos en la adquisición o recuperación de terrenos, se recomienda realizar un levantamiento del derecho de vía existente, para tener con exactitud el área actualmente disponible y el área a expropiar, requeridas para la ejecución completa del proyecto.

Se deben revisar y ajustar, si corresponde, los peraltes y las velocidades de diseño para la etapa de diseño final, principalmente en los intercambios y en la zona conocida como la "Vuelta del Fierro" en Ochomogo.

Se recomienda aplicar la evaluación de costos de las expropiaciones, para cada uno de las opciones que se evalúen en el estudio de factibilidad técnica-económica-financiera, por parte de la Administración. De igual forma, se deben ajustar estos costos para el diseño final del proyecto.

4.10. REFERENCIAS

- SIECA (2011). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras. 3era Edición.
- <http://www.snitcr.go.cr>
- <http://www.hacienda.go.cr/contenido/13056-impuesto-solidario-para-el-fortalecimiento-de-programas-de-vivienda>
- MOPT-CNC (2001). Estudio de Ingeniería URS: Diseño Preliminar y Estudio de Factibilidad Técnica, Económica, Financiera y Ambiental para la Concesión de Obra con Servicio Público del Corredor Vial San Jose - Zapote - Cartago. Informe Final. Gobierno de Costa Rica.

5. CAPÍTULO. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS DE DRENAJE

5.1. INTRODUCCIÓN

Este informe de fiscalización de las obras de infraestructura de la troncal de la Autopista Florencio del Castillo, tramo Hacienda Vieja - La Lima, es un producto del programa de inspecciones de la Unidad de Puentes del LanammeUCR para evaluar la condición estructural y funcional de puentes ubicados a lo largo de la Red Vial Nacional.

5.2. OBJETIVOS

Realizar el inventario básico y la determinación de los deterioros principales por medio de inspección visual de todas aquellas obras de infraestructura destinadas a mantener la continuidad física y geométrica de la Ruta Nacional N°2, tramo Hacienda Vieja - La Lima, en aquellas zonas en donde el terreno no la presenta, permitiendo el paso de vehículos o peatones a través de un obstáculo, ya sea artificial o natural, lo cual incluye puentes, pasos inferiores, pasos superiores, alcantarillas y puentes peatonales.

5.3. CONCEPTOS GENERALES

- **Paso a Desnivel:** Estructura que cruza una vía, ya sea por encima o por debajo.
- **Puente:** Obra de arte mayor construida en acero o concreto o la combinación de éstos, con el fin de permitir el paso vehicular por encima de una corriente de agua o una depresión del terreno.
- **Sistema de Alcantarilla:** Son conductos de forma circular, ovalada, rectangular o cuadrada que se construyen por debajo de la sub-rasante de una carretera u otras obras viales con el objeto de evacuar las aguas superficiales. Recibe el agua de las cunetas y permite el paso de ésta en forma transversal o diagonal, según sea, hacia sitios predeterminados. Este sistema puede estar compuesto por: conducto, muro y aletones de cabezal, estructura de entrada y estructura de salida.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 59 de 142
----------------------------	--	------------------

5.4. METODOLOGÍA

La inspección visual de las obras de infraestructura del tramo se realizó el día 20 de abril del 2015, con el objetivo de identificar las estructuras existentes y contrastar los hallazgos con la información que del tramo posee Planificación Sectorial del MOPT. El tiempo tomado en cada una de las obras fue el considerado necesario para realizar un levantamiento básico con la información requerida para la etapa de inicial del proyecto. Por lo tanto, este informe no exime de llevar a cabo una evaluación más exhaustiva y detallada de cada una de las obras.

5.5. ALCANCE Y LIMITACIONES

- La información de inventario de las diferentes estructuras es a un nivel básico con el objetivo de poder determinar de manera rápida y sencilla aquellos aspectos de importancia necesarios para llevar a cabo una valoración inicial del tramo en estudio. Por lo tanto, no se incluyen todos los aspectos de inventario requeridos por el Manual de Inspección de Puentes del MOPT y por lo tanto su intención no es ser usado para llenar la información requerida por el SAEP.
- La información de daño es a un nivel básico determinada por medio de una inspección visual, por lo que sólo se incluyen los principales hallazgos sin que ello implique que no existan otros daños con un nivel de importancia incluso mayor. Por lo tanto, no se incluyen todos los aspectos de daño requeridos por el Manual de Inspección de Puentes del MOPT y por lo tanto su intención no es ser usado para llenar la información requerida por el SAEP.
- No se incluye la valoración de daño general de los pasos inferiores, puentes peatonales ni de las alcantarillas.
- El informe se limita a presentar una visión general del estado de las estructuras mencionadas en el tramo Hacienda Vieja - La Lima, por lo que no se incluyen recomendaciones generales de mantenimiento y/o reparación.

5.6. ANÁLISIS REALIZADO

Se evaluaron todas las estructuras existentes, según se muestra a continuación.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 60 de 142
----------------------------	--	------------------

Paso a desnivel La Galera

Cuadro 5.1. Características básicas del puente paso a desnivel La Galera.



Figura 5.1. Ubicación del puente paso a desnivel La Galera (Google earth®).

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 61 de 142
----------------------------	--	------------------



Figura 5.2. Vista lateral del lado este.



Figura 5.3. Vista a lo largo de la línea centro desde el lado norte.



Figura 5.4. Vista inferior desde el lado norte.

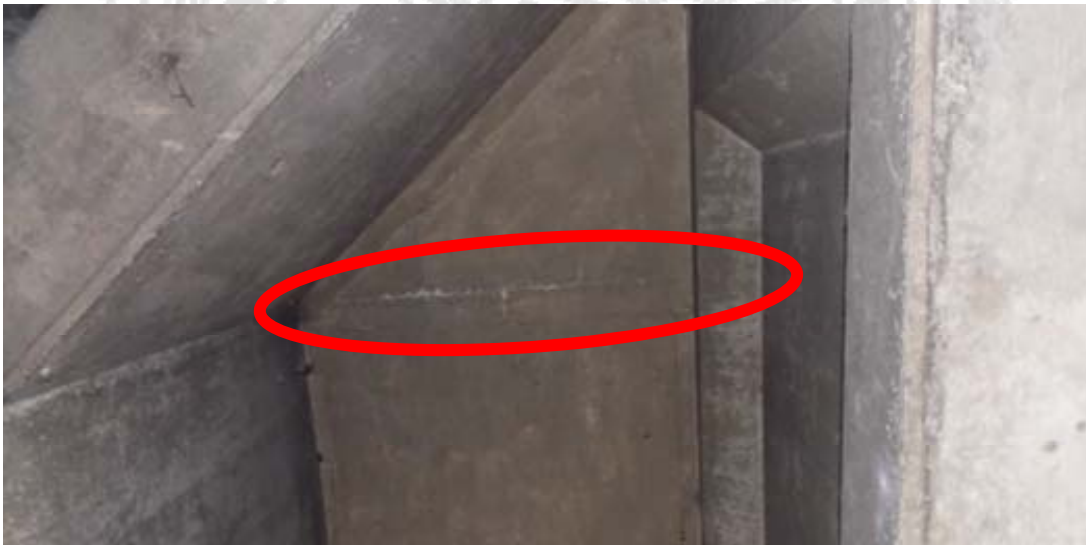


Figura 5.5. Se observaron algunas grietas transversales en la superficie inferior de la losa de concreto reforzado con evidencia de eflorescencia.



Figura 5.6. Ausencia de algunas secciones de la barrera de contención vehicular de acero.



Figura 5.7. Agrietamiento generalizado en ambas direcciones de la superficie superior de la losa de concreto reforzado.

Paso a Desnivel Walmart

Cuadro 5.2. Características básicas del paso a desnivel Walmart.



Figura 5.8. Ubicación del paso a desnivel Walmart (Google earth®).



Figura 5.9. Vista lateral del lado este.

Alcantarilla Río Chagüite

Cuadro 5.3. Características básicas de la alcantarilla río Chagüite.

Alcantarilla río Chagüite	
Tipo de estructura:	Alcantarilla
Tipo:	Cuadro
Kilómetro:	10+375
Coordenadas:	9° 54' 30.21" N 84° 00' 55.78" O

Figura 5.10. Ubicación de la alcantarilla río Chagüite (Google earth®).

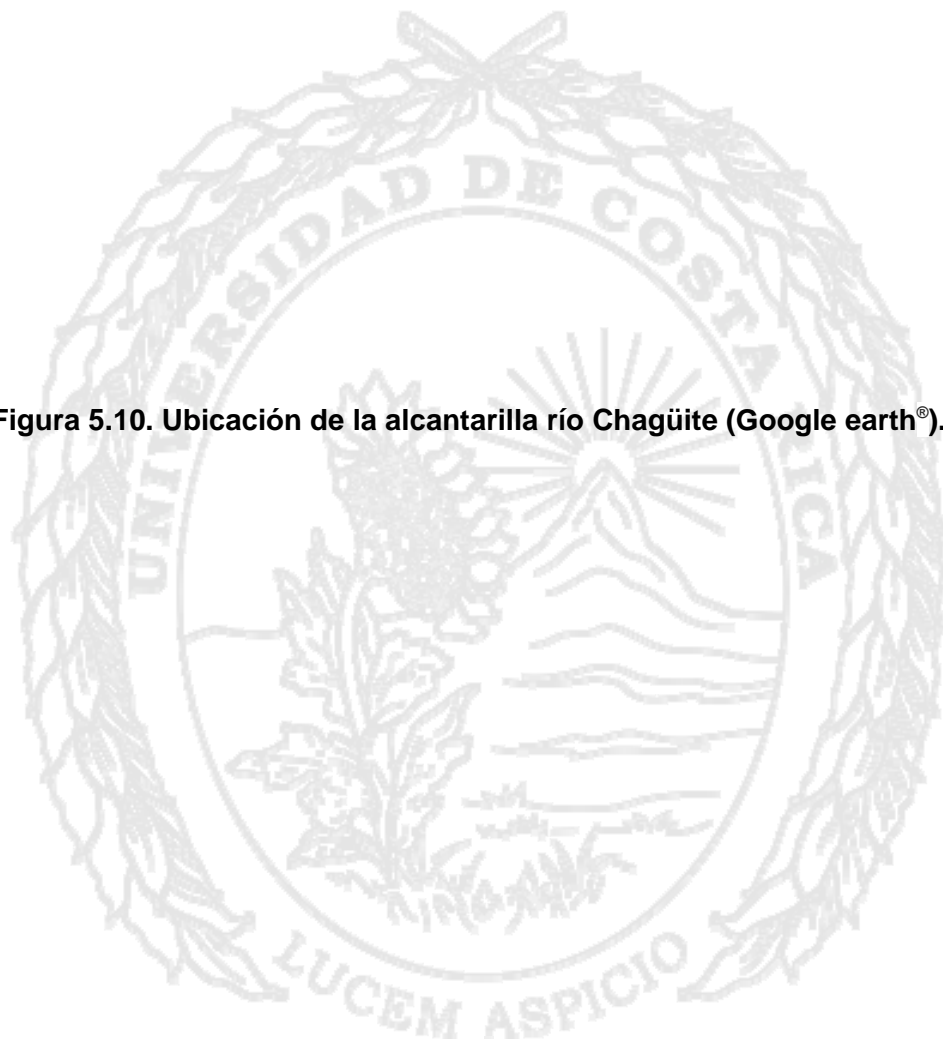


Figura 5.11. Vista general del lado sur de la alcantarilla.

Puente Peatonal Villas de Ayarco

Cuadro 5.4. Características básicas del puente peatonal Villas de Ayarco.



Figura 5.12. Ubicación del puente peatonal Villas de Ayarco (Google earth®).

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 68 de 142
----------------------------	--	------------------

Puente Peatonal San Diego

Cuadro 5.5. Características básicas del puente peatonal San Diego.



Figura 5.13. Ubicación del puente peatonal San Diego (Google earth®).



Figura 5.14. Vista lateral este del puente peatonal.

Paso a Desnivel RN No. 409

Cuadro 5.6. Características básicas del paso a desnivel RN No. 409.

Paso Superior RN No. 409	
Tipo de estructura:	Paso superior
Fecha de diseño o construcción:	1974-1978
Largo* (Ancho de la carretera):	33,3m
Ancho total* (Luz libre):	4,78m
Ancho de calzada*	3,7m
Altura libre inferior:	4,30m
Material*:	Concreto (Reforzado)
Kilómetro:	12+365
Coordenadas:	9° 54' 0.56" N
	83° 59' 59.33" O

* Datos de la alcantarilla de cuadro

Figura 5.15. Ubicación del paso a desnivel RN No. 409 (Google earth®).

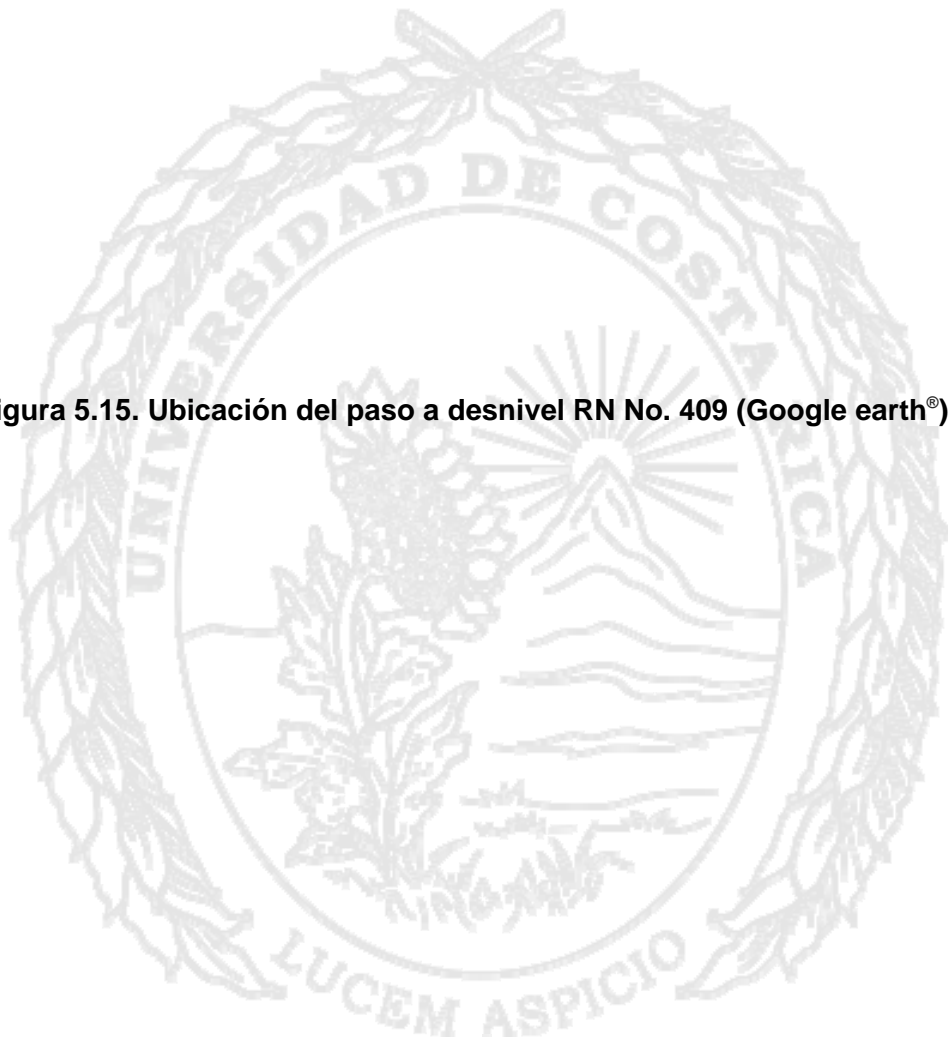


Figura 5.16. Vista lateral del lado sur.



Figura 5.17. Vista superior del paso a desnivel desde el lado suroeste.



Figura 5.18. Vista lateral del lado sur en donde se puede observar al paso del camión mostrando la limitada distancia libre inferior del paso a desnivel.



Figura 5.19. Evidencia de la limitada distancia libre inferior del paso a desnivel son los daños por desprendimiento del concreto en la parte superior de los accesos inferiores.



Figura 5.20. El paso a desnivel poseía juntas con evidencia de eflorescencia generalizada.



Figura 5.21. La losa de concreto de rodamiento de la alcantarilla de cuadro evidenciaba agrietamiento generalizado y principalmente longitudinal al eje de la alcantarilla.

Alcantarilla Quebrada Sin Nombre

Cuadro 5.7. Características básicas de la alcantarilla quebrada sin nombre.

Alcantarilla quebrada sin nombre	
Tipo de estructura:	Alcantarilla
Tipo:	Tubo de concreto (60cm)
Kilómetro:	12+595
Coordenadas:	9° 54' 0.72" N 83° 59' 56.72" O

Figura 5.22. Ubicación de la alcantarilla quebrada sin nombre (Google earth®).

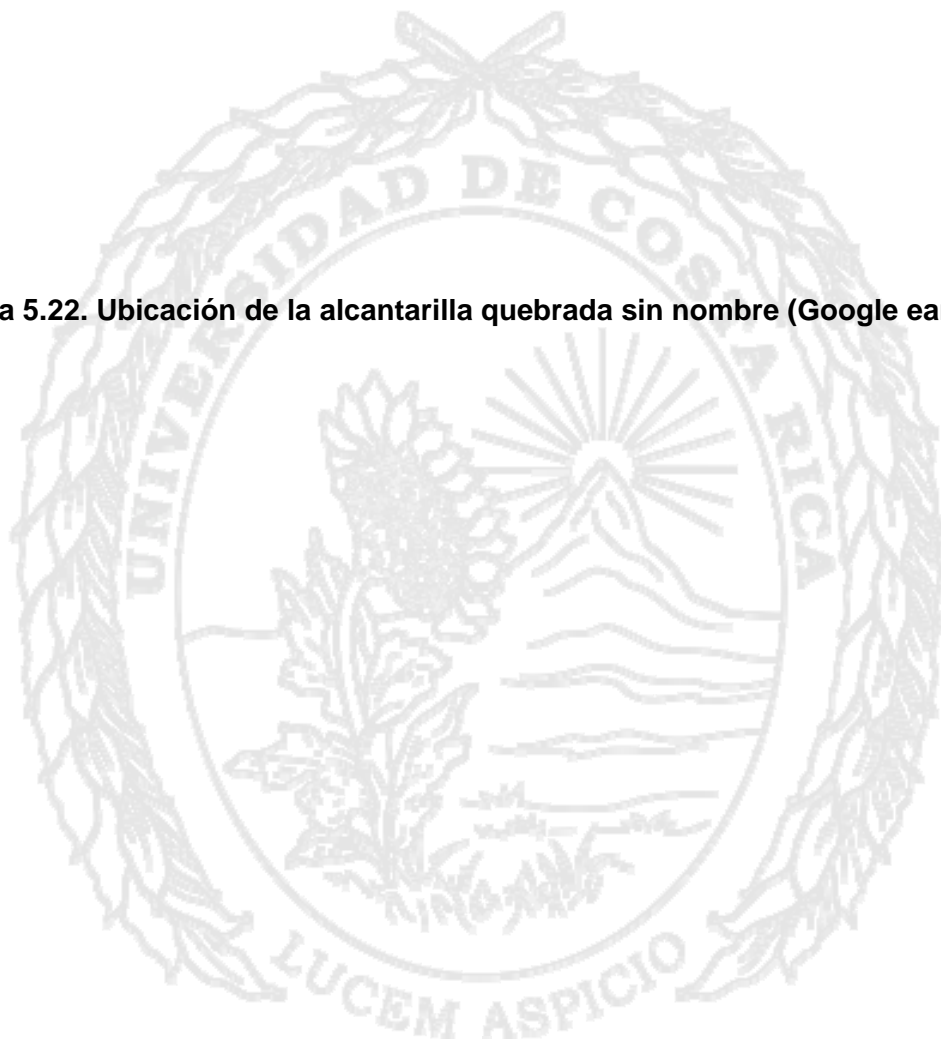


Figura 5.23. Vista del lado sur de la alcantarilla

Puente Peatonal Terramall

Cuadro 5.8. Características básicas del puente peatonal Terramall.



Figura 5.24. Ubicación del puente peatonal Terramall (Google earth®).



Figura 5.25. Vista del lado oeste del puente peatonal.

Paso a Desnivel Terramall

Cuadro 5.9. Características básicas del paso a desnivel Terramall.

Paso Superior Terramall	
Tipo de estructura:	Paso superior
Fecha de diseño o construcción:	1993
Longitud total:	14m
Ancho de calzada:	-
Ancho total:	44,4m
Material (Superestructura)	Concreto (Preesforzado)
Número de superestructuras:	1
Número de tramos:	1
Número de carriles:	4
Número de subestructuras	Bastiones: 2
	Pilas: 0
Alineación del puente:	Sesgo
Kilómetro:	12+690
Coordenadas:	9° 54' 1.85" N
	83° 59' 48.97" O

Figura 5.26. Ubicación del paso a desnivel Terramall (Google earth®).

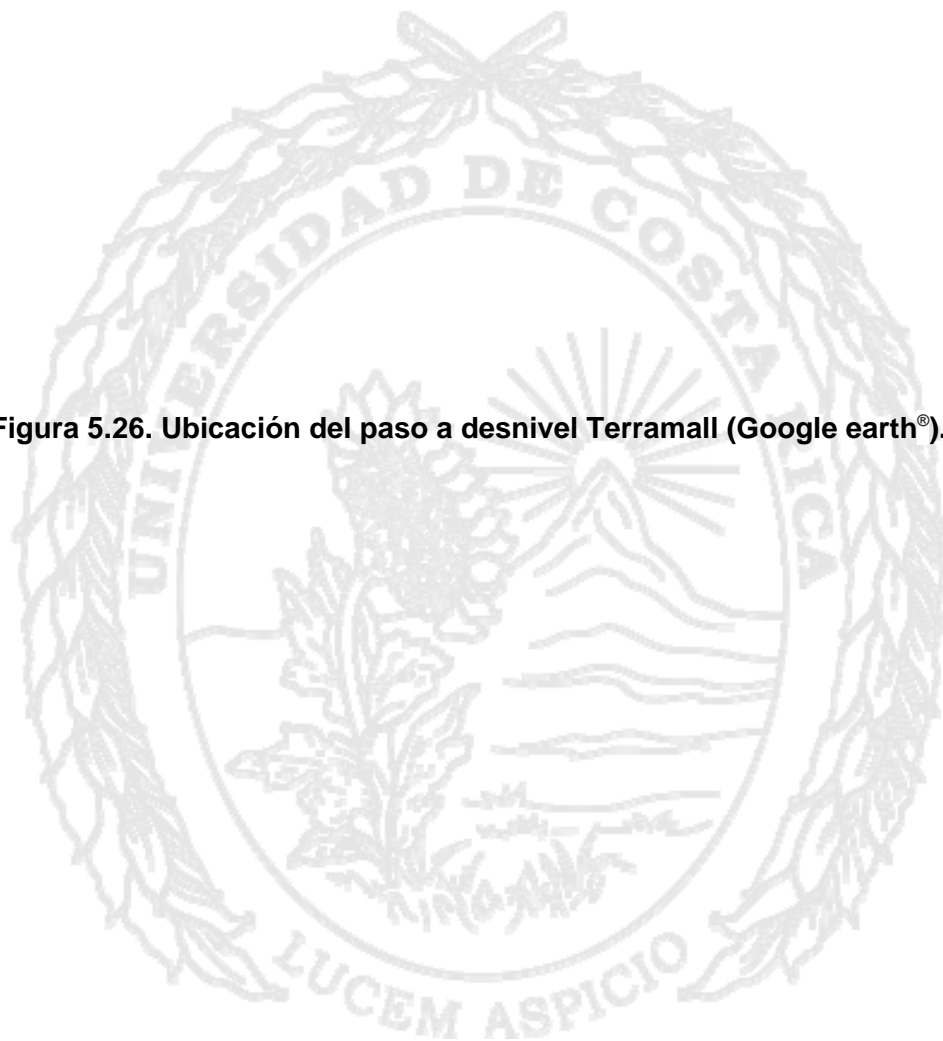


Figura 5.27. Vista de lado sur del paso a desnivel.



Figura 5.28. Vista del acceso inferior sur del paso a desnivel.



Figura 5.29. Vista inferior desde el lado este.



Figura 5.30. Evidencia de agrietamiento generalizado en ambas direcciones de la superficie superior de la losa de concreto.



Figura 5.31. Evidencia de de laminación por corrosión del acero en el lado noroeste del bastión oeste.



Figura 5.32. Agrietamiento diagonal con evidencia de eflorescencia en la superficie inferior de la losa de concreto.

Puente sobre el Río Tiribí

Cuadro 5.10. Características básicas del puente sobre el río Tiribí.

Puente sobre el río Tiribí (2 puentes)	
Tipo de estructura:	Puente
Fecha de diseño o construcción:	1972
Longitud total:	35,3m
Ancho de calzada:	8,6m
Ancho total:	10,3m
Material (Superestructura)	Concreto (Reforzado)
Número de superestructuras:	1
Número de tramos:	3
Número de carriles:	2
Número de subestructuras	Bastiones: 0
	Pilas: 2
Alineación del puente:	Sesgo (15°)
Kilómetro:	30+600
Coordenadas:	9° 54' 6.95" N
	83° 59' 25.49" O

Figura 5.33. Ubicación del puente sobre el río Tiribí (Google earth®).

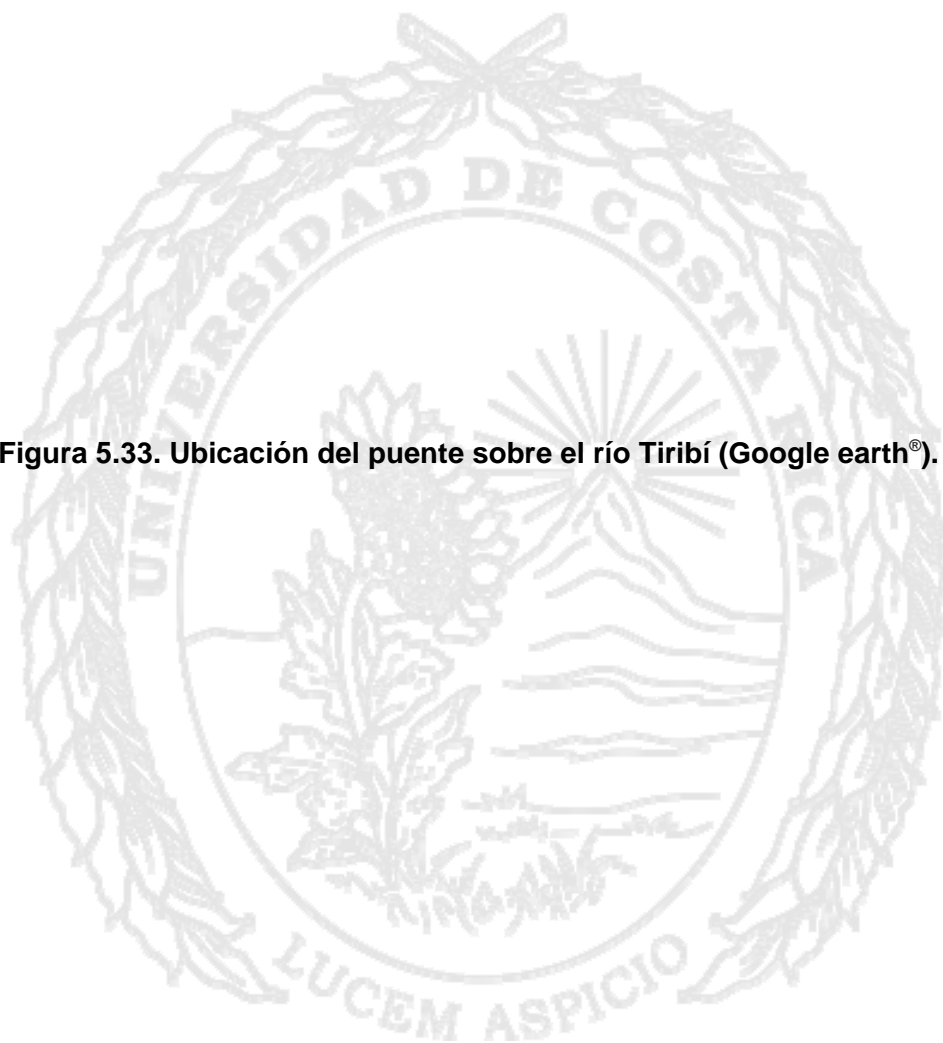


Figura 5.34. Vista lateral norte del puente ubicado aguas abajo.



Figura 5.35. Vista a línea centro desde el extremo oeste del puente ubicado aguas abajo.



Figura 5.36. Vista lateral sur del puente ubicado aguas arriba.



Figura 5.37. Agrietamiento generalizado de la superficie superior de la losa de concreto con mayor incidencia en la dirección transversal y en las zonas de momento negativo sobre las pilas.



Figura 5.38. Faltante del 100% de la barrera de contención vehicular.



Figura 5.39. Evidencia de agrietamiento de cortante en la zonas cercanas a las pilas.

Puente Inferior a Tres Ríos

Cuadro 5.11. Características básicas del puente inferior a Tres Ríos.

Paso Inferior a Tres Ríos	
Tipo de estructura:	Paso inferior
Material (Superestructura):	Acero
Número de superestructuras:	2
Número de tramos:	2
Número de carriles:	2
Número de subestructuras	Bastiones: 2
	Pilas: 1
Kilómetro:	13+635
Coordenadas:	9° 54' 8.34" N
	83° 59' 19.09" O

Figura 5.40. Ubicación del puente inferior a Tres Ríos (Google earth®).

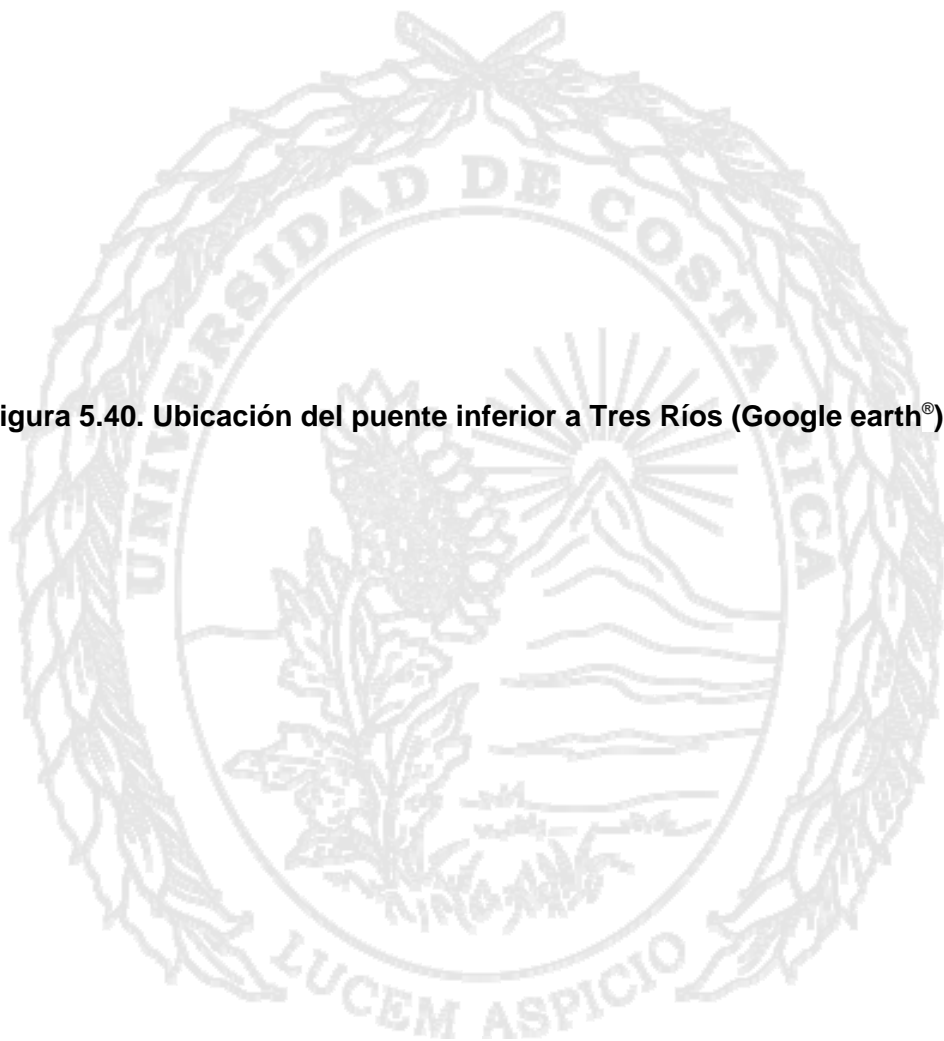


Figura 5.41. Vista lateral del lado oeste del paso a desnivel

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 86 de 142
----------------------------	--	------------------

Paso Peatonal La Isla

Cuadro 5.12. Características básicas del paso peatonal La Isla.



Figura 5.42. Ubicación del paso peatonal La Isla (Google earth®).



Figura 5.43. Vista lateral del lado este del puente peatonal

Puente sobre el Río Chiquito

Cuadro 5.13. Características básicas del puente sobre el río Chiquito.

Puente sobre el río Chiquito (2 puentes)	
Tipo de estructura:	Puente
Fecha de diseño o construcción:	1974-1978
Longitud total:	39,5m
Ancho de calzada:	8,6m
Ancho total:	10,3m
Material (Superestructura)	Concreto (Preesforzado)
Número de superestructuras:	2
Número de tramos:	2
Número de carriles:	2
Número de subestructuras	Bastiones: 2 Pilas: 1
Alineación del puente:	Sesgo
Kilómetro:	14+210
Coordenadas:	9° 54' 12.86" N 83° 59' 1.06" O

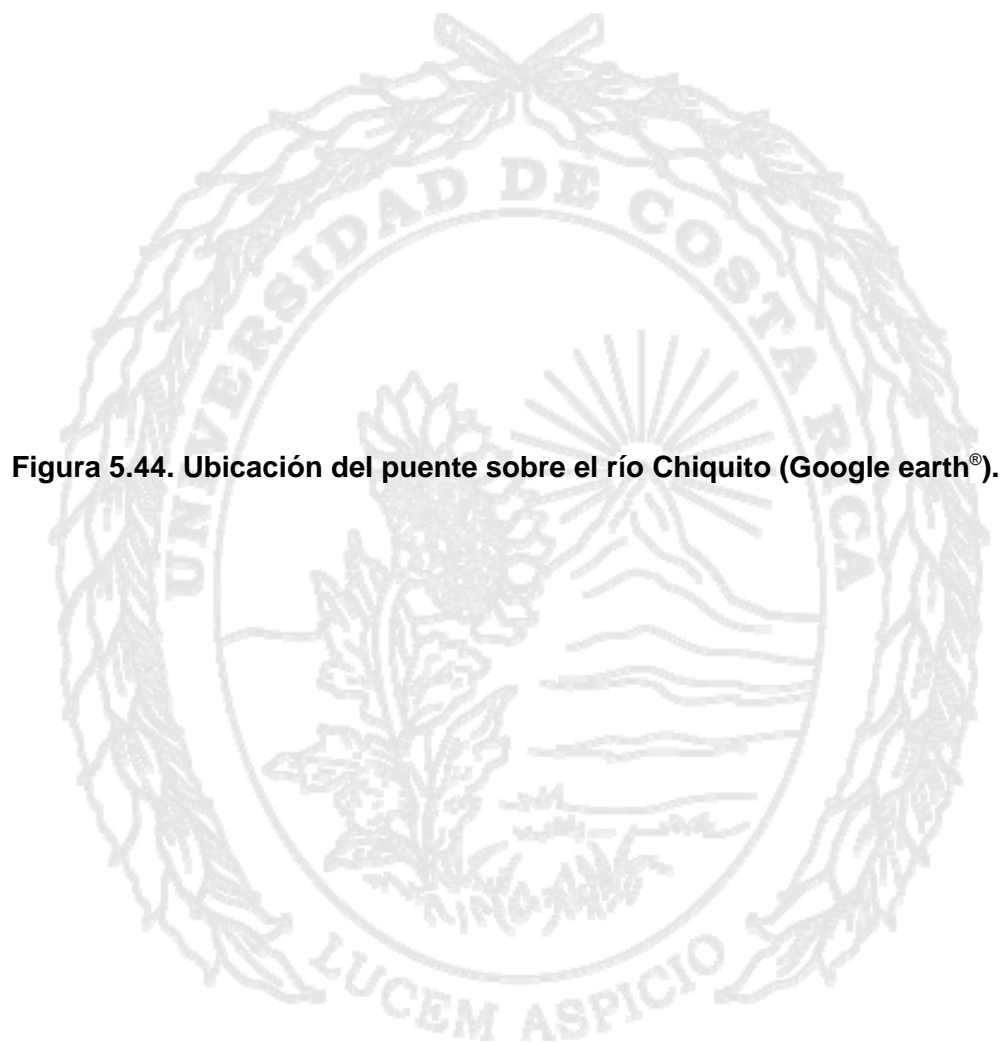


Figura 5.44. Ubicación del puente sobre el río Chiquito (Google earth®).

Figura 5.45. Vista a línea centro desde el extremo oeste del puente ubicado aguas arriba.



Figura 5.46. Vista lateral sur del puente ubicado aguas arriba.



Figura 5.47. Vista inferior desde el lado oeste del puente ubicado aguas arriba.



Figura 5.48. Agrietamiento generalizado en ambas direcciones de la superficie superior de la losa de concreto.



Figura 5.49. Ausencia de las barreras de contención vehicular, daños en el parapeto de concreto por colisión y deterioro de la zona de la junta de expansión.



Figura 5.50. Evidencia de inicios de socavación en la protección del talud al frente del bastión oeste del puente aguas arriba..

Paso a Desnivel La Carpintera

Cuadro 5.14. Características básicas del paso a desnivel La Carpintera.

Paso Superior La Carpintera	
Tipo de estructura:	Paso superior
Fecha de diseño o construcción:	1974-1978
Largo* (Ancho de la carretera):	34,2m
Ancho total* (Luz libre):	4,81m
Ancho de calzada*	3,7m
Altura libre inferior:	4,32m
Material*:	Concreto (Reforzado)
Kilómetro:	14+410
Coordenadas:	9° 54' 14.36" N
	83° 58' 55.10" O

* Datos de la alcantarilla de cuadro

Figura 5.51. Ubicación del paso a desnivel La Carpintera (Google earth®).

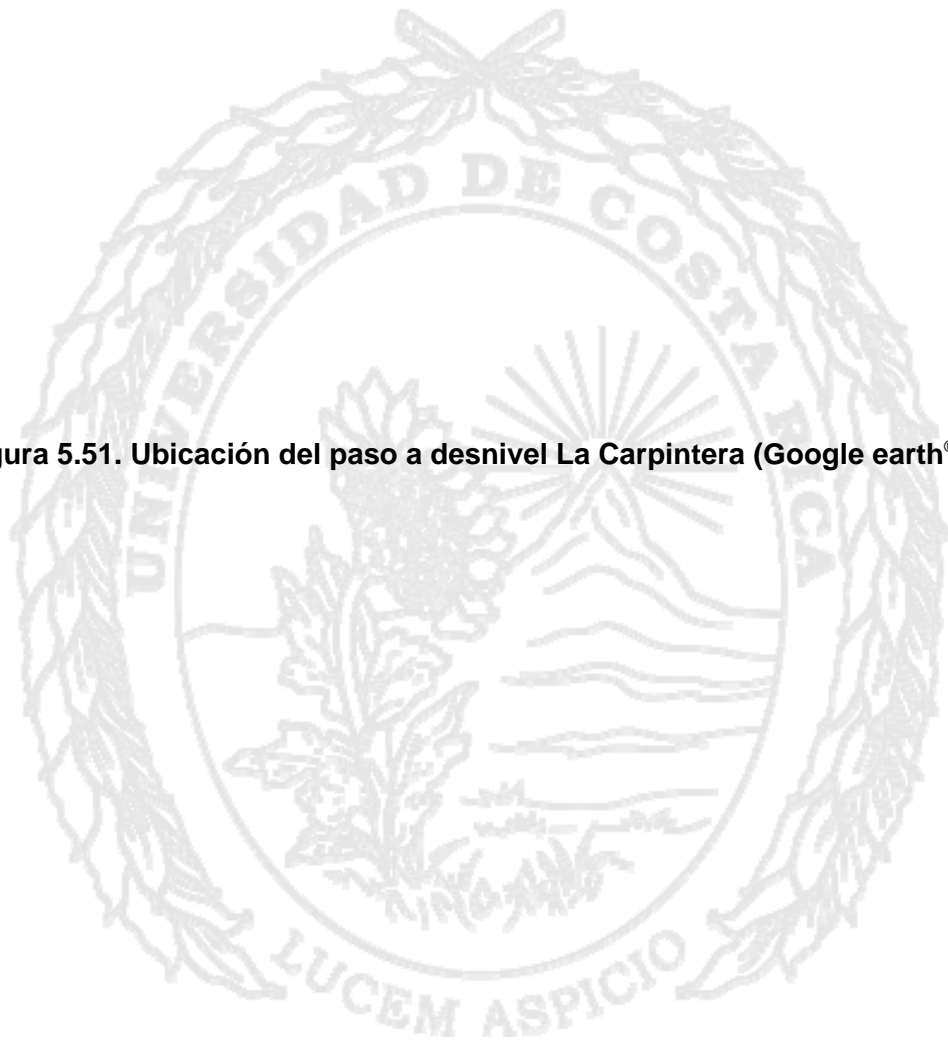


Figura 5.52. Vista superior desde el lado oeste.



Figura 5.53. Vista del acceso inferior sur.



Figura 5.54. Vista de la estructura tipo alcantarilla de cuadro desde el acceso sur.



Figura 5.55. El paso a desnivel poseía juntas con evidencia de eflorescencia generalizada.



Figura 5.56. La estructura tipo alcantarilla de cuadro evidenciaba agrietamiento en el sentido vertical con espesores de hasta 0,50mm.

Paso a Desnivel RN No. 251

Cuadro 5.15. Características básicas del paso a desnivel RN No. 251.



Figura 5.57. Ubicación del paso a desnivel RN No. 251 (Google earth®).

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 96 de 142
----------------------------	--	------------------



Figura 5.58. Vista superior desde el lado oeste.



Figura 5.59. Vista del acceso inferior sur.



Figura 5.60. Vista de la estructura tipo alcantarilla de cuadro desde el acceso sur.



Figura 5.61. Evidencia de la limitada distancia libre inferior del paso a desnivel son los daños por desprendimiento del concreto en la parte superior de los accesos inferiores.



Figura 5.62. El paso a desnivel poseía juntas con evidencia de eflorescencia generalizada.



Figura 5.63. La estructura tipo alcantarilla de cuadro evidenciaba agrietamiento en el sentido vertical con espesores de hasta 0,50mm.

Puente sobre el Río Fierro II

Cuadro 5.16. Características básicas del puente sobre el río Fierro II.



Figura 5.64. Ubicación del puente sobre el río Fierro II (Google earth®).

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 100 de 142
----------------------------	--	-------------------



(a)



(b)

Figura 5.65. Evidencia de problemas de socavación en el puente: (a) En el años 2013 se identificó socavación severa al punto de que la fundación de las pilas había perdido el 50% de su soporte; (b) En el año 2014 se colocó como medida temporal una capa de soporte pero sin llevar a cabo medidas de carácter permanente con diseño de por medio para remediar el problema de forma integral.



Figura 5.66. El talud de protección del talud al frente del bastión este aún se encontraba socavado tal y como se había identificado en el 2013.



Figura 5.67. Los elementos de concreto de la subestructura, las pilas en este caso, mostraban evidencia de daños por impacto de objetos de gran tamaño arrastrados por la corriente.



Figura 5.68. Deterioro avanzado de la barrera de contención vehicular. No hay evidencia de cumplir con los requisitos para la velocidad y cantidad de vehículos pesados que transitan por la ruta.

Puente sobre el Río Fierro I

Cuadro 5.17. Características básicas del puente sobre el río Fierro I.

Puente sobre el río Fierro 1	
Tipo de estructura:	Puente
Fecha de diseño o construcción:	1953-1958
Longitud total:	24,2m
Ancho de calzada:	9,2m
Ancho total:	10,61m
Material (Superestructura)	Concreto
Número de superestructuras:	1
Número de tramos:	3
Número de carriles:	2
Número de subestructuras	Bastiones: 2 Pilas: 2
Alineación del puente:	Curvo
Coordenadas:	9° 54' 22.85" N 83° 57' 30.94" O

Figura 5.69. Ubicación del puente sobre el río Fierro I (Google earth®).

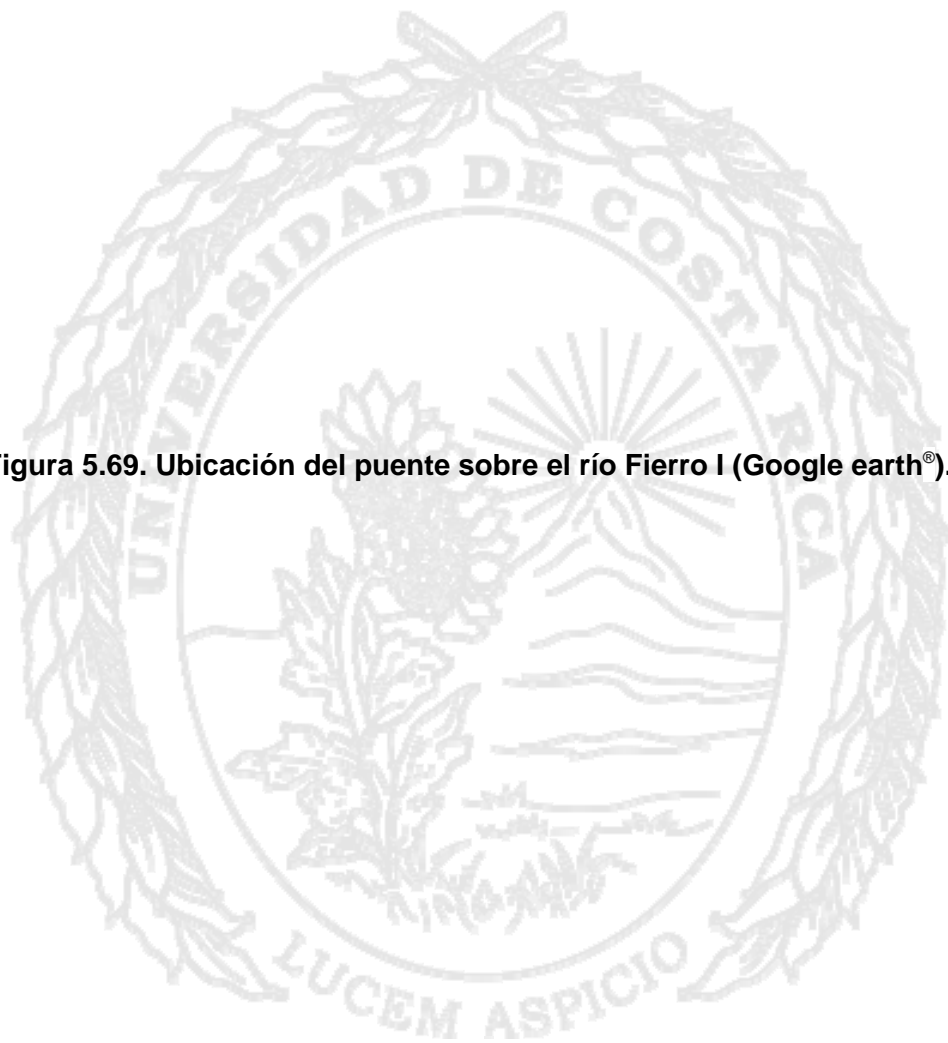


Figura 5.70. Vista a línea centro desde el acceso este.



Figura 5.71. Vista lateral general desde el acceso oeste.



Figura 5.72. Vista inferior desde el acceso oeste.



Figura 5.73. Evidencia de agrietamiento y eflorescencia en la superficie inferior de la superestructura.



Figura 5.74. Los elementos de concreto de la subestructura, las vigas de amarre de las pilas en este caso, mostraban evidencia de daños por impacto de objetos de gran tamaño arrastrados por la corriente.



Figura 5.75. Los elementos de concreto de la subestructura, las pilas en este caso, mostraban evidencia de daños por impacto de objetos de gran tamaño arrastrados por la corriente.

Alcantarilla afluente de la Quebrada Quirazú

Cuadro 5.18. Características básicas de la alcantarilla afluente de la quebrada Quirazú.

Alcantarilla afluente Q. Quirazú	
Tipo de estructura:	Alcantarilla
Tipo:	Cuadro y tubo (Concreto)
Coordenadas:	9° 54' 4.99" N
	83° 57' 13.04" O

Figura 5.76. Ubicación de la alcantarilla afluyente de la quebrada Quirazú (Google earth®).

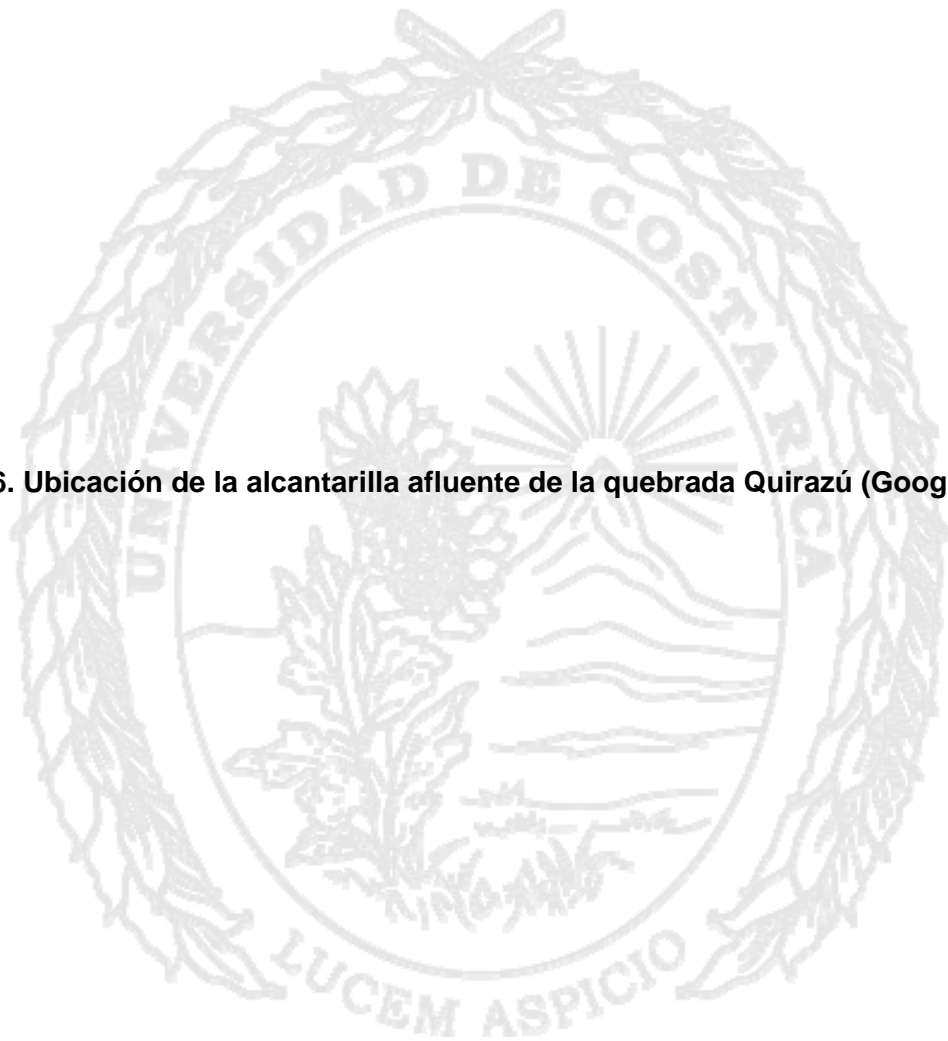


Figura 5.77. Vista del lado sur de la alcantarilla.

Alcantarilla Quebrada Quirazú

Cuadro 5.19. Características básicas de la alcantarilla quebrada Quirazú.



Figura 5.78. Ubicación de la alcantarilla quebrada Quirazú (Google earth®).



Figura 5.79. Vista del lado norte de la alcantarilla (Google earth®).

Puente Peatonal La Lima

Cuadro 5.20. Características básicas del puente peatonal La Lima.

Puente Peatonal La Lima	
Tipo de estructura:	Puente peatonal
Material:	Acero
Kilómetro:	22+765
Coordenadas:	9° 52' 15.82" N 83° 56' 40.09" O

Figura 5.80. Ubicación del puente peatonal La Lima (Google earth®).

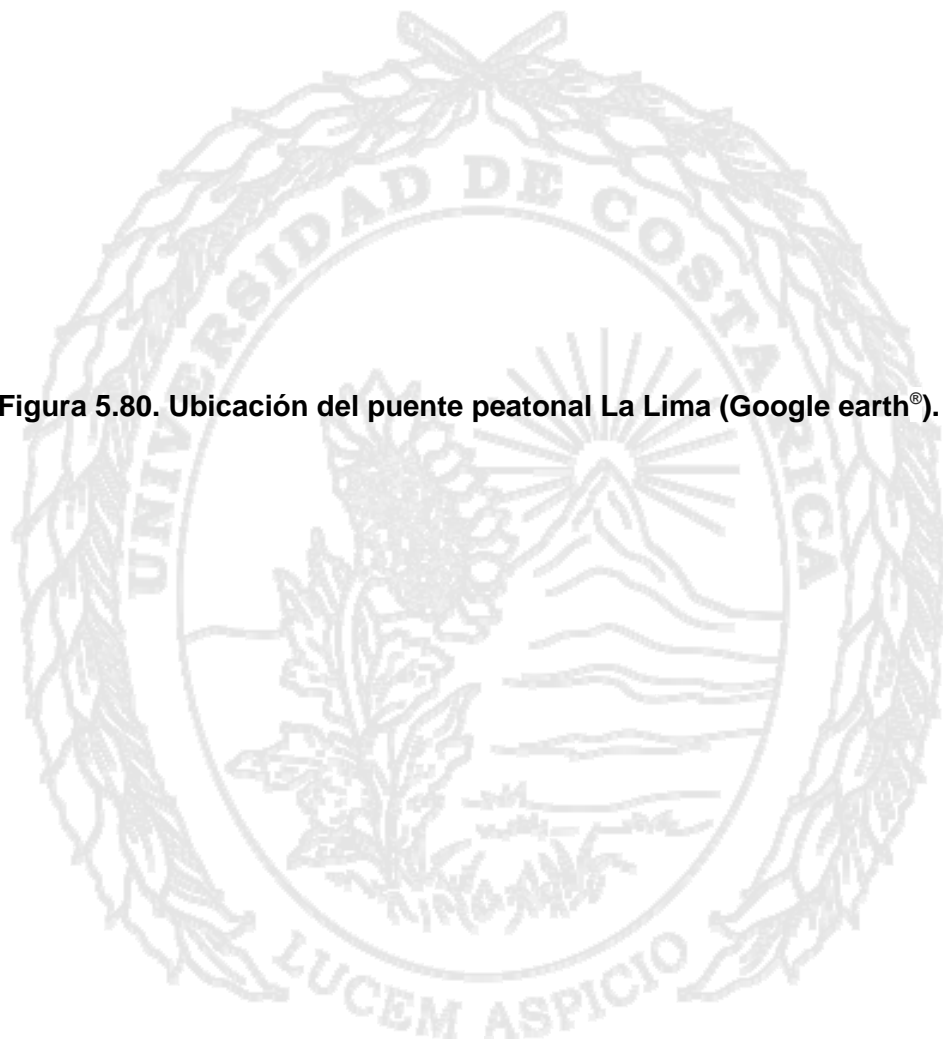


Figura 5.81. Vista del lado norte del puente peatonal.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 111 de 142
----------------------------	--	-------------------

5.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del inventario básico y de daño a partir de la inspección visual de las obras de infraestructura se obtienen las siguientes conclusiones generales:

- En resumen se identificaron las siguientes obras de infraestructura en el tramo estudiado:
 - 7 pasos a desnivel (4 alcantarillas de cuadro)
 - 4 puentes.
 - 4 alcantarillas.
 - 5 puentes peatonales.
- El 57% de los pasos a desnivel son estructuras tipo alcantarilla de cuadro.
- Los puentes peatonales están conformados por una variedad de materiales y soluciones estructurales diferentes entre sí.
- La mayoría de puentes y pasos a desnivel fueron diseñados y construidos en la década de los 70's y hay dos casos de la década de los 50's.
- En los puentes y pasos a desnivel (excluyendo a los tipo alcantarilla de cuadro) la losa presenta evidencia de agrietamiento y deterioro generalizado en su superficie superior.
- La mayoría de los puentes y pasos desnivel tipo viga-losa, presentan sesgo y no tienen bloques sísmicos (también denominados llaves de cortante).
- La distancia libre inferior (gálibo) de los pasos a desnivel tipo alcantarilla de cuadro es menor a la mínima permitida, lo que representa un riesgo vial para los usuarios.

En razón de lo anterior, se recomienda realizar una evaluación de vulnerabilidad sísmica y estructural, de acuerdo con las cargas de diseño que establece la normativa vigente para puentes, complementado con una inspección de inventario, daños y funcionalidad, más detallado. Además, se sugiere realizar una evaluación de las condiciones hidráulicas y de seguridad vial de cada una de las estructuras, para establecer las acciones requeridas.

5.8. REFERENCIAS

- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2007). Manual de Inspección de Puentes. Costa Rica.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 112 de 142
----------------------------	--	-------------------

6. CAPÍTULO. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS

6.1. INTRODUCCIÓN

Este documento resume las observaciones y hallazgos preliminares realizados sobre aspectos geotécnicos del proyecto de ampliación de la Ruta Nacional N°2 tramo Hacienda Vieja - La Lima.

6.2. OBJETIVO

Diagnosticar en forma preliminar los principales elementos o secciones críticas de la Ruta Nacional N°2 Autopista Florencio del Castillo, tramo Hacienda Vieja – La Lima, que requerirán de investigación geotécnica específica para el diseño de obras de estabilización.

6.3. CONCEPTOS GENERALES

Esta sección define, a un nivel introductorio y básico, algunos conceptos que pueden servir como referencia al lector no familiarizado con la terminología de la ingeniería geotécnica.

- **Investigación geotécnica:** Es la exploración de campo, la valoración de las propiedades mediante ensayos de campo y de laboratorio, así como la instrumentación para monitorear deformaciones y esfuerzos in situ. La planificación efectiva, la ejecución de las investigaciones y la interpretación y evaluación de datos requieren una comprensión cabal de las características de los materiales y peligros geológicos.

6.4. METODOLOGÍA

Para la realización del estudio se analizó el documento “Estudio geológico y geotécnico” para el Diseño Preliminar y Estudio de Factibilidad Técnica, Económica, Financiera y Ambiental para la Concesión de Obra con Servicio Público del Corredor Vial San José – Zapote – Cartago, hecho por IMNSA/URS para el CNC en 2001. Adicionalmente, se revisaron los informes de auditorías

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 113 de 142
----------------------------	--	-------------------

técnicas del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LANAMME de la Universidad de Costa Rica, realizadas en 2008 y 2009.

6.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

Los principales alcances y limitaciones de este estudio preliminar son los siguientes:

- Este documento es un diagnóstico preliminar que se fundamenta en información publicada por el LanammeUCR.
- No se realizó levantamiento reciente en sitio.
- No se realizaron nuevos estudios de tipo geológico o geotécnico.

6.6. CONDICIONES GENERALES PARA EL DESARROLLO DE UNA INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.

Alcances y limitaciones

Se debe reconocer que las condiciones geológicas pueden ser extremadamente complejas y variables, así como sujetas a cambios en el tiempo; además de que hay muchas limitaciones en el “estado del arte” de la investigación geotécnica. Habrá casos en los que no es posible identificar todos los aspectos críticos de las condiciones geológicas, independientemente del carácter exhaustivo de la investigación.

La familiaridad ingeniero geotécnico con esos aspectos del entorno geológico que son inusualmente complejos y variables, con un bajo grado de previsibilidad, así como con las limitaciones de la metodología de investigación, debería dar lugar a la incorporación de medidas conservadoras en el diseño y la construcción para evitar resultados insatisfactorios. Las consecuencias de una investigación inadecuada pueden ser retrasos en la construcción y costos adicionales, y/o insuficiencias o fallas, incluso el colapso estructural.

Objetivos

Los objetivos principales de una investigación o exploración son (1) suministrar una evaluación del medio ambiente geológico para profesionales que participan en diseño o construcción de obras de ingeniería y (2) proponer soluciones generales de los problemas, que en ese

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 114 de 142
----------------------------	--	-------------------

momento pueden estar basadas en el razonamiento intuitivo y la experiencia más que en el análisis matemático riguroso.

Objetivos específicos

El objetivo básico de una investigación geotécnica es la caracterización del entorno geológico. Esta incluye la determinación de los siguientes elementos:

- Las condiciones geológicas peligrosas, incluidas las laderas inestables, fallas activas o potencialmente activas, sismicidad regional, llanuras de inundación, terreno colapsables y con expansión potencial.
- Las condiciones del agua subterránea (profundidad del nivel freático, gradiente hidráulico y la calidad del agua), tomando en cuenta los cambios estacionales y los efectos de la extracción debido a la construcción del proyecto propuesto.
- La distribución lateral y el espesor de los estratos del suelo y la roca dentro de la zona de influencia de la construcción o proyecto propuesto.
- Las propiedades físicas y mecánicas relevantes de los suelos y formaciones rocosas.
- La respuesta del terreno natural para las condiciones cambiantes provocadas por cargas superficiales de la construcción o el desarrollo de estructuras, descargas superficiales o del subsuelo por excavaciones o extracción de recursos minerales.
- La idoneidad de los materiales geológicos para su uso como agregados y/o para la construcción de pavimentos y terraplenes.

Evaluación de las condiciones geológicas

El objetivo de esta parte de una investigación es la predicción de las condiciones geológicas del sitio de interés que puedan ser problemáticas o ventajosas para el proyecto a desarrollar. Esa predicción se basa en la identificación de la geología local, la interpretación de la geomorfología de la zona y la aplicación del conocimiento de las características de los diferentes suelos y formaciones rocosas encontrados. Para muchos profesionales, los elementos básicos de una investigación son una visita al lugar y un conjunto de perforaciones o sondeos de prueba. Si se ha trabajado en la zona antes y se está familiarizado con sus condiciones geológicas, este enfoque puede ser adecuado. Sin embargo, si el lugar de estudio es nuevo para el profesional, se deben aplicar procedimientos que le permitan identificar las

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 115 de 142
----------------------------	--	-------------------

condiciones geológicas y predecir las características significativas del sitio y los materiales. Una vez conocidas las condiciones geológicas generales del sitio, se puede planificar el estudio más exhaustivo del subsuelo mediante sondeos o perforaciones.

Propuesta de solución de problemas

El segundo objetivo principal de la investigación es proporcionar la base científica para la comprensión de los fenómenos físicos presentes que intervienen y definen los aspectos geotécnicos importantes del sitio para el proyecto. Por otra parte, la información aportada por una investigación debe servir de base para el análisis y diseño de las cimentaciones, las excavaciones, los taludes, las estructuras de contención y los sistemas de mejoramiento del suelo. En una investigación usualmente se incluyen también algunos elementos de análisis geotécnico tales como una evaluación preliminar de los posibles asentamientos de cimentaciones, los efectos del flujo del agua subterránea, la estabilidad de taludes, la subsidencia del terreno y con frecuencia algunos elementos de la amenaza sísmica. La evaluación, así como la solución y el control de problemas también pueden basarse en el razonamiento intuitivo y el juicio o criterio del profesional responsable.

Etapas de la investigación

Las investigaciones se realizan en un número de etapas, cada una con un objetivo diferente, y cada una requiere interpretación, análisis y evaluación.

- **Etapas 1:** Se identifican las condiciones geológicas generales a través de la recopilación de datos existentes, la interpretación de las imágenes de teledetección (análisis de relieve topográfico) y reconocimiento de campo. Se preparan mapas de Ingeniería Geológica.
- **Etapas 2:** Se elaboran las secciones verticales o perfiles estratigráficos del subsuelo a partir de los datos de exploración obtenidos por sondeos y pozos de prueba, métodos geofísicos, etc.
- **Etapas 3:** Se extraen o recuperan muestras de los suelos y las rocas para la identificación y análisis de laboratorio.
- **Etapas 4:** Se realizan mediciones de las propiedades de ingeniería in situ y en el laboratorio para elaborar el “modelo geotécnico” (perfil estratigráfico + propiedades) que se usará en el análisis y el diseño.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 116 de 142
----------------------------	--	-------------------

- **Etapa 5:** Se instala la instrumentación necesaria para monitorear la respuesta del suelo y estructural a las condiciones cambiantes del campo.

Fases de la investigación

Las investigaciones se pueden dividir en un número de fases en función de su finalidad, con diversas etapas de investigación en cada fase. En general, las fases van desde la factibilidad o viabilidad a diseño preliminar, diseño final, la construcción, y post-construcción.

Factibilidad

La investigación en la fase de factibilidad o viabilidad es imprescindible cuando no se tiene experiencia previa en el área del proyecto, cuando el sitio se encuentra virgen o en zona rural, o para grandes proyectos importantes. El objetivo es identificar las condiciones potencialmente peligrosas o desfavorables tales como fallas activas, laderas inestables, sumideros y depósitos de gran espesor de suelos blandos que hacen que la construcción sea riesgosa en el aspecto de la seguridad o extraordinariamente costosa. La investigación para determinar la factibilidad abarca la etapa 1 y, a menudo, las etapas 2 y 3. Los datos obtenidos tienen una cantidad de aplicaciones útiles. Si el sitio es de alto peligro, se puede decidir abandonarlo y buscar otro con condiciones más favorables. Si el sitio tiene peligro marginal, la investigación permite realizar una planificación preliminar para utilizar óptimamente las zonas favorables y evitar áreas desfavorables y así reducir al mínimo los costos de construcción.

Dependiendo de la naturaleza del proyecto, las áreas desfavorables pueden ser zonas con rocas poco profundas, con un nivel de agua subterránea poco profundo, depósitos de suelos blandos, licuables, expansivos y colapsables. En los sitios que no tienen amenazas severas obvias, se pueden preparar diseños preliminares y estimaciones de costos. Los datos recogidos proporcionan la base para la planificación inteligente de investigaciones más detalladas, porque la selección de los métodos y herramientas adecuados es altamente dependiente de las condiciones geológicas.

Diseño Preliminar

La fase de diseño preliminar, por lo general prosigue cuando se han definido las ubicaciones, las dimensiones y las cargas de la construcción propuesta. Su finalidad es la evaluación de las condiciones peligrosas o limitantes y la determinación completa de la distribución de los

nforme INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 117 de 142
---------------------------	--	-------------------

materiales geológicos y sus propiedades de ingeniería. La investigación incluye las etapas 2, 3, y 4, y en muchos proyectos se puede combinar con la fase de factibilidad. En los proyectos rutinarios y sencillos, la investigación puede incluir sólo una fase preliminar. Los datos obtenidos se utilizan para la selección y el dimensionamiento de los cimientos, pavimentos y estructuras de retención, el control de las aguas subterráneas, la estabilización de taludes, y los sistemas de soporte de túneles. Si el proyecto consiste en la extracción de minerales, se evalúan los efectos en la superficie y se formulan métodos para evitar los efectos perjudiciales, tales como la subsidencia y colapso.

Diseño Final

Los sitios con condiciones difíciles se someten a una fase de diseño final. Se puede requerir la intervención del diseñador estructural en la investigación geotécnica para cambiar la ubicación o dimensiones de la construcción, confirmar o modificar los diseños, principalmente orientados a hacer ahorros. La finalidad de esta fase es la adquisición de datos suplementarios, por lo general a partir de muestras inalteradas adicionales para pruebas de laboratorio o pruebas de carga a escala real, para confirmar o mejorar los criterios de diseño. La investigación requiere información detallada y utiliza las etapas 2, 3, y 4.

Construcción

Es común encontrar condiciones geológicas imprevistas en proyectos de gran extensión, que involucren excavaciones profundas o cimentaciones profundas, o en diseños no convencionales. Cualquiera de los casos requiere una investigación adicional durante la fase de construcción, lo que se hace necesario incluir presupuesto adicional para ese fin en los planes de contingencia. En estos casos, se llevan a cabo las etapas de investigación 2, 3, 4 y con frecuencia la etapa 5. La instrumentación se instala para monitorear los cambios en los niveles de agua subterránea, la estabilidad y los movimientos de laderas y estructuras de contención, los asentamientos de terraplenes, muros y cimentaciones; el asentamiento del suelo y su efecto sobre las estructuras adyacentes, y las deformaciones y esfuerzos en las cimentaciones. La instrumentación proporciona la base de datos de un sistema de alerta temprana y permite tomar las decisiones para invocar los planes de contingencia cuando las deformaciones y esfuerzos exceden los previstos en el diseño.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 118 de 142
----------------------------	--	-------------------

Post-construcción

La instrumentación (etapa 5) es una buena práctica para cimientos pesados, estructuras de contención y en puntos críticos de taludes, presas y túneles u otras condiciones en las cuales se prevé asentamientos o deformaciones importantes. El objetivo principal es proporcionar información de condiciones potencialmente problemáticas para un sistema de alerta temprana. Adicionalmente, la instrumentación proporciona datos para mejorar la práctica de la ingeniería y reducir el grado de conservadurismo en los proyectos futuros.

Cuadro 6.1. Descripción de las etapas de una investigación geotécnica

Etapa	Descripción	Metodología	Producto
1	Identificación de las condiciones geológicas generales	Recopilación de datos existentes Interpretación de imágenes Análisis de relieve topográfico Reconocimiento de campo	Mapas de Ingeniería Geológica
2	Exploración de campo	Sondeos y pozos de prueba, métodos geofísicos, etc.	Secciones verticales o perfiles estratigráficos del subsuelo
3	Extracción o recuperación de muestras para ensayos de laboratorio	Análisis de laboratorio con muestras de los suelos y las rocas	Identificación de los materiales presentes
4	Medición de las propiedades in situ y en el laboratorio para el análisis y el diseño	Ensayos de propiedades mecánicas de ingeniería de los materiales	Modelo geotécnico (perfil estratigráfico + propiedades)
5	Instrumentación	Instalación de instrumentos de monitoreo del comportamiento del suelo y estructural	Actualización de las condiciones del proyecto

Cuadro 6.2. Relación entre las etapas de una investigación y el desarrollo de un proyecto de ingeniería

Etapa	Fase				
	Factibilidad	Diseño preliminar	Diseño final	Construcción	Operación (Pos-construcción)
1	***				
2	**	***	***	***	
3	**	***	***	***	
4		***	***	***	
5				**	***

Cuadro 6.3. Métodos de ensayo In situ y aplicación general.

Grupo	Aparato	Parámetros del Suelo													Tipo de Terreno						
		Tipo de suelo	Perfil	u	' ϕ '	s_u	I_D	m_v	c_v	k	G_0	σ_v	OCR	$\sigma-\epsilon$	Roca dura	Roca blanda	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Turba
Penetrómetros	Dinámico	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	-	-	C	B	A	B	B	B
	Mecánico	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	-	-	C	C	A	A	A	A
	Eléctrico (CPT)	B	A	-	C	B	A/B	C	-	-	B	B/C	B	-	-	C	C	A	A	A	A
	Piezocono (CPTU)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C	-	C	-	A	A	A	A
	Cono sísmico (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B	-	C	-	A	A	A	A
	Dilatómetro plano (DMT)	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	C	C	C	-	A	A	A	A
	Ensayo de penetración estándar (SPT)	A	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	-	-	C	B	A	A	A	A
Presiómetros	Sonda de resistividad	B	B	-	B	C	A	C	-	-	-	-	-	-	-	C	-	A	A	A	A
	Pre-excavado (PBP)	B	B	-	C	B	C	B	C	-	B	C	C	C	A	A	B	B	B	A	B
	Auto-excavador (SBP)	B	B	A'	B	B	B	B	A'	B	A ²	A/B	B	A/B ²	-	B	-	B	B	A	B
Otros	De desplazamiento total (FDP)	B	B	-	C	B	C	C	-	A ²	C	C	C	-	C	-	B	B	A	A	
	Veleta	B	C	-	A	-	-	-	-	-	-	B/C	B	-	-	-	-	-	-	A	B
	Carga de placa	C	-	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B	B	A	B	B	B	A	A
	Placa atomillada	C	C	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	-	-	-	-	A	A	A	A
	Permeabilidad en pozo	C	-	A	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	B
	Fractura hidráulica	-	-	B	-	-	-	-	C	C	-	B	-	-	B	-	-	-	-	-	A
Sísmica crosshole / downhole, superficial	C	C	-	-	-	-	-	-	-	A	-	B	-	A	A	A	A	A	A	A	A

Aplicabilidad: A = alta; B = moderada; C = baja; - = no aplicable;

Notas: ' ϕ ' = Dependerá del tipo de suelo; ' = Solo con sensor de presión de poro; ϵ = Solo con sensor de desplazamiento.

Definiciones de parámetros del suelo: u = in situ presión de poro estática; ' ϕ ' = ángulo de fricción interna efectivo; s_u = resistencia al corte no drenada; I_D = índice de densidad; m_v = módulo confinado; c_v = coeficiente de consolidación; k = coeficiente de permeabilidad; G_0 = módulo de rigidez cortante a deformaciones pequeñas; σ_v = esfuerzo horizontal; OCR = razón de pre consolidación; $\sigma-\epsilon$ = relación esfuerzo – deformación.

Fuente: Lunne, Robertson & Powell, 1997

Cuadro 6.4. Pautas para la selección de las pruebas de laboratorio según el tipo de obra.

Prueba		Tipo de análisis					
Descripción	Designación AASHTO	Carreteras	Cimentación estructural	Muro de retención	Diseño de Pavimentos	Fuentes de materiales	Deslizamientos
Granulometría	T88, T89, T90, T100	F	F	F	F	F	F
Análisis de la fracción fina	T88	F	M	M	F	F	F
Límites de Atterberg	T89, T90	F	F	F	F	F	F
Permeabilidad	T215	L	L	M	M	R	F
Densidad Remoldeada	T180 o T99	F	L	L	F	F	L
Valor CBR	T190, T193, T292, T294	F	R	R	F	F	R
Compresión inconfiada	T 208	L	F	F-M	L	R	F-M
Corte Directo	T 236	M	M	F-M	L	M-L	F-M
Compresión triaxial	T296, T297	L	F-M	F-M	L	L	F
Consolidación	T216	L	M	M	L	L	M

Frecuencia de uso:

F= frecuente o rutinario

M = moderado

L = limitado

R = Raramente utilizado

6.7. ANÁLISIS REALIZADO

A continuación se presenta en modo resumen los principales hallazgos en el Estudio geológico – geotécnico de IMNSA–URS, que estableció que existen tres unidades geológicas asociadas con el corredor. Estas fueron sectorizadas de la siguiente manera:

- Sector 1: Unidad de Cenizas y Lahares
- Sector 2: Unidad de Rocas
- Sector 3: Unidad de Abanicos

La Figura 6.1 presenta el mapa geológico del estudio de IMNSA–URS.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 121 de 142
----------------------------	--	-------------------

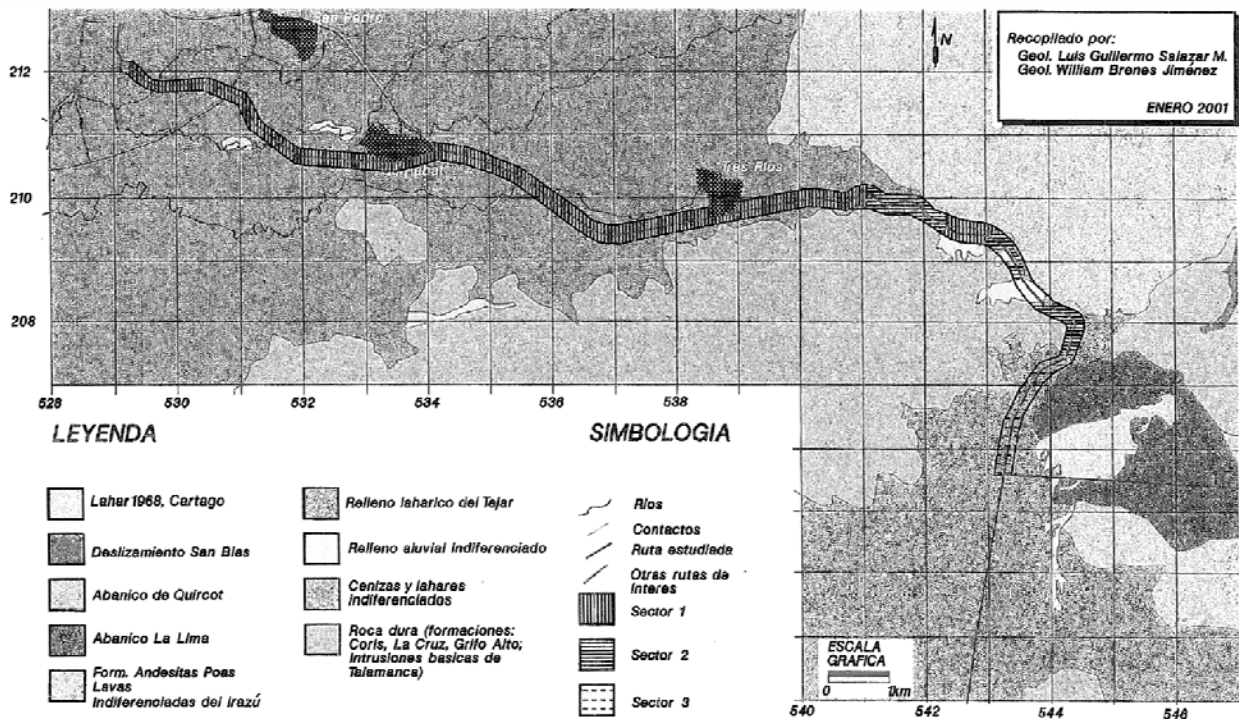


Figura 6.1. Mapa geológico del corredor San José – Cartago (Ruta Nacional 2)

En la Figura 6.1 se observa que los sectores o zonas del mapa geológico corresponden o coinciden con las secciones usadas para el análisis tránsito. La principal diferencia entre las secciones y el mapa geológico está en el final del sector 1, en la zona de Tres Ríos, pero se puede asumir una coincidencia general entre las secciones y los sectores o zonas geológicas.

En la investigación, se determinaron los perfiles estratigráficos típicos para cada sección con base en 30 ensayos de penetración estándar (SPT), complementados con ensayos de laboratorio para evaluación de propiedades físicas, tales como granulometría, límites de consistencia y de propiedades mecánicas, especialmente de la resistencia a la compresión confinada. Estos se presentan en la Figura 6.2.

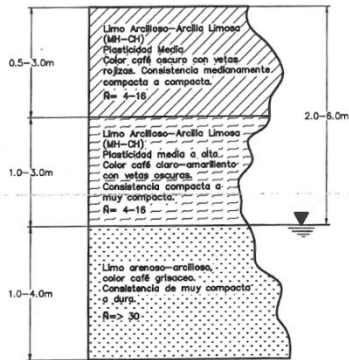


Figura 4.1 Columna Estratigráfica Predominante
Zona I: Unidad de Cenizas y Lahares
(T-1 a T-21)

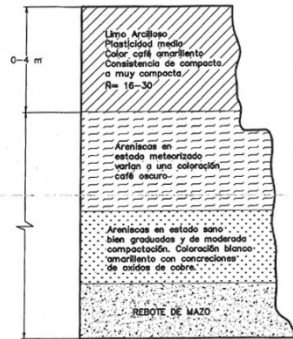


Figura 4.2 Columna Estratigráfica Predominante
Zona II: Unidad de Areniscas
(T-22 a T-25)

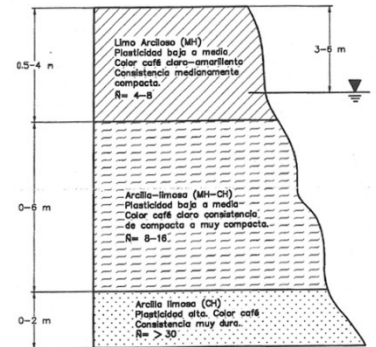


Figura 4.3 Columna Estratigráfica Predominante
Zona III: Unidad de Abanicos
(T-26 a T-30)

Figura 6.2. Columnas estratigráficas típicas del corredor San José – Cartago (Ruta Nacional 2). Fuente: IMNSA-URS (2001)

Se puede observar que superficialmente se encuentran materiales con descripciones muy similares, consistentes en limos arcillosos o arcillas limosas de plasticidad media. En las zonas I y III las clasificaciones de los suelos indican que son potencialmente problemáticos, dado que poseen alta compresibilidad (baja densidad) y típicamente son de baja resistencia y propensos a la inestabilidad. La descripción como materiales “compactos a medianamente compactos” hecha por el investigador, incluida en la Figura 6.2, no refleja la problemática potencial que indican las clasificaciones. Esto puede ser la consecuencia de una interpretación poco crítica de los datos del ensayo SPT. Es bien sabido que este ensayo tiene la desventaja de que al realizarse incorrectamente usualmente se obtienen mejores resultados, es decir, un número mayor de golpes por pie.

Entre los ensayos adicionales, se realizaron los listados en el

Cuadro 6.4. hasta el de compresión confinada. No se realizaron los ensayos de permeabilidad, resistencia en corte directo y compresión triaxial, ni ensayos de consolidación de suelos. Según ese mismo cuadro, la investigación realizada no es suficiente para cubrir

todas las necesidades de diseño de obras en un proyecto vial. Especialmente, el análisis de estabilidad de taludes o el cálculo del factor de seguridad contra deslizamiento no se puede realizar con la información del estudio por ser insuficiente. Las condiciones topográficas del proyecto hacen que el problema de estabilidad tenga relativamente poca incidencia, sin embargo se presentan problemas puntuales en las cercanías a los cauces.

Es importante llamar la atención a que en la práctica usual nacional, el dato de resistencia a la compresión confinada es interpretado como el doble del valor de la resistencia no drenada de los suelos arcillosos (llamada “cohesión”, en la misma práctica usual). Sin embargo, en algunos casos es evidente que no podría ser ese el valor dado que las muestras ensayadas no estaban totalmente saturadas o no provienen de una profundidad bajo el nivel freático, que garantice que estaban saturadas por inmersión. Ambas condiciones son requisitos para que el valor pueda ser interpretado como resistencia no drenada del suelo y el hecho de que se realicen rutinariamente interpretaciones incorrectas no convierte la práctica usual en lo técnicamente correcto.

Auditorías Técnicas Externas de LanammeUCR

En los años 2008 y 2009, el equipo de Auditorías Técnicas de LanammeUCR realizó visitas de inspección y seguimiento a dos muros de gaviones ubicados en la Cuesta del Fierro y el sector de Ochomogo, como se muestra en la Figura 6.3.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 124 de 142
----------------------------	--	-------------------



Figura 6.3. Ubicación de los muros de gaviones inspeccionados por la Unidad de Auditorías Técnicas, LanammeUCR.

La ubicación de los muros mostrada en la

Figura 6.3 permite concluir que se encuentran sobre la zona II del mapa geológico mostrado en la Figura 6.1, cuya columna estratigráfica se muestra en la Figura 6.2. La descripción de estos materiales incluida en la columna indica, como en el resto del corredor, que se trata de limos arcillosos de baja a mediana plasticidad. La información geológica permite concluir que son el producto de la meteorización de rocas sedimentarias, especialmente areniscas y lutitas.

Usualmente, la meteorización de rocas sedimentarias produce suelos arcillosos plásticos y en los informes de auditoría se presentan evidencias de que el comportamiento del suelo de relleno detrás de los muros de gaviones inspeccionados es el responsable de los daños observados. En este informe se incluye la siguiente cita:

“Observaciones sobre la construcción y desempeño de dos muros de gaviones. Sobre el muro construido en la “Cuesta del Fierro”.

“El seguimiento dado por el equipo auditor al muro localizado en la “Cuesta del Fierro” (ver fotografía No. 1) en sentido Cartago-San José aproximadamente en el kilómetro 18+000, ha evidenciado los deterioros presentados el Cuadro No. 1, los cuales consisten de:

- Agrietamientos recurrentes en la carpeta asfáltica colocada en la zona intervenida.*
- Hundimientos en la superficie del relleno y la carpeta asfáltica del carril adyacente.*

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 125 de 142
----------------------------	--	-------------------

- Agrietamiento de la losa de protección del relleno del muro y su posterior demolición para sustituirla por material granular.

- Colocación de mezcla asfáltica para nivelar los hundimientos mencionados.

- Grietas en el carril de circulación del tránsito.

Tales deterioros pueden ser indicadores de la estabilidad que está experimentando el muro y de la necesidad de evaluar el comportamiento de la estructura.”

“De acuerdo con los observado (agrietamientos y hundimientos), es evidente que existe una falla significativa y que el desempeño del muro de gavión construido entre los meses de diciembre 2007 a mayo 2008, es indicador de que la solución empleada no ha sido efectiva. Asimismo, las acciones efectuadas en el sitio posterior a la construcción del muro como la colocación de mezcla asfáltica, la sustitución de la losa agrietada por material granular no han impedido que continúe la aparición de las grietas.”

“Sobre el muro construido en Ochomogo”.

“El equipo auditor visitó el 29 de noviembre del 2007, el muro de gaviones en la Ruta Nacional No. 2, en sentido Cartago-San José, durante su proceso constructivo, observando que las losas de la calzada permanecían suspendidas, sin material de soporte en una porción importante de su área.”

“La fractura y hundimiento de las losas observadas por el equipo auditor durante el seguimiento realizado, a lo largo de todo el sitio de intervención están relacionados con la capacidad de soporte de las capas de base, y la eficiencia de su proceso constructivo que obliga a reparaciones futuras adicionales en la estructura de pavimento como la que se evidencia con la colocación de mezcla asfáltica en la actividad de bacheo de urgencia.”

“En la vista realizada el día 15 de octubre del 2008, el equipo auditor no observó grietas en el relleno entre el muro y el guardacaminos ni otras evidencias de falla y movimiento del relleno, sin embargo, el cambio de dirección que realiza el cauce del río frente a la estructura del muro favorecen la exposición directa de la estructura a al socavación, que en pudo ser una de las causas de la falla anterior del talud.”

Las observaciones anteriores están complementadas ampliamente con fotografías de los daños descritos como fracturas y hundimientos del pavimento, que corresponden o son consistentes con un mecanismo de deformación hacia afuera del plano de los muros de gaviones que además produce el movimiento vertical y horizontal del relleno, sobre el cual está construido el pavimento.

Es importante observar que en ambos casos la obra de estabilización (el muro de gaviones) es además una obra de protección de la margen de un cauce (quebrada), lo cual establece un

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 126 de 142
----------------------------	--	-------------------

escenario más complejo para la solución de la problemática y un impedimento importante para la reubicación de obras o del trazado.

6.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente análisis preliminar de la información permite determinar que el estudio geológico geotécnico no es suficiente para el diseño preliminar del proyecto y que omite la identificación de amenazas potenciales importantes para una posible ampliación del derecho de vía, como pueden ser la inestabilidad de taludes de corte y rellenos y la baja capacidad de soporte de los suelos naturales de la zona.

Se recomienda que la administración realice un estudio adicional en el que se logre una densidad y calidad mayor de información para el diseño, de acuerdo con las recomendaciones de FHWA, por ejemplo.

Es recomendable además, que se dé seguimiento a la inspección y verificación de la corrección de fallas en los sitios previamente identificados como problemáticos en los que el comportamiento inadecuado de muros de gaviones ha afectado la calzada en el pasado.

6.9. REFERENCIAS

- FHWA (Federal Highway Administration), 2005. Federal Lands Highway Project Development and Design Manual.
- IMNSA/URS, 2001. “Estudio geológico y geotécnico para el Diseño Preliminar y Estudio de Factibilidad Técnica, Económica, Financiera y Ambiental para la Concesión de Obra con Servicio Público del Corredor Vial San José – Zapote – Cartago”. CNC.
- LanammeUCR, 2008. Reporte Auditoría Técnica Externa LM-AT-119-08 “Muros de gaviones en la Ruta Nacional No. 2 Sección 30740 y 30750, Licitación Pública No. LP-01-2005”.
- LanammeUCR, 2009. Informe Auditoría Técnica Externa LM-AT-248-09 “Desempeño de los muros de gaviones en las Zonas 1-7, Ruta No. 2 y Zona 4-2 Rutas No. 168 y 237, Licitación Pública No. 01-2005”.
- Vargas, W., 2015. Notas del curso Mecánica de Suelos I. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. Publicación en línea en <https://cursos.lanamme.ucr.ac.cr>

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 127 de 142
----------------------------	--	-------------------

7. CAPITULO. ANÁLISIS GENERAL DE LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD VIAL

7.1. INTRODUCCIÓN

Este documento resume los principales criterios y recomendaciones generales sobre aspectos de seguridad vial del proyecto de mejoramiento de la Ruta Nacional N°2 Autopista Florencio del Castillo, tramo Hacienda Vieja - La Lima.

La seguridad de todos los usuarios de la vía debe ser uno de los componentes más importantes en las diferentes fases de un proyecto vial, incluyendo los estudios y diseños preliminares, el diseño definitivo, la construcción, e incluso, en las etapas de post-construcción y operación de la carretera. El costo de incluir las obras y medidas de seguridad vial desde las primeras etapas del proyecto es considerablemente más bajo que implementarlas posterior a la apertura de la carretera; esto sin considerar los costos asociados a los heridos y fallecidos a causa de accidentes de tránsito que no pudieron ser evitados o mitigados ante la ausencia de medidas de seguridad adecuadas.

Todo lo anterior se relaciona con el artículo 1, del decreto 33148-MOPT del diario La Gaceta del día jueves 25 de mayo del 2006:

*"En todas las labores de planificación y construcción de obras viales o programas de transportes y su eventual conservación, mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, mejoramiento, y/o rehabilitación que realiza el Consejo Nacional de Vialidad, se deberá considerar e incorporar el componente de seguridad vial, considerando a todos los posibles usuarios de la vialidad de previo a su ejecución."
(MOPT, 2006)*

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 128 de 142
----------------------------	--	-------------------

7.2. OBJETIVO

Recopilar las principales consideraciones generales en términos de seguridad vial para la Ruta Nacional N°2 Autopista Florencio del Castillo, tramo Hacienda Vieja – La Lima; aspectos que posteriormente requerirán de estudios y especificaciones técnicas, con el fin de garantizar la seguridad de todos los usuarios de la vía.

7.3. CONCEPTOS GENERALES

- **Distancia de visibilidad:** Distancia suficiente que requiere un conductor para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a las que se vea obligado o que decida efectuar. Incluye el tiempo de percepción y reacción para decidir la maniobra a ejecutar y el tiempo para llevarla a cabo.
- **Velocidad de diseño:** Máxima velocidad con que se diseña una vía en función a un tipo de vehículo y factores relacionados a: topografía, entorno ambiental, usos de suelos adyacentes, características del tráfico y tipo de pavimento previsto. Se expresa en km/h o en KPH.
- **Velocidad de operación:** Máxima velocidad autorizada para la circulación vehicular en un tramo o sector de la carretera. Se expresa en km/h o en KPH.

7.4. METODOLOGÍA

Se revisaron los informes de auditorías técnicas y evaluaciones de seguridad vial del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR que consideran esta carretera, así como el proyecto final de graduación de Acosta (2010). Además, se realizaron visitas al sitio para identificar situaciones problemas de seguridad y situaciones críticas de riesgo.

7.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

Se debe tener en cuenta que hay condiciones del entorno y del uso del suelo en las zonas aledañas a la carretera que son particularmente complejas en términos de seguridad vial y de desplazamiento de las personas. Por ejemplo, este corredor vial atraviesa zonas urbanas importantes, por lo que existe la necesidad de las personas de movilizarse de un lado de la carretera al otro, incluyendo escolares que necesitan desplazarse a sus centros educativos. De igual forma hay retos importantes, como por ejemplo, un número no despreciable de ciclistas

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 129 de 142
----------------------------	--	-------------------

que utilizan esta vía para hacer deporte y conectar con otras rutas cercanas. Es por ello que los estudios de seguridad vial deben realizarse de forma integral, considerando a todos los usuarios de la vía, uso del suelo y condiciones particulares.

7.6. ANÁLISIS REALIZADO

Las siguientes son una serie de consideraciones generales que deben tomarse en cuenta en el diseño y construcción del proyecto de ampliación de la Ruta Nacional N°2 Autopista Florencio del Castillo, tramo Hacienda Vieja - La Lima.

Es fundamental que se exija que participen profesionales en la concepción, diseño y construcción del proyecto que cuenten con conocimientos y experiencia en seguridad vial, de tal manera que se incluyan todos los componentes necesarios de manera integral desde el inicio del proyecto.

Superficie de rodamiento

- El estado de la superficie de rodamiento es fundamental para los conductores, por lo que se debe garantizar una superficie en buenas condiciones, y que cumpla con parámetros mínimos de fricción que reduzcan la posibilidad de pérdida de control del vehículo, sobre todo en condiciones adversas, tal como fuertes lluvias.
- Las superficies lisas incrementan la longitud de frenado considerablemente y promueven el derrape de los vehículos; esto es particularmente peligroso para los motociclistas.
- Este aspecto deberá ser evaluado con particular importancia en aquellos tramos con fuertes pendientes, tal como las pendientes positivas y negativas del Cerro de Ochomogo, en caso de que se mantenga invariable el alineamiento actual de la carretera.

Diseño geométrico y sección transversal de la vía

- Deberán seguirse los lineamientos del manual de SIECA que aplica para Costa Rica: "Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial", tercera edición (2011) o su versión

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 130 de 142
----------------------------	--	-------------------

más reciente.

- El diseño geométrico deberá analizarse de tal manera que no se vea comprometida la capacidad de los carriles de circulación, y que los diferenciales de velocidad sean coherentes con el alineamiento horizontal y vertical de los diferentes tramos del corredor.
- Se deberán realizar análisis de consistencia de velocidades que consideren el alineamiento de la vía, y aspectos tales como el peralte, los sobrecanchos en curvas horizontales, y las distancias de visibilidad.
- La sección transversal en términos del número de carriles ya se encuentra debidamente justificada en los análisis preliminares de capacidad y flujos viales (ver más detalles en la sección respectiva). A lo largo de todo el corredor se deberá contar con carriles de ancho ideal; es decir, de 3,60 metros de ancho.
- A lo largo de todo el corredor deberá garantizarse un ancho de espaldón mínimo, que sea acorde con la velocidad de diseño del proyecto y a la composición del flujo vehicular previsto.
- Con el fin de disminuir la probabilidad de accidentes de tránsito por salida de la calzada, deberá valorarse la incorporación de bandas sonoras en el espaldón (conocidas comúnmente por el término en inglés "rumble strips"), las cuales han demostrado ser altamente efectivas. Adicionalmente, las bandas sonoras reducen la posibilidad que en casos de congestión se utilice el espaldón como un carril adicional, lo cual está prohibido bajo toda circunstancia, excepto por un caso de emergencia (vehículos oficiales o debidamente autorizados).
- La mediana, o espacio entre sentidos de circulación, deberá diseñarse de tal forma que se garantice que los vehículos en un sentido no puedan invadir bajo ninguna circunstancia los carriles de circulación contraria. Si dicha mediana tiene un ancho menor a los 10 metros, deberá instalarse una barrera de contención vehicular rígida, que permita contener y redireccionar a los vehículos que puedan impactarla. En caso de una mediana de más de 10 metros, podrán considerarse otros sistemas de contención vehicular, adecuadamente diseñados según los anchos de trabajo disponibles en ambos sentidos de circulación. La sección transversal de la mediana es un factor fundamental para el diseño de los sistemas de contención, ya que dependerá si la zona es recuperable o no para los vehículos.

- La misma sección transversal deberá mantenerse en los puentes y posibles pasos a desnivel, incluyendo los espaldones.
- En el caso de intersecciones, pasos a desnivel o intercambios, deberán analizarse rigurosamente las distancias de visibilidad según las velocidades de circulación, los anchos de vía disponible, así como el alineamiento geométrico.
- La carretera debe contar con rampas de entrada, rampas de salida, carriles de aceleración y carriles de desaceleración que cumplan con las longitudes mínimas necesarias para garantizar maniobras seguras por parte de los conductores; esto según las velocidades de diseño y de operación de la vía.

Diseño de márgenes de carretera

- Para el diseño de márgenes de carretera y diseño de los sistemas de contención vehicular, se recomienda seguir los lineamientos del "Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carretera" (Valverde, 2011, o versión vigente).
- Uno de los aspectos principales para mitigar los accidentes de tránsito por salida de vía es precisamente el diseño adecuado de los márgenes de la carretera. Este diseño incluye, entre otros aspectos, el diseño de las zonas libres disponibles y necesarias, los taludes de tipo terraplén y de relleno, las cunetas y canales y, en general, la gestión de obstáculos en los márgenes de la carretera.
- Una vez identificados dichos obstáculos, deberá procederse a un análisis técnico y de costo-beneficio, con el fin de identificar la mejor forma de tratar el riesgo, ya sea removiendo el elemento peligroso, desplazándolo, o bien, colocando un sistema de contención vehicular adecuado para proteger a los usuarios de la vía de un posible impacto con el obstáculo. Para ello deberá considerarse la naturaleza del peligro (continuo, discontinuo, dimensiones, rigidez, etc.), la velocidad de circulación de la vía (velocidad de operación), y la distancia del peligro al borde de la calzada.
- En el caso de que se requiera la instalación de barreras de contención vehicular, deberá llevarse a cabo el diseño adecuado del sistema, considerando las distancias laterales disponibles para efecto de ancho de trabajo del sistema, las velocidades de circulación, la composición del flujo vehicular, y demás criterios. Se deberá exigir en todos los casos un nivel de contención adecuada para cada barrera, con su debido diseño y

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 132 de 142
----------------------------	--	-------------------

justificación. De igual forma, el proceso de instalación de las barreras deberá ser muy riguroso, por lo que se requiere personal competente y con experiencia para inspeccionar dichas obras. En el caso de secciones en donde se tenga que pasar de un sistema flexible o semiflexible a uno rígido, tal como sucede en los puentes y pasos a desnivel, se deberá realizar el diseño adecuado de la transición, la cual deberá contar con las piezas adecuadas para unir ambos sistemas de nivel de contención diferente.

- Únicamente deben aceptarse terminales de barrera debidamente ensayados y que no sean un riesgo adicional en caso de accidente. Bajo ninguna circunstancia se deberán permitir que elementos del sistema penetren el habitáculo de los vehículos, incrementando las consecuencias del accidente. Se deberán aprovechar los sitios en donde sea posible enterrar los terminales de barrera en taludes cercanos, siendo este tipo de terminal el más recomendado, en la medida de lo posible. En puntos críticos deberá valorarse la opción de instalar terminales absorbentes de energía.
- Otros sistemas de contención vehicular deberán considerarse en puntos críticos de la carretera. Por ejemplo, se deberá valorar la instalación de amortiguadores de impacto en donde hayan estructuras rígidas de algo riesgo de choque frontal, tal como las entradas a túneles o puentes, bifurcaciones, rampas de salida, y cualquier otra situación similar en donde existe un alto riesgo por salida de la vía.

Usuarios vulnerables

- El diseño de un proyecto vial debe desarrollarse a partir de los usuarios y sus necesidades, y no de los vehículos, tal como usualmente se conciben estos proyectos en el país. Es decir, el enfoque integral debe estar presente desde las primeras etapas del proyecto, con el fin de garantizar una adecuada movilidad de personas y de carga.
- En cuanto a los desplazamientos no motorizados, son de particular importancia los peatones, los ciclistas y los usuarios del sistema de transporte público, por su alta vulnerabilidad. Para ello, deberán realizarse estudios específicos que permitan identificar las necesidades reales de estos usuarios: dónde se ubican, de dónde vienen y hacia dónde se dirigen, qué tipo de usuarios son, cuáles son sus patrones y necesidades de movilidad, etc.
- Estos estudios deberán incluir análisis del uso del suelo en los alrededores de todo el corredor para identificar patrones de desplazamiento; esto ligado a las facilidades para

el sistema de transporte público. Es necesario que exista una interconexión adecuada entre la localización de las paradas de autobús u otros medios de transporte público que se implementen con las demás facilidades peatonales, tal como aceras y puentes peatonales. De igual forma se deberán proveer las facilidades necesarias para los ciclistas, ya que se debe prever que los autobuses u otros medios de transporte público incorporen dispositivos para el transporte de bicicletas.



Se observa un peatón cruzando la vía, a menos de 100 metros del puente peatonal frente a Pasoca. Se observa, además, un peatón que utiliza el espaldón de la carretera para ejercicio físico. Ambas situaciones representan una alta exposición al riesgo, lo cual incrementa las probabilidades de ocurrencia de accidentes graves y muy graves, debido a las altas velocidades de circulación de los vehículos.

Figura 1.1. Peatones en la carretera Florencio del Castillo (LanammeUCR, 2015).

Señalización y demarcación vial

- Deberán seguirse los lineamientos de la nueva versión (2014) del manual de SIECA "Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito", o su versión más reciente.
- El diseño de la señalización vial vertical y la demarcación vial horizontal deberá realizarse según las normas vigentes en el país, de tal manera que se brinde la información necesaria y oportuna a los usuarios de la carretera.
- Los materiales que se utilicen deberán ser adecuadamente escogidos, según las características climáticas de la zona, el flujo vehicular, y cualquier otra variable que pueda influir en su eficacia y durabilidad.
- En el caso de la demarcación vial horizontal, se recomienda fijar valores mínimos de retrorreflectividad durante la vida útil de los materiales, de tal manera que se garantice una calidad adecuada para los usuarios, sobre todo ante condiciones meteorológicas

adversas. La colocación de captaluces se deberá llevar a cabo siguiendo la normativa nacional vigente.

- Otros elementos de señalización, tal como marcadores de objeto, delineadores tipo "chevron" y postes delineadores abatibles deberán considerarse en puntos específicos donde se requiera advertir sobre algún objeto rígido en la vía, o bien, para guiar mejor al usuario. Estos elementos son de bajo costo y son muy efectivos, por lo que se deberá promover su uso de manera adecuada.
- Con respecto a los postes de las señales verticales y las estructuras de las señales elevadas, se deberá proveer de mecanismos franqueables o colapsables en caso de alta probabilidad de impacto por vehículos que abandonen la calzada, o bien, instalar los sistemas de contención vehicular adecuados para proteger a los usuarios de posibles colisiones con estos elementos rígidos.
- Como parte de la señalización de la carretera, se deberá regular y restringir adecuadamente la colocación de publicidad en la carretera, de tal manera que no sea una fuente de distracción para los usuarios, particularmente para los conductores de vehículo automotor.

Control del tránsito en zonas de trabajo

- Deberán seguirse los lineamientos de la nueva versión (2014) del manual de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito de Costa Rica DGIT-MOPT: "Manual Técnico de Dispositivos de Seguridad y Control Temporal de Tránsito para la ejecución de Trabajos en las Vías", o su versión más reciente.
- De previo a la construcción del proyecto, se deberá diseñar adecuadamente el plan de manejo temporal del tránsito, de tal manera que se garantice la seguridad vial de todos los usuarios de la vía una vez que den inicio las obras de construcción.
- Las diferentes zonas de control de tránsito deberán seguir la normativa nacional vigente, considerando las velocidades de operación de los vehículos, tanto de día como de noche, así como la composición del flujo vehicular. La señalización en las zonas de trabajo debe ser clara y adecuada, de tal manera que no genere confusión en los conductores.
- En caso de flujos de tránsito en ambos sentidos de circulación, o en casos donde haya diferencias de nivel significativas entre la calzada y una zona adyacente, se deberán

instalar sistemas temporales de contención vehicular, los cuales deben cumplir con los requisitos respectivos según el tipo de tránsito, el tipo de riesgo y las velocidades de operación del tramo en construcción.

Otros elementos y aspectos de seguridad vial

- En el caso de pasos ferroviarios a nivel, deberán considerarse todas las medidas de seguridad necesarias para que los usuarios de la carretera le cedan el paso al ferrocarril, el cual siempre tendrá prioridad de paso. Sin embargo, se deberán evitar en la medida de lo posible dichos pasos, prefiriéndose los pasos a desnivel, ya sea para el ferrocarril o para la carretera, particularmente si la carretera es multicarril y de alta velocidad.
- En cuanto a la iluminación, se deberá proveer a la carretera de un diseño adecuado de las luminarias, de tal manera que la iluminación sea lo más homogénea posible según la normativa vigente, nacional o internacional. Los cambios drásticos en la iluminación afectan la capacidad visual de los conductores y demás usuarios de la vía, lo cual aumenta el riesgo de ocurrencia de accidentes. Con respecto a los postes de las luminarias, estos deberán ser diseñados con base franqueable o colapsable de encontrarse muy cercanos a los carriles de circulación con alta probabilidad de impacto de vehículos que se salgan de la vía. En caso de no poderse instalar este tipo de postes, se deberán tomar las medidas adecuadas, tal como la instalación de sistemas de contención vehicular adecuados.

7.7. PUNTOS CRÍTICOS: ALTA EXPOSICIÓN AL RIESGO

Partiendo de un trazado de carretera existente y demás condiciones actuales, se identificaron en campo puntos críticos de alta exposición por cruce de peatones en la autopista Florencio del Castillo, desde Hacienda Vieja en Curridabat (Ruta Nacional N°252) hasta la Lima en Cartago (Ruta Nacional N°2). Esta identificación de puntos corresponde a sitios prioritarios debido a la necesidad de cruce de los habitantes de las diferentes áreas urbanas ubicadas a ambos lados de este corredor vial; sin embargo, un análisis completo incluirá otros puntos que son clave para garantizar una adecuada separación de los flujos vehiculares de los usuarios vulnerables.

La Figura 1.2 muestra un mapa de los puntos críticos que fueron levantados en campo y que se

nforme INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 136 de 142
---------------------------	--	-------------------


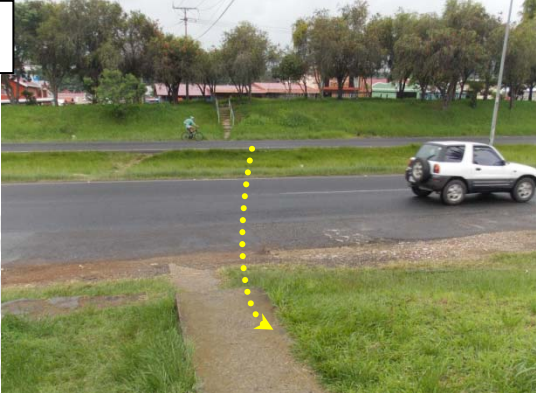


consideran de alta prioridad para este corredor vial. Seis de estos puntos críticos se identifican en el mapa con las letras de la A a la F, y estos se describen con más detalle en el Cuadro 1.1, por representar situaciones comunes y de alto riesgo a lo largo de esta vía. Además, en la figura se pueden identificar los 5 puentes peatonales que existen actualmente en el corredor, los cuales se encuentran todos localizados entre Hacienda Vieja de Curridabat y el sector de Tres Ríos; es decir, en los primeros 6 km de la autopista, en dirección San José – Cartago





Figura 1.1. Localización de puntos críticos y puentes peatonales en la autopista Florencio del Castillo.

Cuadro 1.1. Descripción de algunos puntos críticos de alta exposición al riesgo para peatones.

<p>A</p>  <p>Puente peatonal subutilizado, principalmente por el trayecto natural de los peatones, quienes buscan acortar la distancia hacia su destino (línea punteada blanca versus la amarilla). Otra razón que desmotiva el uso del puente es la seguridad de las personas, principalmente a ciertas horas de la noche.</p>	<p>B</p>  <p>Necesidad evidente de cruce de las personas por motivo del uso del suelo a ambos lados de la carretera. No hay puente peatonal, pero se observa claramente infraestructura a ambos lados que facilita y motiva el cruce de peatones: aceras, gradas y barandas.</p>	
<p>C</p>  <p>El cruce de peatones en la autopista es frecuente incluso en sitios donde hay puente peatonal. Aparte de la posible seguridad ciudadana a ciertas horas del día, en muchos casos los peatones prefieren cruzar la vía por ahorrar tiempo y esfuerzo, mostrando así una muy baja valoración del riesgo.</p>	<p>D</p>  <p>En este sector el tránsito de peatones a orillas de la vía es frecuente debido a las comunidades vecinas y caseríos, incluyendo un centro educativo. Se evidencia la ausencia de facilidades para estos peatones, entre otros aspectos de seguridad vial, tal como la demarcación horizontal.</p>	
<p>Informe INF-PITRA-001-2015</p>	<p>Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015</p>	<p>Página 139 de 142</p>



La presencia de infraestructura peligrosa en la mediana (incluyendo este paso por la cuneta) es común en algunos sitios de la carretera para facilitar –y motivar– el cruce de peatones en este sector. El uso del suelo es mixto, residencial e industrial, a ambos lados de la vía, por lo que existe una necesidad de cruce de las personas, motivado, además, por la presencia de paradas de autobús, tal como se observa.



Como caso crítico en relación al cruce de peatones por la autopista y a la falta de facilidades adecuadas, se observan las condiciones de topografía en este sitio, las cuales dificultan – pero no impiden– que las personas crucen la vía para acceder a sus lugares de destino.

Tal como se mencionó anteriormente, en el Cuadro 1.1 se describieron de forma breve algunas situaciones actuales de exposición al riesgo que ocurren en seis puntos críticos, ya que representan situaciones comunes que se evidencian en el corredor vial en estudio.

En cuanto al sector frente a las instalaciones de la Refinadora Costarricense de Petróleo (en las cercanías del punto F en el mapa), la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT-MOPT) había llevado a cabo en marzo de 2005 un estudio para analizar la factibilidad de un puente peatonal, en atención a una solicitud de la Dirección de Planificación de RECOPE. El estudio dio como resultado que, si bien la cantidad de peatones y vehículos no justificaban la construcción de un puente peatonal, el alto riesgo de atropello debido al extenso derecho de vía, al alto volumen vehicular y a las altas velocidades de los vehículos era suficiente justificación para la implementación de esta medida de seguridad vial. Sin embargo, el puente

peatonal hasta la fecha no se ha construido.

7.8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las consideraciones presentes en este documento tienen el fin de valorar el tema de seguridad vial como eje vital del proceso de diseño, construcción y mantenimiento del proyecto de ampliación de la Ruta Nacional N°2 Autopista Florencio del Castillo, tramo Hacienda Vieja - La Lima. Para ello, se recomienda realizar los estudios necesarios para garantizar un adecuado nivel de seguridad vial en este corredor, considerando a todos los usuarios de la vía de manera integral. Las consideraciones presentadas en este documento son generales y deben adaptarse a las condiciones y necesidades reales de la vía en particular y su entorno.

De mantenerse el trazado actual de la carretera, es necesario un estudio integral detallado que contemple –entre otros– los siguientes aspectos: Revisión o levantamiento del uso del suelo a ambos lados de la vía; levantamiento de las rutas de autobús que circulan por el corredor y la ubicación exacta de las paradas autorizadas; elaboración de un análisis de patrones de desplazamiento de peatones y ciclistas con base en conteos en puntos críticos, observaciones y encuestas; y elaboración de una auditoría de seguridad vial formal en la etapa preliminar de diseño, para lo cual deberá conformarse un equipo multidisciplinario de auditores independientes y con experiencia, según las necesidades propias del proyecto. La auditoría deberá seguir un enfoque integrado, considerando las necesidades reales de movilidad de todos los usuarios de la vía. Esto es particularmente importante en una vía de alta velocidad como esta, la cual quedó absorbida –casi en su totalidad– por el crecimiento urbano, incluyendo zonas de uso residencial, industria y comercio.

Con el fin de asegurar un adecuado nivel de seguridad vial tras la ampliación y mejoramiento del corredor, deberán incorporarse las medidas adecuadas desde las etapas iniciales del proyecto, asegurando así los fondos suficientes para su implementación. Además, será vital realizar procesos interdisciplinarios y participativos con las comunidades para generar acciones en el tema de seguridad vial que permitan a la población adaptarse a las nuevas condiciones de la vía, con el fin de disminuir los impactos del proyecto sobre dichas comunidades.

Informe INF-PITRA-001-2015	Fecha de emisión: 23 de septiembre de 2015	Página 141 de 142
----------------------------	--	-------------------

7.9. REFERENCIAS

- Acosta, A. (2010). Análisis de seguridad vial en la autopista Florencio del Castillo: Auditoría y validación del manual para la disposición de sistemas de contención vial en Costa Rica. Trabajo de graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- CONASET (2003). Guía para realizar una auditoría de seguridad vial. Santiago de Chile.
- Organización de Naciones Unidas (ONU) (2010). Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020. Organización de Naciones Unidas.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2004). Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito. Ginebra, Suiza.
- PITRA-LanammeUCR (2003). Seguridad Vial RN N°2, Carretera Florencio del Castillo. Unidad de Auditoría Técnica. San José, Costa Rica.
- PITRA-LanammeUCR (2005). Análisis de seguridad vial de los guardavías en carreteras nacionales. Unidad de Auditoría Técnica. San José, Costa Rica.
- PITRA-LanammeUCR (2005). Colocación de publicidad en las carreteras. Unidad de Auditoría Técnica. San José, Costa Rica.
- SIECA (2003). Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito. Secretaría de Integración Económica de Centroamérica, Guatemala.
- TAC (2004). The Canadian Guide to In-Service Road Safety Reviews. Ottawa, Canadá.
- World Road Association-PIARC (2003). Road Safety Manual, PIARC.