



Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: EIC-Lanamme-INF-0096-2022

Revisión de Anexo I – 669 142- Visita a la obra Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas



Preparado por:

Ing. Laura Solano Matamoros

Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Enero, 2022





1. Informe EIC-Lanamme-INF-0096-2022		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Revisión de Anexo I – 669 142- Visita a la obra Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas		4. Fecha del Informe 26/01/2022
5. 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		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen <i>A solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, se revisan los documentos suministrados al LanammeUCR respecto a la Visita a la obra Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas. Como resultado general se observa que tanto el intercambio San Miguel como Aserradero, presentan problemas en los espaciamientos entre los paneles que conforman los muros, dichos espaciamientos son de dimensiones considerables (hasta 5 cm). Se considera apropiada la recomendación del ingeniero de rellenar con material sintético todas las juntas afectadas. Además, se identifican problemas de asentamientos diferenciales provenientes del relleno de cimentación, por lo que se considera recomendable verificar el material de cimentación y su capacidad de soporte, así como dar seguimiento a la pronta intervención por parte del contratista para evitar que continúen los asentamientos. Finalmente se señalan desplomes considerables en los muros, los cuales fueron medidos de manera sistemática tal y como se indica en el documento, utilizando tolerancias de verticalidad de los muros propias del sistema constructivo, las cuales difieren ligeramente de lo indicado en el CR-2010 "Manual de Especificaciones General para la construcción de carreteras, caminos y puentes" por lo que se considera recomendable aclarar cuál es la especificación que rige para el proyecto. Por último, se acota que no hay claridad en los factores de seguridad utilizados en los análisis de estabilidad de los muros, el CCCR "Código de Cimentaciones de Costa Rica" recomienda factores de seguridad para diferentes elementos geotécnicos, y se considera conveniente revisar los análisis de estabilidad utilizando los FS recomendados en la normativa vigente en el país.</i>		
8. Palabras clave Muros de relleno reforzado, verticalidad, desplome, asentamientos.	9. Nivel de seguridad: -	10. Núm. de páginas 10
13. Preparado por: <hr/> Fecha: 26 / 01 / 2022		
14. Revisado y aprobado por: <hr/> Fecha: 26 / 01 / 2022		



Contenido

I.	Introducción	4
II.	Revisión de comentarios a la visita de las obras	4
III.	Análisis de las mediciones realizadas por topografía	5
IV.	Análisis a los informes de los suelos usados en el relleno reforzado	9
V.	Conclusiones y recomendaciones	9
VI.	Referencias	10



Revisión de Anexo I – 669 142- Visita a la obra Ruta Nacional 1, Limonal- Cañas

I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra un resumen de los resultados obtenidos de la revisión realizada al informe correspondiente a la visita a la obra Ruta Nacional 1, Limonal-Cañas, el cual responde a la inspección por parte del Ingeniero diseñador para la valoración local de la condición desfavorable identificada en algunos muros.

El documento revisado para elaborar el presente informe es el siguiente:

- I. Anexo I - 669 142-Limonal-Cañas- Visita Obra 2021-11-08-10 San Miguel y Aserradero.

La revisión de dicho documento se complementa con la revisión previa realizada por el Programa de Ingeniería Geotécnica “PIG” del LanammeUCR, partiendo de las recomendaciones emitidas en el documento EIC-Lanamme-INF-0326-2021: “Revisión de informes de verificación de verticalidad Proyecto Limonal – Cañas”.

A continuación, se presentan algunos comentarios relacionados con las buenas prácticas constructivas en muros de relleno reforzado, así como tolerancias admisibles de deformaciones para este tipo de estructuras.

II. Revisión de comentarios a la visita de las obras

Se revisa la sección del documento relacionada con la visita a las obras por parte del encargado de la inspección, según se indica las visitas fueron realizadas los días 8 y 9 de noviembre de 2021. Las principales condiciones desfavorables encontradas en sitio son las que se enlistan en la Tabla 1 para cada estructura:

Tabla 1. Hallazgos generales en visita de campo por parte de los ingenieros de VSL

Intercambiados San Miguel	Paso Superior Aserradero
Se resaltan desplomes, apertura excesiva de juntas, placas de esquina de diferentes dimensiones, desalineación de caras externas de placas en la zona baja del muro.	Esquinas de muros frontales presentan aperturas excesivas de hasta 5 cm.
Asentamiento diferencial en columna N468 que ocasiona fisura en placa de transición y rotación de todas las escamas superiores de la fila.	Paneles fisurados por manipulación.
Asentamiento diferencial columna N534 sobre relleno de cimentación ocasionando fisura de la placa de transición.	Falta colocación de material de relleno en ciertas zonas.
Daños de algunas escamas por manipulación.	

Dados los hallazgos mencionados por los ingenieros a cargo de la visita y elaboración de dicho informe, se considera recomendable monitorear las condiciones desfavorables para los muros de suelo reforzado, prestar especial atención al manejo de las aperturas excesivas entre los paneles que conforman la fachada del muro, ya que estos espacios pueden ocasionar pérdida progresiva del material de relleno.

Un aspecto importante al que se le debe prestar especial atención es a la estructura del Paso Superior Aserradero, ya que en el informe se indica que las aperturas excesivas en las esquinas de los muros



frontales se deben a un cambio en la fabricación de los paneles, los cuales se construyeron con un ancho menor que lo que se había indicado en los planos del diseño del proyecto, y como medida correctiva para mantener el alineamiento del muro se dejaron juntas más espaciadas. El Programa de Ingeniería Geotécnica no cuenta con la información correspondiente al diseño de los muros de suelo reforzado del proyecto, por lo que no se ha logrado constatar dicha condición. Sin embargo, partiendo del criterio técnico de que esta no es una condición favorable para el desempeño del muro, se considera recomendable cumplir con las especificaciones de diseño.

Según se establece el manual de la Federal Highway Administration (FHWA) en su manual FHWA-NHI-10-025, "Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes- Volume II", en la sección 4.05 "Levantamiento del muro", específicamente en la subsección (B) "Tolerancias de colocación para muros con revestimiento prefabricado", se indica lo siguiente:

"Los anchos de junta serán de 19 ± 6 mm. Las juntas serán preparadas e instaladas de acuerdo con los planos constructivos. Las juntas en los reversos de los paneles de pared deberán ser cubiertas con bandas de geotextil de 300 mm de ancho; las bandas adyacentes de geotextiles serán traslapadas en un ancho mínimo de 100 mm."

Es evidente que lo anterior difiere con la situación identificada en campo por los ingenieros a cargo de la visita de inspección del proyecto. Las aperturas de los paneles indicadas van de los 40 a los 50 mm, siendo 25 mm la tolerancia máxima especificada por el manual de la FHWA, es decir en obra se duplica la dimensión máxima permitida. Por lo tanto, se considera recomendable prestar especial atención a esta condición ya que la pérdida progresiva del material del relleno podría debilitar el sistema de muro de relleno reforzado debido a la descompresión de material por pérdida de volumen, y solicitar a la Administración la información de qué medidas contingentes han solicitado al contratista dada esta situación.

III. Análisis de las mediciones realizadas por topografía

Se revisan las mediciones adjuntas al documento realizadas en fechas previas a la visita de campo a la que responde el documento en revisión. Se indica que las mediciones fueron realizadas de manera sistemática, pero no se especifica el procedimiento.

De acuerdo con lo indicado en el informe EIC-Lanamme-INF-0326-2021: "Revisión de informes de verificación de verticalidad Proyecto Limonal – Cañas", la metodología de revisión se basa en la diferencia de alturas entre la elevación del penúltimo panel y la del primer panel, multiplicado por el 0.5% de la tolerancia, que corresponde en términos porcentuales a un desplome de 5 mm por cada metro de altura durante la etapa constructiva. Al realizar la comparación de esta metodología con los resultados de las nuevas mediciones, se presume que se utiliza el mismo procedimiento y criterios para la evaluación de la verticalidad de los muros. Se considera conveniente aclarar este aspecto con la Administración.

Luego de revisar las mediciones de deformaciones horizontales se comprueban los hallazgos indicados por los ingenieros a cargo de la elaboración del informe, en el cual indican:

- Los desplomes "negativos" es decir hacia el interior del muro, a pesar de quedar fuera de las tolerancias indicadas por el diseñador, corresponden a una situación estructural más estable que la teórica calculada para un muro vertical, por lo que su efecto es considerado positivo y los desplomes negativos se desprecian.

Según lo establece el manual de la Federal Highway Administration (FHWA) en su manual FHWA-NHI-10-025, "Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes –



Volume II”, en la sección 4.05 Erección del muro, específicamente en la subsección (B) Tolerancias de colocación para muros con revestimiento prefabricado, se tiene lo siguiente:

“La tolerancia vertical total (plomada) de la pared terminada no debe exceder ½ pulgada (12,7mm) por cada 10 pies (3,05m) de altura de la pared. La masa negativa (desplome hacia afuera) no es aceptable.”

Con esto queda en evidencia que el manual FHWA-NHI-10-025 indica tolerancias para el desplome del muro tanto en magnitud como en dirección, por lo que se considera conveniente verificar el criterio utilizado para establecer como favorable los desplomes hacia el interior del muro. Además, tal y como se mencionó en el informe EIC-Lanamme-INF-0326-2021: “Revisión de informes de verificación de verticalidad Proyecto Limonal – Cañas”, el desplome de 13 mm por cada 3 m de altura corresponde a 0.43% en términos porcentuales, aspecto que no se está cumpliendo en los muros revisados.

En el documento se indica que la verificación de verticalidad de los muros del proyecto se basa en los valores de tolerancia orientativos indicados para el sistema de suelo reforzado VSOL, que en términos porcentuales corresponden a un desplome de 0,5%, siendo este valor más permisivo que lo indicado tanto en el manual de la FHWA como en el CR-2010 “Manual de Especificaciones General para la construcción de carreteras, caminos y puentes”.

En el documento se indica por parte del autor el siguiente criterio:

*“Según el documento FHWA-NHI-10-024: “Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I”, A.2.8.3: “Performance Criteria”. Se indica que, para refuerzos extensibles, considerando una relación de 0.7 entre la longitud de refuerzo, L y altura, H del paramento (L=0.7*H), que se cumplió en el diseño de los muros, resulta una deformación máxima horizontal de:*

$$\delta_{max} = \delta R \times H / 75$$

Para muros hasta 6.00 m de altura: $\delta_{max} = 1 \times 6000 / 75 = 80\text{mm}$, o sea un desplome máximo de $80 / 6000 \times 100 = 1.33\%$.”

Adicionalmente, el ingeniero a cargo de la visita realizó un análisis de estabilidad externa e interna, utilizando como criterio de deformaciones en el muro un desplome máximo de 2,5%, estimado con el criterio mencionado previamente. Al igual que el criterio del diseñador, se observa que estas tolerancias son más permisivas que lo indicado en el CR-2010 y en el Manual FHWA-NHI-10-024.

Se verifican los datos de entrada en los análisis realizados, los mismos concuerdan con la información correspondiente al material de relleno y dimensiones de los muros, así como las cargas de diseño, desplegando resultados positivos en cuanto a estabilidad del muro.

Sin embargo, este apartado hace referencia a una estimación aproximada de posibles desplomes que pueden ocurrir durante la construcción de estructuras simples, según la razón entre la longitud del refuerzo y la altura del muro, al momento de verificar el estado límite de servicio, tal y como se indica a continuación:

“Con respecto a los desplazamientos laterales del muro, no existe una metodología aplicable para predecir de manera definitiva los desplazamientos laterales, de los cuales ocurren mayormente en el proceso de construcción. Los movimientos horizontales dependen de los efectos de compactación, extensibilidad del refuerzo, longitud del refuerzo, refuerzo de las conexiones a los paneles, y detalles del sistema de fachada del muro. Una estimación aproximada de los posibles desplazamientos laterales de estructuras simples que suelen ocurrir en el proceso de construcción pueden ser estimados basados en la razón entre la longitud del refuerzo y la altura del muro, y la extensibilidad del refuerzo para la verificación del estado límite de servicio”



Es evidente que lo anterior hace referencia a una estimación para verificar el estado límite de servicio del refuerzo, más no un límite de tolerancias para verificar la verticalidad de los muros, por lo que se considera recomendable contemplar un análisis cuidadoso de los criterios para las tolerancias utilizados de acuerdo a la adecuada interpretación de la referencia que se esté utilizando para la verificación.

Esto es importante porque el mismo manual de FHWA establece que los elementos de revestimiento que estén desalineados no pueden ser empujados, ni tampoco, pueden ser tirados para colocarlos en su lugar; ya que esto, puede dañar los paneles y refuerzos, y con ello se puede debilitar el sistema. De esta manera, la forma adecuada para corregir un problema de alineación consiste en la eliminación del relleno reforzado y los elementos de refuerzo, seguido del reajuste de los paneles. De forma tal que, las secciones de muro que no se ajusten a las tolerancias establecidas, deben ser reconstruidos sin costo adicional para la Administración.

Adicionalmente, en el análisis de estabilidad presentado en el informe, no hay claridad en la definición de los factores de seguridad utilizados. Cabe recordar que el Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR) define al factor de seguridad como la relación entre la capacidad soportante y el esfuerzo máximo de trabajo, dicho esto y como se observa en la Figura 1, tomada del análisis de estabilidad mostrado en el informe, se entiende que se utilizan factores de seguridad de 1 para la condición estática y pseudoestática.

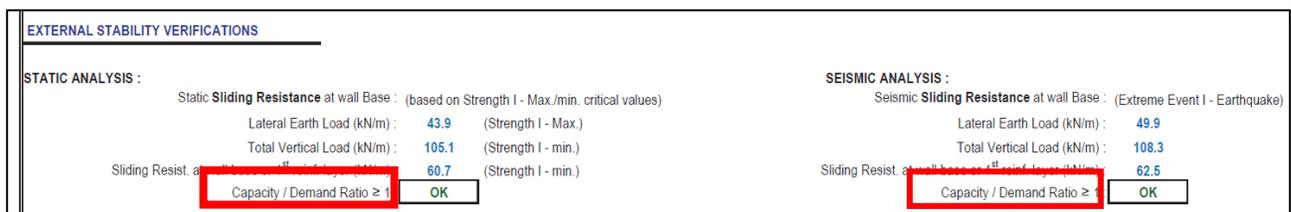


Figura 1. Análisis de estabilidad externa de muros de suelo reforzado en condiciones de desplome de 2,5%

El CCCR establece factores de reducción y seguridad para distintos aspectos geotécnico en el capítulo 3 “Aspectos de seguridad y acciones de diseño”, se indica lo señalado en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores de reducción y seguridad para distintos aspectos geotécnicos.

Elemento	Concepto	Factor de reducción	FS mínimo
Estructuras de retención	Capacidad soportante	Ver sección 3.4.1.1	Ver sección 3.4.1.2
	Deslizamiento	0,9	1,5
	Volcamiento	0,7	1,5
	Falla global	*	1,5 (estático) 1,3 (pseudoestático)

De esta forma el análisis de estabilidad realizado resultaría más permisivo debido a los factores de seguridad utilizados por lo que se considera conveniente solicitar la aclaración del motivo que llevó al diseñador a no utilizar los factores de seguridad establecidos por normativa vigente de Costa Rica.

En cuanto al análisis de asentamientos, las zonas donde se ubican las obras de drenaje o del cauce del arroyo es donde se identificaron los mayores asentamientos de hasta 11 cm. Se identificaron asentamientos diferenciales que ocasionaron fisuras en los paneles de transición. El ingeniero a cargo indica que no observa juntas horizontales cerradas que indiquen asentamientos diferenciales fuera de la tolerancia permitida por el sistema de construcción del muro es de hasta 1/100. Sin embargo, en los resultados de las mediciones de control de asentamientos adjuntos al documento, se identifican secciones tanto de la margen izquierda como derecha que superan dicha tolerancia.



Dado que no se tiene claridad si las mediciones se tratan de asentamientos como tal de la estructura de retención o bien se trata desviaciones en la horizontalidad del muro. En caso de evaluar asentamientos de la estructura de retención, corresponde a un tema de cimentación y se deben verificar las indicaciones de la normativa vigente en el país. El Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR) establece algunas directrices generales, que se muestran en la Tabla 3. Según esta misma tabla, el valor de “l” corresponde a la distancia entre columnas adyacentes con asentamientos diferentes o entre dos puntos cualesquiera con asentamiento diferencial.

Tabla 3. Asentamiento total admisible (CCCR 2008)

Tipo de movimiento	Factor limitativo	Asentamiento máximo
Asentamiento total	Drenaje	15 – 30 cm
	Acceso	30 – 60 cm
	Estructuras con muros de mampostería	2,5 – 5,0 cm
	Estructuras reticulares	5,0 – 10,0 cm
	Silos y placas	7,0 – 30,0 cm
Inclinación o giro	Estabilidad frente al vuelco	Depende de altura y ancho
	Inclinación de chimeneas y torres	0,004 l
	Rodadura de caminos, etc.	0,01 l
	Almacenamiento de mercancías	0,01 l
	Funcionamiento de máquinas telares de algodón	0,003 l
	Funcionamiento de máquinas turbo generadoras	0,0002 l
	Carriles de grúas	0,003 l
Drenaje de soleras	0,01 – 0,02 l	
Asentamientos diferenciales	Muros de ladrillo continuos y elevados	0,0005 – 0,001 l
	Fábrica de una planta, fisuración de muros de ladrillo	0,001 – 0,002 l
	Fisuración de repellos	0,001 l
	Marcos de concreto reforzado	0,0025 – 0,004 l
	Muros de concreto reforzado	0,003 l
	Marcos metálicos continuos	0,002 l
Marcos metálicos sencillos	0,005 l	

A partir de la Tabla 3, con una distancia entre columnas de 50 cm aproximadamente, que corresponde al ancho de las escamas, y bajo la suposición de que un muro de suelo reforzado se comportara similar que un muro de concreto reforzado, los asentamientos diferenciales permitidos para esta estructura serian de 0,0015. Es importante resaltar que esta sería una recomendación no estricta ya que un muro de suelo reforzado tendrá un comportamiento más flexible que un muro de concreto reforzado, y este parámetro puede utilizarse de manera referencial. A pesar de ello, se considera recomendable que se realice una revisión de estos asentamientos (tanto generales como diferenciales), ya que valores excesivos de los mismos pueden conllevar a una eventual falla del sistema del muro de relleno reforzado

Por otro lado, si se trata de desviaciones en la horizontalidad del muro el CR-2010 “Manual de Especificaciones General para la construcción de carreteras, caminos y puentes”, en la sección 255 “Muros mecánicamente estabilizados”, subsección 255.04 (a) indica las tolerancias para desviaciones tanto verticales como horizontales de la siguiente manera:



*“(a) Muros con paneles de concreto hidráulico. Se deberán ensamblar los paneles de muro (losas de concreto prefabricadas) con aparatos elevadores (grúas) conectados al borde superior del panel o a través de los medios aprobados por la Administración. **Los paneles de muro serán alineados en el sentido vertical y horizontal con una precisión de 19 mm** y por medio de un codal recto de 3 m.”*

Es por ello que se considera recomendable, solicitar la aclaración de la medición que se está realizando y las tolerancias utilizadas para verificar la seguridad de la estructura.

IV. Análisis a los informes de los suelos usados en el relleno reforzado

En general los resultados de las pruebas los ensayos de laboratorio realizados a los materiales de relleno utilizados cumplen adecuadamente con las especificaciones tanto del CR-2010 “Manual de Especificaciones General para la construcción de carreteras, caminos y puentes”.

Únicamente se identifica deficiencia en la compactación de una de las muestras, según se indica en el informe el material fue colocado en una única capa de relleno de 0,30 m de espesor. De acuerdo con lo indicado en el CR-2010 en el apartado 209.10 “Relleno”, el relleno se debe colocar como se describe a continuación:

“(a) General. Se colocará un relleno en capas horizontales, de manera que el espesor compactado de cada uno no exceda una profundidad de 150 mm. Se compactará cada capa de acuerdo con la Subsección 209.11.”

A partir de lo indicado en el CR-2010, la colocación de una única capa de relleno de 300 mm, no cumple con las especificaciones de colocación de rellenos indicadas en el manual. Por lo tanto, se considera recomendable prestar atención al proceso constructivo de los rellenos que conforman las estructuras del proyecto, ya que la densidad de compactación del relleno podría afectar los empujes activos en el trasdós del muro. Se considera importante dar seguimiento a la verticalidad de los muros en los que no se colocó adecuadamente el relleno.

V. Conclusiones y recomendaciones

Al revisar las recomendaciones emitidas por el ingeniero a cargo de la visita y elaboración del informe, se destacan los siguientes aspectos:

- Si bien los empujes activos en el trasdós de los muros dependen tanto de la densidad como del ángulo de fricción del material, y en los casos donde la densidad está por encima de la especificación, el ingeniero analiza de manera conjunta las propiedades friccionantes del material con la densidad, de manera que uno compensa al otro y, por lo tanto, indica que la estructura mantiene niveles de seguridad adecuados. Sin embargo, es importante cumplir con las especificaciones indicadas para el proyecto y dar el adecuado seguimiento a los procesos constructivos para verificar la calidad y cumplimiento de los materiales, de lo contrario la administración puede solicitar el remplazo de materiales que no cumplan con lo especificado.
- Los muros del intercambiador San Miguel fueron analizados frente a estabilidad externa e interna bajo condiciones críticas (desplome límite de 2,5%), condición ante la cual todos los casos presentaron adecuada seguridad. Sin embargo, al revisar los factores de seguridad utilizados en el análisis se identifica que el valor de 1,0, tanto para la condición estática como la pseudoestática, resulta más permisivo que lo indicado en el Código de Cimentaciones de Costa Rica, por lo que se considera recomendable solicitar la aclaración del motivo de realizar los análisis sin cumplir con los factores de seguridad especificados por la normativa del país.



- Se identifican problemas en las cimentaciones de algunos muros que están provocando asentamientos diferenciales en zonas cercanas a obras de drenaje, ocasionando fisuramiento de las placas de transición. Es importante verificar el material del relleno de cimentación y su capacidad de soporte, así como la intervención a las zonas afectadas por parte del contratista para evitar que continúen los asentamientos.
- Se considera apropiada la recomendación del ingeniero en cuanto al desmonte de ciertas zonas de los muros de relleno reforzado para mejorar la verticalidad de los muros. Sin embargo, sus recomendaciones son puntuales para los muros frontales estribos 1 y 2, dejando por fuera el resto de muros que presenta desplomes. Ante esta situación es importante monitorear los desplazamientos que se puedan continuar dando tanto en etapas constructivas del proyecto como en su etapa operativa.
- Finalmente se considera apropiada la colocación de un cordón de poliestireno o la utilización de espuma de poliuretano, para el tratamiento de las juntas espaciadas en todos los muros que presenten espaciamientos considerables entre placas, ya que esta es una condición desfavorable que propicia la pérdida de material de relleno y compromete el adecuado funcionamiento de los muros.

VI. Referencias

1. Asociación Costarricense de Geotecnia (2009). **Código de Cimentaciones de Costa Rica**. Comisión Código de Cimentaciones de Costa Rica. Segunda edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
2. Federal Highway Administration (2009). **FHWA-NHI-10-025 Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes** – volumen II. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
3. Programa de Ingeniería Geotécnica (2021). **EIC-Lanamme-INF-0326-2021 Informe de Revisión de informes de verificación de verticalidad Proyecto Limonal - Cañas**. LanammeUCR. San José, Costa Rica.
4. VSL (2021). **Ref: ampliación y rehabilitación de la ruta nacional nº 1, carretera interamericana norte. Sección: limonal (intersección con la ruta nacional nº 18) - cañas – visita a las obras del intercambiador san miguel y paso superior aserradero**. San José.