



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: LM-IG-10-2020

Informe de revisión de los estudios suelos y obras diseñadas para el proyecto Barranca – Limonal en sus secciones: Barranca – Judas de Chomes, Judas de Chomes – Limonal y La Angostura

INFORME FINAL



Fuente: MOPT

Preparado por:
Ing. Laura Solano Matamoros
Ing. Ana Lorena Monge S., M.Sc - Coordinadora
Programa de Ingeniería Geotécnica

San José, Costa Rica
Setiembre, 2020



1. Informe LM-IG-10-2020		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de revisión de los estudios suelos y obras diseñadas para el proyecto Barranca – Limonal en sus secciones: Barranca – Judas de Chomes, Judas de Chomes – Limonal y La Angostura		4. Fecha del Informe 25 de setiembre de 2020
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 Lanamme, se presenta a continuación el resultado de la revisión parcial de los estudios de suelo para el proyecto Barranca – Limonal, los cuales se dividen en las distintas secciones del proyecto: sección Barranca – Chomes, sección Chomes – Limonal y sección La Angostura.</i> <i>En este informe final, se presentan las revisiones realizadas a los documentos del tramo Judas de Chomes – Limonal y La Angostura presentadas anteriormente en el informe LM-IG-08-2020, y el tramo Barranca – Judas de Chomes.</i> <i>La revisión consiste en verificar si los documentos cuentan con información suficiente para los diseños geotécnicos que se requieran en las obras a lo largo del proyecto, además de verificar que las variables geotécnicas apropiadas hayan sido contempladas en los diseños de las obras.</i>		
8. Palabras clave Estudio de suelos, obras geotécnicas, cimentación de estructuras, diseño de muros, estabilidad de taludes, investigación	9. Nivel de seguridad: -	10. Núm. de páginas 45
11. Preparado por: Ing. Laura Solano Matamoros Programa de Ingeniería Geotécnica		
12. Revisado y aprobado por: Ing. Ana Lorena Monge Sandí, M.Sc Coordinadora del Programa de Ingeniería Geotécnica		



CONTENIDO

I.	Introducción.....	5
II.	Comentarios generales.....	6
III.	Sección Judas de Chomes – Limonal.....	6
III.1	Comentarios al documento “Apartado 6: Estudio geológico – geotécnico Chomes – Limonal”.....	6
III.1.1	Apartado 3 “Investigación geológica – geotécnica”.....	7
III.1.2	Apartado 4 “Ensayos de laboratorio”.....	7
III.1.3	Apartado 5 “Geología”.....	8
III.1.4	Apartado 6 “Geotecnia”.....	9
III.1.5	Anexo 1: Planos geológicos - geotécnicos.....	16
III.1.6	Anexo 2: Investigación de campo.....	16
III.1.7	Anexo 3: Ensayos de laboratorio.....	17
III.1.8	Anexo 4: Análisis de los desmontes y rellenos.....	17
III.1.9	Anexo 5: Análisis de cimentación de estructuras.....	18
III.1.10	Anexo 6: Estudio de Amenaza sísmica.....	18
III.2	Comentarios al documento “Apartado 7: Diseño de muros Chomes – Limonal”.....	18
III.2.1	Comentarios generales.....	20
III.2.2	Revisión Anexo 1: Cálculo de muros de suelo cosido.....	20
III.2.3	Revisión Anexo 2: Cálculo de muros de suelo reforzado.....	21
III.2.4	Revisión Anexo 3: Cálculo de muros de concreto reforzado.....	22
III.3	Comentarios a los planos obras de protección Chomes – Limonal.....	23
IV.	Sección La Angostura.....	23
IV.1	Comentarios al documento “A04-MEM-04-R00_Geotecnia”.....	23
IV.1.1	Apartado 2 “Trabajos Realizados”.....	24
IV.1.2	Apartado 3 “Geología”.....	25
IV.1.3	Apartado 4 “Caracterización geotécnica de los materiales”.....	25
IV.1.4	Apartado 5 “Descripción geológico-geotécnica. Secciones típicas”.....	26
IV.1.5	Apartado 6 “Estudio de cortes”.....	26
IV.1.6	Apartado 7 “Estudio de rellenos y muros”.....	27
IV.1.7	Apartado 8 “Estudio de materiales. Suministro externo”.....	27
IV.1.8	Planos adjuntos.....	27
IV.1.9	Anexo I: “Registros de las investigaciones de campo”.....	27
IV.1.10	Anexo II: “Protocolos de ensayos de laboratorio”.....	27
IV.1.11	Anexo III: “Fichas del inventario de puntos de observación geológica, Anexo IV: “Fichas del inventario de fuentes y tajos (canteras, préstamos y plantas de suministro)” y Anexo V: “Inventario fotográfico del tramo, con estaciones cada 250m”.....	29
V.	Sección Barranca – Judas de Chomes.....	30
V.1	Comentarios al documento “Apartado 6. Estudio Geológico-Geotécnico Barranca – Judas de Chomes”.....	30
V.1.1	Apartado 3 “Investigación geológico-geotécnica”.....	30



V.1.2	Apartado 4 “Ensayos de Laboratorio”	31
V.1.3	Apartado 5 “Geología”	32
V.1.4	Apartado 6 “Geotecnia”	33
V.1.5	Anexo 1: Planos Geológico-Geotécnicos.....	39
V.1.6	Anexo 2: Investigación de Campo	39
V.1.7	Anexo 3: Ensayos de Laboratorio	40
V.1.8	Anexo 4: Análisis de los desmontes y rellenos	40
V.1.9	Anexo 5: Análisis de cimentación de estructuras	40
V.1.10	Anexo 6: Estudio de amenaza sísmica	41
V.2	Comentarios al documento “Apartado 7: Diseño de muros Barranca – Judas de Chomes” 41	
V.2.1	Revisión Anexo 1: Cálculo de muros de suelo cosido	42
V.2.2	Revisión Anexo 2: Cálculo de muros de concreto reforzado	44
V.3	Comentarios a los planos obras de protección Barranca – Judas de Chomes	44
VI.	Comentarios finales.....	45
VII.	Referencias	45



**INFORME DE REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS SUELOS Y OBRAS DISEÑADAS PARA EL PROYECTO
BARRANCA – LIMONAL EN SUS SECCIONES:
BARRANCA – JUDAS DE CHOMES, JUDAS DE CHOMES – LIMONAL Y LA ANGOSTURA**

I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra la revisión realizada por el Programa de Ingeniería Geotécnica a los documentos de los estudios de suelo del proyecto Barranca – Limonal, en sus distintas secciones del proyecto: sección Barranca – Judas de Chomes, sección Judas de Chomes – Limonal y sección La Angostura. Adicionalmente, se revisan los diseños de las obras geotécnicas requeridas en cada sección del proyecto, claro está desde el punto de vista geotécnico.

Los documentos revisados para este informe parcial son:

- Sección Judas de Chomes – Limonal:
 - Apartado 6: Estudio geológico – geotécnico Chomes – Limonal
 - Apartado 7: Diseño de muros Chomes – Limonal
 - Planos obras de protección Chomes - Limonal
- Sección La Angostura:
 - A04-MEM-04-R00_Geotecnia
 - Anexos Geotecnia
 - Planos Geotecnia
- Sección Barranca – Judas de Chomes:
 - Apartado 6: Estudio geológico – geotécnico Barranca – Chomes
 - Apartado 7: Diseño de muros Barranca – Chomes
 - Planos obras de protección Barranca – Chome

A continuación, se muestran los comentarios al respecto de la revisión de los documentos considerados.



II. Comentarios generales

Al finalizar la revisión de los documentos aportados por la unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, se puede percibir que el trabajo geotécnico es adecuado en la elección de los niveles de cimentación, el análisis de estabilidad realizado y en la concepción de las obras recomendadas. Sin embargo, al analizar con mayor profundidad la proveniencia de los parámetros geotécnicos para los materiales encontrados en cada sitio, es donde se percibe ambigüedad e incluso la falta de realizar algunos estudios más, para establecer con mayor claridad los modelos geotécnicos de cada sitio y no basarse más que todo en parametrizaciones genéricas de unidades geológicas encontradas en sitio.

En los siguientes apartados, se realizarán los comentarios pertinentes a este respecto, de cada uno de los documentos revisados y estudiados.

III. Sección Judas de Chomes – Limonal

Una vez finalizada la revisión de los documentos correspondientes a la sección Chomes – Limonal, se observa que en general, el trabajo de exploración, ensayos de campo y ensayos de laboratorio es considerable. Se cuenta con suficiente información para establecer adecuadamente los modelos geotécnicos generales del proyecto, así como de los específicos de cada sitio en que se plantea la construcción de una estructura o un muro de retención. Sin embargo, en algunos apartados, no se observa el grado de detalle que pudiera implicar el diseño de una obra en un sitio específico, ya sea en el planteamiento del modelo geotécnico, el establecimiento de los parámetros geomecánicos puntuales del lugar o ambos, y si existe mayor detalle, no se tiene claridad de la fuente de obtención de los parámetros utilizados.

Cabe destacar que estos estudios de suelos obedecen al año 2016 y en 4 años algunas condiciones pudieron haber cambiado por lo que se considera importante realizar una revisión final antes de proceder con la construcción de las obras tal cual están descritas en el documento.

III.1 Comentarios al documento “Apartado 6: Estudio geológico – geotécnico Chomes – Limonal”

Se revisa el documento “Diseño de la rehabilitación (o reconstrucción) y mejoramiento de la Ruta Nacional N° 1, carretera Interamericana Norte, Sección: Barranca – Limonal. Tramo: Judas de Chomes – Limonal. Memoria de cálculo de diseño. Apartado 6: Estudio Geológico – Geotécnico” elaborado por el consorcio GINPROSA – FHECOR. En este documento se realiza el planteamiento geológico – geotécnico de la zona del proyecto, incluyendo el establecimiento de los parámetros geotécnicos de los muros que se diseñan en el apartado 7.

En la metodología de trabajo, se hace referencia a artículos que fueron consultados como antecedentes existentes, de los cuales se extrajo cierta información. Entre estos artículos, se encuentra el “Mapa de Amenazas Naturales Potenciales” de Comisión Nacional de Emergencias para los cantones de Puntarenas (octubre 2002) y Abangares (mayo 2003) y el “Mapa de susceptibilidad de licuefacción para la Península de Nicoya”, los cuales se consideran un material valioso de consulta. Solo que se considera recomendable que en el estudio de suelos se incluya un análisis más detallado del potencial de licuación de los sitios específicos, en lugar de solo hacer referencia a un documento elaborado en el año 2003, y un estudio de las amenazas naturales más cercanas a la zona de estudio que contemple su entorno más específico y así verificar que no existan otras amenazas que no fueron incluidas en el mapa consultado.



En el anexo 1 se encuentra el perfil longitudinal del proyecto, el cual se conformó con la información obtenida del levantamiento de campo durante el inventario de taludes, con los puntos de observación geológica que el consorcio GINPROSA – FHECOR estableció y de la investigación geotécnica realizada mediante los sondeos de SPT, trincheras y los resultados de los ensayos con penetrómetro. Las informaciones presentadas junto con la metodología empleada para obtenerlas se consideran adecuadas, dado el aporte que brinda esta información al diseño del proyecto.

III.1.1 Apartado 3 “Investigación geológica – geotécnica”

A pesar de que la información de la investigación geológico – geotécnica ya se había utilizado para trazar el perfil longitudinal del proyecto, provisto en el anexo 1, en esta sección el consorcio GINPROSA – FHECOR realiza una breve descripción del trabajo realizado.

En este apartado se indica que la información más específica se determinará para los sitios de cimentación de las estructuras que comprenden el proyecto, las zonas donde se colocarán los rellenos y plataformas de la carretera, y la determinación de las características de los materiales provenientes de los desmontes para establecer si es posible su utilización en rellenos requeridos en ciertas zonas del proyecto. La investigación geotécnica se basa en la realización de las siguientes exploraciones:

Tabla 1. Exploración geotécnica realizada para el tramo Chomes – Limonal

Exploración	Cantidad
Sondeos	48
Trincheras	71
Penetración dinámica	53
Perfiles sísmicos	10
Inventario de taludes	30

De estas exploraciones, el consorcio GINPROSA – FHECOR tomó muestras para realizar ensayos de laboratorio. En total se cuenta con 141 muestras alteradas, 168 muestras inalteradas, 112 muestras provenientes de ensayos SPT y 50 núcleos con parafina.

Se considera que la cantidad de exploraciones, así como la cantidad de muestras, son adecuadas para que, si se realizan los ensayos de laboratorio pertinentes, se pueda conformar un modelo geológico – geotécnico sustentable y representativo para el proyecto. Ahora bien, es importante señalar que, para obras específicas, lo más apropiado es determinar el modelo geológico – geotécnico del sitio en específico y no trabajar con la generalidad del proyecto, ya que puede no representar de manera adecuada y completa, los detalles de la estación en estudio. En un párrafo posterior se indica que existió una exploración mayor y específica para las estructuras del proyecto, lo cual se considera adecuado.

III.1.2 Apartado 4 “Ensayos de laboratorio”

De las muestras tomadas se realizaron ensayos de laboratorio cuyos resultados se encuentran en el anexo 3, que posteriormente se comentará. El tipo y cantidad de ensayos realizados se resume en la siguiente tabla:



Tabla 2. Tipo y cantidad de ensayos de laboratorio realizados

Ensayos	Cantidad
Humedad	165
Densidad	82
Granulometría	155
Límites de Atterberg	153
Materia orgánica	14
Sales solubles	17
Próctor estándar	13
CBR	13
Corte directo	28
Hinchamiento	8
Potencial al colapso	1
Compresión inconfiada	12

La cantidad de ensayos, al menos los que se utilizan para definir los parámetros de los materiales en un modelo geotécnico mecánico, se consideran adecuados. Sin embargo, cuando se revisen los modelos geotécnicos específicos de las obras del proyecto, se comentará más al respecto.

III.1.3 Apartado 5 “Geología”

En este apartado, se muestra el contexto geológico del sitio del proyecto, el cual básicamente se encuentra enmarcado entre la cuenca del río Tempisque y la cordillera neógena Tilarán – Miramar. Se observa que el trabajo del levantamiento del inventario de los taludes aunado a la investigación bibliográfica realizada por el consorcio GINPROSA – FHECOR, fue apropiado y fundamentado adecuadamente. En el anexo 2 se muestra el detalle del levantamiento de los materiales encontrados durante las visitas de campo en la toma del inventario de taludes, el cual se observa extensivo y acorde con la magnitud del proyecto. En la Tabla 3 se muestran las formaciones geológicas encontradas en la zona del proyecto.

Tabla 3. Formaciones geológicas encontradas en el tramo Chomes – Limonal

Formación	Descripción	Características
R1	Rellenos compactados de la Ruta 1	Plataforma de la actual carretera. Buen estado. Variable: de arenoso hasta cohesivo. Material de desmonte
R2	Rellenos sin compactar o compactación dudosa	Espesor reducido y puntual. No afectará las obras del proyecto
Qal	Depósitos aluviales	Cauces de ríos Lagarto, Cañamazo, Congo (11 m de espesor) y Abangares. Gravas y arenas. Bloques de rocas andesíticas, basaltos y brechas.
Qfv	Depósitos fondo vaguada	Ortogonales a la carretera. Suelos depositados granulares con materiales cohesivos
Qc	Depósitos coluviales	De gran extensión en el proyecto. Producto de erosión de cordilleras. Espesor entre 10 a 11 m. Se detallan en los inventarios de taludes. Grava con matriz arenosa, limosa y arcillosa.



Ci	Intrusivos. Riolitas	Riolita de grano fino. Aflora meteorizada en suelos arenosos y arcillosos color marrón. Textura de grano fino
AG	Basaltos, andesitas basálticas, tobas y brechas. Suelos eluviales de espesor variable. Formación Aguacate	Lavas basálticas, basalto adesítico, rocas piroclásticas, brechas y tobas. Meteorizan en suelos residuales arenosos en basaltos y arcillosos en tobas
BG	Ignimbritas y tobas muy alteradas. Formación Bagaces	Se encuentra en el río Cañamazo. Se meteoriza en suelos cohesivos
ML	Limolitas, areniscas, conglomerados y brechas. Suelos limosos y arcillosos. Formación Mata de Limón	Es la base litológica de la zona de estudio. Aflora en el río Lagarto. Meteoriza formando suelos arcillosos

En cuanto al nivel freático, el consorcio GINPROSA – FHECOR indica que realizó un estudio de niveles freáticos en algunos de los sondeos, midiendo el nivel de agua encontrado a través de piezómetros. El único aspecto a considerar al este respecto es que el estudio se realizó en el mes de abril del año 2016, y para este momento puede ser posible que el pacífico norte aún se encontraba en una transición entre la época seca y lluviosa, característica del país en este período.

Adicionalmente, puede ser que las condiciones del nivel freático sean distintas en el momento en que se realice la construcción del proyecto, por lo que se considera recomendable revisar los análisis de estabilidad de taludes y el diseño de los muros, tomando en cuenta condiciones de niveles actuales, verificándolo por medio de mediciones directas en los mismos puntos en que se realizaron las lecturas iniciales, las cuales se consideraron representativas de la zona de estudio del proyecto.

En cuanto a la condición de sismicidad, se considera adecuado que a pesar que en el Código Sísmico de Costa Rica indica que el proyecto se encuentra en la zona sísmica III, el consorcio GINPROSA – FHECOR haya considerado realizar un estudio de amenaza sísmica para el proyecto, dada su extensión.

Por último, en cuanto a los riesgos geológicos cercanos a la zona de estudio, se consideran adecuados los aspectos tratados en este apartado. Sin embargo, se considera importante profundizar un poco más en el aspecto de la licuación en las zonas donde se colocarán puentes, pues se pueden encontrar espesores de materiales que cuenten con características de potencial de licuación y con ello eventualmente poder afectar la estabilidad de la estructura. Al respecto de este asunto, se tratará a mayor profundidad cuando se analicen los modelos geotécnicos específicos de las cimentaciones de las estructuras.

III.1.4 Apartado 6 “Geotecnia”

En este apartado, se muestra inicialmente el procedimiento de trabajo para caracterizar los materiales encontrados en la zona del proyecto correspondientes a las formaciones geológicas descritas en el apartado anterior. La metodología utilizada se considera adecuada dada la magnitud longitudinal del proyecto. Sin embargo, es importante mantener presente que, durante la conformación y construcción de la carretera en conjunto con las obras requeridas, se deben considerar condiciones más localizadas de los materiales que posiblemente obliguen a determinar un modelo geotécnico más específico que quizás requiera de investigación adicional para tomar en cuenta esas condiciones especiales del sitio.



• *Caracterización geotécnica*

El consorcio GINPROSA – FHECOR define la distribución del sustrato y de los depósitos que se encuentran sobre éste a lo largo del tramo Chomes – Limonal. Esto se resume a continuación:

Tabla 4. Distribución de los materiales como sustrato y depósitos

<i>Sustrato</i>			
AG (64.1%)	Ci (0.9%)	ML (26.7%)	BG (8.2%)
121+672 – 124+120 124+340 – 125+060 125+965 – 128+460 133+690 – 134+115 134+320 – 134+680 136+630 – 145+402	124+120 – 124+340	125+060 – 125+965 128+460 – 133+690 134+115 – 134+320	134+680 – 136+630
<i>Depósitos</i>			
Qfv (8.0%)		Qc (78.4%)	Qal (13.6%)
121+870 – 121+930 123+185 – 123+205 123+410 – 123+425 124+100 – 124+135 124+875 – 124+930 127+115 – 127+125 130+690 – 130+710 131+355 – 131+380	131+685 – 131+715 132+020 – 132+050 132+165 – 132+185 133+615 – 133+650 134+610 – 134+695 134+850 – 135+100 137+255 – 137+320	122+080 – 123+185 127+800 – 128+510 129+365 – 129+645 131+125 – 131+220 131+900 – 132+000 132+245 – 132+370 138+460 – 140+250 141+505 – 142+210 142+585 – 144+300 144+595 – 145+402	125+620 – 125+855 128+930 – 129+215 136+495 – 136+660 141+180 – 141+505 144+315 – 144+595

De cada uno de estos materiales se realizó una caracterización por medio de los ensayos de laboratorio mencionados anteriormente en el apartado III.1.2. Se considera que los ensayos son adecuados e incluso los resultados. Sin embargo, el aspecto a tomar en cuenta es que se están caracterizando los materiales de manera general en el proyecto.

Dada la formación geológica de los materiales encontrados en la zona del proyecto, se generan suelos tanto cohesivos como granulares, por lo que se determinan las propiedades de estos suelos cuando se encuentran en las exploraciones realizadas en el tramo del proyecto. Esto se considera adecuado, ya que la mayor parte del proyecto se cimentará sobre estos materiales. Para las obras que requerirán prestaciones particulares de los materiales, se recomienda determinar las propiedades específicas en conjunto con los modelos geotécnicos propios del sitio.

A continuación, se muestran resumidas las propiedades generalizadas encontradas para los materiales encontrados en los distintos muestreos realizados a lo largo del proyecto.

Tabla 5. Caracterización de suelos del proyecto

Valores promedio	Qal.C	Qal.G	Qfv.C	Qfv.G	Qc.C	Qc.G	Ci.G	AG.C	AG.G	BG.G	ML.C	R1
Humedad (%)	27.0	11.2	21.4	14.5	23.9	15.6	13.0	26.6	21.6	18.9	18.1	11.9
Densidad natural (g/cm ³)	1.87	1.95	2.03	-	1.88	1.86	-	1.85	1.79	1.96	1.92	1.99
<i>Granulometría</i>												
Finos (%)	77.4	22.5	62.7	32.7	70.8	34.4	15.0	72.5	36.4	61.8	67.9	56.6
Arena (%)	22.2	52.3	35.3	34.8	25.9	43.4	6.0	26.2	58.1	29.7	28.3	35.1
Grava (%)	0.4	24.7	3.0	32.6	3.3	22.2	79.0	1.3	5.4	8.5	3.8	8.0
<i>Límites de Atterberg</i>												
LL	55.3	32.1	55.7	44.0	55.3	39.3	60.0	55.2	47.8	53.7	51.9	49.0
LP	25.5	22.5	27.7	24.5	29.0	26.0		30.5	31.4	27.1	28.0	30.6
IP	29.7	9.6	28.1	19.5	26.4	13.3	28.0	24.7	16.4	26.6	23.9	18.4



Para determinar estas propiedades, se realizaron en total 7 muestras en suelos cohesivos y 3 en suelos granulares para la formación Qal, 6 muestras en suelos cohesivos y 2 muestras para suelos granulares de la formación Qfv, 31 muestras para suelos cohesivos y 10 muestras de suelos granulares para la formación Qc, para la formación Ci solo se cuenta con una muestra para caracterizar el suelo granular encontrado, para la formación AG se cuenta con 25 muestras para suelos cohesivos y 19 para suelos granulares, para suelos granulares de la formación BG se cuenta con 8 muestras, para los suelos cohesivos en la formación ML se cuenta con 37 muestras y por último para los rellenos R1 se cuenta con 6 muestras.

De lo observado en el anexo 3 y de las tablas resumen para cada formación geológica encontrada, los resultados son variables y las estaciones de la toma de muestras no son cercanas unas con las otras. A pesar de ello, se considera adecuada que la parametrización simplificada a lo largo del proyecto es adecuada. Sin embargo, es importante que, para la determinación del modelo geotécnico para diseñar una obra determinada, es importante verificar si los parámetros generalizados representan adecuadamente al material del sitio específico.

Ahora bien, en cuanto a la cantidad de muestras utilizada para la caracterización de cada tipo de suelo en cada formación geológica encontrada en el proyecto se considera adecuada, considerando incluso el porcentaje de aparición de los materiales. Sin embargo, como se comentó anteriormente, es posible que para un diseño específico y a criterio del ingeniero diseñador, se requiera de mayor especificidad en la determinación de las propiedades del sitio de la obra, por lo que se recomienda revisar la cantidad de muestras y considerar la toma de muestras adicionales para establecer los valores propios del sitio.

En cuanto a las propiedades mecánicas de los materiales, se realizaron ensayos de corte directo con la condición de drenaje y a una velocidad de falla baja, por lo cual se permite obtener valores efectivos de las mismas. Estas se resumen a continuación:

Tabla 6. Resumen de los parámetros geomecánico de los suelos del proyecto

Parámetro	Formación							
	Qal	Qfv	Qc	Ci	AG	BG	ML	R1
Cohesión (KPa)	40	50	81	(*)	64		25	25
Ángulo fricción (°)	21	20	23		24		25	28
Compresión (MPa)	-	-	-		ML-CL	2.88	13.8	-
Tipo suelo	CL	CH			ML-MH	Roca	ML-MH	MH
LL	41	50	57		58			52
IP	17	27	34		24			17

(*): No se cuenta con datos de parámetros geomecánicos

En general, los resultados se observan apropiados para los tipos de materiales encontrados. Adicionalmente, se observa que se realizan correcciones y variaciones de los valores en vista que en algunas ocasiones los valores resultantes de los ensayos eran altos. Estas correcciones se consideran adecuadas, sobre todo para evitar sobreestimar en el diseño geotécnico de las diferentes estructuras. Es importante que considerar que cuando en el proyecto se tenga que realizar algún diseño para una obra en específico, que se colocará sobre el material Ci, es recomendable realizar muestreos y ensayos adicionales para determinar las propiedades geomecánicas, ya que en este estudio de suelos no fue posible determinarlas.

Como comentario general, al tratar las propiedades de corte del material, se considera más recomendable utilizar una terminología más acorde con lo que se utiliza en el país, dado que en el informe del consorcio GINPROSA – FHECOR se utilizan términos como “tensión normal” y “tensión tangencial” siendo lo más adecuado “esfuerzo normal” y “esfuerzo tangencial”.



- *Desmontes*

En este subapartado, el consorcio GINPROSA – FHECOR realiza el análisis particular a los taludes que se generan por la nueva conformación del camino en el tramo de Judas de Chomes – Limonal. En general se han diseñado taludes 1H a 1V, con alturas promedio menores a los 10 m, sin embargo, se encuentran algunos taludes con alturas importantes de hasta 20 m, sobre todo en la zona del río Lagarto. Se considera adecuado, sobre todo porque la mayoría de los taludes en suelo levantado en el inventario que se encuentra en el anexo 2, presentan pendientes 1H:1V y se encuentran estables. Los taludes en roca podrían contar con una pendiente mayor, incluso hasta 2H:3V, dados los resultados de este inventario.

En general, estos taludes se conforman en suelos de las formaciones Qc, ML, AG, BG y Ci, y algunos en roca de las formaciones AG y ML. El análisis de estabilidad de taludes se encuentra en el anexo 4, por lo que en el apartado III.1.8 se comentará acerca de estos y el establecimiento de los modelos geotécnicos de los mismos. Sin embargo, en este apartado el consorcio GINPROSA – FHECOR indica cuáles son los criterios para el análisis, considerando la condición estática y pseudoestática con un coeficiente sísmico de 0.2g. Además, se establecieron los factores de seguridad de 1.5 para la condición estática y 1.1 para la condición pseudoestática, los cuales se consideran adecuados.

Las propiedades de los materiales utilizadas en el análisis, son las establecidas en el subapartado anterior y que se resumen en la Tabla 6. Como se ha mencionado anteriormente, las propiedades genéricas se consideran adecuadas, solo que es recomendable que si se presenta alguna condición en un sitio específico durante la construcción de los taludes que muestren algún indicio de inestabilidad, es recomendable establecer propiedades propias para el sitio de análisis y determinar nuevamente la estabilidad del talud.

Por otro lado, en ninguno de los dos casos se considera el nivel freático, ya que durante la investigación no se presentó en los sondeos. Sin embargo, cabe recordar que los momentos en que se realizaron las exploraciones se trató de la estación seca, por lo que se considera pertinente en los análisis de estabilidad de taludes incluir el nivel freático.

Adicionalmente, en este apartado se establecen los criterios que se toman en cuenta para determinar si un material es apto para ser utilizado como terraplén en el proyecto, los cuales se consideran adecuados a excepción del valor de índice de grupo, ya que se establece como apropiado un material con un índice de grupo menor que 15. Sin embargo, el método del índice de grupo establece que un IG entre 9 y 20 es un suelo con una condición muy mala como material de subrasante. Por lo tanto, se considera recomendable hacer una revisión de este criterio o bien que se aporte la base técnica para establecer este valor como recomendable para materiales como terraplén. En cuanto a la excavabilidad de los materiales, se considera adecuado lo indicado por el consorcio GINPROSA – FHECOR.

El consorcio GINPROSA – FHECOR indica que, al realizar la excavación en los sitios de desmontes, es posible encontrar suelo que no sea apto para cimentación, por lo que sugiere que se realice una sustitución de 45 cm con material de préstamo selecto, que obtenga un CBR mayor a 10 al compactarse al 95% del próctor modificado. Esta recomendación se considera adecuada para estas zonas donde el material no sea adecuado para cimentación.

- *Rellenos*

En el proyecto del tramo Judas de Chomes – Limonal también es necesario construir rellenos. El consorcio GINPROSA – FHECOR indica que se proyecta colocar rellenos en 40 tramos de la carretera con taludes entre 3H:2V a 4H:1V, lo cual se considera adecuado pues los materiales que



se van a utilizar son los más competentes de los desmontes y cuya caracterización se encuentra en la Tabla 5.

El consorcio GINPROSA – FHECOR indica que no se requerirán tratamientos especiales para las cimentaciones de estos rellenos. Esta conclusión se considera adecuada, dado que los materiales que funcionarán como cimentación son los materiales de relleno R1 encontrados actualmente en el proyecto.

También se realiza un análisis de estabilidad de los taludes que se formarán con la construcción del relleno, así como de la cimentación. En este caso las propiedades consideradas para estos análisis también se consideran adecuadas, pero tienen la misma advertencia realizada en el subapartado anterior, y cuando se presente alguna situación diferente a la resultante de los análisis, se considera pertinente obtener las propiedades específicas del sitio y volver a realizar el análisis de estabilidad ya sea para el talud o el cemento.

Los criterios utilizados para realizar el análisis son los mismos que el subapartado anterior por lo que aplican los mismos comentarios realizados.

- *Estudio de materiales*

En este subapartado, el consorcio GINPROSA – FHECOR realiza una explicación más amplia que la mostrada en el subapartado de “Desmontes” acerca del criterio de utilización de los materiales provenientes de los cortes que se realizarán en la carretera y su utilización en los rellenos requeridos.

Se profundiza en el establecimiento del criterio del índice de grupo considerado como aceptable para materiales como terraplenes, el cual es 15, y se aclara que a pesar de que el método del índice de grupo (IG) es aplicable para subrasantes, es extensible para terraplenes cuya función base es servir de cimiento o fundación para la carretera. Sin embargo, como se había comentado anteriormente, se considera recomendable revisar este criterio, ya que para el método del índice de grupo una subrasante con un IG entre 9 y 20 se considera con un material muy pobre.

A pesar de ello, se observa que el consorcio GINPROSA – FHECOR basa su justificación de este criterio en que, en el análisis de los rellenos R1 de la carretera actual, cumple con este criterio. Sin embargo, cuando se analiza en detalle la determinación del índice de grupo para los rellenos R1 se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 7. Como se puede observar, solamente una muestra es superior a 15 y más bien la mayoría es menor que 9. Por esta razón se considera recomendable revisar el valor del IG como criterio de material para el terraplén.

Tabla 7. Verificación del índice de grupo del relleno R1

Muestra ⁽¹⁾	Finos (%)	LL	IP	IG
1	51	52	19	7.4
2	80	52	22	19.5
3	49	48	24	8.1
4	40	39	20	3.5
5	49	52	17	6.0
Promedio ⁽²⁾	56.6	49.0	18.4	8.8

(1): Muestras tomadas del anexo 3

(2): Tomado de la Tabla 5

En cuanto a los coeficientes de paso, se considera adecuado lo indicado por el consorcio GINPROSA – FHECOR, incluso tomando en cuenta las propiedades generalizadas, ya que por manejos de



material es posible que en algunos puntos se obtengan combinaciones de materiales de distintos estacionamientos.

En cuanto a las otras fuentes de material que se puedan utilizar como base, subbase y agregados para concreto, se contemplan tres sitios cuyos materiales cumplen según lo observado de los resultados de los ensayos realizados. Los tres sitios son: el quebrador La Rioja, quebrador Procamar y quebrador Fuente de Aranjuez. Al respecto, se consideran adecuados estas tres fuentes de material.

- *Cimentación de estructuras*

En el presente subapartado, el consorcio GINPROSA – FHECOR muestra la metodología de trabajo para determinar las obras de cimentación para las siguientes estructuras, tanto para fundaciones superficiales como para profundas. Tanto la metodología como los criterios de diseño se consideran adecuados, así como las verificaciones de estabilidad y revisiones de capacidad de soporte del medio.

El proyecto contará con 14 estructuras construidas a lo largo del tramo Judas de Chomes – Limonal, las cuales se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8. Estructuras del proyecto tramo Judas de Chomes – Limonal

Estructura	Tipo cimentación	Caracterización del medio	Formación
Intercambio Judas de Chomes	Superficial	Suelo coluvial Suelos limo arcilloso con arena NF: 8 m Tipo suelo sísmico: S2	Qc AG
Pasarela peatonal I	Superficial	Relleno arenoso con grava Suelo limoso y arcilloso NF: 8 m Tipo suelo sísmico: S2	R1 ML
Pasarela peatonal II	Superficial	LI: relleno, LD: limos arenosos NF: No se detectó Tipo suelo sísmico: S2	R1 ML
Puente del río Lagarto	B1: Superficial B2: Profunda	B1: arenisca y limolita B2: relleno, limo, limolitas NF: Tipo suelo sísmico: S2	ML Qal
Intercambio Guacimal	Superficial	Limos firme o roca NF: - Tipo suelo sísmico: S2	ML
Retorno Lourdes I	Superficial	Arcillas y limos Areniscas NF: - Tipo suelo sísmico: S2	ML
Retorno Lourdes II	Superficial	Arcillas alta plasticidad Areniscas NF: - Tipo suelo sísmico: S2	ML Qc
Pasarela peatonal 3	Superficial	LI: Relleno R1 LD: Limo arenoso NF: - Tipo suelo sísmico: S2	AG R1
Puente río Cañamazo	Superficial	Arcilla arenosa Limo firme NF: 7.5 m	BG



		Tipo suelo sísmico: S2	
Puente río Congo	Profunda	Arena suelta B1: Limo firme, B2: Arcilla firme NF: 6 m Tipo suelo sísmico: S2	AG Qal
Intercambio La Irma	Superficial	Arcilla arenosa Limo arenoso NF: 10 m Tipo suelo sísmico: S3	AG Qc
Pasarela peatonal 4	Superficial	Limo Arcilla arenosa NF: 70 m Tipo suelo sísmico: S3	Qc AG
Puente río Abangares	Profunda	P: Roca volcánica B1: Arena limosa, B2: Limo firme NF: 64 m Tipo suelo sísmico: S2	AG

Dadas las condiciones encontradas en los sitios específicos y por lo descrito por el consorcio GINPROSA – FHECOR en este subapartado, se consideran adecuadas las recomendaciones de tipo y nivel de cimentación, y las consideraciones de excavaciones temporales para llegar a los niveles de cimentación establecidos.

Sin embargo, un aspecto importante que se debe considerar es que cuando se establecen los modelos geotécnicos específicos para cada sitio (mostrados en el anexo 1) y dadas las descripciones de los materiales encontrados en cada punto de las estructuras consideradas a lo largo del proyecto, no se muestran parámetros más detallados o específicos para cada tipo de material descrito, y más bien pareciera que dichos valores se asocian a los parámetros geomecánicos y físicos de las formaciones encontradas y caracterizadas en el subapartado “Caracterización geotécnica” y descritos en la Tabla 6.

Para aclarar un poco este aspecto, se muestra el siguiente ejemplo, para el sitio “Pasarela peatonal 2” en el modelo geotécnico del anexo 1, se menciona que existen 5 tipos de material: 1. Arena gravosa – formación R1, 2. Bolos y grava arenosa – formación Qc, 3. Arcilla arenosa morada y gris (muy firme) – formación ML, 4. Arcilla morada y gris (densa) – formación ML y 5. Limo violáceo con algo de arena (duro) – formación ML, y como no es posible observar en el modelos los parámetros geomecánicos utilizados se presume que para los materiales 3, 4, y 5 que son de la formación ML cuentan con los mismos valores de los parámetros geomecánicos descritos en la Tabla 6.

Adicionalmente, ni en el subapartado “Cimentación de estructuras” ni en el anexo 5 del informe elaborado por el consorcio GINPROSA – FHECOR se muestra detalladamente el cálculo numérico de la capacidad soportante del sitio, cuando se trata de cimentaciones superficiales, por lo que igual no se puede comprobar si se utilizan parámetros específicos para los materiales encontrados en cada sitio de las estructuras o utilizan los valores generalizados por formación mostrados en la Tabla 6.

Si se utilizan los valores generales mostrados en esta tabla, se considera adecuado recomendar que, en una última etapa de revisión del diseño de las estructuras del proyecto, con la información existente de las exploraciones y los ensayos realizados, que dicho sea de paso se considera abundante, se establezcan valores específicos de los parámetros geotécnicos de cada material descrito en los modelos y verificar si existe alguna diferencia entre lo inicialmente propuesto y esta última revisión.



Por último, se considera recomendable que, si se incluyen tablas de referencia, estas sean escritas en español por ser el idioma oficial de Costa Rica.

III.1.5 Anexo 1: Planos geológicos - geotécnicos

En esta sección se muestran los planos longitudinal y transversal del tramo Judas de Chomes – Limonal, tanto en su condición actual como con la propuesta de trabajo.

En el plano longitudinal del proyecto, se muestra la extensión de cada una de las unidades geológicas encontradas y comentadas en el apartado III.1.3.

En el plano transversal del proyecto, se muestran los perfiles de cada tramo mostrado, con los espesores de los materiales de las unidades geológicas encontradas, por lo que estos se constituyen en el modelo geológico – geotécnico del proyecto. Esta representación se considera adecuada para la extensión del proyecto y para caracterizarlo de manera generalizada. Sin embargo, se considera recomendable establecer los modelos geotécnicos específicos para cada sitio del diseño y construcción obras requeridas, pues puede ser que en algunos casos se cuente con características de materiales distintas a las establecidas de manera general, como se muestran en el apartado III.1.4, que propician que su comportamiento, sobre todo mecánico, sea también diferente.

Afortunadamente, en este anexo se cuenta con los perfiles geológico – geotécnicos de los puentes y los intercambios, pero no se muestran los perfiles correspondientes a los muros que se deben construir. Se espera que estos modelos se encuentren en el documento “Apartado 7: Diseño de muros Chomes – Limonal”. A pesar de que los perfiles geológico – geotécnicos de los puentes e intercambios se encuentran, igualmente cuentan con la información geotécnica generalizada, y según lo comentado en el párrafo anterior, es posible que en cada sitio se presenten características un poco diferentes al promedio y que los valores establecidos como propiedades de los materiales no representen de manera adecuada el sitio. Es por ello que se insiste en la revisión específica de cada sitio y con ello contar con un modelo geotécnico más representativo.

III.1.6 Anexo 2: Investigación de campo

En el anexo 2 se incluyen los detalles del trabajo de campo realizado para establecer el modelo geológico – geotécnico del proyecto, así como para determinar las propiedades de los materiales que componen los sitios.

La campaña de exploraciones se considera adecuada dada la extensión del proyecto, la cual se realizó entre marzo y abril del 2016, quedando dos perforaciones adicionales para diciembre del mismo año.

A pesar que en el apartado 3 del documento “Apartado 6: Estudio geológico – geotécnico Chomes – Limonal” (revisado en el apartado III.1.1 de este informe) ya se había mencionado la cantidad de trabajos de campo realizados, en el anexo 2 se encuentra información más específica del fin de esta exploración. Esta se resume a continuación:

Tabla 9. Especificidad de la exploración realizada

Finalidad	Sondeos	Trincheras	Penetrómetros	Perfiles sísmicos
Desmontes	6	3	-	-
Rellenos	3	9	4	-
Muros	9	40	40	-
Cimentación de estructuras	30	9	4	10
Comprobación de trazado	-	10	-	-



Con esta cantidad de información, se considera que es posible realizar análisis más detallados de los sitios específicos para cada obra, en caso de que el comportamiento de los materiales sea distinto al establecido en el modelo geológico – geotécnico con la información dada en el apartado 6 “Geotecnia” del documento “Apartado 6: Estudio geológico – geotécnico Chomes – Limonal” (revisado en el apartado III.1.4III.1.1 de este informe).

A manera de recapitulación, se puede indicar que la investigación de campo se considera adecuada y suficiente para determinar las propiedades generales y específicas de los sitios que comprenden el tramo Judas de Chomes – Limonal, dada la extensión del proyecto y sus estructuras adjuntas.

III.1.7 Anexo 3: Ensayos de laboratorio

En el anexo 3 se muestra cantidad de ensayos realizados a las muestras tomadas en cada exploración que así lo ameritase. La cantidad total de ensayos se encuentra resumida en la Tabla 2 del apartado III.1.2 del presente informe.

En el anexo 3 se muestran los resultados detallados para cada muestra, clasificados incluso por las unidades geológicas encontradas. En estos ensayos se encuentran tanto ensayos para clasificación del material, así como ensayos mecánicos requeridos para establecer los parámetros geomecánicos necesarios para el diseño de cimentaciones y muros.

Para establecer los parámetros geotécnicos de los materiales para el modelo geológico – geotécnico, la cantidad de ensayos es adecuada. Sin embargo, para el establecimiento de los modelos específicos de cada sitio se considera que es posible que a criterio del ingeniero diseñador, se requieran ensayos adicionales para enriquecer el establecimiento de los parámetros geotécnicos.

En este anexo, también se colocan los informes del laboratorio encargado de realizar los ensayos. En este caso, se trata del laboratorio OJM Consultores de Calidad y Laboratorios, el cual tiene la peculiaridad de escribir en el cuerpo del informe que los resultados se presentan en un anexo. No queda claro por qué se hace de esta forma, por lo que se considera recomendable que como cliente se solicite que los resultados se proporcionen en el cuerpo del informe de ensayos.

Adicionalmente, se considera adecuado utilizar los términos apropiados para presentar en el informe de ensayos, por lo que cuando se realicen ensayos de obtención de parámetros mecánicos es importante que en lugar de indicar “tensión” en los gráficos, se coloque el término “esfuerzo” o “resistencia”.

III.1.8 Anexo 4: Análisis de los desmontes y rellenos

En el anexo 4 se muestran los resultados del análisis de estabilidad de taludes para los desmontes y rellenos, con las condiciones especiales estudiadas para cada tipo.

En el caso de los taludes de desmonte, se analizan tanto para la condición estática como para la pseudoestática, en la formación AG con una altura de 14.5 m y en la formación Qc con altura de 10 m. Para estos análisis se cuentan con modelos geotécnicos adecuados, utilizando los parámetros generalizados mostrados en la Tabla 6 mostrada en el apartado III.1.4. Los análisis de observan adecuados, incluso para el desmonte en la formación Qc se incluye un nivel freático encontrado particularmente para este sitio, con lo cual puede pensarse que cuando se realizan ciertos análisis específicos es posible que el diseñador si tome en cuenta las condiciones propias del sitio en estudio.

Para el caso de los taludes en relleno, también se realizan los análisis para la condición estática y la condición pseudoestática. Se analiza la estabilidad propia del relleno, así como la de la cimentación



que también conforma un talud. Para estos análisis se cuentan con modelos geotécnicos adecuados, utilizando los parámetros generalizados mostrados en la Tabla 6 mostrada en el apartado III.1.4, incluso se establecen modelos geotécnicos propios de los sitios analizados, por lo que afianza aún más que el ingeniero diseñador responsable, considera características propias en sus estudios.

Estos análisis se consideran adecuados, lo único que se recomienda es analizar los taludes en los que no se tomaron en cuenta los niveles freáticos, con algún nivel freático dada la condición climatológica del país, haciendo que en alguna época del año los suelos se saturen por las lluvias, y por ende contar con influencia del agua en la estabilidad.

III.1.9 Anexo 5: Análisis de cimentación de estructuras

En el anexo 5 se cuenta con la información detallada de la conformación de las estructuras, cuyos criterios de diseño fueron descritos en el apartado Apartado 6 “Geotecnia” III.1.4 y que se consideraron adecuados. El único comentario que se tiene al respecto es que cuando se muestran el resumen de resultados de la capacidad admisible de los pilotes, se indica “tensión de cabeza”, sin embargo, el término apropiado es “resistencia de la cabeza”.

La información de los resultados de la determinación de la resistencia de los pilotes, se considera adecuada, sin embargo, es importante hacer notar que no se muestran los resultados de la capacidad de soporte de las cimentaciones superficiales y que tampoco se muestran los parámetros de los materiales utilizados para el cálculo de los pilotes.

Es importante tomar en cuenta lo comentado en el apartado III.1.4 en la subsección “Cimentación de estructuras” respecto a los valores de los materiales descritos en los modelos geotécnicos específicos mostrados en el anexo 1 para cada estructura, pues los materiales descritos son distintos tipos de suelo que provienen de la misma formación geológica y no se observa que los parámetros geomecánicos cambiaran de valor a pesar de su distinta descripción. Este es un aspecto que se considera recomendable mejorar al momento de realizar la revisión final de los diseños.

III.1.10 Anexo 6: Estudio de Amenaza sísmica

En el anexo 6 se muestra el estudio de Amenaza sísmica para los puentes del proyecto Barranca – Limonal, comprendiendo el tramo Chomes de Judas – Limonal. Dada la magnitud del proyecto completo, se considera adecuada la realización de un estudio de Amenaza sísmica para las estructuras que lo conformarán.

El estudio de Amenaza sísmica se considera adecuado y cuenta con la extensión requerida para el proyecto.

III.2 Comentarios al documento “Apartado 7: Diseño de muros Chomes – Limonal”

Se revisa el documento “Diseño de la rehabilitación (o reconstrucción) y mejoramiento De la Ruta Nacional N° 1, carretera Interamericana Norte, sección: Barranca – Limonal. Tramo: Judas de Chomes – Limonal. Memoria de cálculo de diseño. Apartado N°7. Diseño de muros”, elaborado por el consorcio GINPROSA – FHECOR. En este documento se muestra la memoria de cálculo para los muros de retención que se ha programado construir con el fin de evitar expropiar terrenos y para construir las rampas de acceso al nuevo trazado.

Los muros que se han contemplado diseñar son muros de concreto reforzado, muros de suelo reforzado y muros de suelo cosido. Los muros de concreto reforzado se ha proyectado colocarlos en donde los desniveles y el tronco marginal cuentan con poca altura y cuentan con cierta continuidad



respecto a los bastiones de las estructuras. Los muros de suelo reforzado, se han programado construir en los tres intercambios o en zonas donde las cimentaciones cuenten con un espacio reducido. Estos muros consisten en un refuerzo por flejes metálicos con una fachada de elementos de concreto prefabricado. Por último, los muros de suelo cosido, se colocarán en sitios donde sea necesario hacer cortes o en zonas donde la colocación de otro tipo de muros conlleve un movimiento de tierras considerable.

El planeamiento de la disposición de estos muros, así como la concepción de su diseño parece adecuada. En total se contemplan 52 muros ubicados en distintos tramos del proyecto. A continuación, en la Tabla 10 se muestra un resumen de los muros propuestos a lo largo del proyecto en el tramo Judas de Chomes – Limonal.

Tabla 10. Resumen de muros diseñados para el tramo Judas de Chomes – Limonal

Suelo cosido			Suelo reforzado			Concreto reforzado		
Muro	Tramo	Longitud	Muro	Tramo	Longitud	Muro	Tramo	Longitud
M.I-128.6	128+624-128+676	60	M-122.6	122+761-122+758	26.6	MCI-125.0	125+022-125+082	60
M.CD-131.5 TR2	131+490-131+638	148	M.CI-122.6	122+500-122+761	260.67	MCI-125.1	125+110-125+294	184
			M.CD-122.6	122+502-122+758	255.8	MCD-125.6	125+558-125+636	78
			M-122.9	122+829-122+832	26.6	MD-128.8	E41.7-E250.0	60
			M.CI-122.9	122+829-123+004	175.21	M.I-129.0	128+990-129+030	40.00
			M.CD-122.9	122+832-122+879	47.67	M.CI-130.7	130+602-130+770	168.00
			MCD-125.1	125+162-125+362	200	M.CD-130.7	130+680-130+812	132.00
			M.CI-129.2	129+080-129+261	181.1	M.CD-131.0	130+960-131+056	96.00
			M.CD-129.2	129+056-129+261	205.1	M.CI-131.2.1	131+193-131+234	40.51
			M-129.2	129+261.1-129+261.1	26.44	M.CD-131.2.1	131+126-131+234	107.6
			M.CI-129.3	129+313-129+500	187.42	M.CI-131.2.2	131+247-131+317	69.85
			M-129.3	129+312.6-129+312.6	26.4	M.CD-131.2.2	131+247-131+335	87.74
			M.CD-129.3	129+313-129+518	205.415	M.CD-131.5 TR1	131+446-131+490	44
			M-141.7	141+711-141+711	26.42	M.CD-131.5 TR3	131+638-131+678	40
			M.CI-141.6	141+587-141+711	124.4	M.CD-131.7	131+694-131+830	136.00
			M.CD-141.5	141+500-141+711	211.2	MCI-131.6	131+639-131+711	71.98
			M.CI-141.8	141+782-141+994	211.88	M.CD-131.9	131+890-132+020	130.00
			M.CD-141.8	141+782-142+004	221.88	M.CD-132.1	132+084-132+134	50.00
			M-141.8	141+782-141+782	26.40	M.CI-132.3.1	132+242-132+286	44.35
						M.CD-132.3.1	132+212-132+288	75.9
						M.CI-132.3.2	132+313-132+462	148.75
						M.CD-132.3.2	132+315-132+434	119.2
						MCD-132.7	132+698-132+768	70.06
						MCI-132.8	132+820-133+012	192
						MI-133.0	133+022-133+089	72



MCD-134.7	134+748- 134+792	44
M.D-136.4	136+444- 136+484	40
MCI-137.4	137+424- 137+532	108
MI-141.4	141+316- 141+396	80
MD-143.4	E0+475.10- E0+544.87	71.60
M.CD-144.7	144+764- 144+864	100

III.2.1 Comentarios generales

En general, se puede observar que este documento se encuentra adecuadamente fundamentado. Los criterios de diseño tanto para el suelo cosido, así como para los muros de suelo reforzado y de concreto reforzado, son acertados y adecuados, además que siguen la línea de diseño comúnmente conocida en el medio geotécnico.

Se observa que el planeamiento de la ubicación de los muros obedece a criterios técnicos acertados, pues los sitios muestran una problemática específica que debe ser resuelta. La tipología elegida para los muros en cada sitio, mostrada en la Tabla 10, también es producto de criterios técnicos que se consideran adecuados.

A continuación, se muestra la revisión realizada a cada capítulo del documento de diseño de cada muro en el tramo Judas de Chomes – Limonal.

III.2.2 Revisión Anexo 1: Cálculo de muros de suelo cosido

Se revisa el planteamiento de los cálculos para el diseño de los siguientes muros:

Tabla 11. Muros de suelo cosido

Muro	Altura (m)
M.I-128.6	6.07
M.CD-131.5 TR2	7.95

El consorcio GINPROSA – FHECOR plantea el uso de la metodología de diseño descrita en el documento FHWA-NHI-14-007 “Soil Nail Walls Reference Manual” de la Federal Highway Administration, con algunos otros documentos que tratan el tema de manera adecuada. Adicional a los aspectos considerados en estos documentos, se plantea que la aceleración del sismo para realizar los análisis de la condición pseudoestática, sea de 0.2g correspondiente a una zona sísmica de tipo III como la indicada por el Código Sísmico de Costa Rica. Estas consideraciones son adecuadas para realizar los diseños correspondientes.

En cuanto a los factores de seguridad planeados tanto para la condición estática como para la pseudoestática, se consideran adecuados pues son lo que indica el Código Geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica.

En cuanto a los parámetros geomecánicos utilizados para el diseño de cada muro, se observa que existen algunas variaciones con respecto a los valores generalizados de las formaciones geológicas encontradas en el estudio de suelos, mostrados en la Tabla 6. Como se discutió repetidas veces en los apartados III.1.4 y III.1.5, esto parece adecuado ya que no se está trabajando con parámetros generales, sino el establecimiento de estos parece ser que se hace por tipo de materiales encontrado en específico en cada sitio de estudio.



Sin embargo, la procedencia de estos valores no se encuentra claramente determinada en el informe del apartado 7 del consorcio GINPROSA – FHECOR, por lo que se considera recomendable realizar la consulta de cómo se establecieron estos valores para cada sitio. En el estudio de suelos no queda claro que cada formación se divide en litologías y que a cada una de estas se le asignará un valor distinto de parámetros geotécnicos procedentes de un análisis de resultados de ensayos de laboratorio específico.

En cuanto a los cálculos realizados para el diseño y conformación del muro, y dejando de lado la procedencia de los parámetros geotécnicos, se consideran adecuados para el diseño de cada muro.

Por último, los análisis de estabilidad del terreno con la proposición de la disposición de cada muro, también se consideran adecuados. Sin embargo, se reitera la interrogante de la procedencia de los parámetros geotécnicos junto con el modelo establecido para cada sitio, si en el estudio de suelos no se establecieron valores para litologías específicas de las formaciones geológicas caracterizadas en la Tabla 6.

III.2.3 Revisión Anexo 2: Cálculo de muros de suelo reforzado

En el anexo 2 se muestra el diseño de los muros de suelo reforzado, por lo que se revisa el planteamiento de los cálculos para el diseño de los siguientes muros:

Muro	Altura (m)
M-122.6	10.88
M.CI-122.6	8.94
M.CD-122.6	7.40
M-122.9	10.21
M.CI-122.9	8.99
M.CD-122.9	6.45
MCD-125.1	3.26
M.CI-129.2	5.71
M.CD-129.2	5.53
M-129.2	6.15
M.CI-129.3	7.23
M-129.3	7.87
M.CD-129.3	6.98
M-141.7	7.03
M.CI-141.6	6.01
M.CD-141.5	6.52
M.CI-141.8	8.85
M.CD-141.8	6.51

El consorcio GINPROSA – FHECOR plantea el uso de la metodología de diseño descrita en el documento FHWA-NHI-10-025 “Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes” de la Federal Highway Administration. Al igual que como los muros de suelo cosido comentados en el apartado III.2.2, se plantea que la aceleración del sismo para realizar los análisis de la condición pseudoestática, sea de 0.2g correspondiente a una zona sísmica de tipo III como la indicada por el Código Sísmico de Costa Rica. Estas consideraciones son adecuadas para realizar los diseños correspondientes.



En cuanto a los factores de seguridad planeados se debe tomar en cuenta que, para este tipo de muros, se debe revisar la condición de estabilidad global, tanto al deslizamiento como al vuelco, así como la estabilidad interna, e igualmente considerando la condición estática y la pseudoestática. Todos los valores de factor de seguridad supuestos se consideran adecuados pues son lo que indica el Código Geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica.

En cuanto a los parámetros geomecánicos utilizados se debe considerar que como se trata de muros de suelo reforzado, por lo que se utilizan los parámetros del material que se empleará en el muro y no los parámetros de la caracterización de los materiales encontrados en la zona de proyecto resumidos en la Tabla 6. Esto se considera adecuado.

Para el caso específico del diseño de los muros de suelo reforzado, se establecieron 12 tipos, los cuales se resumen a continuación:

Tabla 12. Muros tipo para muros de suelo reforzado

Tipo	Altura	Condición
1	10.7	Sin talud
2	7.5	Sin talud
3	5.0	Sin talud
4	8.5	Con talud
5	6.5	Con talud
6	5.0	Con talud
7	5.2	Con talud
8	4.5	Con talud
9	4.0	Con talud
10	3.0	Con talud
11	3.0*	Con talud
12	10.24	Sin talud

*Longitud de fleje diferente al muro tipo 10

En cuanto a los cálculos realizados para el diseño y conformación del muro, también se consideran adecuados para el diseño de cada tipo muro.

III.2.4 Revisión Anexo 3: Cálculo de muros de concreto reforzado

En cuanto al diseño de los muros de concreto reforzado, cuyas características se encuentran resumidas en la Tabla 10, lo que se ha revisado es que las consideraciones de diseño sean las adecuadas. Adicionalmente, que los parámetros de tipo de suelo desde el punto de vista sísmico y los parámetros de empuje del medio sean apropiados.

En este caso, el consorcio GINPROSA – FHECOR determina que los tipos de suelo considerados para el tomar en cuenta el aspecto sísmico son del tipo S2 y S3, en la zona sísmica III. Asimismo, se considera que el material que se colocará como trasdós del muro es un material granular cuyas características se consideran adecuadas.

El consorcio GINPROSA – FHECOR muestra el diseño para 11 tipos de muro, cuyas características radican en la altura y las prestaciones de carga de diseño. Esta tipología se considera adecuada y se presenta en forma resumida en la Tabla 13.



Tabla 13. Muros de concreto reforzado

Tipo	Altura (m)
1B1	$H \leq 2$
1B2	
2B1	$2 < H \leq 3$
2B2	
2B2_PT	
3B1	$3 < H \leq 5$
3B2	
4B1	$5 < H \leq 7$
4B2	
5A1	$7 < H \leq 9$
5A2	

En cuanto a los materiales que se consideran para construir el muro, estos se consideran adecuados y cumplen con lo indicado para este tipo de estructuras.

Po último, los criterios de estabilidad revisados para estos muros se consideran adecuados, aunque se recomienda que sea revisado por un ingeniero estructural.

III.3 Comentarios a los planos obras de protección Chomes – Limonal

En cuanto a los planos de los muros de retención mostrados por el consorcio GINPROSA – FHECOR, estos se observan completos, mostrando las características y elementos de cada uno de los muros de retención, incluyendo la tipología ya sea como parte de un esquema en el plano o bien en tablas donde se colocan las características de cada muro.

El único comentario que se tiene al respecto de estos planos, es que se considera recomendable que, para los muros de suelo reforzado, se rotule el fleje o bien en la simbología se agregue la línea celeste que representa al fleje dentro de la estructura del suelo reforzado, ya que como se observa en planos, no es clara su diferenciación o representación.

IV. Sección La Angostura

En general, se observa que el documento cuenta con un claro desarrollo explicativo respecto a las actividades realizadas para obtener un encuadre geológico general de la zona de estudio. Sin embargo, en algunos casos la obtención de parámetros es poco precisa basándose únicamente en correlaciones teóricas, las cuales pudieron haber sido corroboradas mediante al menos una prueba específica. A continuación, se comenta con mayor especificidad para cada documento revisado, los hallazgos encontrados.

IV.1 Comentarios al documento “A04-MEM-04-R00_Geotecnia”

Se revisa el documento “Diseño de la duplicación de la ruta nacional N°17, sección “La Angostura” provincia de Puntarenas. Informe final – 01- Memorias. Informe 04 – Geotecnia”, elaborado por el consorcio IDOM-DEHC. En este documento, se realiza una descripción de la metodología utilizada para establecer el perfil geológico-geotécnico que compone el tramo de 2.36 km de la Ruta Nacional N°17, entre los barrios de Chacarita y Pochote, en la sección conocida como “La Angostura”, Provincia de Puntarenas Costa Rica.

En el documento se encuentra la descripción de la geología de la zona, caracterización geotécnica de la zona, además el estudio de cortes, rellenos y muros, así como un listado de las características

Informe LM-PIG-10-2020	Setiembre, 2020	Página 23 de 45
------------------------	-----------------	-----------------



del material de suministro externo. Adicionalmente, el documento cuanto con los planos: n°1. Mapa geológico general, n°2. Plano de situación del proyecto, n°3 Planta geológica-geotécnica con la situación de la prospecciones realizadas y anteriores. Perfil geológico-geotécnico longitudinal, y los anexos: I. Registros de las investigaciones de campo, II. Protocolos de ensayo de laboratorio, III. Fichas del inventario de puntos de observación geológica, IV. Fichas del inventario de fuentes y tajos (canteras, préstamos y plantas de suministro), V. Inventario fotográfico del tramo, con estaciones cada 250 m.

Como comentario general, se considera adecuado sustituir las siglas “USCS” por “SUCS” ya que es la terminología utilizada en el idioma español. A continuación, se realizan los comentarios de las secciones de los documentos revisados. Además, cabe resaltar que no se revisó el Apartado 9 “Pavimentos”, esto debido a que hace referencia a la solicitud de extracción de núcleos para determinar la naturaleza y espesor de las capas de subbase y subrasante, en base a las que se diseña y dimensiona la capa de pavimento. El análisis por parte del consorcio no se encuentra en este documento y se referencia al Informe 7. Diseño de Pavimentos.

Aunado a lo anterior, en el documento no existe consistencia en las unidades utilizadas al momento de definir los parámetros mecánicos de los materiales, en algunos casos no se utiliza el Sistema Internacional de unidades, el cual se debe utilizar de manera uniforme y obligatoria en los informes oficiales para Costa Rica, dada la reglamentación nacional al respecto.

IV.1.1 Apartado 2 “Trabajos Realizados”

En el apartado de trabajos realizados, se realiza una descripción de la información bibliográfica y cartográfica recopilada, además se adjunta un listado de estudios consultados para la elaboración del informe. En la sección 2.2 específicamente se adjunta un mapa, en el cual se ubican los pozos o prospecciones existentes, sin embargo, la información obtenida no puede ser utilizada para realizar la caracterización geotécnica del tramo de estudio, ya que solo se tienen prospecciones de campo en secciones antes o después de la sección. En este apartado se indica que se realizó un recorrido por la traza, cabe resaltar que resulta una buena práctica obtener esta información previo al recorrido, ya que esto permite tener una idea general de los materiales que componen la zona.

En la sección 2.3 se describe el inventario realizado en el reconocimiento de campo para la caracterización geológico-geotécnica, en base a esto se establece la campaña de reconocimiento y trabajos de campo, para la extracción de muestras requeridas en la elaboración del perfil geotécnico del tramo en estudio. Se realizó 1 sondeo mecánico a rotación con extracción de testigo continuo, 5 penetraciones dinámicas tipo DPSH, 4 calicatas mecánicas. Al ser un tramo de 2.36 km en una zona costera, donde generalmente los perfiles son bastante homogéneos, se considera apropiada la campaña propuesta para el reconocimiento físico y mecánico del suelo.

En general se realiza una buena descripción de los procedimientos seguidos para la ejecución de los respectivos sondeos. Fue posible comprobar mediante el registro fotográfico disponible en el Anexo N°1 la descripción de los materiales encontrados en la campaña de sondeos y el cumplimiento de la campaña investigación en campo.

Como comentario general se recomienda unificar en el documento el uso del separador decimal, a pesar de que el Sistema Internacional de Unidades (SI) permite tanto el uso del punto decimal como la coma decimal, por tema de formato es preferible utilizar uno de los dos y mantener el uso del mismo a lo largo del documento.



IV.1.2 Apartado 3 “Geología”

Al revisar este apartado, no se tienen comentarios pues parece adecuada la información suministrada. En general se encontraron tres tipos de materiales distintos, la Tabla 14 muestra un resumen de las unidades geológicas presentes en la zona.

Tabla 14. Resumen de las unidades geológicas presentes en el tramo

Unidad geológica	Simbología	Descripción
Barra de arena litoral	Qbal	Arenas no consolidadas color gris hasta café, de grano fino a medio. Baja plasticidad a nula.
Rellenos antrópicos	RE	Materiales de granulometría gruesa, constituidos principalmente por bloques y bolos de tamaño centimétrico hasta métrico, con fracción fina predominante arenosa.
Limos arcillosos orgánicos	ML-OH	En espesores menores a los 50 cm, limos arcillosos orgánicos gris oscuro a negro productos del manglar

IV.1.3 Apartado 4 “Caracterización geotécnica de los materiales”

Al realizar la revisión de este apartado, se observa que la caracterización geotécnica se basa en los resultados de ensayos de laboratorio, descripciones geológicas y geotécnicas procedentes de los reconocimientos efectuados en la zona de estudio y los resultados de los ensayos in situ y de laboratorio. Un resumen de los parámetros geotécnicos determinados para cada unidad geotécnica se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Parámetros geotécnicos de cálculo para las unidades geotécnicas

	Unidad geotécnica	RE	G1	G2	C1	C2
Profundidad	m		0 a 3	3 a 17	17 a 24	>24
Clasificación SUCS			SP	SM	ML	CH
N30 SPT			5	4-32 (15)	4-14 (9)	2-12 (6)
Humedad	W (%)		9	27	42	60
Densidad aparente	Yap (t/m ²)	2	2,10	1,90	1,80	1,65
Contenido de finos	%		3	25	67	97
Límite Líquido	%		NP	NP	43	74
Cohesión sin drenaje	Cu (t/m ²)				2	3
Cohesión efectiva	C' (t/m ²)	1	0,5	0,5	1	
Ángulo de rozamiento efectivo	Φ' (°)	30	29	31	27	
Módulo de deformación	E (MPa)	15	15	20	5	5
Coefficiente de reacción lateral	Kh (t/m ³)	3000	2500	3000	2500	850



En general se considera que se dispone de la información necesaria para caracterizar geomecánicamente la zona de estudio. Se observa que se realiza el ensayo de compresión inconfiada, para evaluar la resistencia al corte sin drenaje de algunos estratos. Es importante recalcar que este ensayo proporciona resultados más precisos cuanto más cohesivo sea el suelo, específicamente en el apartado 4.2.3 “Suelos granulares. Arenas con finos (SM)” no se considera apropiado utilizar el valor de resistencia a la compresión simple para establecer parámetros como la cohesión no drenada, ya que, el suelo es una arena con contenido de finos, y aunque por su contenido de finos el material permite moldear un espécimen y permanecer sin confinamiento puede que los resultados que se obtengan no sean representativos de la realidad del terreno. Esto se corrobora en el apartado 4.2.4 “Niveles limosos (ML)”, en el cual, a pesar de ser un estrato cohesivo, se presentan inconsistencias entre el resultado obtenido mediante el ensayo de compresión simple y los valores obtenidos mediante la correlación asociada al ensayo SPT.

Por lo anteriormente comentado y dado que en general la zona de estudio se ubica en una zona costera y se compone principalmente por arenas o limos y arcillas con contenido de arena, por lo que este ensayo no es recomendable para la obtención del parámetro de resistencia a la compresión simple. Además, es recomendable complementar con un ensayo de presión de hinchamiento o hinchamiento libre o ambos, para interpretar apropiadamente la susceptibilidad de expansividad del estrato arcilloso, en especial por que el proyecto consiste en un tramo de carretera, y problemas de expansividad en el terreno conllevan a problemas en los pavimentos.

Finalmente, en el apartado 4.4 se realiza un análisis del potencial de licuación de las unidades geotécnicas que presentan una porción grande de arena, estos corresponden a los más superficiales. El análisis se basa únicamente en criterios que toman en cuenta propiedades como el contenido de finos, plasticidad y coeficiente de uniformidad. Basados en la ubicación geográfica y el estudio de la tectónica de la zona, establecen un alto riesgo ante el fenómeno de licuación. Esta conclusión es apropiada, sin embargo, se recomienda elaborar un análisis más a fondo y específico del potencial de licuación de los estratos que componen el perfil del tramo en cuestión.

IV.1.4 Apartado 5 “Descripción geológico-geotécnica. Secciones típicas”

Al revisar este apartado, se identifican cuatro unidades geotécnicas, las cuales son consistentes con la formación geológica de la zona, las unidades identificadas corresponden a: Arena mal gradada (SP) arena limosa (SM), limo de baja plasticidad (ML) y arcillas de alta plasticidad (CH). Se observa que el trazado de toda la vía afecta únicamente la unidad geotécnica (SP), que corresponde con el mismo nivel de la carretera existente. La ampliación de los carriles provoca la necesidad de generar algunos cortes y rellenos de poca magnitud y que afectan únicamente la capa compuesta por arena mal gradada. En general no se tienen comentarios adicionales en este apartado pues parece adecuada la información suministrada.

IV.1.5 Apartado 6 “Estudio de cortes”

Al realizar la revisión de este apartado, se observa que se realiza un análisis general de la estabilidad de los taludes de corte, el cual se basa en los ábacos de Hoek y Bray, este método permite realizar el análisis en diferentes condiciones de saturación, pero no toma en cuenta el valor de aceleración por sismo. A pesar de no realizarse un análisis detallado basado en el modelo geotécnico, se considera apropiado realizar este análisis tomando en cuenta la condición de saturación del talud, ya que se obtuvieron los factores de seguridad suponiendo la condición completamente seca del talud. En general la altura de corte a lo largo de todo el tramo de estudio, no supera 1 m y afecta únicamente la capa de arena mal grada (SP), por lo que esta metodología podría resultar una herramienta rápida para obtener el FS para las alturas de corte de los taludes.



No obstante, debido a que es una zona costera, con registro de actividad sísmica y variaciones en el nivel freático y con potencial de licuación en algunas secciones, se considera que no está demás realizar el análisis de estabilidad que contemple el perfil estratigráfico, y analizar la condición psuedoestática con el talud saturado, al menos en una sección del tramo de estudio que se considere que pueda tener mayor afectación y con esto complementar el análisis realizado.

IV.1.6 Apartado 7 “Estudio de rellenos y muros”

Al realizar la revisión de este apartado, se observa que, para los taludes de relleno, en primer lugar, se consideran adecuadas las pendientes sugeridas, ya que son los que recomienda el Manual de Seguridad Vial. Además, se considera adecuada la solución propuesta para mitigar los posibles efectos del fenómeno de licuación, ya que los rellenos y muros no son de mucha altura.

En cuanto al manto protector de los taludes contra la erosión se considera apropiada el análisis empírico experimental realizado, se consideran adecuados los parámetros asignados, así como las recomendaciones constructivas sugeridas para evitar problemas tanto de erosión como socavación.

IV.1.7 Apartado 8 “Estudio de materiales. Suministro externo”

Al revisar este apartado, no se tienen comentarios pues parece adecuada la información suministrada.

IV.1.8 Planos adjuntos

Se revisan los planos aportados por el consorcio IDOM – DEHC, los cuales contienen información suficiente para comprender y complementar el informe geotécnico de la sección “La Angostura”.

No se tienen comentarios pues se considera que la información suministrada en los planos es adecuada y se presenta de forma ordenada, con la respectiva escala indicada.

IV.1.9 Anexo I: “Registros de las investigaciones de campo”

Se revisa la información de las prospecciones de campo complementarios realizados por IIG consultores, empresa subcontratada por el consorcio IDOM - DEHC. En este caso se trata de la realización de 10 puntos de observación geológicas (OG), en los que se realiza la descripción geológico geotécnica del material presente, las descripciones se complementan con el registro fotográfico.

Se observa que la información suministrada de los resultados tanto de los ensayos de campo como de laboratorio, son las herramientas utilizadas para definir el perfil geotécnico y las caracterizaciones de los materiales, mostrados en el cuerpo del informe.

Como único comentario se observa que en el punto de observación OG-8 hay una estructura abandonada bastante deteriorada, la cual puede representar peligro. A simple vista en las fotografías no se observa que haya sufrido desplazamientos laterales o asentamientos considerables ya que de perfil no se percibe inclinación, sin embargo, se puede intuir que el material (arenas) se está consolidado, incluso por la orientación del crecimiento de la de vegetación.

IV.1.10 Anexo II: “Protocolos de ensayos de laboratorio”

Se revisan la información de los resultados de los ensayos de laboratorio, realizados en el laboratorio IMNSA Ingenieros Consultores S.A, empresa subcontratada por el consorcio IDOM – DEHC. El



documento muestra los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a 4 muestras de material, a las cuales se les practicó los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, próctor modificado y CBR.

El documento muestra un resumen claro de los procedimientos de cálculo de cada ensayo realizado, el cual se complementa en algunos casos con fotografías del material ensayado. En general se observa que se siguen los procedimientos de ensayo apropiados para la clasificación del material, se cumple con la uniformidad de decimales y unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades.

IV.1.10.1 Ensayos realizados a material recuperado de suelo

- *Hoja de cálculo de próctor estándar y modificado*

Al revisar la hoja de cálculo utilizada para graficar el peso unitario en función del contenido de humedad, se encuentra que se tomaron en cuenta las variables correctas para determinar la humedad óptima del material, y con esto poder determinar correctamente el peso unitario seco máximo. Las variables se exponen en la hoja de cálculo lo cual permite trazabilidad en el cálculo de los parámetros, los cuales muestran valores congruentes con el tipo de material.

- *Hoja de cálculo de CBR*

De igual forma que en el apartado anterior, la hoja de cálculo contempla todas las variables necesarias para determinar el valor del CBR en los diferentes porcentajes de compactación. No se registran datos de %expansión, lo cual es consistente con el tipo de material ensayado. En general el formato de la hoja de cálculo es adecuado y el contenido permite la correcta revisión de los parámetros, los valores son característicos de un material clasificado de pobre a regular, generalmente utilizado como sub-rasante.

- *Método de prueba estándar para determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo y roca por masa*

Al revisar los resultados mostrados para la determinación del contenido de humedad de las muestras, se encuentra con el reporte únicamente de los porcentajes de humedad de cada muestra, los cuales son variables entre sí a pesar de que las muestras fueron recuperadas el mismo día. Se considera apropiado incluir el peso de la muestra húmeda y seca, esto permite verificar la determinación del valor del contenido de humedad.

- *Análisis granulométrico por tamizado ASTM D6913, Determinación de los límites de Atterberg ASTM D4318, Clasificación unificada de suelos SUCS ASTM D2487*

Al revisar la hoja de cálculo para la determinación de la curva granulométrica del material ensayado, se considera apropiada la información reportada. Las curvas granulométricas resultan congruentes con el tipo de material descrito. En el caso de los límites de Atterberg, al ser arenas los resultados no plásticos son congruentes con el material ensayado. Finalmente se tiene una adecuada clasificación SUCS y AASHTO del material.



IV.1.10.2 Ensayos realizados a muestras inalteradas

- *Método de prueba estándar para determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo y roca por masa*

Al revisar los resultados mostrados para la determinación del contenido de humedad de las muestras, se encuentra con el reporte únicamente de los porcentajes de humedad de cada muestra, se considera apropiado incluir el peso de la muestra húmeda y seca, esto permite verificar la determinación del valor del contenido de humedad.

- *Método de prueba estándar para determinación en laboratorio de la densidad (Peso Unitario) de especímenes de suelo ES-02*

Se observa que se tomaron en cuenta los parámetros de humedad de la muestra y densidad de la parafina, los cuales son necesario para la correcta determinación del peso unitario del suelo, por lo que se considera apropiada la información suministrada del ensayo.

- *Análisis granulométrico por tamizado ASTM D6913, Determinación de los límites de Atterberg ASTM D4318, Clasificación unificada de suelos SUCS ASTM D 2487*

Al revisar la hoja de cálculo para la determinación de la curva granulométrica del material ensayado, se considera apropiada la información reportada. Las curvas granulométricas resultan congruentes con el tipo de material descrito, sin embargo, para las muestras obtenidas a partir de los 24 m, la granulometría por tamizaje no aporta mucha información referente a la distribución de partículas del suelo ya que, el material pasa prácticamente en su totalidad el tamiz N° 200. En este caso se considera apropiada complementar la curva granulométrica con el método del hidrómetro, el cual permite conocer la distribución del tamaño de partículas de la porción fina de la muestra.

En el caso de los límites de Atterberg, al igual que para la determinación del contenido de humedad, apropiado incluir el peso de la muestra húmeda y seca, esto permite verificar la determinación de la plasticidad del material. Finalmente se tiene una adecuada clasificación SUCS y AASHTO del material.

- *Resistencia a la compresión inconfiada de suelos*

Para este método de ensayo se cuenta con fotografía de la falla en la probeta del material ensayado, así como sus dimensiones iniciales y finales. Además, con la gráfica de tensión en función de la deformación, fue posible revisar el comportamiento de la resistencia inconfiada de la probeta conforme se aplicó la carga. En todos los casos se observa gráficamente un comportamiento adecuado para el tipo de material ensayado. Se recomienda utilizar la palabra “esfuerzo” en lugar de “tensión”.

IV.1.11 Anexo III: “Fichas del inventario de puntos de observación geológica, Anexo IV: “Fichas del inventario de fuentes y tajos (canteras, préstamos y plantas de suministro)” y Anexo V: “Inventario fotográfico del tramo, con estaciones cada 250m”

Al revisar estos anexos, no se tienen comentarios pues se considera que la información suministrada es adecuada y se presenta de forma ordenada.



V. Sección Barranca – Judas de Chomes

Una vez finalizada la revisión de los documentos correspondientes a la sección Barranca – Judas de Chomes, se observa que en general, se dispone de suficiente información para definir los modelos geotécnicos apropiados para la descripción de la zona del proyecto. El trabajo de exploración, ensayos de campo y laboratorio se considera apto. A pesar de contar con suficiente información para construir modelos específicos para los sitios donde se proyecta cimentar obras, no se observa el grado de detalle que pudiera implicar el diseño de una obra de esta magnitud.

V.1 Comentarios al documento “Apartado 6. Estudio Geológico-Geotécnico Barranca – Judas de Chomes”

Se revisa el documento “Diseño de la rehabilitación (o reconstrucción) y mejoramiento de la Ruta Nacional Nº 1, carretera Interamericana Norte, Sección: Barranca – Limonal. Tramo: Barranca – Judas de Chomes. Memoria de cálculo de diseño. Apartado 6: Estudio Geológico – Geotécnico” elaborado por el consorcio GINPROSA – FHECOR. En este documento se realiza el planteamiento geológico – geotécnico de la zona del proyecto, incluyendo el establecimiento de los parámetros geotécnicos de los muros que se diseñan en el apartado 7.

En la metodología de trabajo, inicia con la recopilación y análisis de bibliografía técnica, a través de los cuales se obtuvo una síntesis de la geología regional y la estratigrafía de la zona. Se destaca la referencia del “Mapa de Amenazas Naturales Potenciales” de Comisión Nacional de Emergencias para los cantones de Puntarenas (octubre 2002) y Abangares (mayo 2003) y el “Mapa de susceptibilidad de licuefacción para la Península de Nicoya”, los cuales se consideran un material valioso de consulta. Esta información técnica es complementada con el estudio de amenaza sísmica específico para la zona de estudio, realizado por la empresa INSUMA. Este estudio consiste en un análisis detallado de investigaciones bibliográficas, inspección en sitio y consulta a estudios realizados en sitios cercanos.

Una vez analizada la información existente se realizó un recorrido de campo a cargo de geólogos, el resultado de este recorrido es el trazado de la cartografía geológica-geotécnica del tramo, con el fin de identificar los contactos entre formaciones geológicas. Parte del trazado se basa en la información obtenida en el Inventario de Taludes de la Ruta 1 y el Inventario de Puntos de Observación Geológica, esta información se verifica en el anexo 2. Se consideran apropiados los criterios utilizados para la realización de la cartografía.

Con base en la cartografía geológico-geotécnica, la investigación mecánica (sondeos, calicatas y penetrómetros), y con ayuda del inventario de taludes y puntos de observación geológica, se dibujó el perfil geológico-geotécnico longitudinal, el cual se encuentra en el anexo 1. La información presentada se considera adecuada, dado el aporte que brinda esta información al diseño del proyecto.

V.1.1 Apartado 3 “Investigación geológico-geotécnica”

A partir de la información bibliográfica existente y el recorrido de campo a cargo de los geólogos de GINPROSA, se definió la campaña de investigación de campo para la respectiva caracterización desde el punto de vista de resistencia y deformabilidad de los materiales en los que se cimentarán rellenos y estructuras y se excavarán los desmontes. El grueso de la campaña se enfocó a la investigación de las estructuras y cimentación de los rellenos debido a que constituyen los puntos mayoritarios del tramo de la carretera. La investigación geotécnica se basa en la realización de las siguientes exploraciones:



Tabla 16. Investigación geotécnica realizada en el tramo Barranca- Judas de Chomes

Exploración	Cantidad
Sondeos	43
Calicatas	38
Penetraciones Dinámicas	23
Perfiles de Sísmica	10

Se realizó el inventario completo de los 39 taludes de corte que componen el tramo de análisis de la Ruta 1, para algunos se tomaron muestras superficiales del material. La elaboración de este inventario se considera fundamental, ya que permite a los profesionales a cargo observar el comportamiento natural de los materiales que van a ser afectados por la traza. El inventario se encuentra en el anexo 2.

De las exploraciones se tomaron muestras alteradas, inalteradas, material recuperado con el tomamuestras o el SPT y testigos parafinados. En total se recuperaron 210 muestras alteradas, 314 muestras inalteradas, 288 muestras provenientes de ensayos SPT y 46 núcleos con parafina.

Se considera apropiada la cantidad de exploraciones, para cumplir con el objetivo de conformar un modelo geológico-geotécnico con información suficiente para caracterizar el tramo de estudio, siempre y cuando se realicen los ensayos de laboratorio pertinentes, para los cuales se cuenta con una cantidad de muestra aceptable. Cabe resaltar que para obras específicas como cimentación de puentes y construcción de muros es recomendable realizar un modelo geológico-geotécnico específico. En este estudio se resalta que, para estos casos, se recomendará realizar sondeos durante la fase de obra para confirmar lo obtenido en el modelo geológico-geotécnico global. Se deberá prestar especial atención en este aspecto ya que las hipótesis para dimensionamiento de estructuras, están basadas en la exploración general y solo se confirmarán mediante sondeos puntuales una vez iniciada la obra.

V.1.2 Apartado 4 “Ensayos de Laboratorio”

Con el fin de identificar los materiales de la traza y definir su utilización en la obra, se realizaron ensayos de laboratorio a las muestras tomadas, los resultados se encuentran en el anexo 3, que posteriormente se comentará. El tipo y cantidad de ensayos realizados se resume en la siguiente tabla:

Tabla 17. Tipo y cantidad de ensayos de laboratorios (Barranca – Judas de Chomes)

Ensayo	Cantidad
Humedad natural	318
Densidad	124
Granulometría	302
Límites de Atterberg	302
Contenido en sales solubles	16
Proctor Normal	48
California Bearing Radio (CBR)	48
Corte Directo	46
Hinchamiento Libre	6
Compresión Simple	16

Se considera apropiada la cantidad de ensayos para definir los parámetros de los materiales del modelo geotécnico mecánico. Sin embargo, cuando se revisen parámetros geotécnicos específicos de las obras del proyecto, se comentará más al respecto.



V.1.3 Apartado 5 “Geología”

En este apartado se muestra las formaciones geológicas cartografiadas en las Plantas Geológico-Geotécnicas. El proyecto se encuadra entre la cuenca del río Tempisque y la cordillera neógena Tilarán – Miramar. Las descripciones de las mismas se basan en la bibliografía y observaciones de campo realizada por el consorcio GINPROSA – FHECOR. El encuadre geológico evidencia que el trabajo previo realizado fue apropiado y fundamentado adecuadamente. En el anexo 2 se muestra el detalle del levantamiento de los materiales encontrados durante las visitas de campo en la toma del inventario de taludes, el cual se observa extensivo y acorde con la magnitud del proyecto, y se comentara con detalle más adelante. En la Tabla 18 se muestran las formaciones geológicas encontradas en la zona del proyecto.

Tabla 18. Formaciones geológicas del tramo Barranca – Judas de Chomes

Formación	Descripción	Características
R1	Relleno bien compactado de la Ruta 1.	Rellenos compactados adecuadamente que forman parte de la plataforma de la carretera actual. Presentan un buen estado y no se han observado deformaciones, con sólo pequeñas grietas en la calzada original
R2	Relleno vertido sin compactar o de compactación dudosa.	Rellenos vertidos de tierras sin compactar, o de compactación dudosa, de diferentes orígenes, con espesores muy reducidos. Se estima que la afectación será puntual en obras, se deben retirar.
Qal	Depósitos aluviales	Materiales que rellenan los principales cauces de los ríos del tramo y las zonas deprimidas asociadas a los mismos: río San Miguel, Naranjo, Ciruelas, Seco, Aranjuez, Sardinal y Guacimal.
Qfv	Depósitos de fondo de vaguada	Suelos de naturaleza granular por la propia génesis de transporte rápido de estos materiales. Rellenan quebradas y barrancos de menor entidad que los ríos principales y que cruzan la carretera por lo general de forma ortogonal.
Qc	Depósitos coluviales	Depósitos de gran extensión en el tramo y a nivel regional como parte de la erosión de los relieves de las cordilleras próximas. Los espesores superan los 23 m. Predominan los suelos cohesivos de colores abigarrados y marrón anaranjado a rojizo.
Ci	Cuerpos intrusivos. Gabro, diorita y riolita	Cuerpos intrusivos de gabbro y diorita el primero y riolita. La gabrodiorita aflora como grandes bloques de color gris a marrón en corte sano, La riolita presenta en afloramiento un color gris oscuro, de grano fino a medio con fenocristales y estructura fluidal. Ambas intrusiones tienen una fracturación muy desarrollada por juntas de gran continuidad y resistencia alta
AG	Formación Aguacate. Basalto, andesita basáltica, tobas y brechas	Lavas basálticas hasta basalto-andesíticas, rocas piroclásticas, brechas y sedimentos vulcanoclásticos (tobas). En general el sustrato se encuentra totalmente meteorizado, de composición variable según el material del que procedan, arenosos en general los correspondientes a la alteración del basalto y arcillosos o limosos los procedentes de tobas.
PC	Formación Roca Carballo. Calcarenita masiva y limolita	Sedimentos calcáreos de origen marino depositados en un ambiente de mar somero. Las litologías predominantes son areniscas, y limolitas calcáreas de color verde-gris con un importante contenido fosilífero

En cuanto al nivel freático, el consorcio GINPROSA – FHECOR indica que realizó un estudio de niveles freáticos en algunos de los sondeos, midiendo el nivel de agua encontrado a través de piezómetros. Además, se prestó atención en detectar los niveles de agua, tanto en la excavación de calicatas como en la perforación de los sondeos. Se resalta que las mediciones realizadas y las observaciones en las exploraciones, fueron durante la época de lluvias, y se establece el nivel



freático en todo el tramo por debajo de la cota de la plataforma de la carretera. Esta situación se gráfica en el perfil longitudinal geológico-geotécnico. Es de esperarse la presencia del nivel freático debido a que es una zona cercana a la costa y a acuíferos.

Como única consideración, se recomienda revisar los niveles de agua subterránea una vez se inicie la fase constructiva en cada punto y para cada obra específica, ya que las consideraciones de diseño se hicieron en base a estos niveles registrados en el año 2017, y se deben revisar considerando la situación del nivel freático actual.

Se considera apropiado por parte del consorcio GINPROSA – FHECOR la solicitud de realizar un estudio de amenaza sísmica para el proyecto, debido a la extensión del proyecto, esto a pesar de que según el Código Sísmico de Costa Rica el proyecto se encuentra en la zona sísmica III.

Finalmente se realiza la valoración de los riesgos geológicos, para los cuales se consultan mapas de la zona publicados por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Costa Rica (CNE), los cuales se consideran fuentes de información confiable. Se recomienda realizar un análisis para determinar el potencial de licuación de las zonas donde se cimentarán los puentes, a pesar de que en los sondeos no se registraron materiales con características típicas de suelos potencialmente licuables, como lo menciona el documento, existen registros que incluyen el área donde se ubica el proyecto como zonas con presencia de materiales con alto potencial de licuación. De igual manera en el caso de la caída de suelos y rocas meteorizadas, ya que en el documento anexo “Inventario de taludes” se puede observar desprendimientos de material producto de la erosión en diferentes taludes, por lo que se recomienda revisar las condiciones de estabilidad superficial de los taludes y prever soluciones ante la problemática.

V.1.4 Apartado 6 “Geotecnia”

En este apartado, se muestra el trabajo realizado para obtener la descripción geotécnica de los materiales que afectan el proyecto. La descripción del sustrato corresponde con las formaciones geológicas descritas en el apartado anterior, para las cuales se identificó una distribución homogénea a lo largo de todo el tramo. Sin embargo, a pesar de que la distribución de las diferentes unidades geológicas es bastante homogénea a lo largo de todo el tramo, se debe tener presente la importancia de considerar condiciones más localizadas de los materiales para las obras requeridas. Esto implica que es posible requerir de investigación adicional, la cual se debe prever para realizar durante el proceso de construcción.

- Caracterización geotécnica

El consorcio GINPROSA – FHECOR define la distribución de las diferentes unidades geológicas a lo largo del tramo Barranca – Judas de Chomes, y el porcentaje del tramo cubierto por cada unidad. Esto se resume en la Tabla 19.



Tabla 19. Distribución de las unidades geológicas en el tramo Barranca – Judas de Chomes

Sustrato		
AG (93,5%)	Ci (4,3%)	PC (2,2%)
96+555 – 104+370 105+480 – 121+650	104+370 – 105+480	96+005 – 96+555
Depósitos		
Qc (54,1%)	Qal (6,7%)	Qfv (1,9%)
96+165 97+330 98+065 98+770 100+180 100+710 100+830 102+010 102+025 102+190 103+650 104+450 104+630 104+780 105+960 106+015 106+035 106+060 106+125 106+145 106+590 106+810 106+880 107+380 107+530 109+060 110+635 112+410 112+510 115+405 116+825 117+440 118+540 118+785 119+460 120+200 120+500 121+060	98+770 100+085 105+130 105+170 106+850 106+880 112+420 112+485 116+800 116+825 120+265 120+500	97+565 97+610 102+010 102+025 102+910 102+945 106+015 106+035 108+990 109+015 109+810 109+825 116+110 116+135 117+775 117+785 118+010 118+065 119+045 119+055 121+310 121+360

La caracterización del comportamiento geotécnico de los diferentes materiales se realizó mediante la ejecución de los diferentes ensayos de laboratorio mencionados en el apartado a “Ensayos de Laboratorio”. La campaña de ensayo establecida para la caracterización de los materiales se considera apropiada, no obstante, esta caracterización da como resultado una descripción general del perfil del tramo y no aporta información puntual para los puntos específicos de cada obra. Para obtener las propiedades específicas para el punto donde se cimentará una obra, es necesario realizar la exploración, toma de muestras y ensayos de los puntos específicos.

A continuación, se muestra un resumen general de las propiedades geotécnicas determinadas para los materiales encontrados en las prospecciones de campo, haciendo diferencia de los materiales granulares y cohesivos, lo cual se considera apropiado, ya que se obtiene una caracterización más precisa de los materiales encontrados y correspondiente a su formación, además de que corresponden la mayor parte del material sobre el que se cimentara el proyecto. En el caso de las estructuras que se vean afectadas por materiales con características particulares que no estén tomadas en cuenta en esta descripción general del tramo, se deberá analizar puntualmente los materiales encontrados.



Tabla 20. Parámetros físicos de las formaciones geológicas en el tramo Barranca – Judas de Chomes

Parámetros físicos										
	Qal.C	Qal.G	Qfv.C	Qfv.G	Qc.C	Qc.G	Ci.G	AG.C	AG.G	R1
Humedad (%)	36.9	17.3	28.0	26.0	33.9	25.0	31.7	36.1	27.8	31.6
Densidad seca (g/cm ³)	1.38	1.63	1.56	-	1.31	1.36	1.19	1.17	1.42	1.17
Densidad natural (g/cm ³)	1.83	2.0	1.91	-	1.79	1.81	1.72	1.65	1.83	1.68
Finos (%)	65.9	34.8	75.0	35.3	70.2	35.5	54.7	68.2	37.1	58.0
Arena (%)	29.9	44.3	17.3	24.7	26.9	42.3	44.2	29.0	49.7	33.9
Grava (%)	4.3	20.9	7.7	40.0	2.8	22.2	1.0	2.7	13.3	8.0
LL	51.5	38.9	66.5	56.1	56.0	44.9	55.2	59.1	49.7	73.8
LP	27.4	22.3	27.7	28.7	28.4	23.8	32.8	31.14	25.6	33.8
IP	24.1	16.6	38.8	27.4	27.7	21.0	22.5	27.7	24.2	40.0
Materia orgánica (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos Solubles (%)	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.0	-
Parámetros geomecánicos										
	Qal	Qfv	Qc	Ci	AG	R1				
Cohesión (KPa)	12(*)	18	40(*)	20	40(*)	30				
Ángulo fricción (°)	32(*)	35	28(*)	29	28(*)	25				

(*): Se hacen recomendaciones en función del tipo de suelo

(**): No se cuenta con datos de parámetros geomecánicos

En general, los resultados de los ensayos de laboratorio se observan apropiados, se revisan los resultados en el Anexo 3 “Ensayos De Laboratorio”, se encuentran las tablas resumen con todos los resultados obtenidos según tipo de muestra, lo cuales corresponden con lo descrito en este apartado. Se identifican los ajustes realizados a los resultados de las pruebas de resistencia de los diferentes materiales, en los cuales se hacen ajustes para estimar el ángulo de fricción y cohesión medio del material, pero además se brindan valores sugeridos a utilizar dependiendo de la consistencia del material sobre el que se cimentara las respectivas estructuras. Estas consideraciones son apropiadas ya que brindan al diseñador más información dependiendo de la variabilidad, formación y meteorización de las capas de suelo que se verán afectadas por el proyecto.

Como comentario general, al tratar las propiedades de corte del material, se considera más recomendable utilizar una terminología más acorde con lo que se utiliza en el país, dado que en el informe del consorcio GINPROSA – FHECOR se utilizan términos como “tensión normal” y “tensión tangencial” siendo lo más adecuado “esfuerzo normal” y “esfuerzo tangencial”.

- *Desmontes*

En este subapartado, el consorcio GINPROSA – FHECOR realiza el análisis particular a los taludes que se generan por la nueva conformación del camino en el tramo de Barranca – Judas de Chomes. La altura de desmonte en general es inferior a 10 m, y una altura máxima de 20 m.



En general los materiales que se excavarán en los desmontes corresponden a formaciones Qc y sustrato alterado de las formaciones AG y Ci, y roca de las formaciones AG y Ci. Para el diseño de los taludes se considera con base en el inventario de taludes realizado y los resultados de las exploraciones de campo los siguiente: El nivel del agua se detectó por debajo del fondo de la excavación y no se pudo observar flujos de agua en los taludes existentes en la carretera actual. Se estima que la resistencia es suficiente para la excavación de los desmontes, se identificó que la estructura geológica de los materiales tanto de suelo como roca es masiva. Finalmente se observa que la inclinación de la ladera sobre la coronación de los taludes es muy suave.

En ningún talud se ha observado la presencia de agua y no existen elementos de contención asociados a los taludes, excepto un muro de gaviones en el talud situado bajo las instalaciones de RECOPE, el cual fue construido como medida de seguridad preventiva.

En los taludes existentes se observa que la condición más frecuente con el que se han construido los cortes es el 1(H):1(V) y en zonas en las que aflora roca es el 2(H):3(V) o más inclinado. También se identificaron cortes de poca altura en suelos con talud 2(H):3(V) y 2(H):1(V). No se observaron bermas. Esto resulta un buen indicador de la estabilidad que ofrecen los materiales del sitio, por lo tanto, la consideración de proyectar todos los desmontes con talud 1(H):1(V) en todo el tramo y si necesidad de construir bermas, se considera adecuada debido a la poca altura de los taludes de desmonte y las condiciones naturales y de corte actuales observadas y registradas en el inventario de taludes.

Adicionalmente, con la información disponible se identifican algunos desmontes presentan un fondo de excavación compuesto por materiales de alta plasticidad, los cuales son inapropiados para apoyar la plataforma de la carretera, por lo que se indica la sustitución en los 45 cm superiores con material de préstamo con CBR >10 compactado al 95% de la densidad máxima del próctor modificado (AASHTO T180). Esta consideración es apropiada, ya que la plasticidad del material sobre el que se apoyará la plataforma de la carretera influye directamente en el comportamiento de la superficie de rodamiento, generando agrietamientos de la misma que conllevan a mayores afectaciones.

Para los cálculos de estabilidad de los diferentes desmontes, se representó cada material con el desmonte de mayor altura que se fuera a excavar. Los cálculos de estabilidad tomaron en cuenta la condición con sismo y sin la influencia de este. Se definió en ambas el factor de seguridad mayor de 1,5 para el caso estático y mayor de 1.1 en la condición pseudoestática. De acuerdo con el Código Geotécnico de Taludes y Ladera, se utiliza la aceleración sísmica correspondiente a la Zona II que corresponde a 0,20 g m/s² en la horizontal y 0,10 g m/s² en la vertical. Estos parámetros cumplen según las características del proyecto con lo definido en los códigos por lo que se consideran apropiados.

A continuación, se muestra un resumen de los factores de seguridad obtenidos para cada condición de análisis:

Tabla 21. Análisis de estabilidad de los taludes de desmonte en el tramo Barranca – Judas de Chomes

Formación	Altura máxima de talud	FS Estático	FS Pseudoestático
AG	20 m	1.6	1.2
Ci	12 m	1.5	1.1
Qc (coluviales)	17 m	1.8	1.3
Qc (marginal) ^(*)	15 m	2.7	1.8

^(*) Se estima una carga de 12 kN/m² por la circulación de vehículos



En todos los casos se verificó que los parámetros de resistencia correspondieran con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para cada tipo de material. Para el análisis se considera que no hay presencia del nivel freático, esta condición deberá verificarse y tomar en cuenta las consideraciones en los diseños, ya que por la ubicación del proyecto es de esperarse que en otra época del año haya variaciones en la profundidad del nivel freático y este puede afectar la estabilidad de los taludes.

- *Rellenos*

En esta sección se contabilizan los rellenos que se construirán en el tramo Barranca – Judas de Comes. La mayor parte de los rellenos corresponden a una ampliación lateral de los existentes, por lo que se puede verificar con el inventario de taludes realizado, que en general las condiciones de cimiento y estabilidad de los taludes es adecuada. El material de los cimientos corresponde a los rellenos R1 de la actual carretera. Únicamente se observan afectaciones a nivel de cimiento de los taludes de relleno cercano a las quebradas transversales a la traza de la carretera, en estos casos se debe reemplazar por completo el material del cimiento y protegerlo de los efectos del agua de las quebradas.

En total se proyecta la colocación de 60 rellenos con alturas entre 4 y 7 m, y una máxima de 22 m. Los rellenos se construirán con talud 3(H):2(V). Esto se define mediante el análisis de estabilidad realizado, para el cual se consideró la acción sísmica con una aceleración de 0,20 g m/s² en la horizontal y 0,10 g m/s², con una carga de coronación del relleno de 12 kN/m² debido al tránsito de vehículos. El análisis de estabilidad revisa la estabilidad del relleno y la estabilidad del cimiento por aparte, se recomienda revisar la condición del nivel freático en los análisis de estabilidad, en especial para los casos afectados por las quebradas. La presencia del nivel freático en el análisis de estabilidad pseudoestático, tanto del cimiento como del relleno, es fundamental para determinar las condiciones de diseño del talud, estructuras de contención y estructuras que se vayan a colocar en el sitio específico.

- *Estudio de materiales*

En este subapartado, el consorcio GINPROSA – FHECOR describe el criterio de clasificación de los suelos desde el punto de vista de su aptitud como material de construcción de los terraplenes.

Se basa en la clasificación de la calidad del material a partir del índice de grupo, el cual según AASHTO bajo condiciones promedio de drenaje y compactación adecuadas, el valor soporte de una subrasante puede ser considerado inversamente proporcional al valor de su índice de grupo. Esto es refiriéndose al comportamiento de las subrasantes, sin embargo, es extensible para calificar la aptitud de los suelos que puedan formar el núcleo de los terraplenes.

Para este proyecto en específico se define el criterio de índice de grupo menor o igual a 15 como suelos aptos. Sin embargo, para el método del índice de grupo una subrasante con un IG entre 9 y 20 se considera con un material muy pobre. Por lo que es recomendable hacer una revisión del criterio.

La siguiente tabla muestra una verificación del IG de algunas muestras identificadas con la formación geológica R1. Los resultados fueron seleccionados del anexo 3 “Resultados de ensayos de laboratorio”. Se observa que hay una diferencia entre el índice de grupo reportado y el calculado para verificación con la ecuación para determinar el valor de IG según la clasificación AASHTO, por lo que se recomienda hacer una revisión de los valores de índice de grupo de los materiales y además, se recomienda revisar el criterio para determinar si los suelos son aptos a partir del valor del índice de grupo.



$$IG = (\%finos - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(\%finos - 15)(IP - 10)$$

Tabla 22. Verificación del índice de grupo de algunos sondeos de material R1 en el tramo Barranca – Judas de Chomes

Sondeo	Muestra ⁽¹⁾	Finos (%)	LL	IP	IG Ensayos	IG Verificado
S-100+770	1	94	104	71	79	35
S-102+020	2s	46	66	30	10	4
S-102+020	3s	86	84	34	38	23
S-109+010	2s	50	49	21	8	4
S-109+010	5s	57	53	29	14	7

(1): Muestras tomadas del anexo 3

En cuanto a las otras fuentes de material para completar el déficit de tierras para relleno convencional y materiales con exigencias de calidad mayores como subrasante, base, sub-base, se verifica el inventario de posibles fuentes de quebradores y canteras. Entre los cuales se seleccionaron tres sitios cuyos materiales cumplen según lo observado de los resultados de los ensayos realizados. Los tres sitios son: el quebrador La Rioja, quebrador Procamar y quebrador Fuente de Aranjuez. Al respecto, se consideran adecuados estas tres fuentes de material y se verifica la revisión del cumplimiento de las especificaciones.

- *Cimentación de estructuras*

En este apartado, el consorcio GINPROSA-FHERCOR, realiza una descripción de las estructuras que se cimentaran en distintos puntos del tramo Barranca-Judas de Chomes. En total se proyectan 9 estructuras vehiculares y 5 estructuras peatonales.

Se considera adecuada la descripción de la metodología y los criterios de diseño considerados para las fundaciones tanto superficiales como profundas, los cuales se basan en las especificaciones de la AASHTO LRFD BRIDGE. También se incluyen las consideraciones para las verificaciones de estabilidad y capacidad de soporte del terreno para las diferentes propuestas de cimentación. En general se observa que se utilizan metodologías y criterio apropiados y se realiza una amplia descripción de los procedimientos. En la siguiente tabla se resumen las estructuras que se construirán en el tramo en cuestión.

Tabla 23. Resumen de estructuras proyectadas en el tramo Barranca – Judas de Chomes

Estructura	Tipo cimentación	Formación
Pasarela peatonal 1	Superficial	Qc
2 puentes Río San Miguel	Profunda	Qal, AG
2 Puentes Río Naranjo	B1: Superficial B2: Profunda	Qal, AG
Intercambio de Cuatro Cruces	Pantalla de pilotes	AG, Qc
Pasarela Peatonal 2	Superficial	Qc
2 puentes Río Ciruelas	B1: Superficial B2: Profunda	Ci, Qal
Pasarela Peatonal 3	Superficial	Ci y Relleno calzada
2 puentes Río Seco	Superficial	AG, Qc
Pasarela Peatonal 4	Superficial	AG
Puente Río Aranjuez	Superficial	AG
Intercambio Monteverde	Pantalla de pilotes	Qc



2 Puentes Río Sardinal	Superficial	AG
Pasarela peatonal 5	Superficial	AG, Qc
2 puentes Río Guacimal	Profunda	Qal, AG

Se observa que se cuenta con al menos dos sondeos en los puntos donde se desea cimentar las diferentes estructuras, de los cuales se obtiene la caracterización de los materiales encontrados. Se verifican los resultados de los ensayos realizados adjuntos en el anexo 3. Sin embargo, en el subapartado 6.5.4 “Estudio particular para cada estructura”, se realizan recomendaciones de cimentación y cálculos de estabilidad, utilizando los parámetros de resistencia al corte asignados en el apartado de caracterización geotécnica para las formaciones encontradas. Estos parámetros no son específicos para cada punto de las estructuras consideradas a lo largo del proyecto.

Se recomienda determinar a partir de los resultados de los sondeos disponibles en cada punto, los parámetros específicos, y realizar una revisión de las consideraciones de diseño para verificar si existe alguna diferencia con lo inicialmente propuesto.

Por último, se considera recomendable que, si se incluyen tablas de referencia, estas sean escritas en español por ser el idioma oficial de Costa Rica.

V.1.5 Anexo 1: Planos Geológico-Geotécnicos

Este anexo contiene los planos de la sección longitudinal (vista en planta), donde se pueden ubicar las estructuras proyectadas y la ubicación de los diferentes sondeos realizados. Además, se incluyen los planos de la sección transversal, en los cuales se puede observar los perfiles de cada tramo, así como los espesores de los materiales identificados según las unidades geológicas encontradas.

Esta es una representación adecuada del modelo geológico que describe al tramo comprendido de Barranca a Judas de Chomes. Adicionalmente, este anexo incluye los perfiles geológicos-geotécnicos de las estructuras de puentes, pasos peatonales e intercambios.

En general se considera una representación adecuada para el perfil del sitio, sin embargo, se caracteriza con información geotécnica generalizada, y no especifica las condiciones de los sitios donde se cimentarán obras requeridas. Se recomienda, hacer una revisión de las condiciones puntuales del perfil de suelos donde se localizarán las estructuras proyectadas, ya que pueden existir variaciones en las condiciones de cada sitio en específico.

V.1.6 Anexo 2: Investigación de Campo

Este anexo muestra con detalle el trabajo de campo realizado para definir el modelo geológico-geotécnico del tramo Barranca- Judas de Chomes. La campaña consistió en sondeos, trincheras, penetrómetros y perfiles de sísmica.

Se considera apropiada la cantidad y tipo de exploraciones realizadas para la extensión del proyecto, por lo que, al revisar este anexo se concluye que, al contar con información suficiente, se refuerza la recomendación de determinar los perfiles específicos para los sitios donde se pretenden ubicar las diferentes estructuras, y correlacionar la información puntual con la generalizada ya descrita a lo largo de este documento, finalmente considerar las variaciones en las condiciones de los diseños de cimentación de las estructuras.

Adicionalmente, este anexo incluye el inventario de taludes y puntos de observación geológica, como ya se comentó anteriormente, esta investigación previa a los sondeos se considera de suma importancia, ya que permite conocer las condiciones generales del sitio, pendientes de los taludes



existentes y mediante la inspección visual generar una conceptualización previa generalizada de las formaciones geológicas que componen los perfiles de suelo del tramo.

V.1.7 Anexo 3: Ensayos de Laboratorio

El anexo 3, muestra los resultados detallados de los ensayos de laboratorio realizados a cada muestra. Los ensayos de laboratorio fueron ejecutados por O.J.M Consultores de Calidad y Laboratorios S.A. En general se puede observar un buen procedimiento de ensayo, utilizando parámetros y reportando resultados conforme las normas de ensayo correspondientes. Se observan ensayos para clasificación de todas las muestras, y ensayos para determinar parámetros geomecánicos necesarios en algunas de las muestras de suelo.

En este anexo el consorcio GINPROSA-FHERCOR, adjunta tablas resumen de los sondeos realizados y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorios para las muestras extraídas en cada sondeo, clasificados incluso por unidades geológicas.

En general se considera apropiada la cantidad de los ensayos realizados, sin embargo, se debe resaltar que para desarrollar los modelos geológicos-geotécnicos específicos para los puntos donde se proyecta la construcción de obras, puede que se requiera realizar otros ensayos adicionales tanto de caracterización como para la determinación de propiedades mecánicas.

V.1.8 Anexo 4: Análisis de los desmontes y rellenos

En este anexo se muestra un claro desarrollo del cálculo de estabilidad de los taludes de desmonte y de rellenos, tomando en cuenta la condición estática ($FS \geq 1.5$) y pseudoestática ($FS \geq 1.1$) para cada tipo.

Los taludes de desmonte, se clasificaron según la formación geológica del material tratado, y se determinó la estabilidad de los taludes para la máxima altura de desmonte prevista. Los análisis se realizaron con las siguientes condiciones:

- Formación AG: Altura de 20.0 m
- Formación CI: Altura 12.0 m
- Formación QC: Altura 17.0 m
- Formación QC con marginal: Altura 15.0 m

Para los cálculos de estabilidad de los rellenos, se analizó en primera instancia la estabilidad del propio relleno, esto es un aspecto fundamental, ya que, si el relleno no cumple con el factor de seguridad por sí solo, no será estable al colocar cargas que modifique su estado de esfuerzos. Este es el caso de los cimientos, para los que se realizó el análisis de estabilidad con las siguientes condiciones:

- Formación QFV: Altura de 22 m
- Formación QAL: Altura de 7 m

Se verifica el cumplimiento de los factores de seguridad en todos los casos, así como la correcta delimitación de la superficie de falla analizada. Se concluye que los análisis realizados son adecuados, sin embargo, se recomienda revisar las condiciones del nivel freático dada la variabilidad climatológica y fuertes precipitaciones que caracterizan las épocas lluviosas del país.

V.1.9 Anexo 5: Análisis de cimentación de estructuras



El anexo 5 muestra los cálculos para la conformación de la cimentación de las diferentes estructuras, para las cuales los criterios fueron descritos en el Apartado 6, los cuales fueron considerados adecuados.

Para el cálculo de la determinación de la resistencia de los pilotes, no se muestran los parámetros de los materiales utilizados en el análisis, además se usan incorrectamente los términos “tensión de cabeza”, cuyo término apropiado es “resistencia de la cabeza del pilote”, y en las cimentaciones superficiales el término “carga de hundimiento total”, cuyo término apropiado es “capacidad de soporte última”.

En general el procedimiento de cálculo y los criterios de diseño se consideran adecuados. Como única observación, es importante revisar los parámetros mecánicos de las capas de suelo específicas para los sitios donde se proyecta construir las diferentes estructuras, y realizar la revisión final de los diseños con los parámetros específicos.

V.1.10 Anexo 6: Estudio de amenaza sísmica

En el anexo 6 se muestra el estudio de Amenaza sísmica para los puentes del proyecto Barranca – Limonal, realizado por la empresa INSUMA S.A.

Dada la magnitud del proyecto, se considera apropiado la realización del estudio de amenaza sísmica, el cual se considera adecuado y muestra un amplio estudio de las condiciones tectónicas que afectan el tramo del proyecto.

V.2 Comentarios al documento “Apartado 7: Diseño de muros Barranca – Judas de Chomes”

Se revisa el documento “Diseño de la rehabilitación (o reconstrucción) y mejoramiento De la Ruta Nacional N° 1, carretera Interamericana Norte, sección: Barranca – Limonal. Tramo: Barranca- Judas de Chomes Memoria de cálculo de diseño. Apartado N°7. Diseño de muros”, elaborado por el consorcio GINPROSA – FHECOR. En este documento se encuentra un amplio desarrollo del cálculo de diseño de los muros que se construirán como parte del proyecto, con el fin de mantener la obra dentro del derecho de vía existente, minimizando la necesidad de realizar expropiaciones.

Los muros que se proyectan construir en el tramo Barranca – Judas de Chomes, son muros de suelo cosido, ubicados en los intercambios debido al desnivel que se genera entre la marginal y el tronco. Los muros de concreto reforzado se construirán en situaciones donde la cota de la marginal se encuentra más baja que el tronco.

Se proyectaron en total 12 muros, las consideraciones para definir la disposición de los muros, así como los criterios y metodologías de diseño en general se consideran adecuados. La siguiente tabla muestra un resumen de los muros propuestos a lo largo del proyecto en el tramo Barranca – Judas de Chomes.



Tabla 24. Resumen de muros proyectados en el tramo Barranca – Judas de Chomes

Suelo cosido			Muro de concreto reforzado		
Muro	Tramo	Longitud (m)	Muro	Tramo	Longitud (m)
MCD-101.6 Tr-2	101+682 - 101+716	34	MCD-101.6 Tr-1	101+616 - 01+684.87	68.29
MCI-101.6	101+660 - 101+720	60	MCI-103.7	103+716.65 - 104+025.53	314.81
MCD-101.7	101+772 - 101+934	162	MCI-104.8	104+892 - 105+104	210.34
MCI-101.7	101+776 - 101+930	154	MCI-105.1	105+184 - 105+304	119.12
MCD-113.7	113+795 - 113+815	20			
MCI-113.7	113+798 - 113+818	20			
MCD-113.8.1	113+833 - 113+869	36			
MCI-113.8.1	113+836 - 113+865	29			
MCI-113.8.2	113+890 - 113+952	62			
MCD-113.8.2	113+890 - 113+926	36			

V.2.1 Revisión Anexo 1: Cálculo de muros de suelo cosido

Se revisa el planteamiento de los cálculos y comprobaciones de estabilidad de los muros de suelo cosido proyectados para construir en el intercambio Cuatro Cruces y en el Intercambio Monteverde. El consorcio GINPROSA – FHECOR utiliza la metodología de diseño descrita en el documento FHWA-NHI-14-007 “Soil Nail Walls Reference Manual” de la Federal Highway Administration. Adicionalmente se contempla una aceleración de 0.2g para el análisis de la condición pseudoestática, la cual, según Código Geotécnico de Taludes y Laderas, es el valor máximo asignado a la zona sísmica III. Estas consideraciones se consideran adecuadas para el diseño de los muros.

Los factores mínimos de seguridad establecidos en los cálculos de estabilidad global se consideran adecuados pues son lo que indica el Código Geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica, se define en servicio de $FS \geq 1.50$ y para el análisis pseudoestático de $FS \geq 1.10$.

En cuanto a los parámetros geomecánicos considerados en el diseño, se observa que corresponden con los definidos en el apartado 6.1 “Caracterización Geotécnica”, para las respectivas formaciones geológico – geotécnicas presentes a la altura de los taludes. Como ya se mencionó anteriormente, estos parámetros responden a valores promedio de una caracterización generalizada, y no corresponde a la situación específica para cada tramo donde se construirán los muros. Por lo que



se recomienda hacer una verificación de los parámetros específicos para estos puntos, con esto revisar las condiciones de diseño de los muros.

En cuanto a los cálculos realizados para el diseño y conformación de los muros de suelo cosido, en general se sigue un procedimiento adecuado, donde se consideran y revisan los aspectos constructivos del muro, así como la comprobación por cortante y flexión del muro. Se verifica el cumplimiento de estas condiciones y finalmente se revisa la estabilidad global de los muros en condición de servicio y con acción de sismo, en las cuales se revisa el cumplimiento de los factores de seguridad establecidos.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados de estabilidad obtenidos para cada muro y observaciones realizadas al diseño de los mismos. Se recomienda revisar y poner especial atención durante la construcción de los muros que dieron como resultado factores de seguridad muy cercanos a los valores mínimos, así como los casos en los que todos los pernos no atraviesen la superficie de falla crítica.

Tabla 25. Verificación de estabilidad de los muros de suelo cosido en el tramo Barranca – Judas de Chomes

Muro	FS estático	FS con sismo	Comentarios
MCD-101.6 TR-1	1,523	1,108	Solo 1 perno atraviesa la superficie de falla crítica
MCD-101.6 TR-3	1,71	1,581	-
MCD-101.7 TR-1 ENTRE P.K. 101+772 Y 101+843	1,494	1,128	2 pernos no atraviesan la superficie de falla crítica
MCD-101.7 TR-1 ENTRE P.K. 101+843 Y 101+892 Y TR-2, TR-3 Y TR-4	1,689	1,283	2 pernos no atraviesan la superficie de falla crítica
MCI-101.6 TR-1	1,921	1,673	-
MCI-101.7 TR-1 Y TR-2	1,54	1,171	Solo 1 perno atraviesa la superficie de falla crítica
MCI-101.7TR-3 Y TR-4	1,71	1,402	2 pernos no atraviesan la superficie de falla crítica
MCD-113.7 TR-1 Y TR-2 MCD 113.8.1 TR-1 Y MCD 113.8.2-TR-1	1,676	1,334	-
MCD-113.8.2 TR-2	2,135	1,644	-
MCI-113.7 TR-1 Y TR-2 Y MCI 113.8.1 TR-1	2,025	1,632	-



MCI-113.8.2 TR-2,TR-3 Y TR-4	2,457	1,826	2 pernos no atraviesan la superficie de falla crítica
---------------------------------	-------	-------	--

V.2.2 Revisión Anexo 2: Cálculo de muros de concreto reforzado

El anexo 2 presenta los cálculos y comprobaciones realizadas para evaluar la estabilidad de los muros de concreto reforzado. Se proyectaron cuatro muros de concreto reforzado, cuyas características se basan en la altura y cargas de diseño, se presenta un resumen según la tipología en la Tabla 26.

Tabla 26. Muros de concreto reforzado según tipología y altura de diseño proyectados en el tramo Barranca - Judas de Chomes

Tipología	Altura (m)
1A2	2.12-3.40
2A2	3.40-5.79
3A1	6.47-7.24
4A1	8.04-9.41
1B1	2.14-3.51
2B1	3.51-5.01
3B2	2.63-3.51
4B2	3.51-5.09
5B1	1.55
6B1	2.05
7B1	1.71-2.50
8B1	2.50-3.77
Sección especial	5.00

La revisión de los muros de concreto reforzado se basó en verificar las consideraciones de diseño, la correcta selección de parámetros de suelo según la zona sísmica y verificación de los parámetros de empuje del medio.

Se determinó que el tramo del proyecto corresponde a la zona sísmica III, según lo establecido por el Código Sísmico de Costa Rica. De acuerdo con el Código de Cimentaciones de Costa Rica el tipo de suelo corresponde a S₂ y S₃, y se aplica un coeficiente dinámico de 0.20 g. En general desde el punto de vista geotécnico, se considera apropiados los parámetros y consideraciones de diseño utilizadas.

Es recomendable solicitar la revisión del diseño estructural de los muros a un ingeniero estructural, quien podrá brindar las recomendaciones pertinentes.

V.3 Comentarios a los planos obras de protección Barranca – Judas de Chomes

En este documento, el consorcio GINPROSA – FHECOR, adjunta los planos de los muros de retención, los cuales se observan completos, con información de las características de cada uno de los muros de retención. Se identifican claramente en los planos o en tablas con las descripciones de los muros según la tipología. No se tienen comentarios adicionales para este documento.



VI. Comentarios finales

De manera general, se observa que los documentos aportados cuentan con la información requerida para establecer modelos geológico – geotécnicos adecuados para ambos tramos. Sin embargo, en algunos casos específicos que fueron comentados a lo largo del documento, se considera recomendable verificar las propiedades, sobre todo geomecánicas de los materiales para los modelos geotécnicos específicos y así diseñar de manera más adecuada las estructuras propuestas para los tramos del proyecto.

Adicionalmente, se considera adecuado que en los documentos de ambos informes se muestre explícitamente el análisis realizado para descartar el potencial de licuación de los materiales de los sitios de estudio, dada la cercanía a zonas costeras y a que cuentan con materiales que podrían eventualmente generar un potencial de licuación dada su naturaleza. Esto concierne tanto a materiales arenosos, así como materiales de grano fino que por su composición puede que presenten características favorables a la licuación. Sin embargo, en los documentos revisados no fue posible observar el detalle de estos estudios.

VII. Referencias

1. Consorcio GINPROSA – FHECOR. “Documento “Diseño de la rehabilitación (o reconstrucción) y mejoramiento de la Ruta Nacional N° 1, carretera Interamericana Norte, Sección: Barranca – Limonal. Tramo: Judas de Chomes – Limonal. Memoria de cálculo de diseño. Apartado 6: Estudio Geológico – Geotécnico”. San José, 2016.
2. Consorcio GINPROSA – FHECOR. “Documento “Diseño de la rehabilitación (o reconstrucción) y mejoramiento de la Ruta Nacional N° 1, carretera Interamericana Norte, Sección: Barranca – Limonal. Tramo: Judas de Chomes – Limonal. Memoria de cálculo de diseño. Apartado 7: Diseño de muros”. San José, 2016.
3. Consorcio IDOM – DEHC. “Diseño de la duplicación de la ruta nacional N°17, sección “La Angostura” provincia de Puntarenas. Informe final – 01- Memorias. Informe 04 – Geotecnia”. San José, 2019.
4. Consorcio IDOM – DEHC. “Anexo I - Registros de investigaciones”. San José, 2019.
5. Consorcio IDOM – DEHC. “Anexo II - Ensayos de laboratorio”. San José, 2019.
6. Consorcio IDOM – DEHC. “Anexo III - Inventario Puntos Observación geológica”. San José, 2019.
7. Consorcio IDOM – DEHC. “Anexo IV Fichas_Plantas_suministro”. San José, 2019.