



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Ingeniería Geotécnica

Informe: LM-IG-09-2020

Segunda revisión de los documentos de estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales: río Alajuela, río Ciruelas y Barreal - Castella



Fuente: informa-tico

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-09-2020		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Informe de la segunda revisión de los documentos de estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales: río Alajuela, río Ciruelas y Barreal – Castella.		4. Fecha del Informe 8 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 de los documentos del diseño geotécnico del puente sobre el río Alajuela, puente sobre el río Ciruela y el conector Barreal – Castella, como parte del seguimiento a las obras del proyecto “Corredor Vial San José – San Ramón”.</i> <i>La revisión consiste en verificar si los documentos cuentan con información suficiente para los diseños geotécnicos de estas obras específicas y si se tomaron en cuenta las consideraciones básicas establecidas en los estudios de suelo anteriores.</i>		
8. Palabras clave Cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas, pilotes, micropilotes, puentes, estabilidad de taludes, muros, conector.	9. Nivel de seguridad: -	10. Núm. de páginas 27
11. Preparado por: Ing. Laura Solano Matamoros Ing. Ana Lorena Monge Sandí		
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	5
III.	Comentarios a documentos del proyecto ampliación del puente en río Alajuela	6
III.1	CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Alajuela”	6
III.1.1	Apartado 1.6.4 “Estudio de Geotecnia”	6
III.1.2	Apartado 1.6.5 “Diseño de Estructuras”	7
III.2	CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Alajuela (incluidos los anexos)” 7	
III.2.1	Apartado 5.1. “Estudios geológicos regionales y locales”	7
III.2.2	Apartado 5.2 “Estudio geotécnico para el puente Río Alajuela”	8
III.2.3	Apartado 5.3. “Estudio geotécnico para el análisis de estabilidad de taludes”	10
III.3	CAPITULO 6: “Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Alajuela”	11
III.3.1	Apartado 9.2 “Geometría de la fundación”	11
III.3.2	Apartado 9.3 “Diseño de los pilotes”	11
III.3.3	Apartado 12.2 “Diseño del muro”	11
III.4	Planos.....	12
IV.	Comentarios a documentos del proyecto ampliación del puente en río Ciruelas.....	12
IV.1	CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Ciruelas”	12
IV.2	CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas”	13
IV.2.1	Apartado 5.1 “Estudios geológicos regionales y locales”	13
IV.2.2	Apartado 5.2 “Estudio geotécnico para el puente río ciruelas”	14
IV.3	CAPITULO 6: “Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Ciruelas”	18
IV.3.1	Apartado 9.1 “Cálculo de bastiones”	18
IV.3.2	Apartado 9.3 “Diseño de los pilotes”	18
IV.3.3	Apartado 12 “Diseño del parapeto”	19
IV.3.4	Muro Keystone	19
IV.3.5	Apartado 6.2 “Muro de concreto reforzado”	20
IV.4	Planos.....	20
V.	Comentarios a documentos del proyecto del conector Barreal – Castella	21
V.1	CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto del conector Barreal – Castella”	21
V.1.1	Apartado 1.6.4 “Estudio de Geotecnia”	21
V.1.2	Apartado 1.6.7 “Diseño de Pavimentos”	22
V.2	CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto del conector Barreal – Castella”	22
V.2.1	Apartado 5.1 “Estudios geológicos regionales y locales”	22
V.2.2	Apartado 5.2 “Estudio geotécnico para el puente peatonal intercambio Conservatorio Castella”	23
V.2.3	Apartado 5.3 “Estudio geotécnico para el análisis de estabilidad de Taludes”	25



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

V.3	Planos.....	26
V.4	Diseño de la base estabilizada para el Proyecto del conector Barreal – Castella.....	26
VI.	Comentarios finales.....	26
VII.	Referencias	27



Segunda revisión de los documentos de estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales: río Alajuela, río Ciruelas y Barreal - Castella

I. Introducción

Por solicitud de la Unidad de Auditoría Técnica, el presente informe muestra la segunda revisión realizada por el Programa de Ingeniería Geotécnica a los documentos de estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales, desde el punto de vista geotécnico, para las obras específicas de las ampliaciones de los puentes sobre el río Alajuela y río Ciruelas, así como el conector en Barreal – Castella.

Entre los documentos revisados se encuentran:

- Río Alajuela:
 - CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Alajuela”
 - CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Alajuela”
 - CAPITULO 6: “Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Alajuela”
 - Planos adjuntos
- Río Ciruelas:
 - CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Ciruelas”
 - CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas”
 - CAPITULO 6: “Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Ciruelas”
 - Planos adjuntos
- Barreal – Castella:
 - CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto del conector Barreal – Castella”
 - CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto del conector Barreal – Castella”
 - Diseño de base estabilizada

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 los informes cuentan con la información requerida para realizar un adecuado diseño de las estructuras. Sin embargo, a pesar de que las propiedades de los

Informe LM-IG-09-2020	Setiembre, 2020	Página 5 de 27
-----------------------	-----------------	----------------



materiales parecen adecuadas, existe cierta ambigüedad o falta de claridad en la determinación de los parámetros y se considera importante esclarecer esta información.

Adicionalmente, para algunos casos en el diseño de las obras, no existe concordancia entre los valores establecidos en el estudio geotécnico con los utilizados como información base para el desarrollo del diseño de las obras.

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

III. Comentarios a documentos del proyecto ampliación del puente en río Alajuela

En general, se observa que los documentos cuentan con un claro desarrollo explicativo respecto a las actividades realizadas para obtener el modelo geotécnico del sitio del proyecto, así como, el diseño de cada elemento que compone la estructura del puente. Sin embargo, en algunos casos no es clara o se presentan inconsistencias en la definición de condiciones del terreno como el caso del nivel freático, o incluso que se menciona en el documento introductorio que no se realiza análisis de estabilidad de taludes cuando si se incluyó. A continuación, se comenta con mayor especificidad para cada documento revisado, los hallazgos encontrados

III.1 CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Alajuela”

Se revisa el documento “Proyecto Diseño y Construcción de la Ampliación del Puente Río Alajuela. Informe final. Capítulo 1, Introducción”, elaborado por el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. En este documento introductorio, se hace una explicación clara de las características y condiciones en las que se debe llevar a cabo la intervención prevista en la obra vial.

El documento cuenta con la topografía del sitio del puente y los sitios aledaños. En los aspectos geotécnicos se incluye el estudio de suelos para el diseño de pavimentos y análisis de estabilidad de taludes. Además, se incluyen conteos vehiculares para las proyecciones de tránsito, inventario vial de obras existentes y diseño de la estructura de pavimento.

La revisión en este documento se concentró en los apartados 1.6.4 “Estudio de Geotecnia” y en parte del 1.6.5 “Diseño de Estructuras” sobre todo en lo concerniente a obras geotécnicas y especificaciones de materiales.

III.1.1 Apartado 1.6.4 “Estudio de Geotecnia”

Al revisar este apartado, se considera adecuada la campaña propuesta para realizar el análisis geológico geotécnico del suelo, establecer condiciones del terreno y cimentación, análisis de estabilidad de taludes, conclusiones y recomendaciones.

Se describe que toda la investigación se realizó cumpliendo a cabalidad lo establecido en las normativas vigentes en Costa Rica. Los ensayos de laboratorio fueron realizados por un laboratorio acreditado ISO-17025 (Laboratorio de Materiales de CACISA).

El apartado incluye una descripción básica de la metodología utilizada para la ejecución de las perforaciones y la optimización de la recuperación y manejo de las muestras. El detalle de las campañas realizadas, así como los resultados obtenidos se discutirán en el apartado III.2 Capítulo 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Alajuela”.



Además, se describe el trabajo realizado para la inspección geofísica, con la cual se realizaron dos perfiles de 125 m en cada una de las márgenes.

Finalmente se incluye una breve descripción del perfil geotécnico obtenido, se describe la presencia de tres capas geotécnicas correspondientes a la formación geológica Barva y en el estrato superficial limos de color café.

III.1.2 Apartado 1.6.5 “Diseño de Estructuras”

En el apartado de estructuras, se realiza una descripción de los criterios y especificaciones utilizadas para el diseño de las mismas. Se considera HL-93 la carga vida para el diseño, que corresponde al diseño del carril de carga, lo cual se considera apropiado debido a la densidad del paso vehicular registrado en la zona.

Adicionalmente se describe la resistencia del concreto a utilizar en los bastiones y muros, el cual va desde los 280 kg/cm², y para las vigas principales se utilizará concreto de hasta los 450 kg/cm². Todo el acero de refuerzo cumple con las designaciones de la ASTM A706 que establece grado 60 para la carga que deberá soportar la estructura.

Finalmente se presenta el detalle de perfil y sección transversal del puente y el bastión, en el cuál se especifica claramente todas las dimensiones, ubicaciones de los elementos y consideraciones de diseño necesarias para la construcción de la estructura. El detalle del diseño, así como la memoria de cálculo se discutirán en el apartado III.3 Capítulo 6: “Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Alajuela”.

En general el documento introductorio realiza una adecuada descripción de las consideraciones y procedimientos a nivel general, con el cual se adquiere la información básica sobre los aspectos relevantes del proyecto.

III.2 CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Alajuela (incluidos los anexos)”

Se revisa el documento “Proyecto Diseño y Construcción de la Ampliación del Puente Río Alajuela. Informe final. Capítulo 5, Estudios Geotécnicos”, elaborado por el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. En este documento, se presentan los resultados de los estudios geológicos y geotécnicos necesarios para el Proyecto: “Puente sobre río Alajuela de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso corredor vial San José - San Ramón y sus radiales. Lote 1”. Adicionalmente, el documento cuenta con los anexos, en los que se incluyen fotografías y esquemas de la situación actual del puente, procedimientos de los sondeos, ubicación de los mismos y resultados de ensayos de laboratorio.

III.2.1 Apartado 5.1. “Estudios geológicos regionales y locales”

Al revisar este apartado, no se tienen comentarios pues parece adecuada la información suministrada. En general se encontraron cuatro distintas formaciones de materiales, la Tabla 1 muestra un resumen de las unidades geológicas presentes en la zona.

Tabla 1. Resumen de las unidades geológicas presentes en la zona

Nombre	Simbología	Descripción
Informe LM-IG-09-2020	Setiembre, 2020	Página 7 de 27



Formación Barva	Qv1	Corresponde con una secuencia de ignimbrita, que inicia con un techo estratigráfico conformado por gravas, en se encuentran más bloques aumentando la cantidad de clastos vesiculares
Suelos de color café	-	Sobreyaciendo a la secuencia de ignimbrita se encuentran limos de plasticidad media a alta con poca arena, color café oscuro con manchas coloradas y negras, con clastos alterados que a veces llegan a ser muy abundantes.
Rellenos antrópicos y suelos rojizos pardos intermezclados	Limo-arcillosos (ML)	Corresponden a arenas y limos con algo de gravas y poca arcilla, color café con tonos naranjas o bien grises, plasticidad baja a media, permeabilidad aparente baja, humedad baja, las gravas son angulares muy heterogéneas
Depósitos aluviales resientes	Q _{AL}	Están representados por arenas finas a gruesas, gravas y bolos producto de la actividad fluvial,

Finalmente se realiza una breve descripción de las posibles amenazas geológicas, para lo cual se obtuvieron fotografías aéreas. A pesar de no encontrarse dislocaciones tectónicas, se registra alto grado de fracturamiento en los macizos rocosos, esto concuerda con lo observado en los documentos del anexo 5.5. Se considera apropiada la recomendación de protección de los taludes de corte y relleno con una capa vegetal para evitar la erosión.

III.2.2 Apartado 5.2 “Estudio geotécnico para el puente Río Alajuela”

Al revisar el apartado se considera que se brinda un apropiado desarrollo explicativo de la metodología utilizada para realizar el estudio geotécnico y aportar las conclusiones y recomendaciones para el desarrollo del proyecto en el correspondientes al perfil geotécnico.

Los estudios realizados se consideran apropiados puesto que cumplen con los requisitos establecidos en las normativas vigentes en Costa Rica. Se reportaron dos perforaciones a rotación y dos perfiles geofísicos. Específicamente en la sección 5.2.2.2. Estabilidad de taludes, se indica que no se encontraron ladera potencialmente inestables, ni pendientes de importancia, por esta razón no realizan un análisis detallado de estabilidad de taludes. Se considera importante contar con registros fotográficos que permitan verificar esta condición, ya que en la descripción geológica se menciona que los macizos rocosos se encontraban con alto grado de fracturamiento. Además, se considera pertinente analizar la estabilidad de los taludes de roca para garantizar la seguridad de la estructura.

En general 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. Sin embargo, no se tiene claridad de los datos específicos para establecer los parámetros geotécnicos utilizados para el planteamiento del modelo geotécnico. Un resumen de los parámetros geotécnicos determinados para cada unidad geotécnica se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de resultados obtenidos para la caracterización del perfil del suelo del sitio

Capa	Descripción	Profundidad (m)	Características físicas y mecánicas
Informe LM-IG-09-2020		Setiembre, 2020	Página 8 de 27



				γ_f	RQD	Eo	Correlaciones condición drenada	
		MI	MD	(kN/m ³)	(%)	(kPa)	c (kPa)	ϕ (°)
1	Limos plásticos con presencia de arenas y gravas. Color café rojizo a café amarillento.	0.00 - 2.20	0.00 - 4.50	16.2	-	5000-25000	15	24
2	Toba soldada tipo ignimbrita, muy interperizada. Color grisáceo. Se comporta como una arena gravosa con pocos finos.	2.20 - 5.27	4.50 - 7.03	18.5	0	10000-30000	-	26
3	Ignimbrita de color gris a gris negruzco. Presenta abundantes manchas de oxidación de color amarillento especialmente en los primeros tres metros del tramo.	5.27 - 25.25	7.03 - 17.91	21.5	0-52	30000-100000	-	33-36

Para la elaboración del modelo geotécnico correspondiente al sitio del puente, no se realizaron ensayos SPT, y se tomaron como referencia los valores N_{spt} obtenidos de trabajos previos. Se considera apropiado realizar los ensayos de campo necesarios para el estudio del suelo en los puntos de interés específicos, por lo que haber realizado al menos un ensayo de penetración estándar para confirmar los resultados obtenidos en investigaciones anteriores. Sin embargo, como se ejecutaron perforaciones a rotación, se considera aceptable complementar la información con los resultados de trabajos previos.

A partir de la exploración geofísica se realizaron dos perfiles geofísicos de 50 m de longitud ubicados en ambas márgenes del río. La información obtenida de la exploración geofísica se verifica en los anexos 5.2 y 5.4. Se concluye que se realizó un adecuado procedimiento de exploración que complementa y concuerda con la información previa obtenida, mostrando que el terreno se compone principalmente de tres capas de materiales. La Tabla 3 muestra un resumen de resultados de geofísica.

Tabla 3. Resultados obtenidos de exploración geofísica

Capas geotécnicas	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Espesor (m)	Correlación geológica
1	250-428	105-190	0,5-3,00	Suelos color café.
2	573-730	260-520	4,50-9,50	Toba soldada
3	1573-3792	815-2200	>15 m	Ignimbrita

En cuanto a la zona sísmica y tipo de suelo, se consideran adecuadas las consideraciones para el diseño seleccionadas de acuerdo con la ubicación del proyecto. Según el Código Sísmico de Costa Rica, el cantón de Alajuela, distrito de Garita se ubica en la zona sísmica III. A partir de los resultados de la refracción sísmica se determinó la velocidad de onda cortante promedio V_s , finalmente se concluye que el sitio geotécnico corresponde con el tipo S_2 . Estas consideraciones son apropiadas y brindan información necesaria para el correcto diseño.



Finalmente se brindan recomendaciones basadas en la exploración geotécnica realizada. Se considera apropiada la recomendación de cimentar utilizando pilotes preexcavados, ya que como se observó en los resultados de las exploraciones, los primeros 15 metros aproximadamente corresponden a un material de baja capacidad soportante. Además, se considera adecuado concluir que no hay riesgo de que ocurra el fenómeno de licuación en esta zona, esto se respalda con la información geológica de la zona y los resultados de la exploración geotécnica.

Se considera adecuado indicar que como recomendación se debe prestar atención a posibles problemas que se puedan presentar por el fenómeno de socavación en la cimentación del puente.

III.2.3 Apartado 5.3. “Estudio geotécnico para el análisis de estabilidad de taludes”

Se revisa la información de los resultados de los ensayos de campo complementarios realizados para el análisis de estabilidad de taludes. El apartado incluye los resultados obtenidos a partir de cinco perforaciones mediante el método de ensayo SPT. A partir de los resultados se caracterizaron cuatro capas y no se detectó nivel freático.

Al igual que se mencionó en el apartado anterior, los estudios realizados se consideran apropiados puesto que cumplen con los requisitos establecidos en las normativas vigentes en Costa Rica. Además, se describe la metodología apropiada para la ejecución del ensayo de penetración estándar SPT. Al material recuperado mediante la penetración se le realiza la correspondiente descripción, caracterización y clasificación tanto visual como por ensayos de laboratorio. La Tabla 4 muestra un resumen de los resultados obtenidos para cada capa identificada.

Tabla 4. Resumen de los resultados obtenidos para el análisis de estabilidad de taludes

Capa	% Finos	LL (%)	IP (%)	G _s	C (kPa)	Φ (°)	E ₀ (kPa)	
1	CH	67.20	50.5	21.5	2.664	20	26	10 400 - 12 800
2-A	MH	94.60	60.67	26.33	2.678	23	26	11 600 - 14 000
2-B	MH	98.90	67	28.5	2.706	25	27	11 000 - 32 000
3	MH	82.20	61	29	2.674	21	25	6 800 - 15 800
4	MH	98.60	64	25	2.723	20	24	5 600 - 11 600

Se identifica que la caracterización geotécnica se basa en los resultados de ensayos de laboratorio y los resultados de los ensayos in situ, que brindan la información para obtener las correlaciones de datos necesarias para establecer las propiedades de los estratos, y presentar las recomendaciones adecuadas para el análisis de estabilidad de taludes.

La clasificación que se da al terreno se considera correcta, ya que concuerda con lo establecido en el Código de Cimentaciones de Costa Rica en la Tabla 2.2, establece la zona de cimentación como zona III, para el cual corresponde una aceleración pico efectiva a_{ef} de 0.33.

Es consistente con los resultados obtenidos y el perfil geotécnico establecido, no asignar potencial de que ocurra el fenómeno de licuación en esta zona. Finalmente, para el análisis de estabilidad de taludes, se verifican en el Anexo 5.2 los resultados y las condiciones de análisis tomadas en cuenta. Se utilizó el Software GeoStudio y se determinó para la superficie de falla crítica el factor de seguridad en condición estática, estático con nivel freático y pseudoestático. En este punto se identifican inconsistencias, ya que en el punto D “Profundidad del nivel freático” de la sección 5.3.4.2 “Caracterización geotécnica”, se reporta que no se encontró el nivel freático en los sondeos realizados, en el análisis lo ubican a 14 m. Se recomienda revisar esta información y ser consistentes en el análisis realizado. Además, en caso de haber presencia de nivel freático, se recomienda realizar



el análisis de estabilidad del talud en la condición crítica, la cual corresponde al análisis pseudoestático con presencia de nivel freático.

III.3 CAPITULO 6: “Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Alajuela”

Se revisa el documento “Proyecto Diseño y Construcción de la Ampliación del Puente Río Alajuela. Informe final. Capítulo 6, Memorias de cálculo”, elaborado por el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. En este documento, se presenta un desarrollo completo de los cálculos realizado para el diseño de las estructuras que componen el puente.

El documento cuenta con el desarrollo de los cálculos para el diseño de super y subestructura por el LRFD, geometría de la superestructura, diseño de la losa de puente, diseño de las vigas del tablero, revisión deflexiones, cálculo de bastiones, cálculo de los diafragmas en los apoyos, cálculo de los apoyos de neopreno, diseño parapeto y cálculo de la losa de aproximación.

La revisión en este documento se concentró en los apartados 9.2 “Geometría de la fundación”, 9.3 “Diseño de los pilotes” y 12.2 “Diseño del muro” sobre todo en lo concerniente a obras geotécnicas.

Se hizo una revisión general del resto de los apartados, no se tienen comentarios específicos. En general se observa que fueron tomados en cuenta los aspectos relevantes en el diseño de las diferentes estructuras, como los son resistencia de los materiales, coeficientes de los materiales y cargas estimadas, así como las respectivas revisiones por cortante y flexión de los elementos.

III.3.1 Apartado 9.2 “Geometría de la fundación”

Al revisar el apartado, se observa que se muestra claramente la geometría de la fundación, se especifican claramente las dimensiones de cada elemento que la compone, así como la cantidad longitud y distribución de los pilotes.

III.3.2 Apartado 9.3 “Diseño de los pilotes”

Se revisa la información del apartado y se concluye que se realiza un adecuado análisis y revisión de las condiciones de diseño para garantizar la integridad de los pilotes. Se observa que se toma en cuenta en los cálculos aspectos como el efecto de grupo, capacidad por flexión y por cortante. Sin embargo, para el análisis de la capacidad por flexión de los pilotes, solo se presentan los diagramas de momentos y cortantes del pilote que establecen como “crítico”, no se muestra información del resto de los pilotes. En cuanto a aspectos estructurales se verifica que se revisan aspectos como cuantías de acero y se considera la resistencia del concreto.

En general la información presentada se considera aceptable y los cálculos mostrados son consistentes con las recomendaciones brindadas con el análisis geotécnico del terreno y la capacidad soportante del mismo.

III.3.3 Apartado 12.2 “Diseño del muro”

Al revisar la información para el diseño del muro, se observa que se toman en cuenta en el análisis las diferentes combinaciones de carga. Se muestran los cálculos realizados para el diseño por flexión y cortante, además se verifican que se realizaron las revisiones por cuantías de acero, así como también que se hayan hecho las revisiones para agrietamiento y acero de temperatura. En general la memoria de cálculo muestra los valores utilizados para el diseño del muro, así como los factores considerados y el respectivo cumplimiento de las revisiones.



III.4 Planos

Se revisan los planos aportados por el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A., los cuales contienen información suficiente para comprender y complementar el informe del estudio geotécnico para el diseño del Puente sobre el Río Alajuela. Se incluyen planos sobre la ubicación del sitio y de los sondeos realizados, secciones típicas y las especificaciones constructivas de los elementos que componen el puente.

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. Comentarios a documentos del proyecto ampliación del puente en río Ciruelas

En general, se observa que los documentos cuentan con la información necesaria para que se pueda realizar un adecuado proceso de diseño y los valores geotécnicos parecen congruentes con la descripción de materiales encontrados en el sitio. Sin embargo, se considera pertinente solicitar esclarecer la información base utilizada para establecerlos.

Adicionalmente, se encontraron incongruencias entre los valores de capacidad de soporte o de parámetros geomecánicos de los materiales establecidos en el capítulo 5 del estudio geotécnico y los utilizados en el capítulo 6, como base del diseño. Se considera necesario solicitar la aclaración respectiva.

A continuación, se comenta con mayor especificidad el resultado detallado de la revisión para cada documento.

IV.1 CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Ciruelas”

Se revisa el documento “CAPITULO 1: Introducción – Proyecto ampliación del puente río Ciruelas” elaborado por el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. En él se realiza una breve explicación de los trabajos adicionales realizados para generar las propuestas finales de los diseños de las obras en el río Ciruelas.

En el apartado 1.6.4 “Estudio de geotecnia” se describen las actividades realizadas para concretar el modelo geotécnico del sitio, determinar las condiciones para la cimentación de las obras, verificar el estado de la zona para realizar el análisis de estabilidad requerido y proponer los diseños finales de las obras correspondientes.

Entre las actividades mencionadas se encuentran ejecución de sondeos de rotación y SPT adicionales a los existentes, ensayos geofísicos, ensayos de laboratorio y el análisis correspondiente para generar las propuestas. Se indica que los ensayos de laboratorio fueron realizados por Cacisa que se encuentra acreditado con la norma ISO-17025. Cabe destacar que los laboratorios lo que acreditan son métodos de ensayo y prácticas normalizadas, no el laboratorio como tal como se da a entender en este apartado y que la norma que utiliza el Ente Costarricense de Acreditación es la norma INTE-ISO/IEC 17025, que es equivalente a la ISO/EIC 17025.

En cuanto al diseño de las estructuras descrito en el apartado 1.6.5.1, el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA muestra dos opciones de diseño: muro de concreto reforzado y muros tipo Keystone. Ambas opciones se consideran para la retención de los rellenos de aproximación o la conformación



de taludes para los accesos al puente. Estas recomendaciones para las obras de este tramo del proyecto parecen adecuadas.

A continuación, se comentará a detalle los resultados de la revisión a los capítulos 5 “Estudio geotécnico” en cuanto a la ejecución de ensayos de campo y laboratorio, y el establecimiento del modelo geotécnico, así como la revisión del capítulo 6 “Estructuras – memorias de cálculo”, donde se realizarán los comentarios respectivos al diseño geotécnico de las dos opciones de muros indicadas en este capítulo introductorio.

IV.2 CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas”

Se revisa el documento “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas” elaborado por el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. En este se detalla el trabajo realizado en lo concerniente a la investigación complementaria para establecer el modelo geológico – geotécnico final, y recomendar el diseño de las obras correspondientes en el sitio de estudio.

En general se observa que los parámetros geotécnicos, el perfil estratigráfico y las propiedades del medio parecen adecuadas. Sin embargo, no existe claridad de la procedencia de la información que se utiliza para concluir que los parámetros geotécnicos son los indicados.

A continuación, se muestra la revisión detallada de los apartados en que se subdivide el documento anteriormente mencionado.

IV.2.1 Apartado 5.1 “Estudios geológicos regionales y locales”

En cuanto a la descripción de la geología regional del sitio en estudio, el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA indica que se han encontrado 3 formaciones:

Tabla 5. Formaciones de la geología regional encontradas en el sitio del río Ciruelas

Formación	Características
Depósitos de avalancha ardiente (Qv ₃)	Depósitos de piedra pómez seguido de flujos de ceniza, lapilli y bloques. También se caracteriza por presentar ignimbritas
Fm – Barva (Qv ₁)	Lavas andesíticas y andesítico – basálticas con espesores entre 10 y 80 m. Intercalaciones de cenizas y ocasionalmente lapilli cada 10 m
Depósitos recientes	Compuestos de aluviones y coluvios de pequeño espesor y de distribución espacial limitada

La información anteriormente descrita, no es posible complementarla con el informe de estudios preliminares “Estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales, lote 1A: Proyecto de demolición y construcción del puente sobre el río Alajuela y el puente sobre el río Ciruelas. Informe final. 01 – Memoria. Informe 04 – Geotecnia y Mecánica de suelos”, elaborado por el consorcio IDOM – DEHC, ya que no se realizó la descripción de la geología regional de la zona en estudio.

Con respecto a la geología local, se cuenta con la siguiente descripción:

Tabla 6. Formaciones de la geología local encontradas en el sitio del río Ciruelas

Informe LM-IG-09-2020	Setiembre, 2020	Página 13 de 27
-----------------------	-----------------	-----------------



Formación	Características
Fm – Barva (Qv ₁)	Coladas heterogéneas de lavas del tipo andesítico – basálticas intercalados con materiales piroclásticos tipo toba. Las lavas se encuentran con distinto grado de alteración, encontradas a profundidades entre 5 a 8.5 m
Suelo color café	Es un material superficial compuesto por una matriz arenosa con clastos alterados por el intemperismo de la formación Barva. Cuentan con espesores entre 2 a 4 m
Rellenos antrópicos	Materiales provenientes de movimientos de tierra y depositados en la zona. Cuentan con una matriz arena – limosa con lentes tipo grava angulares. Se encuentran en las zonas de los lados del trazado y en las aproximaciones al puente. Se recomienda no cimentar en este material
Depósitos recientes	Compuestos por aluviones de poco espesor, compuesto por arenas y gravas fluviales

Estos materiales encontrados y descritos, concuerdan con lo descrito en el documento “Estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales, lote 1A: Proyecto de demolición y construcción del puente sobre el río Alajuela y el puente sobre el río Ciruelas. Informe final. 01 – Memoria. Informe 04 – Geotecnia y Mecánica de suelos”, elaborado por el consorcio IDOM – DEHC.

En cuanto a la hidrogeología, se indica que se encuentra un acuífero a nivel del río, el cual es el que alimenta sus aguas. Esta condición se encuentra acorde con las características de zonas que se encuentran alrededor de la cuenca de un río.

Por último, el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA indica que las amenazas geológicas encontradas en la zona se basan en la eventual erosión de los suelos que conformarán los taludes cercanos por lo que debe realizarse es una protección ante dicho fenómeno para evitar problemas futuros de inestabilidad y caídos en las zonas aledañas al puente. Esta recomendación se considera adecuada, a pesar de que los taludes que se conformarán sean de baja altura.

En cuanto al estudio de amenaza sísmica específico para el sitio del puente del río Ciruelas, el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA indica que su solicitud se encuentra en proceso. A este respecto se comenta que se considera adecuado contar con dicho estudio antes de la construcción de la obra, sobretodo porque un puente es una estructura especial que requiere de un estudio propio y habría que verificar que los supuestos tomados en cuenta en el diseño del mismo sean adecuados.

IV.2.2 Apartado 5.2 “Estudio geotécnico para el puente río ciruelas”

En este apartado el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA indica que la exploración adicional realizada consiste en dos perforaciones a rotación y 2 perfiles geofísicos en cada margen del río Ciruelas. Adicionalmente, se realizaron ensayos de laboratorio a muestras tomadas de estas dos exploraciones.

De esta investigación adicional, el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA logra determinar que, en el sitio del puente y obras anexas, se localizan 3 capas de material, de las cuales 2 de ellas se subdividen a su vez en dos capas. La descripción de cada una se muestra a continuación:

Tabla 7. Litología de los materiales del sitio del río Ciruelas

Capas	Espesor	Descripción
1	MI: 3.80 m MD: 2.40 m	Limo plástico color café con arena y fragmentos de bloques lávicos



2-A	MI: 2.80 m MD: 4.00 m	Lava andesítica color gris. Se puede encontrar una matriz arenosa con bloques lávicos. Con la resistencia a la compresión simple entre 9 a 29 MPa Se relacionan con material de la formación Barva
3-A	MI: 2.80 m MD: 4.00 m	Material limo arenoso proveniente de tobas, color café. Se relacionan con material de la formación Barva
2-B	MI: 3.60 m MD: 4.55 m	Lava andesítica color gris. Material menos fracturado que el 2-A. Con la resistencia a la compresión simple entre 42 a 44 MPa. Se relacionan con material de la formación Barva
3-B	MI: 11.00 m MD: 11.55 m	Toba arenosa de color café. La zona más fracturada se comporta como arena limosa. Se relacionan con material de la formación Barva

Al comparar la descripción de estos materiales con los indicados en el informe “Estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales, lote 1A: Proyecto de demolición y construcción del puente sobre el río Alajuela y el puente sobre el río Ciruelas. Informe final. 01 – Memoria. Informe 04 – Geotecnia y Mecánica de suelos”, elaborado por el consorcio IDOM – DEHC, se pueden encontrar similitudes, pero no son exactas como para establecer la concordancia precisa indicada en el informe del consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA.

Por lo tanto, se procede a revisar los anexos correspondientes a las descripciones de los sondeos y los registros fotográficos correspondientes a las cajas de perforación, que se encuentran en los apartados Anexo 5.4.5 “perfiles de rotación” y Anexo 5.2.4 “Fotografías de sondeos” respectivamente, y se comparan con lo indicado en el informe del consorcio IDOM – DEHC, en el Anexo I “Sondeos” y tampoco se observa mayor coincidencia.

Sin embargo, a pesar de ello, se puede observar que la descripción dada por el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA respecto a las cajas de perforación de su exploración adicional, parece ser adecuada y por tanto se puede considerar que tanto el número como la descripción del material para cada capa encontrada, es adecuado.

Con respecto a los parámetros geomecánicos, el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA determina que las propiedades de los materiales son las siguientes:

Tabla 8. Parámetros geomecánicos para la estratigrafía del sitio del río Ciruelas

Capa	Cohesión no drenada (kPa)	Ángulo de fricción (°)	Densidad (kN/m ³)
1	20	26	17.50
2-A	10	41	21.50
3-A	40	35	19.00
2-B	15	42	23.00
3-B	50	39	21.00

En apartado Anexo 5.4.7 “Estimación de las propiedades de los materiales” el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA coloca una tabla Excel con un ejemplo de cálculo para determinar las propiedades de los materiales y en el apartado 5.2.4.2 “Caracterización geotécnica” se indica que se utilizan varias correlaciones para establecer los valores de los parámetros geomecánicos, destacando la metodología AASHTO LRFD (2017). A pesar de lo anterior, no queda clara la procedencia de los valores mostrados en la Tabla 8, ni los datos utilizados para realizar las correlaciones ni de la formulación de la correlación ya que al revisar el capítulo 10 del documento “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications” (2017) no se muestran las fórmulas para la determinación de los parámetros geomecánicos. Por lo tanto, se considera recomendable solicitar el esclarecimiento de la procedencia de dichos valores.



En cuanto al perfil geotécnico mostrado en los apartados 5.2.4.2.C “Perfil geotécnico” y Anexo 5.4.5 “Perfiles de rotación”, para que se constituya en el modelo geotécnico del sitio, se requiere que se muestre claramente la división de las capas y los parámetros geomecánicos establecidos, de lo contrario es solamente un esquema. Adicionalmente, es importante que para establecer el modelo geotécnico se deben analizar los resultados de todos los ensayos de campo y laboratorio realizados, por lo que se considera adecuado haber discutido previamente los resultados de los ensayos geofísicos para correlacionar las velocidades con el resto de los parámetros y con ello confirmar la estratigrafía encontrada.

Lo discutido por el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA en el apartado 5.2.5.1.C “Resultados geofísicos” puede que no posea la misma relevancia que si se hubiese utilizado en conjunto con el resto de los datos para determinar las propiedades de los materiales. Sin embargo, a partir de los resultados de geofísica el consorcio determina que la zona sísmica es zona III y el tipo de suelo es S₂ los cuales se consideran adecuados respecto a la investigación realizada. Sin embargo, es importante hacer notar que en el informe “Estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales, lote 1A: Proyecto de demolición y construcción del puente sobre el río Alajuela y el puente sobre el río Ciruelas. Informe final. 01 – Memoria. Informe 04 – Geotecnia y Mecánica de suelos”, elaborado por el consorcio IDOM – DEHC, el resultado del tipo de suelo es S₃.

En el apartado 5.2.5.1.A “Capacidad soportante” el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA solamente muestra valores de número de golpes de SPT indicando que es un perfil crítico. Sin embargo, la procedencia de los números de golpes, en conjunto con el establecimiento de las profundidades de cada capa, no son claros, por lo que se considera recomendable solicitar el esclarecimiento al respecto.

Adicionalmente, es importante indicar que el colocar un perfil de número de golpes de SPT no es sinónimo de “capacidad de soporte”, por lo que si la intención del Pedregal – Cacisa – CODOCSA era solamente indicar que con dichos valores es posible determinar la capacidad de soporte mediante correlaciones, es importante que se indique así en el informe, de modo contrario no es posible conocer la capacidad de soporte para cada capa de material.

Ahora bien, en el apartado 5.2.5.2.B “Cimentaciones” se desarrolla la determinación de la capacidad última de la cimentación profunda propuesta, pero no se determina su capacidad admisible solicitada por el Código de Cimentaciones de Costa Rica. Se considera importante mostrar claramente este parámetro, pues es el que el ingeniero estructural utilizará cuando desarrolle el diseño de la cimentación.

A pesar de lo anteriormente comentado, se considera adecuado recomendar cimentaciones profundas para esta estructura, por lo que quedaría por confirmar es que se alcance el factor de seguridad según la normativa del Código de Cimentaciones utilizando las características propuestas para la fundación. Aunado a lo anterior, se considera importante que, en la determinación de la capacidad última de los pilotes, se muestre explícitamente la longitud de empotramiento que se está suponiendo en el medio competente.

Cabe destacar que el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA indica que no logra identificar laderas con indicios de inestabilidad o la presencia de taludes con pendientes importantes, durante la exploración adicional realizada o en recorridos de campo de visitas realizadas, por lo que no se hace necesario analizar la estabilidad de taludes.



Al observar la Figura 1, se puede constatar que dicha aseveración es adecuada y, por lo tanto, se considera adecuado el no realizar análisis de estabilidad de taludes, a menos que durante la etapa constructiva del puente y obras aledañas, se generen taludes de pendientes importantes y que si se requiera de un análisis adicional.



Tomado de: Rutauno.cr



Tomado de: Mapio.net

Figura 1. Vistas del sitio del puente sobre el río Ciruelas

Respecto al análisis de licuación del sitio, al no contar con un perfil geotécnico claramente definido, no es posible verificar las aseveraciones que el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA indica en el apartado 5.2.5.2 “Análisis de licuación” pues se establece que los niveles de cimentación propuestos son materiales lávicos y tobáceos, sin embargo en las descripciones de los materiales mostradas en la Tabla 7, que se extrae del informe del consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA, se indica que hay presencia de arenas limosas. Adicionalmente a esto, no se cuentan con resultados de ensayos de granulometría o límites de Atterberg donde se pueda establecer que no se trata de los materiales finos, uniformes y sueltos, que mencionan son susceptibles a la licuación. Por lo tanto, se considera recomendable que se realice un análisis de licuación más profundo con respaldos numéricos que acompañen las indicaciones dadas en el informe acompañado de la descripción de metodología empleada para su análisis.

Vale la pena señalar que, si se presentase el fenómeno de licuación, esto se deberá tomar en consideración cuando se establezca la capacidad última del pilote en fricción, pues la o las capas que mostrarían dicho comportamiento, no se deberían tomar en cuenta para establecer la capacidad del pilote. Es por ello que se considera aún más importante que se realice un análisis, aunque sea de las propiedades físicas de los materiales con ensayos de granulometría o límites para asegurar con respaldo técnico que el fenómeno no se presentará en dicho sitio.

Con respecto a la determinación de los asentamientos que se pueden presentar en el sitio dada la construcción del puente, se comenta que el método del cimiento equivalente mencionado en el documento “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications” (2017) es adecuado.

En cuanto a los valores de los coeficientes de empuje activos y pasivos, son adecuados en el tanto se logre justificar la determinación del ángulo de fricción, según se comentó anteriormente, pues los orígenes de los parámetros geomecánicos establecidos en el informe del consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA no son claros.

Para el resto de los apartados que no cuentan con comentarios se considera que la información es adecuada.



IV.3 CAPITULO 6: “Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Ciruelas”

Se revisa el documento CAPITULO 6: “Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Ciruelas” elaborado por el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA, el cual consiste en la presentación de las memorias de cálculo para las distintas estructuras descritas en el documento CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Ciruelas”.

Cabe destacar que no se realiza la revisión del diseño del puente sobre el río Ciruelas, dado que se trata de un diseño estructural y no es la competencia técnica del Programa de Ingeniería Geotécnica.

IV.3.1 Apartado 9.1 “Cálculo de bastiones”

Se revisa el apartado 9.1 “Cálculo de bastiones” del informe de diseño de estructuras con el fin de verificar que los aspectos geotécnicos fueron considerados adecuadamente en el modelo numérico del diseño de los bastiones del puente.

En esta memoria de cálculo se observa que se utiliza un tipo de suelo S_3 con una zona sísmica III. Sin embargo, en el apartado IV.2.2 se comentó que el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA, en su documento “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas” indica que el tipo de suelo es S_2 con una zona sísmica III. Por lo tanto, existe una incongruencia entre el resultado del estudio de suelos y el diseño del mismo consorcio.

Ahora bien, el consorcio IDOM – DEHC en su informe “Estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales, lote 1A: Proyecto de demolición y construcción del puente sobre el río Alajuela y el puente sobre el río Ciruelas. Informe final. 01 – Memoria. Informe 04 – Geotecnia y Mecánica de suelos”, indica que el tipo de suelo para el sitio del río Ciruelas es S_3 , así que se considera apropiado que el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA, realice una revisión y mantenga congruencia con los resultados tanto del estudio geotécnico como en la memoria de cálculo de las obras.

En cuanto a los coeficientes de balasto utilizados, estos se consideran adecuados y concordantes con la información suministrada en el documento “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas”.

IV.3.2 Apartado 9.3 “Diseño de los pilotes”

En este apartado, el diseñador indica que la capacidad admisible de los pilotes es de 691 Ton haciendo alusión que esas son las capacidades axiales de los pilotes de acuerdo con el estudio de suelos. Sin embargo, en el documento “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas” no se llega a observar la capacidad admisible del pilote, que en realidad se puede determinar fácilmente de la capacidad última de los mismos, pues solamente se requiere dividir entre el factor de seguridad de 3.

Sin embargo, a pesar de lo indicado anteriormente, y como se puede observar en la Tabla 9, ninguno de los valores de capacidad de los pilotes presentados coincide con el valor utilizado por el ingeniero estructural en el diseño de los pilotes, para un pilote de 1.00 m de diámetro y 15 m de longitud.

Tabla 9. Capacidad total de los pilotes propuestos por el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA

Pilote	Qult (Ton)	Qadm (Ton) ⁽¹⁾
φ: 1.00 m L: 15 m	687.60	229.2



(1): Dividiendo Qult entre un factor de seguridad de 3 según CCCR

Es importante destacar que en el ejemplo de cálculo mostrado en el Anexo 5.4.8 “Cálculo de capacidad de carga en pilotes” del documento anteriormente citado, los valores tampoco concuerdan con lo estimado en el apartado 5.2.5.2.b “Cimentaciones” del mismo informe.

Por lo tanto, se considera de suma importancia solicitar se esclarezca esta discordancia entre los valores tomados del estudio de suelos y los utilizados en el diseño. Si el valor de 691 Ton es correcto, entonces solicitar se indique en qué sección del documento “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas” se encuentra.

IV.3.3 Apartado 12 “Diseño del parapeto”

Con respecto al apartado 12 “Diseño del parapeto” se observa que para el diseño del muro se utilizan un ángulo de fricción se presume de un material granular de relleno, pues no corresponde a ninguno de los valores de este parámetro para los materiales encontrados en el sitio, resumidos en la Tabla 8. Sin embargo, un ángulo de fricción de 27° típicamente y según la literatura, corresponde a una arena suelta, caso contrario a lo indicado en la memoria de cálculo. Se considera adecuado que se clarifique este valor a qué tipo de material corresponde.

Los valores correspondientes a los coeficientes de empuje en reposo, activo y pasivo son adecuados dado el ángulo de fricción seleccionado.

IV.3.4 Muro Keystone

El diseño del muro de Keystone es realizado por la empresa Camacho y Mora, según lo observado en el documento adjunto en las memorias de cálculo. Este muro consiste en el reforzamiento de un material de relleno con algún tipo de geosintético que cumpla con dicha función y la colocación de bloques de mampostería tipo Keystone como elemento de fachada.

En este caso, las propiedades del geosintético utilizado se resumen a continuación:

Tabla 10. Propiedades de la geomalla Miragrid® 3XT

Propiedad	Método de ensayo	Valor obtenido
Resistencia última a tensión	ASTM D6637	51.1 kN

Revisando con lo establecido en la sección 714 “Geosintéticos” de CR, se observa que el valor de resistencia cumple para los tipos I y II, que en este caso debe ser mayor que los valores especificados.

Para el caso de los parámetros del material que se empleará como relleno, el valor del ángulo de fricción de 30° se considera adecuado. Sin embargo, el ángulo de fricción y la cohesión para el suelo de la fundación, no corresponde con los parámetros geomecánicos de los materiales encontrados en el sitio del río Ciruelas resumidos en la Tabla 8, por lo que se considera importante solicitar la aclaración de si este valor es un supuesto, y si no lo es, que se indique la referencia al estudio de suelos elaborado por el consorcio Pedregal – Cacica – CODOCSA.

En cuanto a los coeficientes de empuje, dados los ángulos de fricción establecidos para los materiales de relleno y la geometría del muro, se consideran apropiados. La metodología empleada para el diseño del muro también se considera adecuada. Sin embargo, queda la duda de si la capacidad de soporte indicada se determina adecuadamente, dadas las diferencias entre los parámetros geotécnicos encontradas y comentadas anteriormente.

Informe LM-IG-09-2020	Setiembre, 2020	Página 19 de 27
-----------------------	-----------------	-----------------



IV.3.5 Apartado 6.2 “Muro de concreto reforzado”

Al revisar los criterios establecidos para la metodología de diseño de este tipo de muros necesarios a lo largo del proyecto de construcción del puente sobre el río Ciruelas, se considera que son adecuados y se encuentran acorde de lo indicado en el CCCR.

En cuanto a los parámetros geomecánicos del material de relleno (relleno activo) que se utilizará para conformar los accesos al puente, se consideran adecuados. En cuanto a los valores de lo que se denomina relleno pasivo, se considera que es posible que se trate del material natural que se encuentra en el sitio pero las propiedades geomecánicas utilizadas no corresponde con los valores resumidos en la Tabla 8. En este caso se considera preferible solicitar la aclaración del caso.

Lo mismo sucede con la capacidad de soporte última del suelo mostrada en la memoria de cálculo, pues la determinación de esta para cimentaciones superficiales no se menciona en el documento “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas” y en esta memoria de cálculo no se observa de manera explícita la obtención de la misma. Estos comentarios son válidos para los varios tipos de muro de concreto reforzado diseñados en este apartado de la memoria de cálculo.

IV.4 Planos

Se revisan los planos del “Proyecto de demolición y construcción del puente sobre el río Ciruelas”, que consisten en:

1. Planos generales: índice, ubicación geográfica, notas generales y detalles geométricos
2. Sumario de cantidades
3. Secciones típicas del puente sobre el río Ciruelas
4. Planta y perfiles: Planta del sitio del puente, perfil MI, perfil MD, cuadro de datos y cuadros de coordenadas
5. Drenaje menor: plantas de drenaje, alcantarillas, bajantes, cunetas, transiciones y protecciones
6. Drenaje mayor: notas generales, planta general, planta de fundaciones, bastión 1 y sus detalles de refuerzo, bastión 2 y sus detalles de refuerzo, diafragma y sus detalles de refuerzo, vigas con detalles de su refuerzo, muros con su ubicación y refuerzos, y muros keystone con sus detalles.
7. Obras de protección: planta y secciones de los muros de concreto reforzado, detalles,

Respecto a la lámina de fundaciones, queda claro que los pilotes se encontraran empotrados en la capa 3-B que es la más competente. Sin embargo, por las descripciones de los materiales mostrados en esta lámina se observa claramente la existencia de materiales arenosos y limo arenosos que deben ser analizados para determinar si cuentan con potencialidad para presentar el fenómeno de licuación. Por lo tanto, lo comentado en el apartado IV.2.2 se reafirma.

Con respecto a los planos del muro keystone y de los muros de concreto reforzado, estos se consideran adecuados y con la información necesaria requerida para realizar la construcción de los mismos.



V. Comentarios a documentos del proyecto del conector Barreal – Castella

Al finalizar la revisión de los documentos aportados por la unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, en general, se observa que el documento revisado cuenta con un claro desarrollo explicativo respecto a las actividades realizadas. Sin embargo, en algunos casos no es clara la determinación de ciertos parámetros o bien estos no fueron determinados, se observa que, al igual que en el apartado III, hay mucha información repetitiva que incluso resulta contradictoria a lo largo del informe, como es el caso del nivel freático, el cual no fue detectado, pero se asigna una profundidad aleatoria y sin justificación a la hora de realizar el análisis de estabilidad de taludes.

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

V.1 CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto del conector Barreal – Castella”

Se revisa el documento “Proyecto del Conector Barreal-Castella. Informe final. Capítulo 1, Introducción”, elaborado por el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. En este documento introductorio, se hace una explicación concisa de las características y condiciones en las que se debe llevar a cabo la intervención prevista en la obra vial.

El documento cuenta con una breve descripción de los trabajos realizados para el desarrollo del diseño geométrico, diseño de pavimentos, diseño de drenajes menores y elaboración de: planos de planta y perfil, especificaciones técnicas, programa de trabajo, propuesta de señalamiento vial horizontal y vertical y presupuesto, todo a nivel de diseño definitivo para su construcción.

La revisión en este documento se concentró en los apartados 1.6.4 “Estudio de Geotecnia” y en parte del 1.6.7 “Diseño de Pavimentos” sobre todo en lo concerniente a obras geotécnicas y especificaciones de materiales

V.1.1 Apartado 1.6.4 “Estudio de Geotecnia”

Al revisar este apartado, se considera adecuada la campaña propuesta para realizar el análisis geológico geotécnico del suelo, establecer el modelo geotécnico del sitio, determinar las condiciones para la cimentación de las obras, análisis de estabilidad de taludes y proponer las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

Se describe que toda la investigación se realizó cumpliendo a cabalidad lo establecido en las normativas vigentes en Costa Rica. Los ensayos de laboratorio fueron realizados por un laboratorio acreditado ISO-17025 (Laboratorio de Materiales de CACISA).

El apartado incluye una descripción básica de la metodología utilizada para la ejecución de sondeos por el método SPT y caracterización de las capas según el Sistema Unificado de Clasificación. También se describe la metodología de estudio para el análisis de Estabilidad de taludes, la cual se basa en el uso del software SLOPE/W de GeoStudio. Además, se describe el trabajo realizado para la inspección geofísica, con la cual se realizaron dos perfiles de 125 m en cada una de las márgenes. El detalle de las campañas realizadas, así como los resultados obtenidos se discutirán en el apartado V.2 Capítulo 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto del conector Barreal – Castella”.



V.1.2 Apartado 1.6.7 “Diseño de Pavimentos”

En el apartado de Diseño de Pavimentos, se muestran dos propuestas de espesores para la construcción del pavimento de rodamiento, una incluye base estabilizada BE-35 y la otra una base asfáltica. Ambas condiciones cumplen con la demanda solicitada, sin embargo, se recomienda la opción que incluye el uso de base estabilizada.

Ambas propuestas de diseño cumplen con los requerimientos establecidos por la metodología sugerida en la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos de la “American Association of State Highway and Transportation Officials” (AASHTO). El diseño corresponde a un pavimento semi rígido bajo la metodología AASHTO 93. En el apartado V.3 del presente informe se realizará una revisión específica del diseño de base estabilizada BE-35.

V.2 CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto del conector Barreal – Castella”

Se revisa el documento “Proyecto del Conector Barreal-Castella. Informe final. Capítulo 5, Estudios Geotécnicos”, elaborado por el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. En este documento, se presentan los resultados de los estudios geológicos y geotécnicos necesarios para el Proyecto: Conector Barreal - Castella. Adicionalmente, el documento cuenta con los anexos, en los que se incluyen fotografías y esquemas de la ubicación del proyectos, perforaciones y geofísica, registro fotográfico de sondeos, caracterización geotécnica del puente peatonal y taludes, cálculo de capacidad de soporte del terreno y análisis de estabilidad de taludes.

V.2.1 Apartado 5.1 “Estudios geológicos regionales y locales”

En cuanto a la descripción de la geología regional del sitio en estudio, el trazado del proyecto se ubica sobre el arco volcánico de Costa Rica, por lo que es de esperar que las formaciones de la zona correspondan a materiales de origen volcánico. el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA indica que se han encontrado 3 formaciones:

Tabla 11. Formaciones de la geología regional encontradas en el sitio del conector Barreal-Castella

Formación	Simbología	Descripción
Depósitos de avalancha ardiente	Qv3	Están representados por depósitos de pómez de caída en la base. Seguidos por flujos de ceniza, lapilli y bloques
FM. Barva	Qv1	Está representada por coladas de lavas andesíticas y andesítico-basálticas con espesores que van desde 10 m hasta 80 m con intercalaciones de aprox. 10 m de ceniza
Depósitos recientes	Aluviones y coluvios	Los ríos principales que atraviesa el trazado no muestran depósitos aluviales de espesor importante, y su distribución espacial es muy limitada

En cuanto a la geología local se identifican las siguientes formaciones:

Tabla 12. Formación de la geología local encontrada en el sitio del conector Barreal-Castella

Formación	Simbología	Descripción
Depósitos de avalancha ardiente	Qv3	



		Conformada por tobas intemperizadas. Estos materiales se comportan como suelos, y son descritos como: limos plásticos con arena de color café a café claro, de plasticidad media a alta, con una consistencia baja a media, de baja permeabilidad
Suelos de color café	-	Suelos residuales constituidos por limos de color café o pardo, en una matriz limo-arcillosa, de consistencia aparente baja-media, humedad baja.
Rellenos antrópicos y suelos rojizos pardos entremezclados	-	Presentan color café, son materiales sueltos, con materia orgánica y matriz predominantemente arenosa con gravas entre mezclados.

Estos materiales encontrados y descritos, concuerdan con lo descrito en el documento “Estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales, lote 2A: Proyecto del conector Barreal – Castella y la nueva estación de peaje Los Arcos. Anteproyecto. 01 – Memoria. Informe 01 – Memoria descriptiva”, elaborado por el consorcio IDOM – DEHC.

Por ultimo no se establece que la zona del proyecto del conector Barreal-Castella presente riesgo de amenazas geológicas, lo cual es comprobado con el mapa de amenazas y peligros naturales de la Comisión Nacional de Emergencias. Sin embargo, el estudio de amenaza sísmica se indica que se encuentra en proceso, se recomienda revisar los resultados de este análisis previo a la construcción de la obra, para garantizar que los supuestos de diseño sean apropiados para las condiciones de amenaza sísmica.

V.2.2 Apartado 5.2 “Estudio geotécnico para el puente peatonal intercambio Conservatorio Castella”

Al revisar el apartado se considera que se brinda la información necesaria para la descripción de la metodología utilizada para realizar el estudio geotécnico y aportar las conclusiones y recomendaciones para el desarrollo del proyecto en el correspondientes al perfil geotécnico. En este documento se indica que la exploración adicional realizada consiste en la realización de seis perforaciones mediante el método de ensayo SPT, mediante el estudio realizado se caracterizó el suelo encontrado y se le asignó la clasificación SUCS como ML.

De esta investigación adicional, el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A., determina que, en el sitio del conector Barreal-Castella, se localizan dos capas. La descripción de cada una se muestra a continuación:

Tabla 13. Resumen de las propiedades físicas y geomecánicas de los estratos.

Capa	Clasificación	Espesor ⁽¹⁾ (m)	% Finos	LL (%)	IP (%)	Y _d (kN/m ³)	C (kPa)	Φ°
1	ML	0 -2,00	78,48	46,83	16,83	11,9	7	23

Informe LM-IG-09-2020	Setiembre, 2020	Página 23 de 27
-----------------------	-----------------	-----------------



2	ML	2,00- 8,00	80,01	48,57	14,17	12,1	40	26

(1): Espesor aproximado

El apartado 5.2.4.2 “Caracterización geotécnica” indica la caracterización física y las propiedades geomecánicas obtenidas para los estratos de suelo identificados, sin embargo, al revisar los anexos de este documento, solo se encuentran los resultados de los ensayos tanto de laboratorio como los de la metodología SPT, y no se encuentra ninguna muestra de cálculo ni referencia a las correlaciones utilizadas para obtener los valores de resistencia del suelo. Por lo tanto, aunque los resultados mostrados son valores aparentemente congruentes con el material descrito, se recomienda esclarecer la procedencia de dichos valores.

En la sección F. “Perfil Geotécnico” del apartado 5.2.4.2 “Caracterización geotécnica”, se muestra un esquema de los resultados de la investigación de campo y ensayos de laboratorio realizados, en el cual se visualiza gráficamente una aproximación de la ubicación de las capas. Esto no corresponde a un modelo geotécnico ya que se requiere que se muestre claramente la división de las capas y los parámetros geomecánicos establecidos.

En el apartado 5.2.5.1.A “Capacidad soportante” el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA solamente muestra valores de número de golpes de SPT, los cuales se pueden comprobar con los resultados de los ensayos de campo que están adjuntos en el anexo 5.5 del documento. En este apartado se hace referencia a los autores de algunas expresiones utilizadas para obtener los parámetros de resistencia, sin embargo, como se mencionó anteriormente no hay claridad en el procedimiento mediante el cual se obtuvieron estos valores, por lo que se recomienda solicitar el esclarecimiento de la procedencia de estos parámetros.

En el apartado 5.2.5.1.B “Resultados Geofísicos” el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA, se recomienda realizar este análisis en conjunto con la construcción del perfil geotécnico, ya que esta metodología aporta información que permite conocer con mayor detalle la composición del terreno, y así, poder establecer de forma más acertada la estratigrafía. Sin embargo, a partir de los resultados de geofísica el consorcio determina que la zona sísmica es zona III y el tipo de suelo es S₂ los cuales se consideran adecuados respecto a la investigación realizada.

En el apartado 5.2.5.2.B “Cimentaciones” el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA, se establece que se debe desplantar la cimentación al menos 2,00 m, ya que se encuentra la primera capa de suelo que ofrece una mala capacidad soportante según se indica en los resultados de las correlaciones obtenidas a partir de los golpes N obtenidos mediante los ensayos SPT.

Se consideran apropiadas las diferentes recomendaciones de cimentación propuestas, sin embargo, solo se muestran los resultados finales para las propuestas y no se encuentra una memoria de cálculo o los criterios utilizados para ofrecer las diferentes recomendaciones.

Respecto al análisis de licuación del sitio, al no contar con un perfil geotécnico claramente definido, no es posible verificar las aseveraciones que el consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA indica en el apartado 5.2.5.2.C “Análisis de licuación” pues se establece que El sitio de estudio está caracterizado por depósitos eluviales-deluviales, materiales tipo toba, flujos de ceniza e ignimbritas de la Formación Depósitos de Avalancha Ardiente, los cuales no registran antecedentes de susceptibilidad al fenómeno de licuación. Sin embargo en las descripciones de los materiales mostradas en la Tabla 13, que se extrae del informe del consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA,

Informe LM-IG-09-2020	Setiembre, 2020	Página 24 de 27
-----------------------	-----------------	-----------------



se indica que hay presencia de arenas limosas, a las cuales se recomienda prestar atención a la hora de elegir la propuesta de cimentación final..

Ahora bien, en el apartado 5.2.5.2.D “Análisis de asentamientos”, se indica que se realizó el cálculo de los asentamientos que se generan en la base de un pilote aislado para diferentes diámetro y longitudes, si bien esto funciona como un estimado preliminar del comportamiento del pilote, se debe analizar los asentamientos correspondientes a la solución de cimentación final, esto implica geometría y distribución de pilotes, o comportamiento del material de sustitución al ser sometido a cargas. Se recomienda revisar los asentamientos correspondientes a la solución final de cimentación de la obra.

Finalmente, en el apartado 5.2.5.2.F “Empuje de tierra sobre muros de contención”, se indican los valores recomendados a utilizar para el coeficiente de empuje activo y pasivo, sin embargo, no hay información de cómo se obtuvieron estos parámetros, por lo que se recomienda solicitar el esclarecimiento de la procedencia de estos valores.

V.2.3 Apartado 5.3 “Estudio geotécnico para el análisis de estabilidad de Taludes”

Se revisa la información de los resultados de los ensayos de campo complementarios realizados para el análisis de estabilidad de taludes. El apartado incluye los resultados obtenidos a partir de tres perforaciones mediante el método de ensayo SPT. A partir de los resultados se caracterizaron dos capas y no se detectó nivel freático.

Al igual que se mencionó en el apartado anterior, los estudios realizados se consideran apropiados puesto que cumplen con los requerimientos establecidos en las normativas vigentes en Costa Rica. Además, se describe la metodología apropiada para la ejecución del ensayo de penetración estándar SPT. Al material recuperado mediante la penetración se le realiza la correspondiente descripción, caracterización y clasificación tanto visual como por ensayos de laboratorio. La Tabla 14 muestra un resumen de los resultados obtenidos para cada capa identificada.

Tabla 14. Resumen de los resultados obtenidos para el análisis de estabilidad de taludes

Capa	% Finos	LL (%)	IP (%)	Gs	C (kPa)	Φ (°)	γ_d (kN/m ³)	
1	ML	82.97	49.67	19	-	7	23	11.9
2	ML	88.90	49.33	17	2.714	28	26	12.1

La información mostrada concuerda con los registros de los ensayos realizados en las tres perforaciones correspondientes a esta sección, por lo que, se confirma que la caracterización geotécnica se basa en los resultados de ensayos de laboratorio y los resultados de los ensayos in situ.

En la sección F “Perfil Geotécnico” del apartado 5.3.4.2 “Caracterización geotécnica”, se muestra un esquema de los resultados de la investigación de campo y ensayos de laboratorio realizados, en el cual se visualiza gráficamente una aproximación de la ubicación de las capas. Esto no corresponde a un modelo geotécnico ya que se requiere que se muestre claramente la división de las capas y los parámetros geomecánicos establecidos.

La clasificación que se da al terreno se considera correcta, ya que concuerda con lo establecido en el Código de Cimentaciones de Costa Rica en la Tabla 2.2, establece la zona de cimentación como zona III, para el cual corresponde una aceleración pico efectiva a_{ef} de 0.33.



En cuanto al análisis de licuación, ante la presencia de arenas limosas, es recomendable realizar un análisis de licuación, sin embargo, debido a los antecedentes del comportamiento del suelo en la zona y a la investigación geológica realizada, no es inapropiado asignar un muy bajo potencial de que ocurra el fenómeno de licuación en esta zona.

Finalmente, para el análisis de estabilidad de taludes, se verifican en el Anexo 5.2 los resultados y las condiciones de análisis tomadas en cuenta. Se utilizó el Software GeoStudio y se determinó para la superficie de falla crítica el factor de seguridad en condición estática, estático con nivel freático y pseudoestático. En este punto se identifican inconsistencias, ya que en el punto D “Profundidad del nivel freático” de la sección 5.3.4.2 “Caracterización geotécnica”, se reporta que no se encontró el nivel freático en los sondeos realizados, en el análisis lo ubican entre 14 m y 20 m. Se recomienda revisar esta información y ser consistentes en el análisis realizado. Además, en caso de haber presencia de nivel freático, se recomienda realizar el análisis de estabilidad del talud en la condición crítica, la cual corresponde al análisis pseudoestático con presencia de nivel freático.

V.3 Planos

Se revisan los planos aportados por el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A., los cuales contienen información suficiente para comprender y complementar el informe del estudio geotécnico para el Conector Barreal - Castilla. Se incluyen planos sobre la ubicación del sitio y de los sondeos realizados, secciones típicas y las especificaciones constructivas de los elementos de drenaje.

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.

V.4 Diseño de la base estabilizada para el Proyecto del conector Barreal – Castilla

Se revisa el documento ““Proyecto del Conector Barreal-Castella. Informe de ensayo. Diseño de Base Estabilizada BE-35”, elaborado por el consorcio OBIS Ruta 1 CPC, integrado por la empresa CODOCSA S.A, Quebradores Pedregal S.A y Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. En este documento se encuentran los resultados de los ensayos de caracterización de los agregados finos y gruesos y el diseño de la base estabilizada.

En cuanto a los resultados de los ensayos de caracterización de los agregados finos y gruesos, se observa que se muestran todos los valores necesarios para la obtención de los parámetros, lo que parece indicar que se sigue el adecuado procedimiento de ejecución de las respectivas pruebas. Todos los valores mostrados son consistentes y congruentes de acuerdo a los agregados que se utilizaron para el diseño.

Finalmente se indica que el procedimiento para la elaboración, curado y falla de los especímenes parece apropiado y los valores de resistencia a compresión mostrados concuerdan con el comportamiento esperado para los especímenes según el porcentaje de cemento incluido. Se consideran apropiadas las recomendaciones brindadas, en especial el FS y la construcción de un tramo de prueba, ya que las condiciones de diseño en laboratorio para bases estabilizadas, son difíciles de igualar en campo y esto generalmente se traduce en agrietamientos descontrolados en la superficie de rueda.

VI. Comentarios finales

Informe LM-IG-09-2020	Setiembre, 2020	Página 26 de 27
-----------------------	-----------------	-----------------



Se considera importante solicitar las esclarecer las dudas que se tienen en cada uno de los apartados mostrados en este documento pues en la mayoría de los casos no se tiene clara la procedencia y el análisis de datos específico para la determinación de las propiedades geomecánicas de los materiales.

Además, hacer hincapié que en algunos casos los valores base geotécnicos utilizados en el diseño de las estructuras no corresponde a lo reportado en el informe del estudio geotécnico.

VII. Referencias

1. Consorcio IDOM – DEHC. “Estudios y anteproyecto de las obras impostergables (OBIS) del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales, lote 1A: Proyecto de demolición y construcción del puente sobre el río Alajuela y el puente sobre el río Ciruelas. Informe final. 01 – Memoria. Informe 04 – Geotecnia y Mecánica de suelos”. San José, 2019.
2. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Alajuela”. San José, 2020.
3. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Alajuela”. San José, 2020.
4. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “CAPITULO 6: Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Alajuela” San José, 2020.
5. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto ampliación del puente río Ciruelas”. San José, 2020.
6. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto puente río Ciruelas”. San José, 2020.
7. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “CAPITULO 6: Estructuras: Memorias de cálculo – Proyecto puente río Ciruelas” San José, 2020.
8. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “CAPITULO 1: “Introducción – Proyecto del conector Barreal – Castella”. San José, 2020.
9. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “CAPITULO 5: “Estudios geotécnicos – Proyecto del conector Barreal – Castella”. San José, 2020.
10. Consorcio Pedregal – Cacisa – CODOCSA. “Diseño de base estabilizada”. San José, 2020.