

	PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS "AUTORIDAD PARA LA RECONSTRUCCIÓN CON CAMBIOS"	Revisión: R02
	CONTRATO: ENTREGA DE LAS DEFENSAS RIBEREÑAS DEL RÍO CAÑETE Y DEL RÍO HUAURA (PAQUETE 5)	Emisión: 17/05/2023
	LIMA	Página: 1 de 55



REVISIÓN DE DOCUMENTOS TÉCNICOS

☐ A- ACEPTADO

ACEPTADO

Mr Rogelio Gonzales Jun 8 2023

FIRMA _____ FECHA _____



PARA CONSTRUCCIÓN

FECHA: 09/06/2023.

ESTUDIO DE GEOTECNIA EXPEDIENTE TÉCNICO FAST TRACK TRAMO 2.2 (HUAURA 3 – PAQUETE 4) FINAL RIO HUAURA

400200-OHL001-501-XX-BD-GE-004001

DIRECCIÓN DE SOLUCIONES INTEGRALES

REV N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELAB. POR	REV. POR	APROB. POR
R00	11/11/2022	Emitido para Aprobación	A. Bravo (TYP SA)	B. Lucas	J. López Q.
R01	19/03/2023	Emitido para Aprobación	A. Bravo (TYP SA)	B. Lucas	J. López Q.
R02	17/05/2023	Emitido para Aprobación	A. Bravo (TYP SA)	B. Lucas	A. Meira D.V.
FIRMAS:					

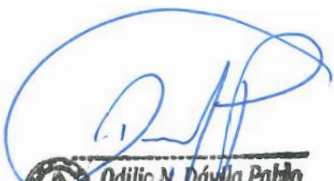
***"ENTREGA DE LAS DEFENSAS
RIBEREÑAS DEL RÍO HUAURA
(PAQUETE 5)"***

*Proyecto3: "Creación del servicio de protección en las
riberas del Río Huaura Vulnerable ante peligro de
inundaciones en las localidades de 5 Distritos de la
Provincia de Oyón y 6 Distritos de la Provincia de
Huaura – Departamento de Lima"*

Octubre 2022

Hoja de control de calidad

Documento	ESTUDIO DE GEOTECNIA			
Proyecto	Proyecto3: "Creación del servicio de protección en las riberas del Río Huaura Vulnerable ante peligro de inundaciones en las localidades de 5 Distritos de la Provincia de Oyón y 6 Distritos de la Provincia de Huaura – Departamento de Lima"			
Código	400200-OHL001-501-XX-BD-GE-004001-R02			
Autores:	Firma:	ODP	ODP	ODP
	Fecha:	10/10/2022	27/02/2023	10/05/2023
Verificado	Firma:	ABB	ABB	ABB
	Fecha:	10/10/2022	27/02/2023	10/05/2023
Destinatario	Autoridad de la Reconstrucción con Cambios			
Notas				

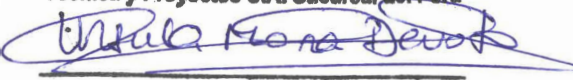


Odilio N. Dávila Pablo
INGENIERO CIVIL
CIP N° 136520



ALBERTO BRAVO BLANCO
Ingeniero Agrónomo
CIP N° 2735-T

Técnica y Proyectos S.A. Sucursal del Perú



Úrsula Mora Devoto
Representante Legal

ÍNDICE

ESTUDIO DE GEOTECNIA	7
1. Introducción	7
2. Ubicación	8
3. Antecedentes	10
4. Exploración del terreno y ensayos de laboratorio	11
4.1. Exploraciones Geotécnicas	11
4.1.1. Calicatas	11
4.1.2. Perforaciones	12
4.1.3. Ensayos MASW	13
4.2. Ensayos de campo y laboratorio	15
4.2.1. Resultados de ensayos de campo	16
4.2.2. Resultados de ensayos MASW	18
4.2.3. Resultados de ensayos de laboratorio	24
5. Caracterización Geotécnica	29
5.1. Unidades Geotécnicas	29
5.1.1. Unidad Geotécnica 0 (UG-0)	29
5.1.2. Unidad Geotécnica 4 (UG-4)	29
5.1.3. Unidad Geotécnica 1 (UG-1)	29
5.1.4. Unidad Geotécnica 2 (UG-2)	30
5.1.5. Unidad Geotécnica 3 (UG-3)	30
5.1.6. Unidad Geotécnica 5 (UG-5)	30
5.1.7. Unidad Geotécnica 6 (UG-6)	30
5.1.8. Unidad Geotécnica 7 (UG-7)	30
5.1.9. Relleno del cuerpo de dique existente (R-DiEX)	30
5.2. Perfil estratigráfico unificado	30
5.2.1. Zona 01-D	32
5.2.2. Zona 02-D	33
5.2.3. Zona 03-D	33
5.2.4. Zona 04-D	33
5.2.5. Zona 01-I	33

ÍNDICE

5.2.6. Zona 02-I.....	34
5.2.7. Zona 03-I.....	34
5.2.8. Zona 04-I.....	34
5.3. Perfil estratigráfico por cada estructura.....	34
5.3.1. Perfil de la estructura MU-PR-02-I.....	34
5.3.2. Perfil de la estructura MU-PR-01A-D.....	35
5.3.3. Perfil de la estructura DI-PR-52BIS-2-D.....	35
5.3.4. Perfil de la estructura DI-PR-52BIS-1-D.....	35
5.3.5. Perfil de la estructura MU-PR-53A-D.....	35
5.3.6. Perfil de la estructura MU-PR-53B-D.....	36
5.3.7. Perfil de la estructura DI-PR-61BIS-D.....	36
5.3.8. Perfil de la estructura DI-PR-61A-D.....	36
5.3.9. Perfil de la estructura DI-PR-61B-D.....	37
5.3.10. Perfil de la estructura MU-PR-54A-I.....	37
5.3.11. Perfil de la estructura MU-PR-54B-I.....	37
5.3.12. Perfil de la estructura DI-PR-57-I.....	37
5.3.13. Perfil de la estructura DI-PR-58B-I.....	38
5.3.14. Perfil de la estructura DI-PR-59-I.....	38
5.3.15. Perfil del Puente Sayán P-PR-01.....	38
5.3.16. Perfil de la estructura DI-PR-58C-I.....	39
5.3.17. Perfil de la estructura DE-PR-59-I.....	39
6. Parámetros geotécnicos.....	40
7. Parámetros para obras de contención.....	47
8. Conclusiones y recomendaciones.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ubicación de las estructuras proyectados.....	8
Ilustración 2 Relación entre el ángulo de fricción y el peso específico seco para suelos granulares	40
Ilustración 3 Ejemplo de curva granulométrica de un depósito aluvial	45
Ilustración 4 Nomograma para establecer el peso volumétrico máximo $\gamma_{v\text{máx}}$	45
Ilustración 5 Ábaco de Chadeisson – Coeficiente de balasto horizontal en t/m^3	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas y longitud de las estructuras proyectadas.....	9
Tabla 2 Relación de calicatas excavadas.....	12
Tabla 3 Relación de perforaciones.....	13
Tabla 4 Relación de ensayos MASW 1D ejecutados.....	14
Tabla 5 Relación de ensayos MASW2D ejecutados.....	14
Tabla 6 Ensayos de campo.....	15
Tabla 7 Ensayos de laboratorio.....	15
Tabla 8 Resultados de ensayos de densidad in situ.....	16
Tabla 9 Resultados de ensayos de granulometría global.....	17
Tabla 10: Resultados de ensayos MASW 1D – Estructura MU-PR-02-I.....	18
Tabla 11: Resultados de ensayos MASW 1D – Estructura MU-PR-01A-D.....	18
Tabla 12: Resultados de ensayos MASW 1D – Estructura DI-PR-52BIS-D.....	19
Tabla 13 Resultados de ensayos MASW1D - Estructura MU-PR-53A-D.....	20
Tabla 14 Resultados de ensayos MASW1D – Estructura MU-PR-53B-D.....	21
Tabla 15 Resultados de ensayos MASW1D - Estructura MU-PR-54A-I.....	22
Tabla 16 Resultados de ensayos MASW1D – Estructura MU-PR-54B-I.....	23
Tabla 17 Resultados de ensayos MASW2D – Estructura DI-PR-61B-I, DI-PR-61Bis-D y DI-PR-61A-I.....	24
Tabla 18 Resultados de ensayos MASW2D – Estructura DI-PR-58C-I, DE-PR-59-I, DI-PR-58B-I, DI-PR-59-I y DI-PR-58B-I.....	24
Tabla 19 Resultados de ensayos de identificación y estado de muestras de calicatas.....	25
Tabla 20 Resultados de ensayos de identificación y estado de muestras de perforaciones.....	25
Tabla 21 Resultados de ensayos de resistencia – corte directo.....	27
Tabla 22 Resultados de ensayos de resistencia – compresión triaxial.....	28
Tabla 23 Resultados de ensayos de densidad de la roca.....	28
Tabla 24 Resultados de ensayos de densidad de la roca.....	28
Tabla 25 Sectorización geotécnica de las márgenes.....	32
Tabla 26 Aproximación de la densidad relativa a la compactación relativa.....	40
Tabla 27 Propiedades típicas de suelos compactados.....	41
Tabla 28 Valores aproximados de ángulo de fricción.....	42
Tabla 29 Parámetros típicos de módulos de elasticidad para material granular.....	42
Tabla 30 Parámetros de resistencia y elásticos – Sector Sayán.....	43
Tabla 31 Parámetros de resistencia y elásticos – Sector Huaura.....	43
Tabla 32 Permeabilidad.....	46
Tabla 33 Ángulo de fricción entre suelo y muro para diferentes tipos de empuje.....	47
Tabla 34 Coeficientes de balasto horizontal.....	49
Tabla 35 Clasificación sísmica del terreno de fundación.....	50

ESTUDIO DE GEOTECNIA

1. Introducción

El presente documento describe el contenido del programa de investigación geotécnica ejecutado como parte de la ingeniería básica para la construcción de las estructuras MU-PR-02-I, MU-PR-01A-D, DI-PR-52BIS-1-D, DI-PR-52BIS-2-D, MU-PR-53A-D, MU-PR-53B-D, DI-PR-61BIS-D, DI-PR-61A-D, DI-PR-61B-D, MU-PR-54A-I, MU-PR-54B-I, DI-PR-57-I, DI-PR-58B-I, DI-PR-59-I, P-PR-01, DI-PR-58C-I y DE-PR-59-I que conforman el Paquete 4 del Proyecto 3: "Creación del servicio de protección en las riberas del Río Huaura Vulnerable ante peligro de inundaciones en las localidades de 5 Distritos de la Provincia de Oyón y 6 Distritos de la Provincia de Huaura – Departamento de Lima".

En la sección de Antecedentes, se presenta una recopilación de la información previa del proyecto, proporcionada por ARCC. Para su desarrollo, se revisó el Estudio de Preinversión a nivel perfil del proyecto "Creación del servicio de protección en las riberas del río Huaura, vulnerable ante peligros de inundaciones, en la localidad de 5 distritos de la provincia de Oyón y 6 distritos de la provincia de Huaura – departamento de Lima" (octubre, 2020).

La sección de exploración del terreno y ensayos de laboratorio muestra las investigaciones ejecutadas por OHLA y los resultados obtenidos tanto en las pruebas de campo como en los ensayos de laboratorio.

La sección de perfil estratigráfico está conformada por la descripción del modelo geomecánico generado a partir de información topográfica, geológica y geotécnica, finalmente en la sección de parámetros geotécnicos se resumen las características geotécnicas obtenidas a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio que servirán para definir las unidades geológicas y que además serán usados en el diseño geotécnico-estructural de los diques.

La Tabla 1 muestra las coordenadas de inicio y fin de las estructuras proyectadas, así como su longitud y el tipo de protección, de acuerdo con la codificación las terminaciones “-I” y “-D” indican que las estructuras se ubican en la margen izquierda o derecha del río, respectivamente.

Tabla 1 Coordenadas y longitud de las estructuras proyectadas
(Elaboración propia, 2023)

ESTRUCTURA	COORDENADAS DE INICIO		COORDENADAS DE FIN		LONGITUD (m)	TIPO DE PROTECCIÓN
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE		
MU-PR-02-I	215669.78	8774246.16	216021.49	8774402.78	438.26	MURO CANTILEVER ENROCADO
MU-PR-01A-D	216140.17	8774608.61	216208.13	8774670.17	92.44	DIQUE ENROCADO
DI-PR-52BIS-2-D	258971.25	8767833.70	259404.02	8767793.91	434.7	BARRERA
MU-PR-53A-D	259926.40	8768262.64	260141.82	8768476.40	685	MURO CANTILEVER MURO ANCLADO
MU-PR-53B-D	259907.63	8768275.61	260122.11	8768498.90	314.705	MURO ANCLADO
MU-PR-54A-I	259424.35	8767736.02	259858.37	8768177.96	620.75	MURO CANTILEVER MURO ANCLADO
MU-PR-54B-I	259926.40	8768262.64	260141.82	8768476.40	310	MURO CANTILEVER MURO ANCLADO
DI-PR-61BIS-D	260122.11	8768498.90	260218.19	8768636.01	169	MURO ANCLADO MURO CANTILEVER
DI-PR-57-I	260141.78	8768476.36	260236.03	8768591.41	149	MURO CANTILEVER
DI-PR-58B-I	260230.16	8768583.40	260320.41	8768692.01	141.3	ENROCADO
DI-PR-58C-I	260421.81	8768829.28	260462.91	8768885.94	70	DIQUE ENROCADO
DI-PR-59-I	260320.41	8768692.01	260374.35	8768763.91	90	ENROCADO MURO CANTILEVER
DE-PR-59-I	260462.91	8768885.94	260681.07	8769039.68	284.5	DIQUE ENROCADO
DI-PR-61A-D	260208.04	8768631.03	260400.97	8768885.87	320.26	DIQUE ENROCADO
DI-PR-61B-D	260400.97	8768885.87	260434.17	8768929.72	50	ENROCADO
DI-PR-52BIS-1-D	259926.40	8768262.64	260141.82	8768476.40	709.39	ENROCADO

3. Antecedentes

Como antecedente se tiene el Informe de Geología y Geotecnia del Estudio de Preinversión a nivel perfil del año 2020 "Creación del servicio de protección en las riberas del río Huaura, vulnerable ante peligros de inundaciones, en la localidad de 5 distritos de la provincia de Oyón y 6 distritos de la provincia de Huaura – departamento de Lima".

Este informe fue desarrollado en dos etapas, una primera etapa de campo que contempló un levantamiento geológico de la zona y una campaña de exploración geotécnica; y una segunda etapa en gabinete. El estudio abarcó la geomorfología, litoestratigrafía, geodinámica, geología local y geotecnia. La geología local dividido la cuenca en tres zonas bien diferenciadas; en cuenca baja, media y alta, cuya característica principal de la cuenca baja son la presencia de rocas plutónicas que afloran de forma diferenciada en toda la planicie aluvial. Debido a esta geoforma de planicie, el estudio ha identificado sectores críticos y zonas inundables a lo largo del río y ha recomendado que se protejan las riberas mediante diques en algunos tramos.

Las exploraciones ejecutadas consistieron en calicatas, densidad de campo y ensayos geofísicos como refracción sísmica, MASW y SEV. Los ensayos realizados fueron granulometría, límites y densidad natural, el estudio estima que la capacidad de carga es 1.38 kg/cm^2 . Asimismo, el estudio obtiene una aceleración horizontal máxima de $0.46g$ empleando como fuente el Mapa de isoaceleraciones del territorio peruano.

El estudio propone que, para la conformación de los diques en los sectores de protección, se emplee el material que provendrá directamente de la remoción del lecho de río y para la protección por medio de enrocados contempla el uso de canteras de roca.

Este estudio se relaciona con el estudio en curso en vista de que nos brinda mayores detalles de la geología y geotécnica de la zona, lo cual resulta un aporte importante para conocer a priori el comportamiento del terreno de cimentación y plantear con mayor precisión la campaña de investigación.

4. Exploración del terreno y ensayos de laboratorio

El programa de investigaciones geotécnicas fue propuesto por TYPESA y la ejecución de las investigaciones y resultados de laboratorio estuvieron a cargo de OHLA.

4.1. Exploraciones Geotécnicas

Se ejecutaron una serie de investigaciones geotécnicas directas e indirectas con el objetivo de caracterizar el terreno de cimentación de las estructuras proyectadas como muros, diques y puente Sayán.

Las exploraciones directas consistieron en la excavación de calicatas y perforaciones, mientras que las indirectas consistieron en ensayos de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW). La ubicación de las investigaciones se muestra en los planos de exploraciones geotécnicas.

4.1.1. Calicatas

Se excavaron 16 calicatas de profundidad variable entre 0,80 m y 3,10 m, la excavación fue ejecutada con retroexcavadora de acuerdo con el programa de exploración proyectado por TYPESA y aprobada por OHLA.

En cada calicata se elaboró el registro de excavación de calicatas el cual contiene la ubicación de cada exploración, la descripción visual de los suelos de acuerdo con la norma ASTM D-2488 y el registro fotográfico de cada calicata.

Del interior de la calicata se extrajeron muestras alteradas de suelo con la finalidad de enviarlas a laboratorio para la ejecución de los respectivos ensayos.

La Tabla 2 muestra la relación de calicatas excavadas, profundidad máxima de excavación y la profundidad del nivel freático.

Tabla 2 Relación de calcatas excavadas
(Elaboración propia, 2022)

Estructura	Calcata	ESTE (m)	NORTE (m)	PROF. (m)	N.F. (m)
MU-PR-02-I	C-HI02-1	215737	8774228	3,05	N.P.
	C-HI02-2	215984	8774321	3,10	N.P.
MU-PR-01A-D	C-HD01A-1	216178	8774666	0,90	0,50
DI-PR-52BIS-D	C-HD52BIS-1	258863	8767759	2,10	N.P.
	C-HD52BIS-2	259141	8767748	2,15	N.P.
	C-HD52BIS-3	259435	8767798	2,10	N.P.
MU-PR-53A-D	C-HD53A-1	259707	8768059	1,90	N.P.
MU-PR-54A-I	C-HI54A-1	259732	8768037	2,20	N.P.
DI-PR-58B-I	C-HI58B-1	260264	8768618	2,05	N.P.
	C-CM-DI05-02 (**)	260431	8768851	0,80	0,50
DE-PR-59-I	C-HI59-1	260513	8768921	2,20	N.P.
DI-PR-61-D	C-HD61-1	260397	8768882	2,60	N.P.
DI-PR-61BIS-D	C-HD61BIS-1	260200	8768640	2,75	N.P.
	C-CM-DD3-02 (**)	260323	8768738	1,00	0,80
P-PR-01	C-PS-1	260349	8768827	3,10	N.P.
	C-PS-2	260388	8768787	3,10	N.P.

(**): Calcatas ejecutadas en el cauce del río

N.P.: No presenta

4.1.2. Perforaciones

Se ejecutaron 14 perforaciones de profundidad variable entre 15.0 m y 30.0 m de acuerdo con el programa de exploración proyectado por TYPESA y aprobada por OHLA.

En cada perforación se hizo el logueo geotécnico respectivo el cual contempló la toma de coordenadas, la descripción visual de los suelos de acuerdo con la norma ASTM D-2488 y el registro fotográfico de cada caja de perforación.

Las muestras de suelo recuperadas con el sondaje fueron enviadas al laboratorio para la ejecución de los respectivos ensayos. La Tabla 3 muestra la relación de sondajes diamantinos ejecutados, profundidad máxima de excavación y la profundidad del nivel freático.

Tabla 3 Relación de perforaciones
(Elaboración propia, 2022)

PERFORACIÓN	ESTE (m)	NORTE (m)	PROF. (m)	N.F. (m)
P-HD53A-1	259550	8767890	15,00	3,90
P-HD53A-2	259666	8768012	15,00	3,90
P-HD53A-3	259748	8768094	15,00	3,40
P-HD53A-4	259838	8768193	15,00	4,05
P-HD53B-1	259957	8768349	15,00	3,90
P-HD53B-2	260067	8768472	15,00	3,70
P-PS-1	260357	8768821	30,00	4,50
P-HI54A-1	259575	8767875	15,00	2,80
P-HI54A-2	259679	8767977	15,00	3,20
P-HI54A-3	259790	8768095	15,00	3,20
P-HI54A-4	259846	8768152	15,00	3,70
P-HI54B-1	259976	8768317	15,00	3,90
P-HI54B-2	260064	8768405	15,00	3,68
P-PS-2	260388	8768780	30,00	5,40

4.1.3. Ensayos MASW

El ensayo MASW (Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Multicanal), es un método que consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsiva en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil unidimensional de velocidades de ondas de corte (V_s) para el punto central de dicha línea para el caso del MASW1D y un perfil bidimensional para el caso del MASW2D. Estos ensayos permitieron obtener perfiles de ondas S hasta profundidades de hasta 30.0 m en promedio.

Es importante resaltar que la forma que presente la curva de dispersión está fuertemente relacionada a la variación de la rigidez con la profundidad. Por lo tanto, el método MASW tiene la capacidad de identificar estratos más rígidos que yacen sobre estratos blandos y permite la estimación de los parámetros elásticos del terreno.

La Tabla 4 muestra la relación de ensayos MASW 1D y la Tabla 5 la relación de ensayos MASW2D, ejecutados en el terreno de cimentación de las estructuras proyectadas.

Tabla 4 Relación de ensayos MASW 1D ejecutados
(Elaboración propia, 2022)

Estructura	Ensayo	Este (m)	Norte (m)	Longitud (m)
MU-PR-01A-D	MASW-HD01A-1	216201	8774678	60.00
MU-PR-02-I	MASW-HI02-1	215880	8774215	60.00
DI-PR-52BIS-D	MASW-HD52BIS-1	259002	8767780	60.00
	MASW-HD52BIS-2	259311	8767719	60.00
MU-PR-53A-D	MASW-P-HD53A-1	259550	8767890	60.00
	MASW-P-HD53A-2	259656	8767999	60.00
	MASW-P-HD53A-3	259750	8768094	60.00
	MASW-P-HD53A-4	259838	8768194	60.00
MU-PR-53B-D	MASW-P-HD53B-1	259958	8768348	60.00
	MASW-P-HD53B-2	260040	8768453	60.00
MU-PR-54A-I	MASW-P-HI54A-1	259576	8767869	60.00
	MASW-P-HI54A-2	259676	8767975	60.00
	MASW-P-HI54A-3	259784	8768084	60.00
	MASW-P-HI54A-4	259842	8768147	60.00
MU-PR-54B-I	MASW-P-HI54B-1	259974	8768320	60.00
	MASW-P-HI54B-2	260054	8768408	60.00

Tabla 5 Relación de ensayos MASW2D ejecutados
(Elaboración propia, 2022)

Ensayo	Longitud	Inicio		Final	
		Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)
MASW2D-HD53	907.00	259490	8767848	260096	8768517
MASW2D-HI54	916.00	259523	8767816	260147	8768474
MASW2D-PS-1	621.00	260094	8768521	260492	8768997
MASW2D-PS-2	726.00	260148	8768474	260638	8768964

4.2. Ensayos de campo y laboratorio

Se realizaron ensayos de campo y laboratorio con la finalidad de conocer las características físicas y mecánicas del terreno de cimentación de las estructuras.

La Tabla 6 presenta la relación de ensayos de campo realizados en los emplazamientos de las estructuras proyectadas.

Tabla 6 Ensayos de campo
(Elaboración propia, 2022)

Descripción	Norma
Análisis granulométrico global	*
Densidad in situ por el método reemplazo de agua	ASTM D 5030

(*) El análisis granulométrico global se efectúa tomando una muestra del material, el cual es pesado antes de pasar por un tamiz de 3", el material mayor a 3" se mide y agrupa el tamaño de cada partícula en rangos de tamaño, hasta un tamaño máximo de 20" (508 mm); los rangos de tamaño se convierten en masa al ser pesados mediante una balanza electrónica pudiendo obtener % retenidos y pasantes según los tamices utilizados. De la cantidad pasante al tamiz de 3" una cantidad medida de muestra de suelo seco, que pasará a través de una serie de tamices, agitando el conjunto (según ensayo ASTM D6913). La cantidad de suelo retenido se pesa y se determina el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz, el cual se representa en un gráfico semilogarítmico, donde el diámetro de la partícula se representa en una escala logarítmica (abscisas) y el porcentaje de material que pasa se representa en escala aritmética (ordenadas). Los tamices donde se obtienen datos de % globales pasantes son de 20" (508 mm), 15" (381 mm), 12" (304.8mm), 10" (254 mm), 8" (203.2mm), 6" (152.4mm), 5" (127mm), 4" (101.6 mm), 3" (76.2mm), 2" (50.8 mm), 1 1/2" (38.1 mm), 1" (25.4mm), 3/4" (19.1 mm), 3/8" (9.52 mm), N 4 (4.76mm), N 10 (2 mm), N 20 (0.84 mm), N 40 (0.425mm), N 60 (0.25 mm), N 100 (0.15 mm), N 140 (0.106mm) y N 200 (0.075 mm).

La Tabla 7 presenta la relación de ensayos de laboratorio ejecutados en las muestras de suelo extraídas de las calicatas y perforaciones.

Tabla 7 Ensayos de laboratorio
(Elaboración propia, 2022)

Descripción	Norma
Granulometría por tamizado	ASTM D6913
Límites de Atterberg	ASTM D4318
Contenido de Humedad	ASTM D2216
Compresión triaxial consolidado drenado	ASTM D7181
Corte directo	ASTM D3080

4.2.1. Resultados de ensayos de campo

En campo se realizaron ensayos de densidad y análisis granulométrico global. La distribución granulométrica global permitió caracterizar el suelo de acuerdo con las dimensiones, proporción y forma de las partículas que constituyen el suelo del área de estudio.

La Tabla 9 resume los resultados de los ensayos granulometría global y la Tabla 8 muestra los resultados de los ensayos de densidad in situ.

Tabla 8 Resultados de ensayos de densidad in situ

(Elaboración propia, 2022)

Estructura	Calicata	Muestra	Profundidad	NF	Dens. Nat. (kg/m³)	Humedad (%)	Densidad seca (kg/m³)
			(m)	(m)			
MU-PR-01A-D	C-HD01A-1	M-1	0,50	0,50	2194,60	7,00%	2051,03
DI-PR-52BIS-D	C-HD52BIS-1	M-1	1,20	-	1919,00	5,00%	1827,62
DE-PR-59-I	C-HI59-1	M-1	0,50	-	2184,70	8,00%	2022,87
DI-PR-61-D	C-HD61-1	M-1	1,00	-	1901,60	3,00%	1846,21
DI-PR-61BIS-D	C-HD61BIS-1	M-1	0,60	-	2309,10	6,00%	2178,40
P-PR-01	C-PS-1	M-1	1,80	-	2077,60	11,00%	1871,71
P-PR-01	C-PS-2	M-1	1,50	-	2024,80	3,00%	1965,83

Tabla 9 Resultados de ensayos de granulometría global
(Elaboración propia, 2022)

Estructura	MU-PR-02-I	DI-PR-52BIS-D	MU-PR-54A-I	DI-PR-58B-I	DI-PR-61BIS-D	P-PR-01	
Calicata	C-HI02-2	C-HD52BIS-1	C-HI54A-1	C-CM-DI05-02	C-CM-DD3-02	C-PS-1	C-PS-2
Muestra	M-1	M-1	M-1	M-2	M-1	M-1	M-1
Prof. (m)	0.15-0.60	1.00-3.10	0.50-3.00	0.30-0.80	0.00-0.80	1.50-3.10	0.10-3.20
N.F. (m)	-	-	-	0,50	0,80	-	-
20"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
15"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
12"	96,42	100,00	100,00	95,30	96,30	89,28	97,34
10"	92,50	99,05	89,08	87,80	81,80	85,37	95,89
8"	86,76	87,66	83,12	83,00	78,20	77,30	83,47
6"	79,63	83,89	71,96	69,40	61,90	69,06	79,19
5"	77,11	80,01	65,03	61,70	57,20	64,89	70,94
4"	71,15	76,09	58,58	54,70	50,50	59,33	61,44
3"	65,15	73,23	54,67	48,40	46,30	56,39	55,54
2"	59,54	72,49	49,98	44,40	31,70	53,50	54,83
1 1/2"	50,30	70,49	46,75	40,80	24,10	49,49	49,71
1"	39,86	63,93	40,86	38,30	17,70	44,36	44,78
3/4"	34,11	60,68	37,52	36,20	15,30	41,42	41,86
3/8"	25,13	53,86	30,87	30,10	9,50	34,91	35,93
N°4	21,67	47,46	25,95	23,60	7,10	30,00	32,21
N°10	19,17	36,35	20,75	16,40	5,60	26,07	27,88
N°20	17,57	21,69	13,89	9,90	3,40	21,86	22,68
N°40	13,10	11,07	8,73	4,60	1,70	18,10	16,37
N°60	7,79	6,74	6,62	1,80	0,90	15,31	12,21
N°100	3,78	4,38	5,18	0,70	0,50	12,50	9,60
N°140	2,59	3,47	4,58	0,50	0,30	10,76	8,51
N°200	2,05	2,91	4,05	0,40	0,20	9,29	7,66

4.2.2. Resultados de ensayos MASW

En el apartado de ensayos geofísicos, dentro del anexo 400200-OHL001-501-XX-DS-GE-004001-R00, se muestran las curvas de dispersión, modelos unidimensionales y bidimensionales de ondas de corte de los sondeos MASW. Las descripciones de cada perfil sísmico se resumen en las siguientes tablas, indicando los estratos detectados, rangos de velocidades de propagación de ondas de corte y espesores aproximados.

Tabla 10: Resultados de ensayos MASW 1D – Estructura MU-PR-02-I
(Elaboración propia, 2022)

Sondaje	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW-HI02-1	1	185.00-269.25	3.71	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	522.50	1.57	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	381.50-1202	24.72	Asociado a un macizo rocoso de muy mala calidad con alto grado de fractura miento, cuya calidad mejora en profundidad, no pudiendo identificar la matriz rocosa.

Tabla 11: Resultados de ensayos MASW 1D – Estructura MU-PR-01A-D
(Elaboración propia, 2022)

Sondaje	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW-HI01-1	1	187.00-249.50	2.31	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	336.50-360.00	4.70	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	413.50-893.00	22.99	Asociado a un macizo rocoso de muy mala calidad con alto grado de fractura miento, cuya calidad mejora en profundidad, no pudiendo identificar la matriz rocosa.

Tabla 12: Resultados de ensayos MASW 1D – Estructura DI-PR-52BIS-D
(Elaboración propia, 2022)

Sondaje	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW- HD52BIS-1	1	293.5	1.07	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	317.25-328.5	2.64	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	475	1.57	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	587.25-1183.75	24.72	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.
MASW- HD52BIS-2	1	156-240	2.31	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	220.75-220.75	2.97	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	302.5	1.73	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa asociada a depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	4	398.25-427.5	3.95	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	5	501.25-850.25	19.04	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.

Tabla 13 Resultados de ensayos MASW1D - Estructura MU-PR-53A-D
(Elaboración propia, 2022)

Sondaje	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW-P-HD53A-1	1	241.25-358.75	2.31	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	322	1.40	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	429.75-507.0	7.91	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	574.5-763.0	18.38	Macizo rocoso de origen volcánico con distintos grados de alteración.
MASW-P-HD53A-2	1	300.0	1.07	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	310.0-357.5	5.94	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	450.5-565.5	8.57	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	587.0-754.25	14.42	Macizo rocoso de origen volcánico con distintos grados de alteración.
MASW-P-HD53A-3	1	374	1.07	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	251.0-339.5	4.21	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	610.5-649.0	7.91	Asociado a suelos residuales producto de la alteración de un macizo rocoso.
	4	770.5-1083.5	16.81	Macizo rocoso de origen volcánico con distintos grados de alteración.
MASW-P-HD53A-4	1	458.75-485	2.31	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	504.0-533.75	4.70	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.
	3	596.5-898.25	8.57	Asociado a suelos residuales producto de la alteración de un macizo rocoso.
	4	934.0-1279.75	14.42	Macizo rocoso de origen volcánico con distintos grados de alteración.

Tabla 14 Resultados de ensayos MASW1D – Estructura MU-PR-53B-D
(Elaboración propia, 2022)

Sondaje	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW-P-HD53B-1	1	383.25	1.07	Se presenta un relleno antrópico de consistencia medianamente compacta que podría asociarse al material del dique existente conformado por gravas y arenas.
	2	343.25-411.0	5.94	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	3	518.75-698.0	6.18	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.
	4	811.25-915.25	13.60	Asociado a suelos residuales producto de la alteración de un macizo rocoso.
	5	1046.25	3.21	Macizo rocoso de origen volcánico con distintos grados de alteración.
MASW-P-HD53B-2	1	303.0	1.07	Se presenta un material de relleno conformado por gravas, arenas y limos de consistencia medianamente compacta.
	2	294.5-324.5	2.64	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	375.5-485.0	3.30	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	543.0-660.5	8.57	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.
	5	780.5-877.5	14.42	Asociado a suelos residuales producto de la alteración de un macizo rocoso.

Tabla 15 Resultados de ensayos MASW1D - Estructura MU-PR-54A-I
(Elaboración propia, 2022)

Sondaje	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW-P-HI54A-1	1	157.0-190.5	2.31	Se presenta un material de relleno conformado por gravas, arenas y limos de consistencia medianamente compacta.
	2	237.5-345.0	2.97	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	378.0-553.5	10.3	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	569.0-683.5	14.42	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.
MASW-P-HI54A-2	1	183.0-229.5	2.31	Se presenta un relleno antrópico de consistencia medianamente compacta que podría asociarse al material del dique existente conformado por gravas y arenas.
	2	288.0-310.5	2.97	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	409.75-477.75	3.62	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	541.0-821.50	21.10	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.
MASW-P-HI54A-3	1	218.75-232.5	2.31	Se presenta un relleno antrópico de compacidad suelta y/o blanda conformada por material inadecuado para la construcción.
	2	239.5-295.5	2.97	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	421.0-501.0	5.68	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	526.0-910.0	19.04	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.

Sondaje	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW-P-HI54A-4	1	164.0-204.0	2.31	Se presenta un relleno antrópico de consistencia medianamente compacta que podría asociarse al material del dique existente conformado por gravas y arenas.
	2	309.0-373.0	4.70	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa asociada a depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	437.0	1.89	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	599.0-1053.0	21.10	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.

Tabla 16 Resultados de ensayos MASW1D – Estructura MU-PR-54B-I
(Elaboración propia, 2022)

Sondaje	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW-P-HI54B-1	1	159.0-180.25	2.31	Se presenta un relleno antrópico de consistencia medianamente compacta que podría asociarse al material del dique existente conformado por gravas y arenas.
	2	278	1.40	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa asociada a depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	380.0-468.0	5.19	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	511.0-1061.25	21.10	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.
MASW-P-HI54B-2	1	176.25-194.0	2.31	Se presenta un relleno antrópico de consistencia medianamente compacta que podría asociarse al material del dique existente conformado por gravas y arenas.
	2	285.0-315.0	2.97	Asociado a un suelo de compacidad medianamente densa conformada por depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	3	394.0-563.0	3.62	Asociado a la presencia de materiales depósitos aluviales densos conformado por gravas y arenas con algunos bolones.
	4	693.0-986.0	21.10	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.

Tabla 17 Resultados de ensayos MASW2D – Estructura DI-PR-61B-I, DI-PR-61Bis-D y DI-PR-61A-I
(Elaboración propia, 2022)

Ensayo	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW2D PS 1 I	1	220-240	0.30 – 2.54	Se presenta un suelo de compacidad suelta a medianamente densa asociada a depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	2	240-360	0.35 - 4.70	Asociada a un suelo medianamente denso asociado a suelos granulares gravosos.
	3	360-500	3.65 – 8.50	Se infiere la presencia de materiales asociados a depósitos aluviales densos.
	4	500-1190	4.60	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.

Tabla 18 Resultados de ensayos MASW2D – Estructura DI-PR-58C-I, DE-PR-59-I, DI-PR-58B-I, DI-PR-59-I y DI-PR-58B-I
(Elaboración propia, 2022)

Ensayo	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Descripción
MASW2D- PS 2 I	1	230-250	0.65 – 2.60	Se presenta un suelo de compacidad suelta a medianamente densa asociada a depósitos fluvioaluviales conformado por suelos de predominancia granular.
	2	250-360	0.80 – 5.90	Asociada a un suelo medianamente denso asociado a suelos granulares gravosos.
	3	360-500	4.39 – 11.02	Se infiere la presencia de materiales asociados a depósitos aluviales densos.
	4	500-1112	4.52	Se infiere la presencia de depósitos aluviales gravosos muy densos con bolonerías y bloques.

4.2.3. Resultados de ensayos de laboratorio

De las calicatas y perforaciones ejecutadas se han obtenido muestras alteradas, con la finalidad de caracterizar física y mecánicamente las unidades geotécnicas presentes en el área de estudio.

El conjunto de ensayos realizados en muestras de suelo se puede agrupar en:

- Ensayos de identificación y estado: análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg, densidad seca y aparente; y humedad natural.
- Ensayos de resistencia: compresión triaxial.
- Corte directo

La Tabla 19 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio de identificación y estado.

Tabla 19 Resultados de ensayos de identificación y estado de muestras de calicatas
(Elaboración propia, 2022)

Calicata	Muestra	Prof. de extracción (m)	Análisis Granulométrico			Cont. de Hum.	Límites de Atterberg			Clasificación
			(% Pasante)							
			3"	N°4	N° 200	(%)	LL	LP	IP	SUCS
C-HI02-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-HI02-2	M-1	1.50-3.10	100	33	3	1	NP	NP	NP	GW
C-HD01A-1	M-1	0.30-0.50	100	36	3	7	NP	NP	NP	GP
C-HD52BIS-1	M-1	1.30-2.10	100	65	4	5	NP	NP	NP	SP
C-HD52BIS-2	M-1	0.10-2.15	100	53	18	8	17	NP	NP	GM
C-HD52BIS-3	M-1	1.60-2.10	100	51	11	6	NP	NP	NP	GP-GM
C-HD53A-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-HI54A-1	M-1	1.00-2.20	100	47	7	6	NP	NP	NP	GP-GM
C-HI58B-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C-CM-DI05-02	M-1	0.00-0.30	100	21	5	-	NP	NP	NP	GP
C-CM-DI05-02	M-2	0.30-0.50	100	49	1	-	NP	NP	NP	GP
C-HI59-1	M-1	0.50-1.50	100	57	16	8	NP	NP	NP	GM
C-HD61-1	M-1	0.60-2.10	100	52	10	3	NP	NP	NP	GP-GM
C-HD61BIS-1	M-1	0.60-2.75	100	42	3	6	NP	NP	NP	GP
C-CM-DD3-02	M-1	0.00-0.80	100	27	3	-	NP	NP	NP	GP
C-PS-1	M-1	1.80-3.10	100	53	16	11	NP	NP	NP	GM
C-PS-2	M-1	1.60-3.10	100	58	14	3	NP	NP	NP	SM

Tabla 20 Resultados de ensayos de identificación y estado de muestras de perforaciones
(Elaboración propia, 2022)

Perforaciones	Muestra	Prof. de extracción (m)	Análisis Granulométrico			Cont. de Hum.	Límites de Atterberg			Clasificación
			(% Pasante)							
			3"	N° 4	N° 200		LL	LP	IP	SUCS
P-HD53A-1	M-1	1.00-1.50	100	32	6	9	NP	NP	NP	GW-GM
	M-2	4.00-4.35	100	18	1	4	NP	NP	NP	GP
	M-3	12.10-12.5	100	33	0	6	NP	NP	NP	GW
P-HD53A-2	M-1	0.40-1.00	100	49	11	1	NP	NP	NP	GP-GW
	M-2	5.50-6.00	100	12	1	4	NP	NP	NP	GW
	M-3	8.50-9.00	100	15	0	1	NP	NP	NP	GP
	M-4	11.30-12.00	100	19	3	5	NP	NP	NP	GP
P-HD53A-3	M-1	1.50-3.00	100	86	30	23	22	16	6	SC-SM
	M-2	6.50-7.30	100	66	3	11	NP	NP	NP	SW
	M-3	8.00-8.45	100	90	21	15	33	23	10	SC-SM

Perforaciones	Muestra	Prof. de extracción (m)	Análisis Granulométrico			Cont. de Hum.	Límites de Atterberg			Clasificación
			(% Pasante)							
			3"	N° 4	N° 200			LL	LP	IP
P-HD53A-4	M-1	1.50-2.00	100	42	12	7	NP	NP	NP	GM
	M-2	6.40-8.00	100	38	7	9	NP	NP	NP	GP-GM
	M-3	9.00-11.00	100	89	11	18	NP	NP	NP	SW-SM
P-HD53B-1	M-1	1.30-1.70	100	17	4	3	NP	NP	NP	GP
	M-2	9.35-10.00	100	15	1	6	NP	NP	NP	GP
	M-3	12.10-12.90	100	18	2	4	NP	NP	NP	GP
P-HD53B-2	M-1	1.00-1.50	100	67	26	8	22	16	6	SC-SM
	M-2	7.00-8.00	100	8	1	1	NP	NP	NP	GW
P-PS-1	M-1	1.30-1.85	100	99	65	13	27	17	10	CL
	M-2	8.00-9.00	100	21	2	2	NP	NP	NP	GP
	M-3	16.50-18.50	100	9	2	0	NP	NP	NP	GW
P-HI54A-1	M-1	1.00-2.00	100	91	10	20	NP	NP	NP	SP-SM
	M-2	9.00-9.50	100	30	3	6	NP	NP	NP	GP
	M-3	14.00-15.00	100	31	1	6	NP	NP	NP	GP
P-HI54A-2	M-1	1.00-1.50	100	96	45	4	NP	NP	NP	SM
	M-2	4.50-5.25	100	23	3	4	NP	NP	NP	GP
	M-3	10.40-11.00	100	15	0	3	NP	NP	NP	GP
	M-4	13.6-14.0	100	99	12	15	NP	NP	NP	SP-SM
P-HI54A-3	M-1	1.00-1.50	100	97	35	10	21	17	4	SC-SM
	M-2	7.50-8.00	100	34	4	6	NP	NP	NP	GP
	M-3	12.00-13.00	100	17	1	4	NP	NP	NP	GP
P-HI54A-4	M-1	1.50-2.00	100	75	31	5	23	15	8	SC
	M-2	4.00-4.70	100	23	4	6	NP	NP	NP	GP
	M-3	13.20-14.00	100	73	7	4	NP	NP	NP	SP-SM
P-HI54B-1	M-1	1.30-2.00	100	53	29	19	35	22	13	GC
	M-2	11.00-11.50	100	34	7	7	NP	NP	NP	GP-GM
	M-3	12.50-13.50	100	51	6	11	NP	NP	NP	GP-GM
P-HI54B-2	M-1	4.50-5.25	100	96	67	13	27	17	10	CL
	M-2	10.40-11.00	100	9	1	2	NP	NP	NP	GW
	M-3	13.50-14.50	100	44	4	4	NP	NP	NP	GP
P-PS-2	M-1	3.00-3.50	100	37	9	4	NP	NP	NP	GP-GM
	M-2	6.00-6.50	100	13	0	1	NP	NP	NP	GP
	M-3	14.50-15.00	100	19	2	4	20	NP	NP	GP
	M-4	22.50-23.00	100	25	2	5	NP	NP	NP	GP
	M-5	27.00-27.50	100	34	3	8	NP	NP	NP	GP

La Tabla 21 y Tabla 22 muestra los resultados de los ensayos de resistencia al corte ejecutados para el paquete 4 sobre muestras extraídas de calicatas y perforaciones

Tabla 21 Resultados de ensayos de resistencia – corte directo
(Elaboración propia, 2022)

Estructura	Perforación	Muestra	Prof.	Clasif. SUCS	Corte directo		
			(m)		γ_d (g/cm ³)	C' (kPa)	ϕ' (°)
MU-PR-53A-D	P-HD53A-1	M-1	1.00-1.50	GW-GM	1,68	3,00	30,80
	P-HD53A-1	M-2	4.00-4.35	GP	1,70	1,00	29,00
	P-HD53A-2	M-1	0.40-1.00	GP-GM	1,68	4,40	26,40
	P-HD53A-2	M-2	5.50-6.00	GW	1,70	2,40	30,80
	P-HD53A-2	M-3	8.50-9.00	GP	1,68	2,30	28,10
	P-HD53A-3	M-1	1.50-3.00	SC-SM	1,67	2,00	25,20
	P-HD53A-3	M-2	6.50-7.30	SW	1,69	5,60	30,00
	P-HD53A-4	M-1	1.50-2.00	GM	1,70	6,60	26,20
MU-PR-53B-D	P-HD53B-1	M-1	1.30-1.70	GP	1,70	0,10	28,80
	P-HD53B-2	M-1	1.00-1.50	SC-SM	1,69	9,70	24,20
PTE. SAYÁN P-PR-01	P-PS-1	M-1	1.30-1.85	CL	1,69	12,90	16,40
MU-PR-54A-I	P-HI54A-1	M-1	1.00-2.00	SP-SM	1,69	14,60	27,50
	P-HI54A-1	M-3	14.00-15.00	GP	1,68	5,20	30,20
	P-HI54A-2	M-4	13.60-14.00	SC-SM	1,69	17,10	27,20
	P-HI54A-3	M-2	7.50-8.00	GP	1,70	10,50	29,10
	P-HI54A-4	M-3	13.20-14.00	SP-SM	1,69	10,60	25,90
MU-PR-54B-I	P-HI54B-1	M-3	12.50-13.50	GP-GM	1,68	4,60	29,80
	P-HI54B-2	M-3	13.50-14.50	GP	1,69	0,90	30,60
PTE. SAYÁN P-PR-01	P-PS-2	M-1	3.00-3.50	GP	1,75	1,30	31,70
	P-PS-2	M-4	22.50-23.00	GP	1,69	4,50	33,30

La Tabla 23 muestra los resultados de la densidad de las rocas destinada a usarse como enrocado.

Tabla 22 Resultados de ensayos de resistencia – compresión triaxial
(Elaboración propia, 2022)

Estructura	Calicata	Muestra	Prof.	Clasif. SUCS	Corte directo		
			(m)		γ_d (g/cm ³)	C' (kPa)	ϕ' (°)
DI-PR-52BIS-D	C-HD52BIS-1	M-1	2.10	GW-GM	1.81	0.60	33.80
P-PR-01	C-PS-1	M-1	3.10	GP	1.86	2.10	33.10

La Tabla 23 muestra los resultados de la densidad de las rocas destinada a usarse como enrocado.

Tabla 23 Resultados de ensayos de densidad de la roca
(Elaboración propia, 2022)

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	pH	Sulfatos (mg/kg)	Cloruros (mg/kg)	Sales Solubles totales (mg/kg)	Conductividad C.E. (uS/cm)
P-HI54A-1	M-1	1.00 - 2.00	-	90.0	130.0	-	-
P-HI54A-2	M-2	4.50-5.25	-	127.1	120.0	-	-
P-HI54A-3	M-2	7.50-8.00	-	100.4	60.0	-	-
P-HI54A-4	M-3	13.20-14.00	-	56.3	50.0	-	-
P-HI54B-1	M-2	11.00-11.50	-	282.8	110.0	-	-
P-HD53A-1	M-2	4.00 – 4.35	7.79	66.3	269.9	564.0	316.4
P-HD53A-3	M-1	1.50 – 3.00	7.39	2463.3	719.8	4422.0	1771.0
P-HD53A-4	M-2	6.40 – 8.00	7.48	114.9	229.9	444.0	306.6
P-PS-1	M-2	8.00 – 9.00	7.61	66.3	170.0	282.0	223.4

La Tabla 24 muestra los resultados de los análisis químicos.

Tabla 24 Resultados de ensayos de densidad de la roca
(Elaboración propia, 2022)

Cantera	Roca	Muestra	γ (gr/cm ³)
Cantera Maní	Monzogranito	MR-Man-04	2,64
		MR-Man-05	2,66
		MR-Man-06	2,55
Cerro La X	Granodiorita	MR-CX-1	2,64
	Granodiorita - Monzonita	MR-CX-2	2,68
	Granodiorita	MR-CX-3	2,65

5. Caracterización Geotécnica

Empleando la información geológica y geomorfológica, así como los ensayos directos e indirectos realizados en campo y los ensayos de laboratorio, se establece las unidades geotécnicas para la zona de emplazamiento de las estructuras proyectadas, en función de la distribución de materiales observados y los valores obtenidos de los ensayos.

5.1. Unidades Geotécnicas

5.1.1. Unidad Geotécnica 0 (UG-0)

Suelo inadecuado para cimentación: Conformado por secuencias de suelos finos de consistencia blanda, limo arenoso, arenas sueltas y suelos con presencia de materia orgánica.

El color predominante es marrón claro a oscuro. En caso se encuentre por debajo del nivel de cimentación, esta unidad deberá ser eliminada totalmente. Sus velocidades de onda de corte varían entre 150 m/s y 304 m/s.

Si luego de ejecutados los cortes, para la construcción de muros cantiléver o colocación de muros anclados, se detecta la presencia de materiales correspondiente con la UG-0, no será necesaria la eliminación total de estos estratos, sin embargo, en ningún caso se recomienda su recolocación, debiendo reemplazarse por rellenos controlados o estructurales.

5.1.2. Unidad Geotécnica 4 (UG-4)

Suelos granulares de compacidad suelta: Suelos superficiales asociados a depósitos aluviales y fluvioaluviales (en menor medida), conformado principalmente por arenas y en menor porcentaje por gravas. Los suelos predominantes clasifican como arenas pobremente gradadas con limo (SP-SM), arenas limosas y arcillosas (SM y SC) y arenas arcillolimosas (SC-SM). Su distribución granulométrica menor a 3" es: grava en un rango de 2.6% a 24.8%, arenas entre 44.3% y 81.2% y finos entre 10.1% y 45.4%. Asimismo, presenta velocidades de onda de corte que varían entre 157 m/s y 233 m/s.

5.1.3. Unidad Geotécnica 1 (UG-1)

Grava y arenas medianamente densas: Suelos asociado a depósito aluviales y fluvioaluviales (en menor medida), conformado principalmente por gravas y en menor porcentaje por arenas. Los suelos predominantes clasifican como gravas pobremente gradadas con arena (GP), gravas bien gradadas (GW), gravas pobremente gradadas con limos (GP-GM) y arenas limoarcillosas (SC-SM), cuya distribución granulométrica menor a 3" es: grava en un rango de 46.8% a 92.1%, arenas entre 6.6% y 42.4% y finos entre 1.3% y 17.9%. Además, presentan bolones de tamaños variables entre 6" y 12". Asimismo, presenta velocidades de onda de corte que varían entre 238 m/s y 419 m/s.

5.1.4. Unidad Geotécnica 2 (UG-2)

Grava y arenas densas: Suelos asociados a depósitos aluviales y fluvioaluviales (en menor medida), conformado principalmente por gravas y en menor porcentaje por arenas. Los suelos predominantes clasifican como gravas pobremente gradadas (GP), gravas bien gradadas (GW) y gravas limosas (GM), cuya distribución granulométrica menor a 3" es: grava en un rango de 51.2% a 86.9%, arenas entre 12.9 % y 48.0% y finos entre 0.2% y 12.1%. Asimismo, presenta velocidades de onda de corte que varían entre 343 m/s y 566 m/s.

5.1.5. Unidad Geotécnica 3 (UG-3)

Grava muy densa con bloques: Asociados a depósitos aluviales, conformados por grava pobremente gradada con arena (GP), gravas bien gradadas (GW), grava limosa (GM) de compacidad media, gravas pobremente gradadas con limo (GP-GM) y arenas pobremente gradadas con limo (SP-SM), cuya distribución granulométrica menor a 3" es: grava en un rango de 0.9% a 91.5%, arenas entre 6.9 % y 87.2% y finos entre 1.0% y 11.9%. Asimismo, la unidad presenta velocidades de onda de corte que varían entre 501 m/s y 1190 m/s.

5.1.6. Unidad Geotécnica 5 (UG-5)

Suelo residual: Suelo originado por la meteorización del macizo rocoso subyacente, presenta compacidad entre densa a muy densa. Velocidades de ondas de corte que varían entre 611.0 m/s y 888.0 m/s.

5.1.7. Unidad Geotécnica 6 (UG-6)

Macizo rocoso: Macizo rocoso de origen intrusivo con diferentes grados de alteración y con velocidades de onda de corte de entre 734.0 m/s y 1280.0 m/s.

5.1.8. Unidad Geotécnica 7 (UG-7)

Andesita muy fracturada: Macizo rocoso muy fracturado o alterado que puede presentar velocidades de onda de corte de entre 382.0 m/s y 1202.0 m/s.

5.1.9. Relleno del cuerpo de dique existente (R-DiEX)

R-DiEX: En algunos tramos del perfil estratigráfico se presenta este depósito antrópico conformado por grava pobremente gradada con arena (GP), grava bien gradada con arena (GW) y grava pobremente gradada con limo y arena (GP-GM).

Este material deberá ser removido en su totalidad y si cumple con los requisitos de calidad puede ser reutilizado en la conformación del nuevo dique.

5.2. Perfil estratigráfico unificado

En este apartado se presenta una descripción del perfil estratigráfico unificado de los márgenes donde se proyecta la construcción de los muros de contención, los cuales se dividen en 4 zonas por margen. La

definición de cada margen está sujeta principalmente por el estrato donde se cimentarán las estructuras y la similitud entre las unidades geotécnicas superficiales y sus espesores.

A continuación, se resume la ubicación de cada zona con respecto a las progresivas del eje del río Huaura, además se indica el plano donde se puede revisar con detalle su ubicación.

Tabla 25 Sectorización geotécnica de las márgenes
(Elaboración propia, 2023)

Margen	Zona	Coordenadas UTM WGS84 18S				Ubicación respecto al eje del río (km)		Código de plano
		Inicio		Fin		Inicio	Fin	
		Este	Norte	Este	Norte			
Derecha	Zona 01-D	259482	8767834	259710	8768058	49+792	50+118	400200-OHL001-501-XX-DR-GE-004500
	Zona 02-D	259710	8768058	259919	8768290	50+118	50+429	400200-OHL001-501-XX-DR-GE-004505
	Zona 03-D	259919	8768290	260198	8768597	50+429	50+850	400200-OHL001-501-XX-DR-GE-004510
	Zona 04-D	260198	8768597	260422	8768915	50+850	51+246	400200-OHL001-501-XX-DR-GE-004515
Izquierda	Zona 01-I	259501	8767811	259923	8768259	47+792	50+410	400200-OHL001-501-XX-DR-GE-004550
	Zona 02-I	259923	8768259	260430	8768841	50+410	51+187	400200-OHL001-501-XX-DR-GE-004555
	Zona 03-I	260430	8768841	260485	8768916	51+187	51+280	400200-OHL001-501-XX-DR-GE-004560
	Zona 04-I	260485	8768916	260661	8769004	51+280	51+478	400200-OHL001-501-XX-DR-GE-004565

5.2.1. Zona 01-D

Superficialmente, se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación compatible con la UG-0, con espesores de 2.0 m aproximadamente. Subyaciendo, se encuentra una cobertura de suelo consistente con la UG-1 que alcanza una profundidad estimada de 6.5 m. Por debajo, de la UG-1 se encuentra suelos asociados a la UG-2 que alcanza una profundidad estimada de 16.1 m, de igual manera por debajo de la UG-2 se encuentran algunas unidades intermedias que corresponden a la UG-3 y la UG-5 compuestos de suelos granulares y suelos residuales competentes que alcanzan una profundidad estimada mayor a los 18.0 m. Finalmente, hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración, se identificó la UG-6.

La profundidad del nivel freático, en la fecha que se realizaron los sondeos P-HD53A-1 y P-HD53A-2, fue de 3.9 m en ambas exploraciones.

5.2.2. Zona 02-D

Superficialmente, se identificó una cobertura de material orgánico inadecuado para cimentación denominado UG-0, con un espesor promedio de 1.8 m. Por debajo a esta unidad se registra una combinación entre estratos de suelo compatibles con las unidades UG-1, UG-2 y UG-3, con predominancia de la UG-1 y UG-3, las cuales alcanzan profundidades de 7.4 m y 17.5 m respectivamente. Subyaciendo a las unidades intermedias se identifica un estrato de suelo compatible con la UG-5 que alcanza una profundidad estimada de 21.2 m. Finalmente hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración, se identificó la UG-6.

La profundidad del nivel freático, en la fecha que se realizaron las investigaciones P-HD53A-3 y P-HD53A-4, fueron de 3.4 m y 4.05 m, respectivamente.

5.2.3. Zona 03-D

Superficialmente, se identificó una cobertura de material orgánico, inadecuado para cimentación, denominado UG-0, con un espesor promedio de 2.2 m. Por debajo a esta unidad se registra una combinación entre estratos de suelos compatibles con las unidades UG-1 y UG-2, con predominancia de la UG-2, el cual alcanza una profundidad de 10 m. Subyaciendo a la UG-2 se localizan suelos compatibles con la UG-3, que alcanzan una profundidad de 17.4 m. Bajo la UG-3 se ubica la UG-5, hasta profundidades mayores a 19.3 m. Finalmente, hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración, se identificó la UG-6.

Las profundidades del nivel freático, en la fecha que se ejecutaron los sondeos P-HD53B-1 y P-HD53B-2, fueron de 3.9 m y 3.7 m, respectivamente.

5.2.4. Zona 04-D

Superficialmente, se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación, UG-0, con un espesor promedio de 0.4 m, Subyaciendo, se identificó a la UG-1, con un espesor promedio estimado de 9.7 m. Bajo la UG-1 se identificaron materiales asociados a la UG-2, hasta una profundidad media estimada de 19.8 m. Finalmente, bajo la UG-2 se puede encontrar a la UG-3, hasta la máxima profundidad evaluada.

Es preciso señalar que existe una gran transición de los tipos de suelo al inicio de la zona, donde se observa la profundización de la UG-5, por debajo de la UG-3.

Las profundidades del nivel freático, en la fecha que se excavaron las calicatas C-PS-1 y C-HD61-1, así como la perforación P-PS-1, fueron de 3.10 m, 2.60 m y 4.50 m respectivamente

5.2.5. Zona 01-I

Superficialmente, se identificó suelos compatibles con la UG-4, con espesores observados entre 1.40 m y 2.0 m, pudiendo llegar hasta una profundidad estimada de 2.90 m en algunas zonas. Subyaciendo, se puede observar suelos asociados a la UG-1, que alcanzan profundidades de hasta 6.90 m. Bajo la UG-1 se encuentra la UG-2, hasta profundidades de 19.0 m. Finalmente, bajo la UG-2 se puede encontrar la UG-3, hasta la máxima profundidad evaluada.

El nivel freático varía entre los 2.8 m a 3.7 m de profundidad, de acuerdo con las perforaciones P-HI54A-1, P-HI54A-2, P-HI54A-3 y P-HI54A-4.

5.2.6. Zona 02-I

Superficialmente, se identificó la combinación de 03 unidades geotécnicas compatibles con las UG-O, UG-1 y R-DiEX, con predominancia de esta última, la cual alcanza una profundidad estimada de 4.7 m. Por debajo de estas unidades se encuentra la UG-2 que alcanza una profundidad estimada de 13.4 m. Finalmente hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración se identificó la UG-3.

El nivel freático varía entre los 3.68 m y 3.9 m de profundidad, de acuerdo con las perforaciones P-HI54B-1 y P-HD54B-2.

5.2.7. Zona 03-I

Superficialmente se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación, UG-0, con un espesor promedio de 0.9 m, Subyaciendo, se encuentra un suelo compatible con la UG-4 de un espesor promedio de 2.3 m. Por debajo de la UG-4 se identificó a la UG-1, la cual alcanza una profundidad estimada de 6.0 m. Le sigue a este estrato la UG-2 con una profundidad estimada de 10.4 m. Finalmente hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración se identificó la UG-3.

El nivel freático estimado se encuentra a 2.0 m aproximadamente, respecto al nivel del terreno.

5.2.8. Zona 04-I

Superficialmente se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación, UG-0, con un espesor promedio de 0.9 m, Subyaciendo, se encuentra un suelo compatible con la UG-1 de un espesor promedio de 4.0 m. Por debajo de la UG-1 se identificó a la UG-2, la cual alcanza una profundidad estimada de 13.8 m. Finalmente hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración se identificó la UG-3.

El nivel freático se encuentra a 2.2 m de profundidad, de acuerdo con calicata CI-HI59-1.

5.3. Perfil estratigráfico por cada estructura

A continuación, se realiza una descripción del perfil estratigráfico bajo el eje del emplazamiento de las estructuras proyectadas, tales como barreras, diques, muros anclados, muros cantiléver y protección de enrocado.

5.3.1. Perfil de la estructura MU-PR-02-I

Superficialmente se identificó la presencia de rellenos no controlados, asociado a la UG-0 cuya profundidad se registró hasta los 3.1 m, pero que se estima puede llegar hasta 5.3 m de profundidad. Subyaciendo, se puede apreciar material compatible con la UG-7 hasta la máxima profundidad evaluada.

5.3.2. Perfil de la estructura MU-PR-01A-D

Superficialmente presenta material asociado a un dique existente entre las progresivas 0+000 a la 0+040 hasta una profundidad aproximada de 1.5m. Mientras que a partir de la progresiva 0+040 superficialmente pueden apreciarse suelos asociados con la UG-0 pudiendo alcanzar hasta los 1.0 m de profundidad. Subyaciendo los estratos superficiales, se puede encontrar materiales compatibles con la UG-1 bajo el dique existente, alcanzando una profundidad máxima aproximada de hasta 10.0 m. Finalmente, bajo la UG-1 y la UG-0, puede encontrarse materiales asociados a la UG-7 hasta la máxima profundidad evaluada.

El nivel freático fue estimado a partir de la calicata C-HD01A-1 y, en la fecha de excavación de la calicata, se ubicó a los 0.5m de profundidad.

5.3.3. Perfil de la estructura DI-PR-52BIS-2-D

Superficialmente, se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación, UG-0, de 1.2 m de espesor. Subyaciendo, se encuentra una cobertura de suelo consistente con la UG-1, de 3.0 m de espesor. Le sigue la UG-2, también de un espesor cercano a los 3.5 m. Finalmente, hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración, se identificó la UG-3. Es preciso señalar, que entre la progresiva 0+316 y 0+435, se da continuidad a un estrato de roca correspondiente a la UG-6, que también alcanza la profundidad máxima de exploración.

En la fecha que se excavaron las calicatas C-HD52BIS-1, C-HD52BIS-2 y C-HD52BIS-3, no fue detectado el nivel freático.

5.3.4. Perfil de la estructura DI-PR-52BIS-1-D

Superficialmente se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación, UG-0, con espesores estimados de 1.8 m. Subyaciendo, a partir de la progresiva 0+365 del eje, se identifica un suelo correspondiente a la UG-4 que alcanza una profundidad estimada de 5.70 m. Por debajo de esta unidad, a lo largo de todo el emplazamiento de la estructura, se identificó suelos compatibles con la UG-1 que presenta una profundidad máxima estimada de 7.6 m. Le sigue a este estrato la UG-2, que alcanza una profundidad estimada de 11.5 m al inicio del dique y se reduce a 5.3 m al final de esta. Finalmente, hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración, se identificó la UG-3.

En la fecha que se excavaron las calicatas C-HD52BIS-1, C-HD52BIS-2 y C-HD52BIS-3, no fue detectado el nivel freático.

5.3.5. Perfil de la estructura MU-PR-53A-D

Superficialmente se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación compatible con la UG-0, con espesores observados de 0.40 m a 2.9 m. Subyaciendo, se encuentra una cobertura de suelo consistente a la UG-1 y en un pequeño tramo a la UG-2, estas unidades alcanzan una profundidad estimada de 6.6 y 11.0 m respectivamente. Por debajo, de la UG-1 se encuentra suelos asociados a la UG-2 que alcanza una profundidad estimada de 16.1 m, de igual manera por debajo de la UG-2 se encuentran algunas unidades intermedias que corresponden a la UG-3 y la UG-5 compuestos de suelos granulares y suelos

residuales competentes que alcanzan una profundidad estimada mayor a los 18.0 m. Finalmente, hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración, se identificó la UG-6.

La profundidad del nivel freático, en la fecha que se realizaron los sondeos P-HD53A-1, P-HD53A-2, P-HD53A-3 y P-HD53A-4, fueron de 3.9 m, 3.9 m, 3.4 m y 4.05 m, respectivamente.

5.3.6. Perfil de la estructura MU-PR-53B-D

Superficialmente se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación, UG-0, con espesores observados de 0.4 m y 1.45 m, pudiendo alcanzar una profundidad estimada de hasta 2.7 m. Subyaciendo, se puede encontrar suelos compatibles con la UG-1 hasta la progresiva 0+200 aproximadamente y pudiendo alcanzar una profundidad máxima de hasta 6.9 m. Asimismo, a partir de la progresiva 0+200 y bajo la UG-0, se puede encontrar material compatible con la UG-2, la cual continua por debajo de la UG-1 y pudiendo alcanzar una profundidad de hasta 11.20 m. Por debajo se puede encontrar a la UG-3 la cual posee presencia a lo largo de toda la sección y se estima podría alcanzar hasta 17.5 m aproximadamente. Subyaciendo se puede encontrar materiales asociados a la UG-5 a profundidades mayores de los 19.5 m. Finalmente bajo la UG-5 se puede encontrar a la UG-6 hasta la máxima profundidad evaluada.

Las profundidades del nivel freático, en la fecha que se ejecutaron los sondeos P-HD53B-1 y P-HD53B-2, fueron de 3.9 m y 3.7 m, respectivamente.

5.3.7. Perfil de la estructura DI-PR-61BIS-D

Superficialmente se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación, UG-0, con un espesor que presenta continuidad en el perfil de la estructura y posee un espesor estimado variable de entre 1.0 m a 2.0m. Subyaciendo se puede encontrar suelos compatibles con la UG-1 con espesores estimados de entre 3.8 m y 8.1 m. Subyaciendo, luego de la progresiva 0+060, se puede apreciar la presencia del UG-2 con profundidad estimada de hasta 11.0 m, mientras que antes de la progresiva 0+060, se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-3 que se encuentran por debajo de la UG-2 antes mencionada. Subyaciendo la UG-3, se puede encontrar suelos compatibles con la UG-5 hasta profundidades de entre 29.5m. Finalmente se puede encontrar a la UG-6 cuya profundidad limite se desconoce.

En la fecha que se excavó la calicata C-HD61BIS-1 no se detectó el nivel freático.

5.3.8. Perfil de la estructura DI-PR-61A-D

Superficialmente se puede apreciar suelos de cobertura con contenido orgánico UG-0 con profundidades observadas de 0.6 m a 1.85 m. Subyaciendo se pueden encontrar suelos compatibles con la UG-1 hasta profundidades de 9.6 m. Subyaciendo a la UG-1 se puede encontrar materiales compatibles con la UG-2, pudiendo llegar hasta 18.5 m. Posteriormente se puede encontrar suelos compatibles con la UG-3, los cuales pueden llegar hasta los 26.5 m. Por otro lado, bajo el UG-3, ubicado en la parte final de la estructura, se puede encontrar material compatible con la UG-5 de un espesor no mayor de 5.0 m. Finalmente, bajo la UG-5 de la parte final de la estructura y la UG-3 del inicio, se puede encontrar a la UG-6.

Las profundidades del nivel freático, en la fecha que se excavaron las calicatas C-PS-1 y C-HD61-1, así como la perforación P-PS-1, fueron de 3.10 m, 2.60 m y 4.50 m respectivamente

5.3.9. Perfil de la estructura DI-PR-61B-D

Superficialmente se identificó una cobertura de material inadecuado para cimentación, UG-0, con un espesor promedio de 0.4 m, Subyaciendo, se identificó a la UG-1, con un espesor promedio estimado de 9.7 m. Subyaciendo se puede encontrar materiales asociados a la UG-2 que puede llegar hasta una profundidad media estimada de 19.8 m. Finalmente, bajo la UG-2 se puede encontrar a la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.

La profundidad estimada del nivel freático varía entre los 3.20 m y los 3.50 m respecto a la superficie actual del terreno.

5.3.10. Perfil de la estructura MU-PR-54A-I

Superficialmente se identificó suelos compatibles con la UG-4 a profundidades observadas de entre 1.40 m a 2.0 m, pudiendo llegar hasta una profundidad estimada de 2.90 m en algunas zonas. Subyaciendo se puede observar suelos asociados a la UG-1 pudiendo llegar a profundidades de hasta 6.90 m. Subyaciendo se puede encontrar suelos asociados a la UG-2 pudiendo a llegar hasta profundidades de 19.0 m. Finalmente bajo el UG-2 se puede encontrar al UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.

El nivel freático varía entre los 2.8 m a 3.7 m de profundidad, de acuerdo con las perforaciones P-HI54A-1, P-HI54A-2, P-HI54A-3 y P-HI54A-4.

5.3.11. Perfil de la estructura MU-PR-54B-I

Superficialmente se puede apreciar material de dique existente R-DIEX entre el inicio del perfil hasta la progresiva 0+080, con una profundidad estimada de hasta 4.7 m, pudiendo variar según la ubicación. Asimismo, superficialmente y luego de la progresiva 0+080 se puede apreciar UG-0 con profundidades observadas de entre 2.4 m a 2.6 m y una profundidad estimada de hasta 3.80 m. Subyaciendo los estratos superficiales, puede apreciarse suelos compatibles con la UG-1 con un espesor estimado de hasta 2.8 m. Subyaciendo se puede apreciar suelos compatibles con la UG-2 con una profundidad variable estimada de hasta 10.40 m. Finalmente, bajo la UG-2 se puede apreciar suelos compatibles con la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.

El nivel freático varía entre los 3.68 m y 3.9 m de profundidad, de acuerdo con las perforaciones P-HI54B-1 y P-HD54B-2.

5.3.12. Perfil de la estructura DI-PR-57-I

Superficialmente se puede observar suelos compatibles con la UG-0, con profundidades variables estimadas de hasta 1.50 m. Subyaciendo se puede observar materiales compatibles con un R-DIEX con profundidades variables de hasta 4.3 m. Subyaciendo se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-2

pudiendo llegar hasta una profundidad de 9.3 m. Finalmente bajo la UG-2 se puede encontrar materiales pertenecientes a la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.

El nivel freático estimado se encuentra a 3.50 m aproximadamente, respecto al nivel del terreno.

5.3.13. Perfil de la estructura DI-PR-58B-I

Superficialmente el perfil presenta depósitos de materiales compatibles con la UG-4 desde el inicio del perfil hasta la progresiva 0+050 con una profundidad estimada de 1.85 m, seguidamente se puede observar suelos compatibles con la UG-0 luego de la progresiva 0+074 con una profundidad observada de hasta 2.1 m. Adicionalmente, superficialmente entre las progresivas 0+050 y 0+074 se puede apreciar parte del UG-1, el cual también se ubica bajo el UG-0 y puede alcanzar profundidades estimadas de hasta 4.60 m. Subyaciendo se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-2 hasta una profundidad estimada de hasta 9.60 m. Finalmente bajo la UG-2 se puede encontrar materiales pertenecientes a la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.

El nivel freático estimado se encuentra a 4.60 m aproximadamente, respecto al nivel del terreno.

5.3.14. Perfil de la estructura DI-PR-59-I

Superficialmente se identificó materiales compatibles con las unidades UG-0 desde la progresiva inicial hasta los 0+050, con una profundidad estimada de hasta 2.5 m, seguidamente se puede observar suelos superficiales pertenecientes al UG-4 hasta el final del perfil con un espesor estimado de hasta 2.0 m. Subyaciendo se puede observar suelos compatibles con la UG-1 hasta una profundidad estimada de 5.0 m. Subyaciendo se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-2 que puede llegar hasta los 11.5 m de profundidad. Finalmente se puede observar suelos compatibles con la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.

El nivel freático estimado se encuentra a 5.60 m aproximadamente, respecto al nivel del terreno.

5.3.15. Perfil del Puente Sayán P-PR-01

En el estribo derecho se ejecutó la perforación P-PS-1, en este sector se observó suelos orgánicos con una profundidad estimada de hasta 1.20 m. Subyaciendo se puede observar suelos asociados a la UG-1 hasta una profundidad de 6.40 m. Subyaciendo se puede apreciar suelos compatibles con la UG-2 cuya profundidad estimada es de hasta 12.90 m, bajo la cual se puede apreciar suelos asociados a la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada. Respecto a la profundidad del nivel freático, este se encontraba a 4.50 m a la fecha de la ejecución de la exploración.

En el estribo izquierdo se ejecutó la perforación P-PS-2, la cual presenta material con cobertura vegetal de hasta 0.50 m, bajo lo cual se puede encontrar materiales pertenecientes a un dique existente DI-EX hasta una profundidad observada de 5.7m. Subyaciendo se puede apreciar suelos compatibles con la UG-2 cuya profundidad estimada es de 11.30 m, bajo lo cual se puede observar suelos compatibles con la U-3 hasta la máxima profundidad evaluada. Respecto a la profundidad del nivel freático, este se encontraba a 5.20 m a la fecha de la ejecución de la exploración.

5.3.16. Perfil de la estructura DI-PR-58C-I

Superficialmente se puede apreciar un estrato de material orgánico, UG-0, de espesor continuo y con una profundidad estimada de hasta 1.1 m, bajo la cual se puede observar la presencia de suelos compatibles con la UG-4, desde parte inicial de la sección hasta la progresiva 0+036, seguido de lo cual se puede observar la presencia de UG-1, desde los 0+036 hasta el fin de la sección. Subyaciendo a los estratos superficiales, se observa la continuidad de la UG-1 hasta una profundidad estimada de 5.3 m. Subyaciendo se pueden observar suelos compatibles con la UG-2 hasta una profundidad estimada de 9.6 m. Finalmente, bajo la UG-2 se puede encontrar suelos compatibles con la UG-3.

El nivel freático estimado se encuentra a 2.0 m aproximadamente, respecto al nivel del terreno.

5.3.17. Perfil de la estructura DE-PR-59-I

Superficialmente se puede apreciar la presencia de materiales compatibles con la UG-4, desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+090, con una profundidad estimada de hasta 1.7 m, continúa hasta el final del eje la presencia de material orgánico compatible con la UG-0, con una profundidad estimada de 2.0 m. Subyaciendo, se puede identificar la presencia de suelos compatibles con el UG-1, desde la progresiva 0+000 a la 0+245, pudiendo llegar hasta una profundidad máxima estimada de 5.3 m. Por otro lado, a partir de la progresiva 0+245 en adelante se tienen suelos pertenecientes a la UG-4, pudiendo alcanzar profundidades de hasta 3.90 m. Subyaciendo a los estratos intermedios UG-4 y UG-1, se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-2, con una profundidad de alcance estimada máxima de hasta 12.3 m. Finalmente, bajo la UG-2 se puede encontrar suelos asociados a la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.

El nivel freático se encuentra a 2.2 m de profundidad, de acuerdo con calicata CI-HI59-1.

6. Parámetros geotécnicos

Los parámetros de resistencia y deformación de cada una de las unidades geotécnicas, así como del agregado que conformara los diques fueron estimados a partir de resultados de ensayos de laboratorio, pruebas de campo y referencias técnicas.

El ángulo de fricción del relleno del cuerpo del dique se estimó a partir del conocimiento del tipo de suelo, densidad y densidad relativa. Considerando que los diques serán construidos con gravas mal gradada con limos, compactada a una densidad relativa de 70% obteniéndose un peso unitario seco de 2000 kg/m³, de acuerdo con la Ilustración 2 le corresponde un ángulo de fricción de 38°.

Tabla 26 Aproximación de la densidad relativa a la compactación relativa
(Lee y Singh, 1971)

Granular consistency	Relative density	Relative compaction
Very dense	100	100
	90	98
	80	96
Dense	70	94
	60	92
Medium	50	98
	40	88
Loose	30	86
	20	84
Very loose	10	82
	0	80

Ilustración 2 Relación entre el ángulo de fricción y el peso específico seco para suelos granulares
(Navfac, 1971)

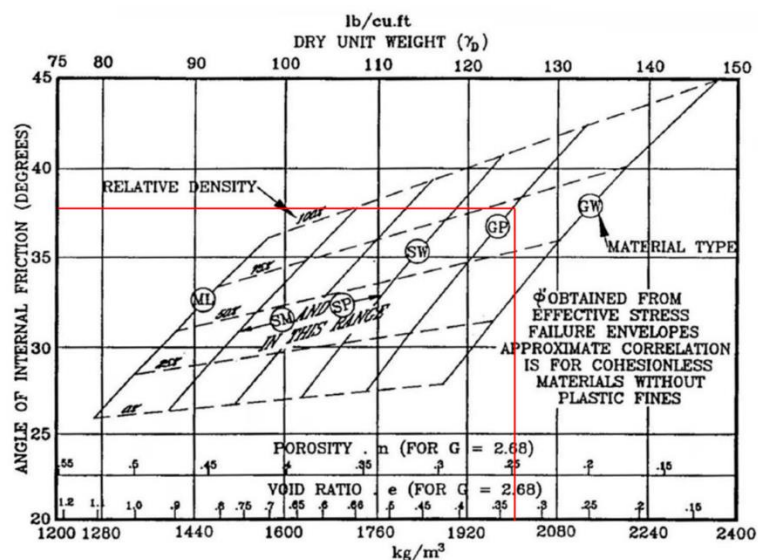


Tabla 27 Propiedades típicas de suelos compactados
(Navfac, 1971)

Símbolo del grupo	Tipo de suelo	Angulo roz. int. efect. ϕ' grados	$\text{tg } \phi'$
GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y de arena	$> 38^\circ$	$> 0,79$
GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y de arena	$> 37^\circ$	$> 0,74$
GM	Gravas limosas, mezclas de grava-arena-limo mal graduadas	$> 34^\circ$	$> 0,67$
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla mal graduadas	$> 31^\circ$	$> 0,60$
SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava	38°	$0,79$
SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava	37°	$0,74$
SM	Arenas limosas, mezclas de arena-limo mal graduadas	34°	$0,67$
SM-SC	Mezclas de arena-limo-arcilla con finos poco plásticos	33°	$0,66$
SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcilla	31°	$0,60$
ML	Limos inorgánicos y limos arcillosos	32°	$0,62$
ML-CL	Mezcla de limo inorgánico y arcilla	32°	$0,62$
CL	Arcillas inorgánicas poco plásticas o de plasticidad mediana	28°	$0,54$
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas poco plásticas	—	—
MH	Limos arcillosos inorgánicos, suelos limosos	25°	$0,47$
CH	Arcillas inorgánicas muy plásticas	19°	$0,35$
OH	Arcillas orgánicas y arcillas limosas	—	—

Los pesos unitarios de las unidades geotécnicas UG-1 y UG-4, fueron obtenidos a partir de los ensayos de densidad in situ realizados con el método de reemplazo de agua; mientras que los parámetros de resistencia y deformación fueron determinados a partir de los resultados de ensayo triaxiales CD y corte directo.

En la estimación de los parámetros de resistencia de las unidades geotécnicas UG-2 y UG-3 se consideró que a una mayor profundidad el terreno presenta una mayor resistencia debido a la densificación producida por el peso de las capas suprayacentes, esta situación se pudo verificar a través del incremento de las velocidades de ondas de corte. En ambas unidades se adoptó un ángulo de fricción de 40° y la cohesión fue estimada a partir de los ensayos de corte directo.

El ángulo de fricción del enrocado se estimó a partir de los valores del ángulo de fricción básico de la Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera del ministerio de fomento de España. De acuerdo con la Tabla 28, para un enrocado construido con andesita le corresponde un ángulo de fricción entre 41 y 43, adoptándose conservadoramente para el enrocado del proyecto un ángulo de 40° .

Tabla 28 Valores aproximados de ángulo de fricción
(Ministerio Fomento de España, 2006)

Material	ϕ_b (°)	$\Delta\phi_e$ (°)
Granito muy sano	40-41	1-2
Gneis	41-42	1-2
Cuarcita sana	39-40	1-2
Basalto	40-41	1-3
Riolita y andesita	41-42	1-3
Sienita y granodiorita	41-42	1-3
Dolomías y calizas muy sanas	39-40	1-2
Conglomerados y brechas bien cementadas	39-41	1-2
Areniscas bien cementadas	38-39	1-2

Finalmente, se adoptó un módulo de elasticidad para el material del cuerpo del dique de 37.5 MPa, tomando como referencia la Tabla 29.

Tabla 29 Parámetros típicos de módulos de elasticidad para material granular
(Poulos, H. G. et. Davis, E. H., 1980)

Densidad del material granular	Densidad Relativa	Es (MPa)
Suelta	< 0.4	27.5 - 55
Medianamente Densa	0.4 - 0.6	55 - 70
Densa	> 0.6	70 - 110

Mientras que los módulos elásticos para la unidad geotécnica UG-2 y UG-3 fueron calculados con la teoría de la elasticidad a partir las velocidades de ondas de corte (V_s) de los ensayos MASW, para las unidades UG-1 y UG-4 (unidades superficiales) fueron estimados a partir de la curva de esfuerzo desviador versus deformación resultante del ensayo de compresión triaxial.

Para la estimación del peso específico saturado de las unidades UG-1 y UG-4 se desarrolló un diagrama trifásico del subsuelo asumiendo un volumen de sólidos igual a 1m³. Además, se emplearon las humedades promedio y densidad natural obtenidas de los ensayos de campo; y la gravedad específica de los sólidos según Bowles, 1982. Posteriormente, se elevó el porcentaje de saturación inicial hasta llegar a la saturación y finalmente calcular el peso específico saturado. Conservadoramente, para las unidades UG-2 y UG-3 (unidades geotécnicas profundas) se han considerado valores incrementados hasta en 1kN/m³ partiendo de sus respectivos pesos específicos no saturados.

La Tabla 30 y Tabla 31 muestran el resumen de los parámetros de resistencia y deformación asignados para cada unidad geotécnica, diferenciando aquellas unidades existentes en las cercanías a Huaura (Sector Huaura) y aquellas ubicadas cerca a Sayán (Sector Sayán)

Tabla 30 Parámetros de resistencia y elásticos – Sector Sayán
(Elaboración propia, 2022)

Material	Densidad γ (kN/m ³)	Angulo de fricción ϕ' (°)	Cohesión C'(kPa)	Módulo de elasticidad E (kPa)
Cuerpo de dique	21.0	38	5	37 500
UG-4	18.5	34	5.8	17860
UG-1	20.5	38	2.4	28800
UG-2	21.5	40	4.3	67400
UG-3	23.0	40	5.2	155800
UG-5	22.0	38	12	178100
UG-6	25.5	42	-	245900
Enrocado	26.0	40	0.0	100000

Tabla 31 Parámetros de resistencia y elásticos – Sector Huaura
(Elaboración propia, 2022)

Material	Densidad γ (kN/m ³)	Angulo de fricción ϕ' (°)	Cohesión C'(kPa)	Módulo de elasticidad E (kPa)
Cuerpo de dique	21.0	38	5	37 500
UG-1	21.5	39	0.5	82500
Enrocado	26.0	40	0.0	100 000

Para la caracterización de la permeabilidad del suelo de fundación (UG-1 y UG-4), se utilizó la metodología de diseño que fue desarrollada en la Universidad de Ingeniería Civil de Moscú –MGSU-, (Rasskazov, 1984), que estima la permeabilidad a partir de correlaciones con la granulometría y porosidad.

El coeficiente de filtración para suelos gruesos (cm/s) se determina con la ecuación citada por Rasskazov (2008):

$$k_f = 100 \frac{n^3}{(1-n)^2} d_{17}^2 \sqrt{\frac{d_{60}}{d_{10}}}$$

Donde:

- n es la porosidad, y
- d_{17} es el diámetro de las partículas (cm) correspondientes al 17% en peso.

Para estimar la porosidad, es necesario conocer el índice de densidad del suelo de fundación, sabiendo que son suelos gravosos de compacidad suelta a media, se establece un valor de $I_D = 0,9$.

Una vez establecido el I_D , se calcula la relación de vacíos a través de la siguiente relación:

$$e = e_{max} - I_D (e_{max} - e_{min})$$

Dónde: $e_{\max}$ y $e_{\min}$ son los valores máximos y mínimos de relación de vacíos, que se los determina de forma experimental con base en la compactación máxima y mínima del material. Estos valores pueden evaluarse con las siguientes ecuaciones:

$$e_{\max} = \frac{\gamma_s - \gamma_{v \min}}{\gamma_{v \min}}$$

$$e_{\min} = \frac{\gamma_s - \gamma_{v \max}}{\gamma_{v \max}}$$

Dónde: $\gamma_{v \min}$ y $\gamma_{v \max}$ – representan los pesos volumétricos (sólidos + poros) mínimo y máximo del material. Para determinar el peso volumétrico mínimo de material (t/m^3), se utiliza la ecuación de Maslov V. citada en Rasskazov (1984):

$$\gamma_{v \min} = \frac{A}{(P\sqrt{K})^{0.05}} \frac{\gamma_s}{2.65}$$

Dónde: A =1,75 para los suelos arenosos; A=2,28 para la grava gruesa y boleó; y A=1,86 para bloques de roca (escollera).

K – es un coeficiente que caracteriza a los materiales gruesos sueltos determinados con la curva granulométrica de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{D_2 - D_1}{P * \lg \frac{D_2}{D_1}} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{p_i}{d_{2i} - d_{1i}} \lg \left(\frac{d_{2i}}{d_{1i}} \right)$$

D_1 y D_2 – son los diámetros mínimos y máximo de la curva granulométrica que conforman el porcentaje bien definido de las partículas del suelo.

P – el porcentaje, en peso, de las partículas del suelo comprendidas entre D_1 y D_2

p_i – el porcentaje, en peso, de las partículas del suelo comprendidas entre cada faja de d_{1i} a d_{2i} . La suma de los porcentajes p_i es igual a P.

d_{1i} y d_{2i} – son los diámetros menor y mayor de cada faja del porcentaje p_i .

En los suelos arenosos bien clasificados el porcentaje de partículas que puede ser determinado con certeza es el máximo, en vista de lo cual $P = 100\%$, D_0 y D_{100} .

Ilustración 3 Ejemplo de curva granulométrica de un depósito aluvial
(Washington Sandoval, 2018)

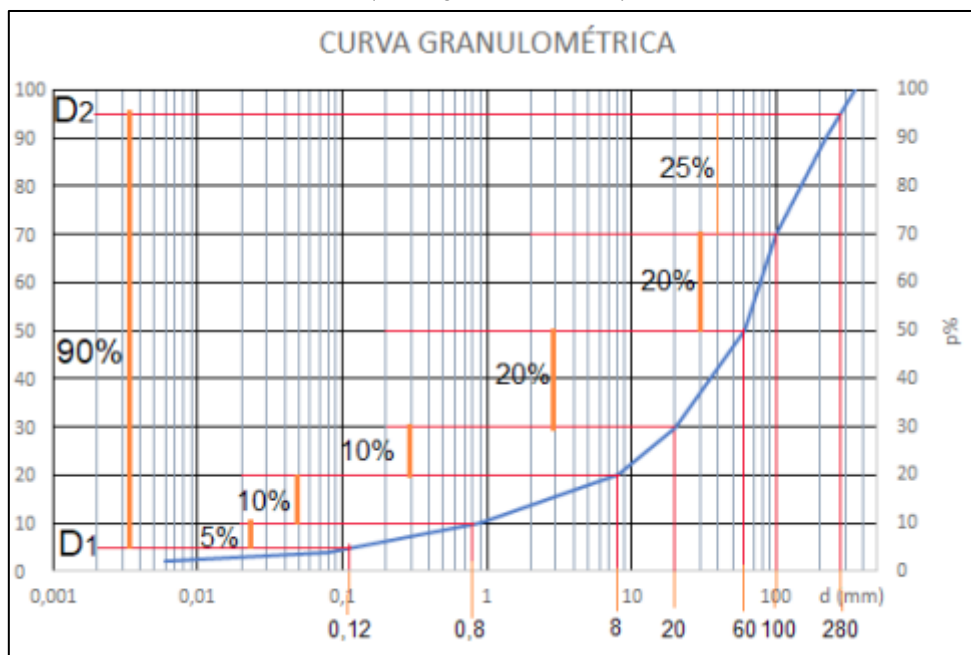
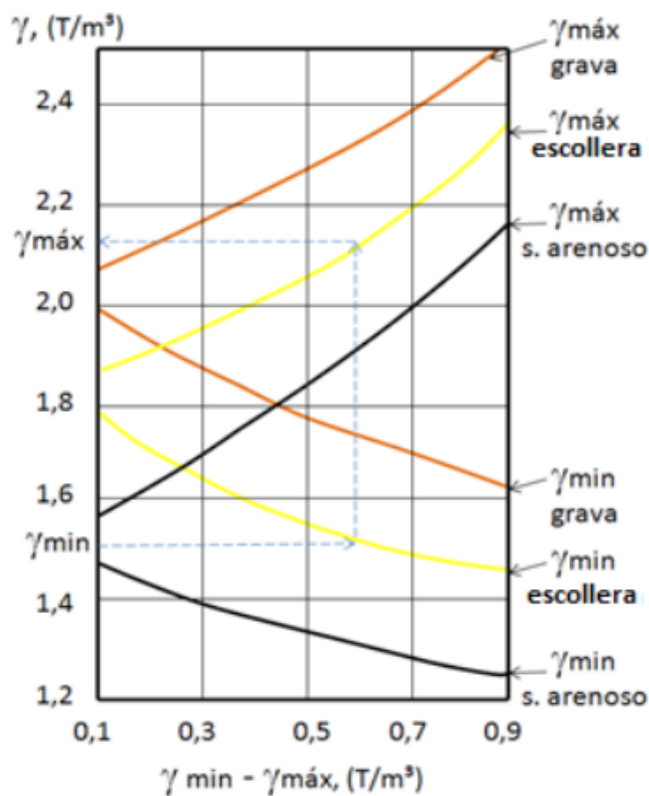


Ilustración 4 Nomograma para establecer el peso volumétrico máximo $\gamma_{v\text{m}\acute{a}x}$
(Rasskazov, 2008)



Una vez que se conoce $\gamma_{v \text{ min}}$, el valor del peso volumétrico máximo se puede determinar con el nomograma de la Ilustración 4.

Una vez calculados los valores de $\gamma_{v \text{ min}}$ y $\gamma_{v \text{ max}}$ se podrá determinar la relación de vacíos “e” con la ecuación mostrada anteriormente.

Se calcula la porosidad con la relación:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

Así mismo, la estimación de la permeabilidad para las unidades geotécnicas profundas partió – conservadoramente- de los valores conocidos de las UG superficiales, bajo la premisa que, a mayor profundidad, mayor es la densificación del suelo; y por tanto disminuye su permeabilidad.

La Tabla 32 muestra los valores de permeabilidad de los materiales que conforman los componentes del dique y las unidades geotécnicas.

Tabla 32 Permeabilidad
(Elaboración propia, 2022)

Material	Permeabilidad Ks (m/s)
Cuerpo del dique – TM 6"	(*)
UG-4	4×10^{-5}
UG-1	4×10^{-5}
UG-2	1×10^{-5}
UG-3	1×10^{-6}
Enrocado lado seco	0.001
Enrocado lado húmedo	1

(*) La permeabilidad máxima del material del cuerpo del dique será definido en el Informe Geotécnico-Estructural ya que sus valores obedecen también a las características del diseño de los diques.

7. Parámetros para obras de contención

En esta sección se presentan los parámetros necesarios para el diseño geotécnico – estructural de los muros de contención en voladizo y muros anclados.

Los parámetros necesarios para el diseño de los muros son:

- Ángulo de fricción entre el suelo y el muro para el cálculo de los empujes activos y pasivos.
- Ángulo de fricción para el cálculo de la resistencia al deslizamiento.
- Coeficiente de balasto horizontal.
- Clasificación sísmica del suelo en el emplazamiento de cada muro.

El ángulo de fricción entre suelo y muro (δ), se obtuvo a partir del ángulo de fricción, haciendo uso de las relaciones propuestas en el código técnico español:

Para empuje activo y concreto rugoso:

$$\delta \leq \frac{2}{3} \varphi'$$

Para empuje activo y concreto liso:

$$\delta \leq \frac{1}{3} \varphi'$$

Para empuje pasivo:

$$\delta \leq \frac{1}{3} \varphi'$$

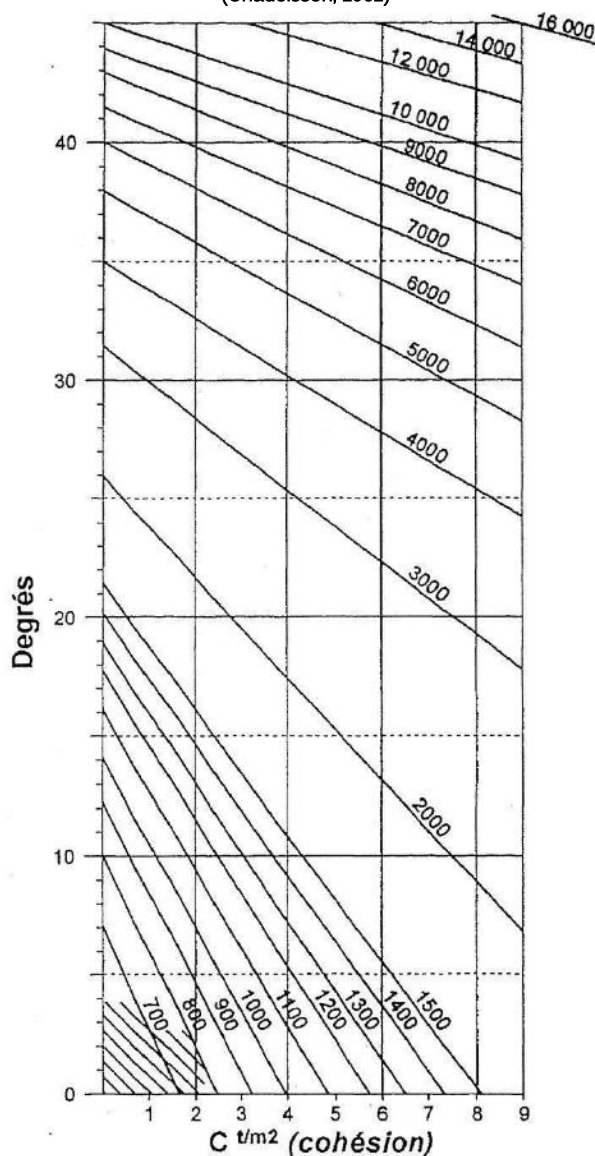
Tabla 33 Ángulo de fricción entre suelo y muro para diferentes tipos de empuje
(Elaboración propia, 2022)

Unidad geotécnica	Ángulo de fricción (φ°)	Ángulo de fricción suelo/muro (δ°) para cálculo de empujes			Ángulo de fricción suelo/muro (δ°) para resistencia al deslizamiento	
		Empuje Activo en concreto rugoso	Empuje activo en concreto liso	Empuje pasivo	Concreto Liso	Concreto rugoso
Relleno estructural	38	25	13	13	17	25° - 38°
UG-4	34	23	11	11	17	23° - 34°
UG-1	38	25	13	13	17	25° - 38°
UG-2	40	27	13	13	17	27° - 40°
UG-3	40	27	13	13	17	27° - 40°

Para la fricción suelo/muro, a utilizar en las verificaciones por deslizamiento, se aplicaron las recomendaciones de la norma CE.020 Estabilización de suelos y taludes.

Para la estimación del coeficiente de balasto horizontal se utilizó el ábaco de Chadeisson, el cual requiere como datos de entrada la cohesión y fricción del terreno.

Ilustración 5 Ábaco de Chadeisson – Coeficiente de balasto horizontal en t/m^3
(Chadeisson, 1961)



El ábaco fue tomado de la comunicación del Simposio sobre Estructuras de Contención de Terrenos — Aplicación del Eurocódigo EC7 en el diseño de muros de contención— de Marcos Arroyo y José P. Feijóo, publicada por la sociedad española de mecánica del suelo y cimentaciones.

En la Tabla 34, se resumen los coeficientes de balasto horizontales estimados para cada una de las unidades geotécnicas que interactúan con los muros.

Tabla 34 Coeficientes de balasto horizontal
(Elaboración propia, 2022)

Muro	Sección evaluada	Profundidad		Unidad Geotécnica	c'	ϕ'	Balasto horizontal (t/m3)
MARGEN-IZQUIERDA							
MU-PR-54A-I	0+090	0.00	2.13	4	5.8	34	5800
		2.13	6.28	1	2.4	38	6100
		6.28	17.17	2	4.3	40	8300
MU-PR-54B-I	0+070	0.00	1.37	0	6.4	24.6	3500
		1.37	3.80	1	2.4	38	6100
		3.80	10.97	2	4.3	40	8300
MU-PR-54B-I	0+160	0.00	3.10	0	-	-	3500
		3.10	5.05	1	2.4	38	6100
		5.05	10.17	2	4.3	40	8300
MARGEN-DERECHA							
MU-PR-53A-D	0+640	0.00	0.89	0	-	-	3500
		0.89	5.29	2	4.3	40	8300
		5.29	11.88	3	5.2	40	8900
MU-PR-53B-D	0+000	0.00	1.83	0	6.4	24.6	3500
		1.83	8.59	2	4.3	40	8300
		8.59	14.30	3	5.2	40	8900
MU-PR-61BIS-D	0+160	0.00	1.84	0	6.4	24.6	3500
		1.84	8.93	1	2.4	38	6100
		8.93	14.57	3	5.2	40	8900

El balasto horizontal estimado para el relleno estructural en el trasdós de los muros es de 7000 t/m³.

Finalmente; a partir de la medición de velocidades de propagación de ondas de corte, obtenida de los ensayos geofísicos, se clasificó sísmicamente el suelo de cimentación en el emplazamiento de cada muro, de acuerdo con los criterios establecidos en el ASCE 7-16 y la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 35 Clasificación sísmica del terreno de fundación
(Elaboración propia, 2022)

MURO	UNIDADES GEOTÉCNICAS SUBYACENTES	CLASIFICACIÓN SÍSMICA DEL SUELO	
		ASCE 7-16	E.030
MU-PR-02-I	UG-1, UG-7	C	S1
MU-PR-53A-D	UG-1, UG-2, UG-3, UG-5, UG-6	C	S1
MU-PR-53B-D	UG-2, UG-3, UG-5, UG-6	C	S1
MU-PR-54A-I	UG-1, UG-2, UG-3	C	S2
MU-PR-54B-I	UG-2, UG-3	C	S1
DI-PR-61bis-D	UG-2, UG-3	C	S1
DI-PR-57-I	UG-2, UG-3	C	S1
DI-PR-59-I	UG-2, UG-3	C	S1

8. Conclusiones y recomendaciones

- De acuerdo con la exploración geotécnica realizada, se identificaron nueve unidades geotécnicas en el eje de emplazamiento de los diques, denominadas UG-0 (Suelo inadecuado para cimentación), UG-4 (Suelos granulares de compacidad suelta), UG-1 (Gravas y arena medianamente densa), UG-2 (Grava y arena densa), UG-3 (Grava muy densa con bloques), UG-5 (Suelo residual), UG-6 (Macizo rocoso), UG-7 (Andesita muy fracturada) y R-DiEX(Relleno antrópico conformado por el relleno del cuerpo de los diques existentes).
- Con fines de cimentación de las estructuras propuestas, los suelos con restos de raíces y materia orgánica, limos arenosos y arenas sueltas que conforman la UG-0, deberán ser removidos en su totalidad por representar a suelos inadecuados para cimentación.
- Si luego de ejecutados los cortes, para la construcción de muros cantiléver o colocación de muros anclados, se detecta la presencia de materiales correspondiente con la UG-0, no será necesaria la eliminación total de estos estratos, sin embargo, en ningún caso se recomienda su recolocación, debiendo reemplazarse por rellenos controlados o estructurales.
- Se han definido los estratos superficiales UG-4 y UG-1. La UG-4 está conformada principalmente por arenas y en menor porcentaje por gravas (SC/SM/SC-SM/SP-SM) de compacidad suelta, con velocidades de ondas de corte 157 m/s y 233 m/s, mientras que la UG-1 está conformada por la mezcla de gravas bien y mal gradadas con limos y arenas limoarcillosas (GP/GW/GM/SC-SM), de compacidad media, con velocidades de ondas de corte entre 238 m/s y 419 m/s
- Las unidades geotécnicas de profundidad intermedia son UG-2 y UG-3. La UG-2 está conformada por una combinación de gravas pobremente gradadas (GP), gravas bien gradadas (GW) y gravas limosas (GM), de compacidad densa, con velocidades de ondas de corte 343 m/s y 566 m/s, mientras que la UG-3 está conformada por la mezcla de grava pobremente gradada con arena (GP), gravas bien gradadas (GW), grava limosa (GM), gravas pobremente gradadas con limo (GP-GM) y arenas pobremente gradadas con limo (SP-SM), de compacidad muy densa, con velocidades de ondas de corte entre 501 m/s y 1190 m/s
- Las unidades geotécnicas profundas son UG-5, UG-6 y UG-7. La UG-5 está conformada por suelos residuales producto de la meteorización de un macizo rocoso de origen volcánico con compacidad entre densa a muy densa y velocidades de ondas de corte que varían entre 611 m/s y 888 m/s, la UG-6 está constituida por un macizo rocoso de origen volcánico con diferentes grados de alteración y con velocidades de onda de corte de entre 734 m/s y 1280 m/s y la UG-7 corresponde a un macizo rocoso de andesita muy fracturada que presenta velocidades de onda de corte de entre 382 m/s y 1202 m/s
- El eje de emplazamiento de la estructura MU-PR-02-I presenta en superficie rellenos asociados a la UG-0 se registró hasta los 3.1 m, pero que se estima puede llegar hasta 5.3 m. Subyaciendo, hasta la máxima profundidad evaluada, se puede apreciar material compatible con la UG-7.

- El eje proyectado para la estructura MU-PR-01A-D presenta suelos superficiales asociados a un dique existente y material no adecuado para cimentación (UG-0), hasta una profundidad aproximada de 1.0 m. Subyaciendo, se ubica la UG-1, hasta la máxima profundidad aproximada de 10 m. Finalmente, hasta la máxima profundidad investigada, se encuentra la UG-7.
- El eje de emplazamiento de la estructura DI-PR-52BIS-2-D se identificó una cobertura superficial de UG-0, con 1.2 m de espesor, seguido por 3.0 m de UG-1, subyaciendo, se encuentra la UG-2, también de un espesor cercano a los 3.5 m. Finalmente, hasta la profundidad máxima investigada, se identificó la UG-3.
- El eje del emplazamiento de la estructura DI-PR-52BIS-1-D presenta una cobertura de UG-0, con 1.8 m de espesor, subyaciendo se encuentran las unidades UG-4 (primeros 340 m del eje), hasta 5.7 m de profundidad y UG-1 (hacia el final del eje y bajo la UG-4), hasta 7.6 m de profundidad. Bajo la UG-1 se ubica la UG-2, hasta los 11.5 m de profundidad. Finalmente, hasta la máxima profundidad investigada se identificó a la UG-3.
- En la zona de emplazamiento de la estructura MU-PR-53A-D, superficialmente se tiene una cobertura de UG-0 con espesores entre 0.4 m a 2.9 m, seguida por la UG-1 y en un pequeño tramo a la UG-2, hasta profundidades de 6.6 y 11.0 m, respectivamente, bajo la UG-1 se ubica la UG-2, con profundidades de hasta 16.1 m, subyaciendo se ubican las unidades geotécnicas UG-5 y UG-3, hasta profundidades que superan los 18.0 m. Finalmente, hasta la profundidad máxima investigada, se identificó la UG-6.
- En el eje de emplazamiento de la estructura MU-PR-53B-D, superficialmente se identificó presencia de la UG-0, con espesor máximo de 2.7 m. Subyaciendo, se encuentran las unidades UG-1(primeros 200m del eje), hasta profundidades de 6.9 m y la UG-2(del 0+200 hacia el final del eje), presente también bajo la UG-1, llegando hasta 11.2 de profundidad. Le sigue la UG-3, que alcanza los 17.5 m de profundidad. Debajo de la UG-3, se encuentra la UG-5, que alcanza la profundidad máxima 19.5 m. Finalmente, bajo la UG-5 y hasta la máxima profundidad investigada se identificó a la UG-6.
- En el eje de la estructura DI-PR-61Bis-D se identificó presencia de la UG-0, hasta la profundidad de 2.0 m, seguido por la UG-1, con espesor variable entre 3.8 m y 8.1 m, subyaciendo, luego de la progresiva 0+060, se puede apreciar la presencia del UG-2 hasta profundidades de 11.0 m, mientras que antes de la progresiva 0+060 y bajo la UG-2, se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-3. Subyaciendo la UG-3, se puede encontrar suelos compatibles con la UG-5 hasta profundidades de entre 29.5m. Finalmente, hasta alcanzar la profundidad máxima de exploración, se identificó la UG-3.
- En el eje de la estructura DI-PR-61A-D se identificó presencia de la UG-0, con profundidades observadas de 0.6 m a 1.85 m, Subyaciendo, se identificó presencia de la UG-1, hasta profundidades de 9.6 m. Por debajo de la UG-1 se encuentra la UG-2, hasta los 18.5 m de profundidad. Continúa la UG-3, que llegar hasta los 26.5 m. Por otro lado, bajo la UG-3, ubicada en la parte final de la estructura,

se puede encontrar material compatible con la UG-5 de un espesor no mayor de 5.0 m. Finalmente, bajo la UG-5 de la parte final de la estructura y la UG-3 del inicio, se puede encontrar a la UG-6.

- En el eje de la estructura MU-PR-54A-I, se identificó la UG-4, la UG-4 a profundidades hasta de 2.90 m. Subyaciendo se puede observar suelos asociados a la UG-1, hasta profundidades de 6.90 m. Seguidamente, se puede encontrar suelos asociados a la UG-2, hasta profundidades de 19.0 m. Finalmente bajo el UG-2 se puede encontrar al UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.
- En el eje de la estructura MU-PR-54B-I, se identificó material de dique existente R-DIEX entre el inicio del perfil hasta la progresiva 0+080, con una profundidad estimada de hasta 4.7 m, pudiendo variar según la ubicación. Asimismo, superficialmente y luego de la progresiva 0+080 se puede apreciar UG-0 con profundidades de hasta 3.80 m. Subyaciendo, se ubica la UG-1 con un espesor de hasta 2.8 m. Subyaciendo se puede apreciar suelos compatibles con la UG-2 con una profundidad de hasta 10.40 m. Finalmente, bajo la UG-2 se puede apreciar suelos compatibles con la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.
- El emplazamiento de la estructura DI-PR-57-I se ubica sobre cobertura de suelos compatibles con la UG-0 hasta profundidades de 1.50 m. Subyaciendo se puede observar materiales compatibles con un R-DIEX con profundidades de hasta 4.3 m. Subyaciendo se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-2 hasta una profundidad de 9.3 m. Finalmente bajo la UG-2 se puede encontrar materiales pertenecientes a la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.
- El eje del dique DI-PR-58B-I se ubica sobre la UG-0, con profundidades variables estimadas de hasta 1.50 m. Subyaciendo se puede observar materiales compatibles con un R-DIEX con profundidades variables de hasta 4.3 m. Subyaciendo se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-2 pudiendo llegar hasta una profundidad de 9.3 m. Finalmente bajo la UG-2 se puede encontrar materiales pertenecientes a la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.
- En el eje de la estructura DI-PR-59-I, se identificó materiales compatibles con las unidades UG-0 desde la progresiva inicial hasta los 0+050, con una profundidad de hasta 2.5 m, seguidamente se puede observar suelos superficiales pertenecientes al UG-4, hasta el final del perfil, con un espesor de hasta 2.0 m. Subyaciendo se puede observar suelos compatibles con la UG-1 hasta una profundidad de 5.0 m. bajo la UG-1 se ubica la UG-2 que puede llegar hasta los 11.5 m de profundidad. Finalmente se puede observar suelos compatibles con la UG-3 hasta la máxima profundidad evaluada.
- En el emplazamiento de la estructura DI-PR-58C-I se observó presencia de la UG-0, con una profundidad de hasta 1.1 m, bajo la cual se puede observar la presencia de suelos compatibles con la UG-4, desde parte inicial de la sección hasta la progresiva 0+036, seguido de lo cual se puede observar la presencia de UG-1 desde los 0+036 hasta el fin de la sección. Subyaciendo a los estratos superficiales, se observa la continuidad de la UG-1 hasta una profundidad de 5.3 m. Subyaciendo se pueden observar suelos compatibles con la UG-2 hasta una profundidad de 9.6 m. Finalmente, bajo la UG-2 se puede encontrar suelos compatibles con la UG-3.

- En el eje proyectado para la estructura DE-PR-59-I se puede apreciar la presencia de la UG-4, desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 0+090, con una profundidad de hasta 1.7 m, continúa hasta el final del eje la presencia de material orgánico compatible con la UG-0, con una profundidad de 2.0 m. Subyaciendo, se puede identificar la presencia la UG-1, desde la progresiva 0+000 a la 0+245, pudiendo llegar hasta una profundidad máxima de 5.3 m. Por otro lado, a partir de la progresiva 0+245 en adelante se tienen suelos pertenecientes a la UG-4, pudiendo alcanzar profundidades de hasta 3.90 m. Subyaciendo a los estratos UG-4 y UG-1, se puede encontrar suelos pertenecientes a la UG-2, con una profundidad de alcance estimada máxima de hasta 12.3 m. Finalmente, bajo la UG-2 y hasta la máxima profundidad investigada, se puede encontrar suelos asociados a la UG-3.
- El perfil estratigráfico del eje de emplazamiento del Puente Sayán se divide en los siguientes materiales cuaternarios, como capa superficial se observan depósitos fluvioaluviales en la margen derecha y depósitos aluviales en la margen izquierda. Estos depósitos están constituidos por gravas y bolones de compacidades medianamente densa para la margen derecha y de compacidades densas en la margen izquierda, subyaciendo a la grava densa, se presenta un depósito de granulometría mayor como bolones y bloques que constituyen un depósito de compacidad muy densa.
- Los parámetros de resistencia de los materiales que conforman el cuerpo del dique y el terreno de cimentación presentan valores de ángulos de fricción entre 34° y 40°.
- La permeabilidad máxima del material del cuerpo del dique será definida en la Memoria Descriptiva - Diseño Estructural/Geotécnico, ya que sus valores obedecen también a las características del diseño de los diques.
- Las unidades geotécnicas que van a interactuar con los muros de contención serán UG-0, UG-4, UG1, UG-2 y UG-3. Los coeficientes de balasto horizontal estimados para estos materiales varían entre 3500 t/m³ y 8900 t/m³. El balasto horizontal estimado para el relleno estructural en el trasdós de los muros es de 7000 t/m³.
- La clasificación sísmica del suelo de cimentación de los muros es en su mayoría tipo C, según el ASCE 7-16 o S1, según la norma E030, a excepción del muro MU-PR-54A-I, que según la norma E.030 es tipo S2.
- La fricción suelo/muro varía entre 27° y 27° para empuje activo en concreto rugoso y entre 11° y 13° para empuje pasivo y empuje activo en concreto liso. La fricción suelo/muro para la verificación frente al deslizamiento es de 17° en concreto liso y varía entre 23° y 40° para concreto rugoso.