

UNIÓN TEMPORAL DISEÑOS SILOS

PROYECTO

**ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL
PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO URBANO EN EL
MUNICIPIO DE SILOS, DEPARTAMENTO DE NORTE DE
SANTANDER.**

**ESTUDIO DE GEOTECNIA DE CIMENTACIONES PARA
OBRAS DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO**

REVISIÓN 0
VOLUMEN 1 DE 1

JUNIO DE 2025

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	GENERALIDADES	8
2.1	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	8
2.2	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	8
2.3	OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO DE GEOTECNIA DE CIMENTACIONES	9
2.4	ANTECEDENTES.....	9
3	INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS	10
3.1	EXPLORACIÓN DE CAMPO	10
3.2	PERFORACIONES MANUALES Y MECÁNICAS	10
3.3	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	11
3.4	NIVEL FREÁTICO.....	12
3.5	ESTRATIGRAFÍA.....	12
4	CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA.....	13
4.1	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES.....	13
4.2	PROPIEDADES ÍNDICE	13
4.3	PESO UNITARIO	14
4.4	POTENCIAL DE EXPANSIÓN	14
4.5	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)	14
4.6	PERFIL DE DISEÑO DE LAS PERFORACIONES	15
4.7	PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE (S_u , c , ϕ)	16
4.7.1	COHESIÓN NO DRENADA (S_u).....	16
4.7.2	ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ).....	16
4.7.3	MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_s).....	17
4.7.4	PARÁMETROS DE CONSOLIDACIÓN.....	19
4.7.5	EMPUJES DE TIERRA	19
5	ANÁLISIS DE INGENIERÍA	20
5.1	GENERALIDADES.....	20
5.2	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN DE LOS SUELOS	20
5.3	ASENTAMIENTOS EXCESIVOS DE LOS SUELOS	20
5.4	CLASIFICACIÓN ZONA DE AMENAZA SÍSMICA.	20
5.5	PERFIL DE LOS SUELOS	20
6	EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS	22
6.1	GENERALIDADES.....	22
6.2	PROFUNDIDAD DE DESPLANTE ANALIZADAS	22
6.3	ANÁLISIS DE CAPACIDAD PORTANTE	22
6.3.1	Capacidad portante para cimentación superficial mediante la utilización de zapatas	22
6.3.2	Resultados del análisis de capacidad portante	23
6.4	ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DE LA OBRA PROYECTADA.....	24
6.4.1	Asentamiento Elásticos.....	24
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
7.1	CONCLUSIONES PTAP	27
7.2	CONCLUSIONES VIADUCTO	27
7.3	CONCLUSIONES TUBERÍA DE CONDUCCIÓN	27

7.4	CONCLUSIONES CAPTACIÓN Y DESARENADOR	27
7.5	RECOMENDACIONES GENERALES	28
8	REFERENCIAS.....	29

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A.1. PERFILES ESTRATIGRAFICOS Y REGISTRO FOTOGRAFICO
ANEXO A.2. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO A.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS
ANEXO B.1. MEMORIAS DE CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE
ANEXO B.2. MEMORIAS DE CALCULO DE ASENTAMIENTOS

LISTA DE FIGURAS

pág.

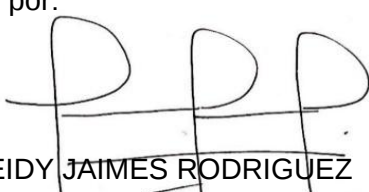
Figura 3-1 Ubicación de las perforaciones realizadas	11
--	----

LISTA DE CUADROS

pág.

Cuadro 3-1 Ubicación de los trabajos realizados en el sitio del proyecto	10
Cuadro 3-2 Cantidad total de ensayos ejecutados en campo y laboratorio	12
Cuadro 4-1 Propiedades índice de los suelos cohesivos	14
Cuadro 4-2 Clasificación de suelos expansivos según NSR-10 (tomado del Título H).....	14
Cuadro 4-3 Criterios de clasificación según el número de golpes del ensayo de penetración estándar (NSPT).....	15
Cuadro 4-4 Número de golpes/pie promedio corregido N_{45} . Paso elevado y PTAP	15
Cuadro 4-5. Parámetros de resistencia al corte drenado Perfil paso elevado.	16
Cuadro 4-6 Parámetros de resistencia al corte drenado Perfil PTAP	17
Cuadro 4-7 Correlaciones empíricas para estimar el módulo de Young E_s en diferentes tipos de suelo a partir del ensayo de SPT.....	18
Cuadro 4-8 Módulo de Young estimado para el perfil Paso Elevado	18
Cuadro 4-9 Módulo de Young estimado para el perfil PTAP	18
Cuadro 6-1 Capacidad portante suelos del sitio del proyecto PTAP.	23
Cuadro 6-2 Capacidad portante suelos del sitio del proyecto – Viaducto	23
Cuadro 6-3 Capacidad portante suelos del sitio del proyecto – Captación y desarenador.	24
Cuadro 6-4 Capacidad portante suelos del sitio del proyecto – Aducción y distribución	24
Cuadro 6-5 Asentamientos elásticos y módulo de reacción de los suelos PTAP.	24
Cuadro 6-6 Asentamientos elásticos y módulo de reacción de los suelos Paso Elevado.	25
Cuadro 6-7 Asentamientos elásticos y módulo de reacción de los suelos Captación.	25
Cuadro 6-8 Asentamientos elásticos y módulo de reacción de los suelos Tubería.	25

FICHA DE CONTROL DEL DOCUMENTO

Versión No.	Fecha	Descripción del cambio
V0	02/06/2025	Versión Inicial. Informe de suelos definitivo
Elaborado por:  LUIS ANGEL AVILÉS MURCIA Matricula No. 08202213505ATL Ingeniero Civil, PhD. Geotecnia		Aprobado por:  LUZ MILEIDY JAIMES RODRIGUEZ Matricula No. 54202165933NTS Ingeniero Civil, Esp. Geotecnia Ambiental

1 INTRODUCCIÓN

La firma consultora de geotecnia INGEOLAB, fue contratada para realizar el informe de geotecnia y cimentaciones para el proyecto: ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO URBANO EN EL MUNICIPIO DE SILOS, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER.

En este documento, se describen las investigaciones geotécnicas ejecutadas, la caracterización de materiales en lo referente a las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de apoyo para todas las obras que hacen parte del sistema de acueducto.

El presente informe técnico está compuesto por los siguientes capítulos:

Capítulo 2. Generalidades: se presenta una descripción de las características del proyecto, la localización de la zona de construcción del sistema de acueducto, los objetivos y alcances del estudio de cimentaciones para las obras del sistema, los estudios previos y reconocimiento de la zona del proyecto.

Capítulo 3. Investigaciones geotécnicas: se presenta un resumen de los trabajos de campo realizados, así como los ensayos de laboratorio ejecutados a partir de las muestras recuperadas en la zona del proyecto.

Capítulo 4. Caracterización geotécnica: en este capítulo se presenta la caracterización geotécnica de los suelos de apoyo en el sitio de construcción, de acuerdo con los ensayos de campo y laboratorio realizados.

Capítulo 5. Análisis de ingeniería: se describen los posibles suelos problemáticos encontrados, el perfil sísmico de los suelos y su clasificación según la NSR-10. Se enumeran los posibles problemas asociados con los suelos del sitio como suelos expansivos, colapsables o licuables.

Capítulo 6. Evaluación de capacidad portante y asentamientos: en este capítulo se presenta la evaluación de capacidad portante y asentamientos de los suelos, de acuerdo con los ensayos de campo y laboratorio realizados.

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones: en esta sección se plantean las recomendaciones constructivas, de mantenimiento y funcionamiento para las obras a realizarse.

2 GENERALIDADES

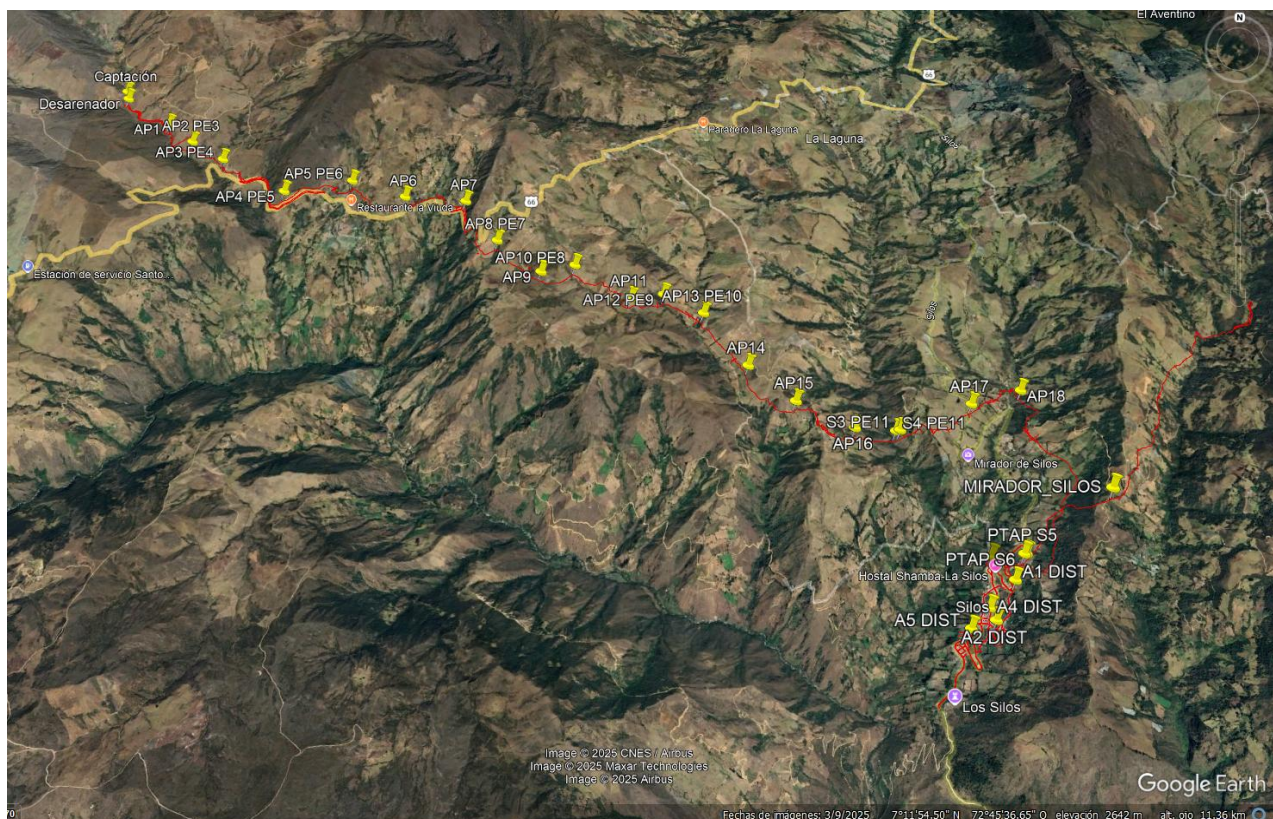
2.1 CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

El proyecto consiste en la construcción de un sistema de acueducto para el plan maestro de acueducto del Municipio de Silos. Las obras que harán parte del sistema de acueducto son:

- Bocatoma o captación
- Desarenador
- Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)
- Red de aducción.
- Viaductos
- Red de distribución.

2.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se extiende a lo largo de la vereda La Laguna en la jurisdicción del municipio de Silos. La Figura 2-1 muestra la ubicación de las zonas donde se construirán las obras del sistema junto con los trabajos de campo realizados.



2.3 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL TRABAJO DE GEOTECNIA DE CIMENTACIONES

Realizar la exploración geotécnica necesaria y la ejecución de los ensayos de laboratorio pertinentes que permitan la caracterización de los materiales que conforman la fundación o suelos de apoyo para las obras que hacen parte del sistema de acueducto.

De manera específica se busca lo siguiente:

- Realizar sondeos manuales y mecánicos hasta 6.0 m de profundidad con el fin de caracterizar los suelos de apoyo para las cimentaciones de las obras del sistema de acueducto.
- Ejecutar ensayos de campo in situ y ensayos de laboratorio que permitan la caracterización física, mecánica e hidráulicas de los suelos explorados.
- Definir un perfil de diseño geotécnico para el cálculo de la capacidad de cimentaciones. Así como definir la capacidad de carga y asentamientos esperados.

2.4 ANTECEDENTES

No se encontraron antecedentes en el área de construcción de las obras del sistema de acueducto. El presente informe parte de la información primaria recolectada con los trabajos de campo realizados en la presente campaña geotécnica, no se emplea información secundaria.

3 INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

3.1 EXPLORACIÓN DE CAMPO

Las exploraciones geotécnicas realizadas con el fin de caracterizar los materiales de soporte de las cimentaciones de las obras comprendieron:

- Sondeos manuales a percusión.
- Ensayos de campo tipo SPT.
- Apiques manuales.

A continuación, se describen los trabajos realizados y la pertinencia de su ejecución.

3.2 PERFORACIONES MANUALES Y MECÁNICAS

Se ejecutaron un total de seis (12) perforaciones hasta una profundidad máxima de exploración de 5.30 m con fines de caracterización de los suelos de apoyo para las obras de captación, desarenador, PTAP y viaducto. En cada perforación se llevaron a cabo ensayos in situ para la evaluación de la resistencia del terreno mediante el SPT. Se tomaron muestras alteradas con la cuchara partida, no fue posible extraer muestras inalteradas con tubos shelby debido a la naturaleza granular de los materiales. Así mismo se realizaron veintitrés (23) apiques manuales hasta los 1.10 m de profundidad a lo largo del trazado para la red de aducción y distribución.

En el Cuadro 3-1 se muestra la ubicación de los trabajos de campo. La Figura 3-1 muestra la ubicación de las perforaciones realizadas.

Cuadro 3-1 Ubicación de los trabajos realizados en el sitio del proyecto

Obras	Perforación	Ubicación	Profundidad
Captación y desarenador	P1	7.249037N – 72.832998W	1.5 m
	P2	7.248085N – 72.832712W	1.6 m
Paso Elevado	P3	7.218887N – 72.762425W	6.0 m
	P4	7.218497N – 72.763300W	3.0 m
PTAP	P5	7.208447N – 72.754265W	5.3 m
	P6	7.209438N – 72.754288W	5.3 m
Red aducción	A1	7.244995N – 72.827998W	1.0 m
	A2	7.243018N – 72.825397W	1.1 m
	A3	7.241180N – 72.822230W	1.1 m
	A4	7.237767N – 72.816012W	1.1 m
	A5	7.239418N – 72.810263W	1.0 m
	A6	7.237908N – 72.805347W	1.0 m
	A7	7.208419N – 72.842182W	1.0 m
	A8	7.233437N – 72.796700W	1.1 m
	A9	7.230480N – 72.792715W	1.1 m
	A10	7.231530N – 72.789935W	1.1 m
	A11	7.228535N – 72.785088W	1.1 m
	A12	7.229183N – 72.782333W	1.1 m

Calle 11 No 5-15 El Pórtico

Tel: 310 613 1618

E-mail: labosuelos.jaimes@gmail.com

Cúcuta – Norte de Santander

	A13	7.227763N – 72.779013W	1.2 m
	A14	7.222545N – 72.776320W	1.1 m
	A15	7.219443N – 72.771540W	1.1 m
	A16	7.217667N – 72.766873W	1.1 m
	A17	7.220755N – 72.757303W	1.1 m
	A18	7.222557N – 72.752916W	1.1 m
	A19	7.206302N – 72.755265W	1.1 m
	A20	7.203338N – 72.756992W	1.0 m
	A21	7.208486N – 72.756721W	1.1 m
	A22	7.204350N – 72.757287W	1.2 m
Red distribución	A23	7.202867N – 72.758828W	1.0 m

3.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

De las perforaciones se tomaron muestras para ejecutar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Límites de Atterberg.
- Contenido de humedad.
- Granulometría.
- Corte directo.

La cantidad de ensayos de campo y laboratorio ejecutados se relaciona en el Cuadro 3-2.

Figura 3-1 Ubicación de las perforaciones realizadas



Cuadro 3-2 Cantidad total de ensayos ejecutados en campo y laboratorio

Ensayo	Cantidad	Norma
Trabajos de Campo		
Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	25	INV E-111
Ensayos de Laboratorio		
Límites de Atterberg.	60	INV E-125,26
Contenido de humedad.	68	INV E-122
Granulometría.	60	INV E-123
Corte directo	3	INV E-154

Para más información de los procedimientos de ensayos, por favor remitirse a las normas Invías respectivas dadas en el Cuadro 3-2.

3.4 NIVEL FREÁTICO.

Durante las exploraciones no se encontraron niveles de aguas freáticas.

3.5 ESTRATIGRAFÍA.

A lo largo de toda el área de estudio suelos granulares no cohesivos o con baja plasticidad que hacen parte del perfil estratigráfico. A continuación, se describe cada uno de los grupos de suelo encontrados.

Suelos Cohesivos

Son suelos limosos y arcillo arenosos de baja y alta plasticidad (**CL/ML/CH**), color amarillo y rojizo, compacidad suelta de densa, humedad baja a media, no saturadas. Este tipo de materiales se encontró especialmente a nivel superficial y a lo largo de todo el trazado de la red de aducción y distribución.

Suelos Granulares

Son suelos arenosos y gravosos de baja a nula plasticidad (**SM/SC/GC/GM**), color marrón y amarillo, compacidad muy suelta de densa, humedad media, no saturados. Este tipo de materiales se encontró en todas las perforaciones de las obras principales. Estos materiales conformaban la matriz de apoyo para materiales más gruesos como piedras de gran tamaño.

La exploración de campo y los ensayos de laboratorio se realizaron con el propósito de determinar las características y propiedades de los suelos que componen el apoyo para las obras del sistema. En los Anexos se incluyen los registros estratigráficos, los resultados de ensayos de laboratorio realizados y el registro fotográfico de las perforaciones.

4 CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA

Con el propósito de analizar los materiales existentes donde se proyecta realizar las obras del sistema, se presenta a continuación la caracterización geotécnica de los suelos. En este capítulo se suministran los parámetros de diseño necesarios para definir las bases necesarias que soportarán cada una de las obras.

4.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES.

Con los trabajos de campo realizados sobre los suelos de cimentación se identificó un perfil de diseño para cada sitio de construcción de las obras, los cuales se describen a continuación:

Perfil de diseño 1 – captación y desarenador

0.00 – 1.60 m: suelos areno gravosos de baja plasticidad (**SC/GC**), color marrón oscuro y amarillo, compacidad media a densa, humedad media, no saturadas. Este tipo de materiales se encontró en ambas perforaciones de las obras y presento rechazo debido al alto contenido de piedras.

Perfil de diseño 2 – Paso Elevado

0.00 – 6.00 m: suelos areno limosos no plásticos (**SM**), color marrón y amarillo, compacidad muy suelta a densa, humedad media, no saturadas. Este tipo de materiales se encontró en ambos sitios de apoyo del paso elevado, siendo la compacidad densa en el sitio de perforación 2.

Perfil de diseño 3 – PTAP

0.00 – 5.30 m: suelos areno limosos y gravosos no plásticos (**SM/GM**), color marrón grisáceo, compacidad media a densa, humedad media, no saturadas.

Perfil de diseño 4 – aducción y distribución

0.00 – 1.20 m: este perfil presenta una gran variedad de suelos, sin embargo, en su mayoría corresponden a arenas limosas y arenas arcillosas de baja plasticidad (**SC/SM**), color marrón oscuro y amarillo, compacidad y consistencia blanda a media, humedad media, no saturadas.

A continuación, se presenta la caracterización realizada para los materiales encontrados.

4.2 PROPIEDADES ÍNDICE

Considerando que la mayoría de los suelos de los perfiles de diseño son suelos cohesivos con contenido medio a alto de material granular. Los rangos de plasticidad se encuentran en materiales de baja plasticidad, El Cuadro 4-1 presenta el resumen de las propiedades índices de los materiales de apoyo para todos los perfiles de diseño, en especial para el perfil de la línea de aducción y distribución donde se encontraron más suelos plásticos.

Cuadro 4-1 Propiedades índice de los suelos cohesivos

Valor	W_n [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	I_c [-]	IL [-]	U.S.C.S
Mínimo	3.1	23.5	17.2	1.5	0.6	-6.8	CL/ML
Promedio	18.0	39.5	31.3	9.7	2.2	-1.2	CL/ML
Máximo	68.0	72.3	65.3	41.6	7.8	0.4	CH/MH

Según lo mostrado en los cuadros los suelos presentan una humedad natural baja a alta, esto se verificó en campo con la consistencia blanda con alta humedad de los materiales más superficiales. Adicionalmente el índice de liquidez negativo promedio indica que estos suelos se encuentran sobreconsolidados.

En cuanto al contenido de material granular, los suelos presentan contenidos entre el 6.3 y 82% de arenas y entre un 0.0 y 58% de gravas. Esto indica el alto aporte a la resistencia de las partículas granulares de la mezcla de suelo.

4.3 PESO UNITARIO

Esta variable se determinó con base en correlaciones con el SPT y relaciones masa/volumen de muestras obtenidas con el SPT con valores que oscilan entre 17.5 y 20.5 kN/m³ para los suelos de apoyo de las obras.

4.4 POTENCIAL DE EXPANSIÓN

Para determinar las características de expansión de los suelos encontrados, se utilizaron las propiedades índices de estos. Con estas propiedades y mediante el uso de la Tabla H. 9.1-1 de la NSR-10 (Véase Cuadro 4-2) se definió el potencial de expansión de los suelos.

Cuadro 4-2 Clasificación de suelos expansivos según NSR-10 (tomado del Título H)

Potencial de expansión	Expansión Consolidómetro (%)	LL (%)	LC (%)	IP (%)	Partículas menores 1 μ (%)	Expansión libre en probeta (%)
Muy Alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 - 63	6 - 12	23 – 45	18 - 37	> 100
Medio	10 - 20.	39 - 50	8 - 18.	12 - 34.	12 - 37.	50 – 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

El potencial de expansión para todos los suelos encontrados durante las exploraciones es **Medio-Alto**.

4.5 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

Se llevaron a cabo los ensayos de penetración estándar (SPT) en las perforaciones del viaducto y la PTAP realizadas a excepción en el sitio de la bocatoma y desarenador donde por sus condiciones de muestras rocosas no fue posible desarrollar el ensayo.

Con base en este registro de golpes y empleando correlaciones mundialmente aceptadas, se establecen los parámetros de resistencia del suelo hasta alcanzar las profundidades de rechazo.

La densidad relativa de los suelos puede ser calificada de acuerdo con lo indicado por Terzaghi y Peck En el Cuadro 4-3 se muestran los criterios de clasificación según el número de golpes por pie del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}).

Cuadro 4-3 Criterios de clasificación según el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{SPT})

CONSISTENCIA ARCILLAS	N	DENSIDAD RELATIVA ARENAS Y LIMOS	N
Muy blanda	< 2	Muy suelta	<4
Blanda	3 - 4	Suelta	5 - 10
Media	5 - 8	Media	11 - 30
Firme	9 - 15	Densa	31 - 50
Muy Firme	16 - 30	Muy Densa	>50
Dura	>30		

4.6 PERFIL DE DISEÑO DE LAS PERFORACIONES

El Cuadro 4-4 reporta los golpes spt obtenidos los sitios donde fue posible realizarlo, perforaciones paso elevado y PTAP, las cuales son obras que se encuentran cerca y presentaron homogeneidad en los materiales explorados.

Cuadro 4-4 Número de golpes/pie promedio corregido N_{45} . Paso elevado y PTAP

Profundidad ensayo spt [m]	$N_{45}[-]$ Perfil Paso elevado	$N_{45}[-]$ Perfil PTAP
0.6	2	18
1.2	2	11
1.8	2	10
2.4	3	11
3.0	3	14
3.6	5	16
4.2	9	22
4.8	25	55
5.4	43	R
6.0	R	R

El valor de golpes SPT reportados en el Cuadro 4-4 para el paso elevado corresponde a la perforación 3. Los bajos golpes a nivel superficial reflejan el estado suelto del material granular superficial.

4.7 PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE (S_u , c , ϕ)

4.7.1 COHESIÓN NO DRENADA (S_u)

Debido que el perfil de diseño no presenta suelos cohesivos, la cohesión no drenada (S_u) no es un parámetro de resistencia de gran relevancia para estos perfiles de diseño.

4.7.2 ÁNGULO DE FRICCIÓN (ϕ)

Este parámetro es el principal aportante de la resistencia al corte de los estratos arenosos de los perfiles de diseño. Se utilizaron las siguientes correlaciones para determinar el ángulo de fricción en suelos granulares, así como los resultados de corte directo realizado sobre algunas de las muestras obtenidas.

Arenas

Para la estimación de este parámetro se utilizaron los valores del número de golpes del ensayo de penetración estándar (NSPT) corregidos a la energía de penetración adoptada en Colombia, la cual corresponde al 45% de la energía del martillo.

Se utilizaron las siguientes correlaciones aplicadas en Colombia para la determinación del ángulo de fricción del material.

Japan Road Bureau:

$$\phi_{eq} = 15 + (9.375N_{45})^{0.5}$$

Peck, Hanson & Thombum (1974):

$$\phi_{eq} = 26.25 \left[2 - \exp\left(-\frac{N_{45}}{62}\right) \right]$$

Japan National Railway (1982):

$$\phi_{eq} = 0.1875N_{45} + 27$$

En las ecuaciones ϕ_{eq} , es el ángulo de fricción equivalente correspondiente a una eficiencia de energía aplicada a los martillos de penetración usados en Colombia. Las ecuaciones presentadas corresponden adaptaciones realizadas por Gonzales (1999).

El Cuadro 4-5 resume el cálculo de los ángulos de fricción para los suelos explorados.

Cuadro 4-5. Parámetros de resistencia al corte drenado Perfil paso elevado.

Profundidad ensayo spt [m]	N_{45} [-] Perfil Paso elevado	ϕ [°]
0.6	2	19.3
1.2	2	19.3
1.8	2	19.3

2.4	3	20.3
3.0	3	20.3
3.6	5	21.8
4.2	9	24.2
4.8	25	30.3
5.4	43	35.1
6.0	R	36.0

Cuadro 4-6 Parámetros de resistencia al corte drenado Perfil PTAP

Profundidad ensayo spt [m]	N ₄₅ [-] Perfil PTAP	ϕ [°]
0.6	18	28.0
1.2	11	25.2
1.8	10	24.7
2.4	11	25.2
3.0	14	26.5
3.6	16	27.2
4.2	22	29.4
4.8	55	37.7
5.4	R	38.0
6.0	R	38.0

Estos valores de fricción altos son característicos de los suelos arenosos del sitio de densidad media a densa, con buena capacidad de soporte y pocos procesos de asentamientos.

Para la zona de construcción de la captación y desarenador se adoptará un valor de ángulo de fricción de 32°, el cual es acorde con el tipo de material del sitio.

Para la red de aducción y distribución el ángulo de fricción oscila entre los 16 y 32°, este valor se correlaciona con el IP de los materiales.

4.7.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD (E_s)

El módulo de elasticidad E_s se obtuvo a partir del número de golpes del ensayo de penetración estándar, tal como se presenta en el Cuadro 4-7.

Cuadro 4-7 Correlaciones empíricas para estimar el módulo de Young E_s en diferentes tipos de suelo a partir del ensayo de SPT.

TIPO DE SUELO	CORRELACIÓN (E_s en kPa)	REFERENCIA
Gravas	$600(N+6) \quad N \leq 15$ $600(N+6)+2000 \quad N > 15$	Bowles, 1996
Arenas saturadas	$250(N+15)$	Bowles, 1996
Arenas limosas	$1800+270N \quad N \leq 15$ $7740+135N \quad N > 15$	Ten et al, 1991
Arenas arcillosas	$320(N+15)$	Bowles, 1996
Limos	$300(N+6)$	Bowles, 1996
Arcillas	Arcilla de alta plasticidad $E = 300 \cdot S_u$ Arcilla de baja plasticidad $E = 1000 \cdot S_u$ (S_u es la resistencia al corte no drenado)	Bowles, 1996

En el Cuadro 4-8 se presentan los valores de rigidez obtenidos para los perfiles de diseño presentes en la zona de construcción del hospital.

Cuadro 4-8 Módulo de Young estimado para el perfil Paso Elevado

Profundidad ensayo spt [m]	$N_{45}[-]$ Perfil Paso elevado	E_s en MPa
0.6	2	2.6
1.2	2	2.6
1.8	2	2.6
2.4	3	2.9
3.0	3	2.9
3.6	5	3.5
4.2	9	4.8
4.8	25	9.9
5.4	43	15.7
6.0	R	25

Cuadro 4-9 Módulo de Young estimado para el perfil PTAP

Profundidad ensayo spt [m]	$N_{45}[-]$ Perfil PTAP	E_s en MPa
0.6	18	7.7
1.2	11	5.4

1.8	10	5.1
2.4	11	5.4
3.0	14	6.4
3.6	16	7.0
4.2	22	9.0
4.8	55	19.5
5.4	R	25.0
6.0	R	25.0

Para los módulos de elasticidad se correlacionaron usando la ecuación de arenas arcillosas (SC). Por debajo de los 6.0 m, se asume un valor de rigidez superior a 50 MPa.

4.7.4 PARÁMETROS DE CONSOLIDACIÓN

Los materiales del perfil de diseño no presentan propiedades de consolidación de los materiales.

4.7.5 EMPUJES DE TIERRA

Dado que en el sitio de construcción se proyecta la realización de cortes profundos para la construcción de los tanques de almacenamiento, se requieren los coeficientes de empujes laterales del material del perfil de diseño. Se consideran los siguientes coeficientes de empuje:

$$K_a = 0.36$$

$$K_p = 2.8$$

5 ANÁLISIS DE INGENIERÍA

5.1 GENERALIDADES

Como se describió previamente, el proyecto consiste en la construcción de varias obras que hacen parte del sistema de acueducto del municipio de Silos. Las obras incluyen tanques, planta de tratamiento, bocatoma, desarenador y un paso especial tipo viaducto. Estas obras transmitirán baja cargas a los suelos de apoyo.

En los sitios donde se implantarán las obras no se evidencia afectación geotécnica. Sin embargo, en el sitio de construcción del paso elevado se tienen pendientes del terreno de 30-45° aproximadamente, lo cual se debe tener en cuenta en el cálculo de la capacidad de soporte de estos suelos de ladera.

5.2 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN DE LOS SUELOS

Durante las perforaciones no se identificaron suelos potencialmente licuables que cumplen las siguientes condiciones:

- Estrato de arenas completamente saturadas y compacidad suelta.
- Material con porcentaje de finos inferior al 50%.
- Suelo limoso suelto.

Por lo tanto, no se realiza un análisis de licuación para este perfil de diseño.

5.3 ASENTAMIENTOS EXCESIVOS DE LOS SUELOS

Los suelos encontrados en el del perfil de diseño corresponden a suelos areno limosos y arcillosos con alto contenido de gravas. Estos suelos no presentan potencial de asentamientos excesivos al presentar una condición media a densa de los materiales.

5.4 CLASIFICACIÓN ZONA DE AMENAZA SÍSMICA.

De acuerdo con la NSR (Normas Sismo Resistentes Colombianas 2010) título A, El municipio de El Silos – Norte de Santander, pertenece a una zona de amenaza sísmica **Alta**.

5.5 PERFIL DE LOS SUELOS

Para la clasificación del perfil del suelo se utilizó el promedio de los golpes SPT desde el primer metro de profundidad, obteniéndose:

$$\bar{N} = \sum \frac{d_i}{\frac{d_i}{N_i}} > 15.0$$

Donde

d_i = *espesor medio del estrato i*

N_i = numero de golpes en el estrato i

De acuerdo con las características predominantes del perfil del suelo se sitúa en el **TIPO D** de la norma, teniendo en cuenta que los suelos presentan una densidad creciente con la profundidad y se asume que la misma se mantiene hasta los 30.0 m.

De acuerdo con la NSR – 10, el tipo de clasificación del suelo y la zona de amenaza sísmica se concluye que los parámetros sísmicos que caracterizan esta son:

Aa	0.25
Av	0.25
Fa	1.30
Fv	1.90
Ae	0.07
Ad	0.03

Grupo de uso IV: estructuras indispensables.

Coefficiente de importancia: IV = 1.50

6 EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS

6.1 GENERALIDADES

En este capítulo se evalúan las condiciones de soporte del suelo, asentamientos y módulos de reacción para las obras que hacen parte del sistema de acueducto. Todas las obras se analizarán mediante un sistema de cimentación superficial sobre el estrato de cada perfil de diseño y los parámetros correspondientes estimados.

Los niveles de apoyo analizados son con respecto a la cota de las perforaciones. Estos niveles deben ajustarse en cada sitio de construcción.

6.2 PROFUNDIDAD DE DESPLANTE ANALIZADAS

El análisis de capacidad portante se realizó para tres (3) profundidades en cada sitio de las obras:

- PTAP: Df=2.00, 3.00 y 4.00 m
- Viaducto: Df=2.00, 3.00 y 4.00 m
- Tubería conducción: Df=0.50, 1.00 y 1.50 m
- Captación y desarenador: Df=0.50, 0.75 y 1.00 m

El ancho de la cimentación para las obras del sistema oscila entre los 1.00m y 6.0 m. Esto con el fin de tener un rango de diseño de ancho de cimentación.

6.3 ANÁLISIS DE CAPACIDAD PORTANTE

Las condiciones geotécnicas que controlan el comportamiento de la estructura de acuerdo al tipo de suelo y el grado de saturación del suelo son:

Condición de análisis a largo plazo: esta condición se evalúa de acuerdo con el material granular en su mayoría en estado no saturado sobre el cual se apoyarán las cimentaciones de las obras.

Los parámetros utilizados para este caso son los presentados en el capítulo 4.

6.3.1 Capacidad portante para cimentación superficial mediante la utilización de zapatas

6.3.1.1 Ecuación general de capacidad portante para suelo con fricción y cohesión ($\phi \neq 0$, $c \neq 0$), VESIC.

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Dónde:

N_c , N_q , N_γ : Factores de capacidad portante,

d_c , d_q , d_γ : Factores de profundidad,

s_c , s_q , s_γ : Factores de forma,

i_c , i_q , i_γ : Factores de inclinación de la carga sobre la cimentación,

b_c , b_q , b_γ : Factores por inclinación de la base de la fundación,

Calle 11 No 5-15 El Pórtico

Tel: 310 613 1618

E-mail: labosuelos.jaimes@gmail.com

Cúcuta – Norte de Santander

B': base efectivo de la cimentación,

γ : peso unitario del suelo de fundación,

$q = \gamma D$: D=profundidad de desplante, γ =peso unitario del suelo por encima de la profundidad de desplante.

6.3.1.2 Ecuación general de capacidad portante para un material puramente cohesivo ($S_u \neq 0$), VESIC.

$$q_{ult} = 5.14s_u(1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$

Dónde:

s'_c : Factor de forma,

d'_c : Factor de profundidad,

i'_c : Factor de inclinación de la carga,

b'_c : Factor de inclinación de la base de la fundación,

g'_c : Factor que considera el apoyo de la base de la cimentación sobre un talud.

6.3.2 Resultados del análisis de capacidad portante

A continuación, se presentan los resultados del análisis de capacidad portante para la cimentación tipo aislada superficial de ancho B, sobre suelos granulares. En el Anexo B.1 se presentan las memorias de cálculo.

Cuadro 6-1 Capacidad portante suelos del sitio del proyecto PTAP.

CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE [kPa]									
Df [m]	B [m]								
	1,0			2,0			3,0		
	L [m]			L [m]			L [m]		
	3,0	4,0	6,0	3,0	4,0	6,0	3,0	4,0	6,0
2,00	292,3	283,9	275,4	308,3	302,5	296,8	320,2	326,5	332,9
3,00	491,1	468,4	445,7	536,1	511,7	487,3	566,8	550,6	534,4
4,00	930,8	875,3	819,9	1003,4	940,9	878,4	1122,6	1057,5	992,4

Cuadro 6-2 Capacidad portante suelos del sitio del proyecto – Viaducto

CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE [kPa]									
Df [m]	B [m]								
	1,0			2,0			3,0		
	L [m]			L [m]			L [m]		
	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
2,00	28,5	25,5	24,5	32,5	28,3	26,9	35,0	30,8	29,4
3,00	43,1	38,2	36,5	50,5	42,5	39,8	55,1	45,6	42,5
4,00	91,1	78,5	74,3	111,7	90,0	82,8	126,7	98,9	89,7

Cuadro 6-3 Capacidad portante suelos del sitio del proyecto – Captación y desarenador

CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE [kPa]									
Df [m]	B [m]								
	3,0			4,0			6,0		
	L [m]			L [m]			L [m]		
	3,0	4,0	6,0	3,0	4,0	6,0	3,0	4,0	6,0
0,50	281,3	297,2	313,0	301,1	334,4	367,8	268,8	355,3	441,9
0,75	344,3	354,1	363,9	370,3	395,8	421,3	351,5	426,6	501,6
1,00	409,9	413,4	416,9	441,7	459,1	476,5	436,0	499,3	562,7

Cuadro 6-4 Capacidad portante suelos del sitio del proyecto – Aducción y distribución

CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE [kPa]									
Df [m]	B [m]								
	1,0			1,5			2,0		
	L [m]			L [m]			L [m]		
	1,0	3,0	6,0	1,0	3,0	6,0	1,0	3,0	6,0
0,50	24,8	24,3	24,2	26,0	27,4	27,7	25,7	30,1	31,2
1,00	66,7	60,5	58,9	72,2	66,1	64,6	73,6	70,1	69,2
1,50	180,4	154,4	147,9	196,6	165,7	157,9	213,1	180,0	171,7

De acuerdo con los cuadros de capacidad de carga, los suelos presentan buena capacidad de carga desde niveles superficiales de los materiales.

6.4 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS DE LA OBRA PROYECTADA.

Con base en las secciones H.4.9.2 y H.4.9.3 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente (2010, ver Referencia [3]), se estableció un valor de 15,00 cm para asentamiento total máximo (elástico y consolidación) y de 1,0 cm el valor de asentamiento diferencial máximo.

6.4.1 Asentamiento Elásticos

El asentamiento se analizó para las profundidades de desplate reportadas en el cuadro de capacidad de carga, con una carga equivalente a la capacidad dada para una cimentación cuadrada de 1.00 m.

Cuadro 6-5 Asentamientos elásticos y módulo de reacción de los suelos PTAP.

Df [m]	B [m]	L [m]	ΔH_{centro} [cm]	$\Delta H_{\text{esquina}}$ [cm]	Ks [ton/m3]
2.00	1.00	1.00	1.92	0.92	1522
3.00	1.00	1.00	4.78	2.29	1024
4.00	1.00	1.00	3.84	1.84	2425

Cuadro 6-6 Asentamientos elásticos y módulo de reacción de los suelos Paso Elevado.

D _f [m]	B [m]	L [m]	ΔH _{centro} [cm]	ΔH _{esquina} [cm]	Ks [ton/m ³]
2.00	1.00	1.00	0.93	0.45	818
3.00	1.00	1.00	2.48	1.19	464
4.00	1.00	1.00	1.89	0.90	1294

Cuadro 6-7 Asentamientos elásticos y módulo de reacción de los suelos Captación.

D _f [m]	B [m]	L [m]	ΔH _{centro} [cm]	ΔH _{esquina} [cm]	Ks [ton/m ³]
0.50	1.00	1.00	2.23	1.07	1258
0.75	1.00	1.00	2.15	1.03	1600
1.00	1.00	1.00	2.56	1.23	1600

Cuadro 6-8 Asentamientos elásticos y módulo de reacción de los suelos Tubería.

D _f [m]	B [m]	L [m]	ΔH _{centro} [cm]	ΔH _{esquina} [cm]	Ks [ton/m ³]
0.50	1.00	1.00	0.50	0.24	504
1.00	1.00	1.00	1.05	0.50	640
1.50	1.00	1.00	2.62	1.26	686

Los asentamientos presentados son menores a los permitidos por la norma, teniendo en cuenta que el cálculo se realizaron con la capacidad de carga reportada en los cuadros 6-1 al 6-4, por lo tanto, esta carga no se podrá exceder.

Las memorias de cálculo para las capacidades portante reportadas y los asentamientos se pueden consultar en los ANEXOS.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto consiste en la construcción de un sistema de acueducto para el plan maestro de acueducto del Municipio de Silos. Las obras que harán parte del sistema de acueducto son: Captación, Desarenador, Planta de tratamiento (PTAP), Paso elevado, Red de aducción y distribución.

Se ejecutaron un total de seis (6) perforaciones hasta una profundidad máxima de exploración de 5.30 m con fines de caracterización de los suelos de apoyo para las obras de captación, desarenador, PTAP y viaducto. En cada perforación se llevaron a cabo ensayos in situ para la evaluación de la resistencia del terreno mediante el SPT. Se tomaron muestras alteradas con la cuchara partida, no fue posible extraer muestras inalteradas con tubos shelby debido a la naturaleza granular de los materiales. Así mismo se realizaron veintitrés (23) apiques manuales hasta los 1.10 m de profundidad a lo largo del trazado para la red de aducción y distribución. Se encontraron los siguientes perfiles geotécnicos de diseño.

Perfil de diseño 1 – captación y desarenador

0.00 – 1.60 m: suelos areno gravosos de baja plasticidad (**SC/GC**), color marrón oscuro y amarillo, compacidad media a densa, humedad media, no saturadas. Este tipo de materiales se encontró en ambas perforaciones de las obras y presento rechazo debido al alto contenido de piedras.

Perfil de diseño 2 – Paso Elevado

0.00 – 6.00 m: suelos areno limosos no plásticos (**SM**), color marrón y amarillo, compacidad muy suelta a densa, humedad media, no saturadas. Este tipo de materiales se encontró en ambos sitios de apoyo del paso elevado, siendo la compacidad densa en el sitio de perforación 2.

Perfil de diseño 3 – PTAP

0.00 – 5.30 m: suelos areno limosos y gravosos no plásticos (**SM/GM**), color marrón grisáceo, compacidad media a densa, humedad media, no saturadas.

Perfil de diseño 4 – aducción y distribución

0.00 – 1.20 m: este perfil presenta una gran variedad de suelos, sin embargo, en su mayoría corresponden a arenas limosas y arenas arcillosas de baja plasticidad (**SC/SM**), color marrón oscuro y amarillo, compacidad y consistencia blanda a media, humedad media, no saturadas.

No se encontraron niveles freáticos durante los trabajos de campo y los materiales presentaron condiciones de humedad natural media y un estado no saturado.

Los suelos de cimentación son susceptibles de cambios volumétricos ante la presencia de agua debido al contenido de suelos plásticos de baja a alta plasticidad. En especial a lo largo del trazado de la zona de aducción y distribución.

De acuerdo a la NSR-10 título A, el suelo de diseño presenta un perfil de suelo Tipo D, coeficiente de importancia de 1.50 (estructuras indispensables).

De acuerdo con la NSR (Normas Sismo Resistentes Colombianas 2010) Título A, El municipio de Silos – Norte de Santander, pertenece a una zona de amenaza sísmica Alta. Los parámetros sísmicos fueron tomados del Apéndice A-4: ($A_a=0.25$), ($A_v = 0.25$), ($A_e= 0.07$), ($A_d = 0.03$).

Durante las exploraciones no se identificaron suelos problemáticos (licuables, sensitivos, etc) que permitieran un análisis adicional.

7.1 CONCLUSIONES PTAP

El Cuadro 6-1 muestra la capacidad de carga para la obra de la PTAP a profundidades entre los 2 y 4.0 m bajo la superficie del terreno. Estas profundidades son las que se esperan que implanten las obras. Se deberá adoptar una capacidad que corresponda a los anchos de las obras.

7.2 CONCLUSIONES VIADUCTO

El sitio de apoyo del paso elevado presenta una pendiente con inclinación mayor a los 30°, lo que indica que estas obras se instalaran en laderas lo cual reduce la capacidad de carga superficial de estos materiales.

El viaducto se proyecta con una longitud de 240 m. Las cargas esperadas a nivel de cimentación serán bajas debido al poco diámetro de la tubería. Por lo tanto, los apoyos superficiales para esta obra son recomendados.

Se recomienda cimentar el viaducto a una profundidad de 3.0 m con un ancho mínimo de cimentación de 1.0 m. Bajo estas condiciones la capacidad de carga recomendada será de 115 kPa.

7.3 CONCLUSIONES TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

La conducción del sistema será de forma superficial sobre los suelos granulares no plásticos de densidad media. Estos materiales presentan adecuada capacidad de soporte para la instalación de las tuberías mediante zanjas.

El material del sitio se podrá emplear para el encamado y relleno de las tuberías, garantizando una compactación del 90% del proctor modificado.

7.4 CONCLUSIONES CAPTACIÓN Y DESARENADOR

Estas obras se ubican en sitios de depósitos granulares de gran tamaño donde no fue posible realizar exploración profunda. El apoyo de las obras será sobre materiales rocosos de gran diámetro correspondientes a aluviales y cantos rodados de alta resistencia.

Para estas obras la capacidad del suelo de apoyo es muy alta comparada con las cargas generadas por las obras.

7.5 RECOMENDACIONES GENERALES

El material de cada uno de los sitios de construcción se podrá emplear como material de relleno para las excavaciones realizadas. Se deberá compactar mínimo al 90% de proctor modificado.

Los asentamientos se encuentran por debajo de los límites establecidos por la normativa vigente. Estos asentamientos se estimaron con base en la capacidad de carga del suelo en cada sitio de obra, por lo tanto, esta capacidad no podrá excederse y el proceso de deformación puede ser mucho menor si las cargas aplicadas son menores a la capacidad del suelo.

Debido a la realización de excavaciones para la construcción de la PTAP, estas deberán tener un sistema de contención a partir de los 1.00 m de profundidad.

Se debe cumplir con las especificaciones técnicas de características y colocación de los materiales según lo establece el Instituto Nacional de Vías –INVIAS (vigentes).



Ing. Luis Ángel Avilés Murcia

PhD. Geotecnia

MP. 08202 – 213505 ATL

CC. 1118816667 de Riohacha – La Guajira

8 REFERENCIAS

- [1] BOWLESJ. E. Foundation analysis and design. McGraw-Hill, 1997.
- [2] DasD. Shallow foundations-Bearing capacity and settlement.Taylor & Francis Group, 2009.
- [3] INVIAS, Manual de Diseño de Pavimentos para Bajos Volúmenes de Tránsito, 2007
- [4] INVIAS, Normas de ensayos para carreteras, 2007
- [5] INVIAS. Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, Artículos2007.
- [6] POULOS H. J. & DAVIS E.H. Pile Foundation Analysis and Design. New York. John Wiley & Sons, 1974.
- [7] M. CARTER AND S. P. BENTLEY, Correlations for Soil Properties, Pentech Press, London 1991.
- [8] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD OF THE NATIONAL ACADEMIES, Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Deep Foundations, Washington, 2004.
- [9] GEOCON INGENIERÍA, Estudios y Diseños de la Via Morelia - Valparaíso - Solita
- [10] AASHTO LFRD BRIDGE. Design Specification. 6th Edition, 2012.

ANEXO A1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO Y REGISTRO FOTOGRÁFICO

ANEXO A2. RESUMEN DE RESULTADOS

ANEXO A3. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

ANEXO A4. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

ANEXO A5. CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS